

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/334614707>

# El impacto de la infraestructura vial en ecosistemas de alta fragilidad: El caso de la construcción de una carretera en el norte chiquitano, Bolivia.

Chapter · February 2019

CITATION

1

READS

130

4 authors, including:



Oswaldo Maillard

Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano

39 PUBLICATIONS 131 CITATIONS

SEE PROFILE

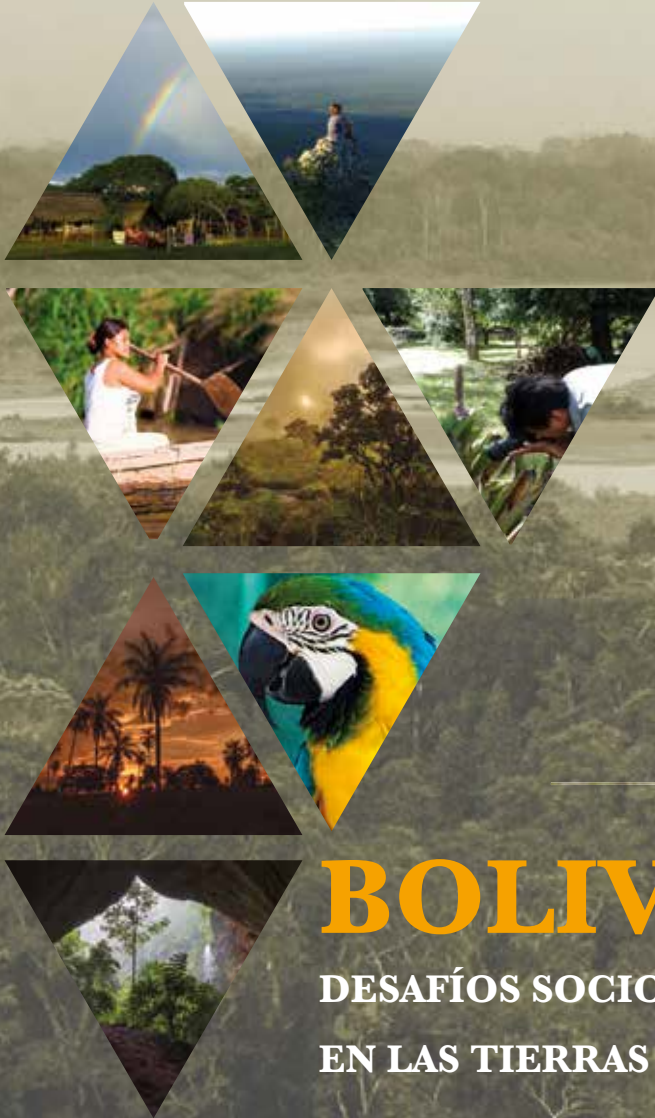
Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Field Guide to the Birds of Bolivia. [View project](#)



Fungi of Bolivia: diversity, distribution, ecology [View project](#)



# BOLIVIA

## DESAFÍOS SOCIOAMBIENTALES EN LAS TIERRAS BAJAS

Mirna Inturias, Kristina von Stosch,  
Henry Baldelomar, Iokiñe Rodríguez

Mirna Inturias, Kristina von Stosch,  
Henry Baldelomar, Iokiñe Rodríguez

*Bolivia. Desafíos socioambientales en las tierras bajas.*

Instituto de Investigación Científica Social (IICS) de la Universidad NUR 2019.

ISBN: 978-99974-394-0-6

Transformación de Conflictos, Bolivia, Problemática Socioambiental, Auto-determinación, Derechos de los Pueblos Indígenas, Impactos Ambientales

© **Editorial NUR**

Av. Cristo Redentor N°100  
Santa Cruz de la Sierra, Bolivia  
Teléfono: 591-3-363939 int. 555  
E-mail: [iics@nur.edu](mailto:iics@nur.edu)  
[www.iics.nur.edu](http://www.iics.nur.edu)  
[www.nur.edu](http://www.nur.edu)



Instituto de Investigación Universidad NUR



[universidadnur](https://twitter.com/universidadnur)

Primera edición: Febrero 2019  
Depósito legal: 8-1-879-19  
244 páginas de textos, cuadros, figuras, fotos y mapas.

Editores: Mirna Inturias, Kristina von Stosch, Henry Baldelomar,  
Iokiñe Rodríguez

Cuidado editorial: Floriana Soria Galvarro

Diseño gráfico: Oscar Bernardo Claros Troche

Imágenes de la tapa: Julio Cesar Salinas, Daniel Coimbra

Está permitida la reproducción parcial o total de este libro, su tratamiento informático, su transmisión por cualquier forma o medio, sea electrónico, mecánico, por fotocopia u otros; con la simple indicación de la fuente cuando sea usado en publicaciones o difusión por cualquier medio.

Esta publicación presenta la opinión de los autores y no necesariamente la visión del Instituto de Investigación Científica Social de la Universidad NUR ni de la GIZ. Su publicación ha sido posible con el apoyo de la Cooperación Alemana, a través de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y su programa Servicio Civil para la Paz.

Impreso en Bolivia, febrero 2019.

## CAPÍTULO 4:

### **El impacto de la infraestructura vial en ecosistemas de alta fragilidad**

El caso de la construcción de una carretera en el norte chiquitano, Bolivia

Oswaldo Maillard<sup>1</sup>, Roberto Vides-Almonacid<sup>2</sup>,  
Ruth Anívarro<sup>3</sup>, Julio César Salinas<sup>4</sup>

Este estudio resume el análisis del cambio de la cobertura de vegetación ocurrido entre 1986 y 2016 en una región del oriente de

- 1 Oswaldo Maillard, biólogo conservacionista con experiencia en análisis espacial, modelación de cambios de cobertura del suelo, riegos ambientales en ecosistemas terrestres y en distribución de especies en Bolivia, con más de 30 publicaciones de investigación científica [omaillard@fcbc.org.bo](mailto:omaillard@fcbc.org.bo). Para correspondencia institucional: Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano (FCBC). Av. Ibérica, calle 6 Oeste 95, esq. Puerto Busch, Barrio Las Palmas. Santa Cruz, Bolivia. [hylopezus@gmail.com](mailto:hylopezus@gmail.com).
- 2 Roberto Vides Almonacid, biólogo con maestría en manejo de vida silvestre y doctorado en ciencias naturales. Tiene más de 80 publicaciones y comunicaciones científicas sobre ecología, manejo y conservación de la biodiversidad y adaptación al cambio climático en biomas tropicales y subtropicales.
- 3 Ruth Anívarro, ingeniera informática con más de 13 años de trabajo en el área de conservación, ordenamiento territorial, áreas protegidas, servicios ecosistémicos y conectividad de paisajes.
- 4 Julio Cesar Salinas, agrónomo con cursos de especialidad en gestión de paisajes, ordenamiento territorial, manejo de áreas silvestres tropicales y transformación de conflictos socioambientales. Participó en diversas publicaciones sobre ordenamiento territorial, gobernanza ambiental, gestión de áreas protegidas y transformación de conflictos socioambientales.

Bolivia; esboza también el cambio de la cobertura de vegetación futuro potencial (2046) como resultado de la pavimentación de una carretera proyectada hasta el año 2020 en la misma región. Para la identificación del cambio ocurrido en los últimos 30 años se analizaron 12 imágenes de satélite Landsat con ayuda de CLASlite, mientras que la proyección de cambio a futuro fue obtenida con el Modelador de Cambios Terrestres (LCM), bajo dos escenarios de trazado de ruta. Los resultados muestran que la implementación de este proyecto de infraestructura incrementará potencialmente la deforestación en un 34-43% –hasta el año 2046– en un área de 10 km de distancia hacia los lados de la vía, concentrándose el impacto principalmente en los primeros 5 km. En caso de construirse esta vía, las áreas protegidas Laguna Marfil y Copaibo y la Reserva Forestal Bajo Paraguá serían las regiones con mayor probabilidad de incremento en el cambio de uso del suelo por las actividades antrópicas en el 56-63%, 17-19% y el 14%, respectivamente.

**Palabras clave:** Carreteras, deforestación, evaluación del impacto, tierras forestales.

## Introducción

La proyección de escenarios para la evaluación del impacto de las actividades humanas (antrópicas), especialmente de desarrollo de infraestructura en ecosistemas naturales, es una herramienta útil para planificar acciones de prevención y mitigación. En el caso del oriente de Bolivia, donde se interdigitan ecosistemas forestales frágiles de la Amazonía, el Cerrado y el Bosque Seco Chiquitano, las presiones sobre la integridad de estos paisajes son diversas pero la principal es el cambio de uso del suelo vinculado con el incremento del acceso a la tierra a través de redes de comunicación vial (Vides-Almonacid y Justiniano, 2011). Actualmente se tienen proyectadas una serie de redes viales para el sector norte de la Chiquitania. Una de ellas es la ruta que conectará las localidades de Santa Rosa de la Roca, Puerto Villazón, Piso Firme y Remansos, un tramo de 465 km de longitud que atravesará los departamentos de Santa Cruz y Beni (Estado Plurinacional de Bolivia, 2016).

Si bien por ahora existen en esta área caminos de orden secundario y terciario, el desarrollo de una red vial hasta el año 2020 podría constituir una oportunidad para integrar las regiones productivas generando así diversos beneficios directos a las comunidades locales, como el mejoramiento del acceso al mercado. Sin embargo, las carreteras también podrían convertirse, en el futuro, en uno de los principales impulsores de la deforestación y degradación de la cobertura boscosa (p. ej. el Bosque subhúmedo semideciduo chiquitano) y otros hábitats naturales en la región (p. ej. Cerrado).

Durante los últimos años se han incrementado las modelaciones espaciales para predecir –en una serie de tiempo hacia el futuro– el cambio de uso de la tierra, especialmente en áreas de desarrollo de carreteras a escalas de nivel global (Meijer *et al.*, 2018) y nacional (Soares-Filho *et al.*, 2004; Casella y Paranhos Filho, 2013; Reymondin *et al.*, 2016). Para el caso de Bolivia, excepto por Vargas *et al.* (2012), las proyecciones de cambios en la cobertura del suelo no han considerado metodológicamente el desarrollo de la infraestructura vial (Sangermano *et al.*, 2012; Müller *et al.*, 2014; Vides-Almonacid *et al.*, 2015; Tejada *et al.*, 2016; Maillard, 2018).

En este marco, el presente estudio se centra en determinar los escenarios futuros del impacto directo e indirecto que causaría la construcción de la carretera específicamente en el municipio de San Ignacio de Velasco –en términos del cambio de la cobertura de vegetación– a partir del análisis espacial de las actividades humanas desarrolladas entre 1986 y 2016 y una proyección de los cambios que podrían ocurrir hasta el año 2046.

### **Área de estudio**

El área de estudio comprende principalmente los municipios de San Ignacio de Velasco y Concepción, ubicados en el norte del departamento de Santa Cruz. Además, se han considerado en el análisis otros municipios circundantes al área directa de impacto de la carretera: San Pedro, Santa Rosa, San Javier, San Miguel, Ascensión de Guarayos, San Rafael, Urubichá y El Puente en el departamento de Santa Cruz; y San Javier, Huaracaje, Magdalena, San Andrés, Baures y Trinidad

en el departamento del Beni, así como también una parte del Estado de Mato Grosso en el Brasil (Fig. 1). Toda esa región presenta una llanura plana a ondulada con presencia de serranías aisladas, con una altitud que alcanza hasta los 1.095 msnm. En el sector boliviano, esta área de referencia contaba hasta el año 2012 con una población de 134 mil habitantes según el Censo de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2012).

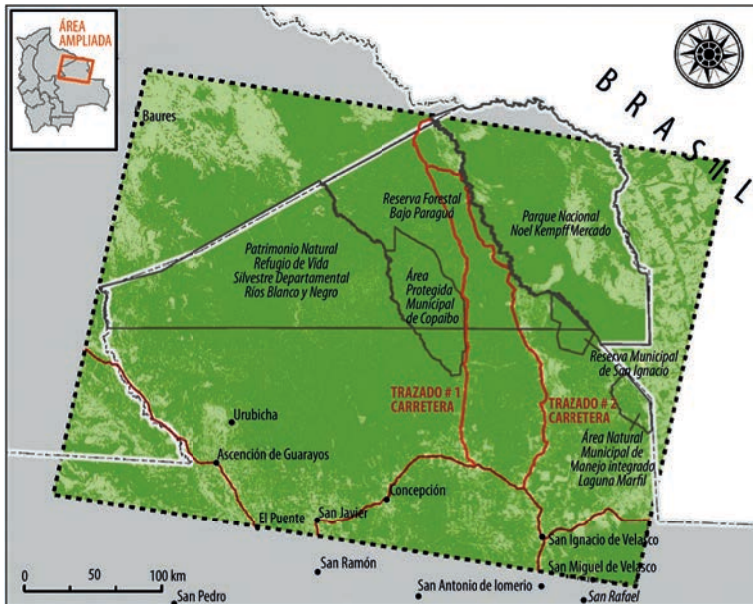
En este sector de Bolivia el clima es húmedo tropical, con una temperatura media anual que oscila entre los 22,3 °C y 27,8 °C, mientras que la precipitación media anual se sitúa entre los 800 mm y 2.000 mm, y una evapotranspiración potencial de 1.944 mm y los 2.203 mm (Ibisch y Mérida, 2003). Navarro (2011) indica que las regiones biogeográficas de esta región pertenecen a los sectores del Guapore, Beniano oriental, Chiquitano central, y el Chiquitano transicional a la Amazonia. Cada una de estas regiones se caracteriza por presentar ecosistemas únicos y frágiles.

En cuanto a las áreas protegidas presentes, destaca el *Parque Nacional Noel Kempff Mercado* (PN-NKM) (Fig. 1) ubicado en los municipios de San Ignacio de Velasco (Santa Cruz) y Baures (Beni) con una extensión de 1.5 millones de ha, considerado uno de los espacios de conservación de mayor biodiversidad en el país y declarado Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO, único en Bolivia con esta distinción. En cuanto a las áreas protegidas de carácter departamental, se encuentra la *Unidad de Conservación del Patrimonio Natural–Refugio de Vida Silvestre Departamental Ríos Blanco y Negro* (UCPNRVSDBYN) con 1.4 millones de ha, situada entre los municipios de Ascensión de Guarayos, Urubichá y Concepción (Fig. 1). Según Quiroga et al. (2011), las áreas protegidas municipales incluyen la *Reserva Municipal de San Ignacio* (RM-SI) con más de 76 mil ha (San Ignacio de Velasco), el *Área Protegida Municipal del Patrimonio Natural y Cultural de Copaibo* (APMPNC-C) con 347 mil ha (Concepción), y el *Área Natural Municipal de Manejo Integrado Laguna Marfil* (ANMMI-LM) con 71 mil ha (San Ignacio de Velasco) (Fig. 1). Además, se incluye la *Reserva Forestal Bajo Paraguá* (RF-BP) con 1.3 millones de ha situada entre los municipios de San Ignacio



de Velasco y Concepción (Fig. 1). Los límites de la *Reserva Forestal Bajo Paraguá* se sobrepone en más de la mitad de la superficie del Área Protegida Copaibo y Reserva de San Ignacio.

**Mapa 3. Trazados potenciales de la construcción de la carretera en el norte del departamento de Santa Cruz, en relación a las áreas protegidas nacionales, departamentales y municipales, y una reserva forestal**



Fuente: Elaboración propia.

El Estado Plurinacional de Bolivia (2016) elaboró el Plan de Desarrollo Económico y Social en el marco del Desarrollo Integral para Vivir Bien (PDES), para la gestión comprendida entre los años 2016 y 2020. En este plan se contempla la construcción y rehabilitación de diversas redes viales fundamentales a través de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), con la participación directa del nivel central del Estado y las contrapartes de los gobiernos departamentales y municipales. La carretera que se pretende construir en el municipio



de San Ignacio de Velasco hasta el año 2020, podría contar con dos escenarios de trazados potenciales (Fig. 1).

El trazado de la carretera # 1, mencionado en la planificación del PDES y presentado en la página oficial de la ABC como carretera en definición, se iniciaría en la comunidad Santa Rosa de la Roca y llegaría hasta Remansos (Beni), pasando por Piso Firme.<sup>5</sup> El tramo vial hasta Piso Firme tendría una extensión de 286 km y bordearía el Área Protegida Municipal de Copaibo (Fig. 1).

El trazado potencial #2 (no mencionado en el PDES) se podría iniciar hipotéticamente en un camino municipal existente basado en la ruta presentada por la ABC que comienza en la comunidad Carmen de Ruiz, y tendría una longitud de 353 km hasta llegar a Piso Firme, pasando muy cerca al Parque Noel Kempff Mercado (Fig. 1).<sup>6</sup> Cerca de este segundo trayecto vial se sitúa el Cerro Manomó, ubicado a 150 kilómetros al norte de San Ignacio de Velasco, en el cual se registra uno de los depósitos de fosfatos uraníferos más importantes del país (Tejada, 2012).

Si bien actualmente existe una red caminera vial de orden secundario y terciario en ambos trazados, la carretera a construirse atravesaría el área de la *Reserva Forestal Bajo Paraguá*, y una región que alberga ecosistemas boscosos (Bosque subhúmedo semideciduo de la Chiquitania, bosques amazónicos), no boscosos (Cerrado, Pampa termitero, sabanas abiertas) y acuáticos (Fig. 2).

5 ([http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/08/mapa\\_abc\\_2018\\_web.pdf](http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/08/mapa_abc_2018_web.pdf)).

6 ([http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/08/mapa\\_abc\\_2015\\_web.pdf](http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/08/mapa_abc_2015_web.pdf)).

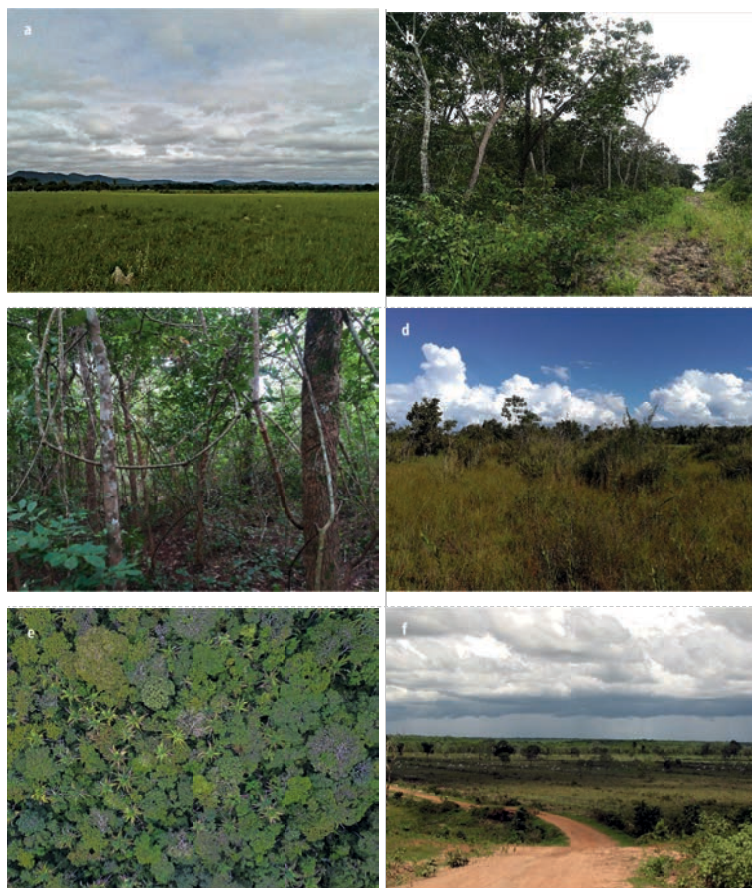


Foto 1. Trazado # 1: a) Sabanas inundables, entre Santa Rosa de la Roca y San Rafaelito; b) Cerrado (Pampa monte), cercano al área de Tiraque-24 de Junio; c) Bosque subhúmedo semideciduo de la Chiquitania, área de comunidades Tiraque-24 de Junio (Fotos: Weimar Torres, 2018).

Trazado # 2: d) Cerrado, área de La Unión (Foto: Weimar Torres, 2018); e) Bosque subhúmedo semideciduo de la Chiquitania bien conservado con presencia de Cusi (*Attalea speciosa*), área de comunidades Campamento-Colorado-Candelaria (Foto: Weimar Torres y William Alfaro, 2018); f) Camino principal, área de La Unión (Foto: Reinaldo Flores, 2009).

## Métodos

### Identificación de la cobertura del suelo

Con la finalidad de poder obtener un mapa de la cobertura boscosa, se utilizaron siete imágenes satelitales del sensor TM del año 1986 (Landsat 5) y siete del sensor OLI/TIRS del año 2016 (Landsat 8), las cuales se caracterizan por presentar una resolución espacial moderada de 30 m. Estas imágenes fueron descargadas desde el portal de internet del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)<sup>7</sup> y Libra,<sup>8</sup> con una cobertura nubosa menor al 10%. Las escenas fueron procesadas y clasificadas con ayuda del CLASlite 3.3 (Sistema de Análisis Landsat de Carnegie – Lite), un paquete de software diseñado para la identificación altamente automatizada de la deforestación y degradación de bosques a partir de imágenes de satélite de sensores remotos (Asner *et al.*, 2009). A través del algoritmo AutoMCU (Segregación Espectral Automatizada Monte Carlo), CLASlite ofrece la particularidad de realizar un análisis cuantitativo de la cobertura fraccional o porcentual (0-100%) de la vegetación viva del dosel o vegetación fotosintética (PV), vegetación muerta o vegetación no fotosintética (NPV), y superficie expuesta o sustrato expuesto (S), dentro de cada píxel satelital (*Ibid.*). En el árbol de decisión simple, se utilizó el valor estándar de  $PV \geq 80$  y  $S < 20$  en cada imagen de satélite, excepto por la escena 229-071 del año 2016 ( $PV \geq 70\%$  y  $S < 30$ ). Se mantuvieron los valores por defecto en las opciones de enmascaramiento para la eliminación de nubes, sombras de nubes, sombras del terreno y agua. Para determinar los cambios en la vegetación se mantuvieron los controles deslizantes de 50% para deforestación y 25% para degradación.

Posteriormente, con el software ArcGis 10.4 se realizó una verificación y clasificación de la deforestación mediante digitalización manual en pantalla. Finalmente se generaron cuatro clases de coberturas terrestres (bosque, no bosque, deforestación, otras coberturas). Una vez obtenido el mapa de cobertura fraccional de las imágenes de satélite para los

7 <https://earthexplorer.usgs.gov>

8 <https://libra.developmentseed.org>

años 1986 y 2016, se definió con ArcGis 10.4 el área del proyecto, el área de fuga (*leakage area*) y el área de referencia. El área de proyecto está constituida por cinco áreas protegidas y una reserva forestal, donde se están realizando los esfuerzos para reducir los cambios de la cobertura boscosa y no boscosa. El área de fuga, que está representada por la región donde podrían realizarse asentamientos y cambio de uso del suelo, constituye el área de influencia de la carretera (10 km de amortiguamiento a cada lado). El área de referencia fue definida en base a un rectángulo donde potencialmente se podrían producir efectos a los lados de la carretera en la región, y con la que se realizó el recorte de las escenas clasificadas. La tasa anual del cambio de cobertura boscosa para las áreas de fuga y referencia fue determinada a través el método estandarizado propuesto por Puyravaud (2003).

### **Validación de campo**

Para evaluar el nivel de incertidumbre de la clasificación resultante se obtuvieron 221 puntos de verificación en campo en los años 2017 y 2018, de los cuales 109 puntos fueron tomados con el KoBo Collect, una aplicación abierta para dispositivos móviles mediante un formulario creado para este estudio en el portal de internet KoBo ToolBox.<sup>9</sup> Se obtuvo información referente a la localidad, caracterización de cada sitio y cuatro registros fotográficos de respaldo georeferenciados para los cuatro puntos cardinales. Los otros 112 puntos de campo fueron obtenidos de manera aleatoria desde 37 mosaicos compuestos de ca. 3.700 fotografías aéreas adquiridas por un dron DJI Mavic Pro. Adicionalmente, se recurrió a 75 sitios de validación de campo de la deforestación registrados por la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra (ABT, 2016), y 48 puntos centroides de los cuerpos de agua (p.ej. lagunas) más extensos (>5 km<sup>2</sup>) en base a la cobertura de lagunas de GeoBolivia.<sup>10</sup> Los 344 puntos fueron agrupados en cuatro categorías (bosque, no bosque, antrópico y

9 <http://www.kobotoolbox.org>

10 [www.geo.gob.bo](http://www.geo.gob.bo)

agua) y analizados en una matriz de error propuesta por Olofsson *et al.* (2014).

### **Escenarios de cambios de la cobertura del suelo a futuro**

La proyección de la transformación a futuro de la cobertura terrestre hasta el año 2046, fue realizada a través del módulo Modelador de Cambios Terrestres (LCM, Land Change Modeler). El LCM es una herramienta desarrollada por el Clark Labs junto a Conservación Internacional incluida en el software TerrSet (Eastman, 2015). El LCM analiza cambios basados en la corteza terrestre, modela el potencial para transiciones en el terreno y predice el curso de los cambios en el futuro. El LCM permitió obtener mapas de cambio de las cuatro clases entre el periodo 1986 y 2016 (módulo Change Analysis del TerrSet), así como también mapas de persistencia, de ganancia/pérdida, de transición y de intercambio. Se generó además un mapa espacial de tendencias en tercer orden polinomial. En estos análisis se consideraron únicamente los cambios de bosque a antrópico y de no bosque a antrópico, excluyendo a las otras clases (p.ej. lagunas, ríos). Para el modelado se consideraron ocho variables estáticas y dinámicas que consideraron factores geofísicos, de conservación y socioeconómicos (Anexo 1). Las variables estáticas representaron características que se supone que permanecen constantes en el tiempo (p.ej., topografía). En nuestro modelo, también supusimos que la distribución de las áreas protegidas es una característica estática de la región. Las variables dinámicas, por el contrario, representan características que cambian a través del tiempo.

Las variables de los factores geofísicos usados fueron la elevación y la pendiente del terreno. La elevación se basó en el modelo digital de elevación (DEM) del sensor Aster GDEM versión 2,<sup>11</sup> y a partir de este DEM se construyó un mapa de pendiente en grados en el TerrSet. En la variable de conservación se utilizó la cobertura de áreas protegidas nacionales, departamentales y municipales. El mapa de las

11 <http://gdem.ersdac.jp>

áreas protegidas fue procesado usando el método de transformación de probabilidad de verosimilitud mediante la herramienta Evidence Likelihood de la Variable Transformation Utility del LCM, usando los mapas de transición entre bosque a antrópico y no bosque a antrópico. En las variables socioeconómicas, se creó un mapa de permiso y tenencia de la tierra usando los mapas de concesiones mineras, planes de desmonte, áreas de asentamiento no legales, tierras fiscales o en proceso, propiedades privadas, concesiones forestales, planes de manejo forestal, tierras comunitarias de origen, áreas protegidas y cuerpos de agua (ver anexos 1 y 2). Para esta variable se asignaron valores de restricción de 0 a 1, considerando una puntuación más baja a determinadas áreas, como cuerpos de agua, que no tendrán cambios notables en contraste con otras que son más propensas a cambios como las áreas de planes de desmonte que tienen valores más altos. Este mapa fue también procesado usando el método de transformación de probabilidad de verosimilitud. Entre otros factores socioeconómicos se consideraron las distancias a centros poblados, vías camineras, ríos secundarios, y áreas antrópicas (ver anexos 1 y 2). Los caminos de los años 1986 y 2016 fueron digitalizados en pantalla en ArcGis 10.4 con ayuda de las imágenes Landsat y se categorizaron en rutas primarias (nacionales), secundarias (departamentales, municipales) y terciarias (comunales, privados). Los mapas de distancias para cada una de estas variables fueron calculados con la herramienta Cost (cost grow), con una distancia máxima de crecimiento de tipo infinito y se usó el área de referencia como superficie de fricción. Las variables geofísicas, conservación y socioeconómicas fueron sometidas a prueba con el coeficiente de V de Cramer que integra el LCM, para evaluar el valor potencial explicativo de la variable en el submodelo (Eastman, 2015). Las variables fueron procesadas en el submodelo de transición usando el Perceptrón Multicapas (MLP, Multi-Layer Perceptron). Para este análisis se usaron los parámetros de MLP en sus valores normales por defecto. Como resultado el LCM generó un mapa de transición potencial de bosque a antrópico y de no bosque a antrópico.

En el módulo de predicción de cambios (Change Prediction) se asignó una proyección hasta el año 2046 en la cadena de Markov. Se

empleó además el desarrollo dinámico aleatorio de caminos y la ruta potencial de transición más alta. En los parámetros de crecimiento de carreteras se utilizó un valor de 5 km para crecimiento en longitud y 16 km para esparcimiento de las vías secundarias, en tanto que para el desarrollo de los caminos terciarios se usaron las distancias de 3 km y 8 km, en base a lo propuesto por Jiang (2007) para la región de la Chiquitania. Se empleó el factor de omisión (skip factor) por defecto. Se realizaron proyecciones en relación a los dos escenarios de la carretera proyectada, y una modelación sin la carretera. Esto permitió obtener una estimación de las áreas de transición potencial de bosque y no bosque a antrópico, así como también un mapa de probable cambio en el paisaje entre los años 2016 y 2046, en intervalos de 5 años. Adicionalmente se hizo una proyección de cambios a futuro excluyendo la carretera.

Finalmente, se realizó un cálculo de la deforestación en las áreas protegidas, el cambio que podría ocurrir dentro de ciertos rangos de distancia (0, 5, 10, 20 km) en los dos tramos.

## **Resultados**

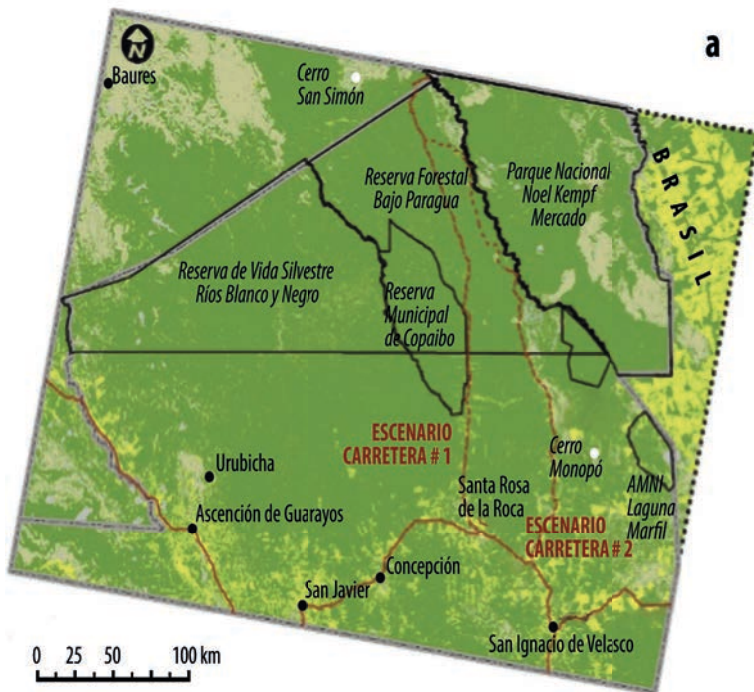
### **Cobertura del suelo en los dos trazados de la carretera y escenarios de cambios a futuro**

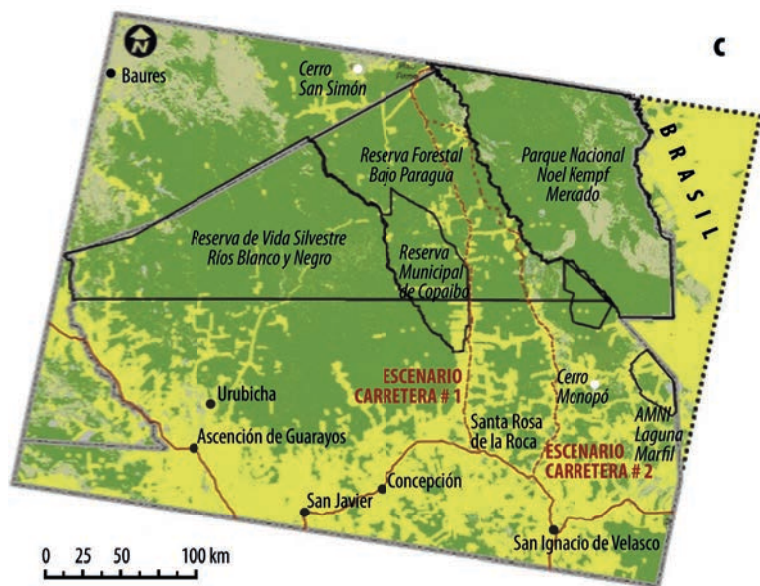
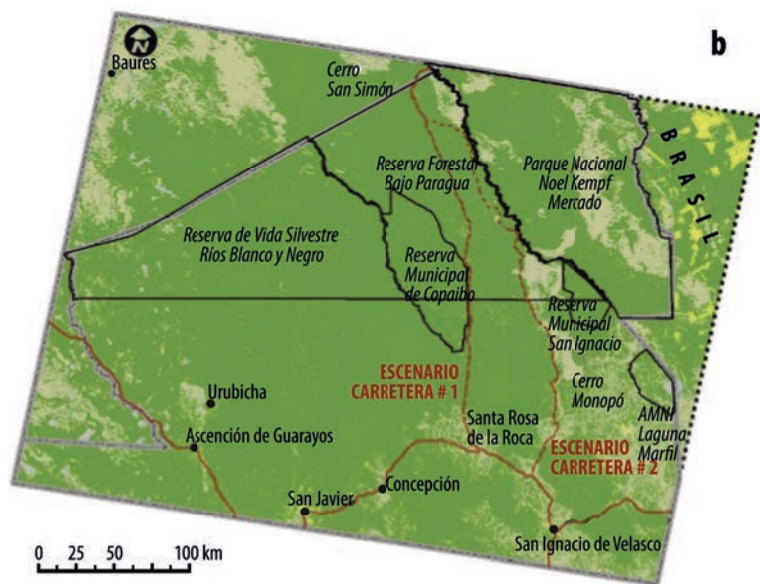
*Trazado de la carretera # 1.* A través de la clasificación de las imágenes de satélite, se ha podido determinar que históricamente, en un área de amortiguamiento de hasta 10 km a cada lado de esta potencial carretera, el área antrópica se incrementó en un 6% en el periodo comprendido entre los años 1986 y 2016 (Mapa 4). Las proyecciones a futuro del modelador muestran que, ante el escenario de la construcción de esta red vial en este trazado de ruta, la deforestación se incrementaría en un 43% hasta el año 2046 (Mapa 4), en un área de amortiguamiento de 10 km. Pero al hacer el análisis de rango de distancias, es evidente que los cambios más notables de cambio de cobertura (144.285 ha perdidos) se podrían producir en los 5 km más cercanos a la carretera pavimentada (Mapa 4). Es notorio el contraste con los resultados obtenidos bajo un escenario sin el desarrollo de esta infraestructura vial que sería la tercera parte (52.767 ha perdidos).

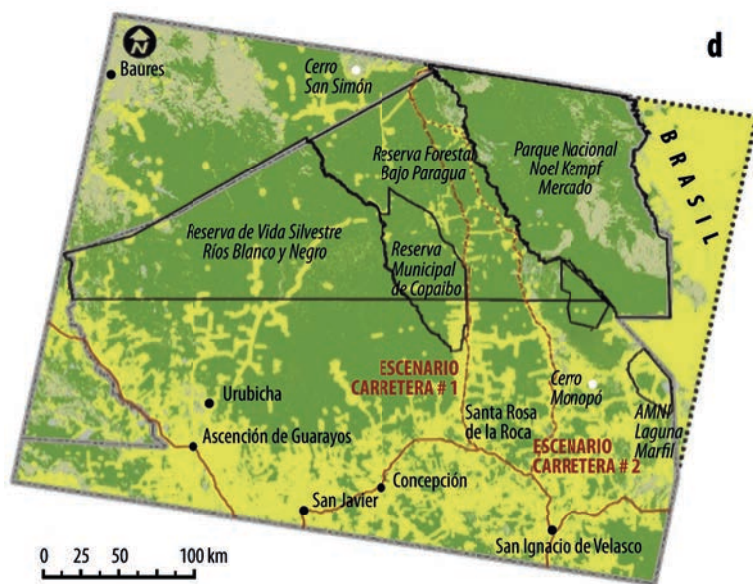


*Trazado de la carretera # 2.* Se determinó de que a cada lado de esta segunda potencial ruta en un rango de 10 km, se perdió históricamente (entre 1986 y 2016) el 3% de la cobertura de vegetación (Mapa 4). Sin embargo, el análisis con el LCM proyecta un escenario donde el área antrópica se incrementaría en un 34% (Mapa 4). Al igual que en el trazado # 1, en los primeros 5 Km se localizaría la mayor superficie (132.257 ha perdidos) de cambio de cobertura (Mapa 4) con la carretera construida, mientras que sin la carretera el impacto sería menor (51.191 ha).

**Mapa 4.** Cobertura del suelo para los años a) 1986, b) 2016, c) 2046 trazado #1, d) 2046 trazado # 2, donde se distinguen el bosque (verde), no bosque (verde claro), antrópico (amarillo) y otras coberturas (gris).

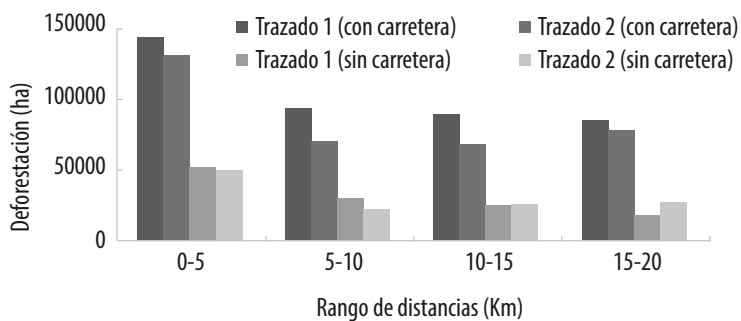






Fuente: Elaboración propia.

**Figura 11. Escenarios de la deforestación para el año 2046 en rangos de distancia, considerando la ausencia o presencia de la carretera en sus dos trazados potenciales**



Fuente: Elaboración propia.

### **Cobertura del suelo en áreas protegidas y reserva forestal, considerando escenarios de cambios a futuro**

En el *Parque Nacional Noel Kempff Mercado*, la tasa anual del cambio de la cobertura boscosa (la cual constituye el 93% de la extensión total) era de  $-0,16$  para un periodo de análisis de 30 años (1986–2016), incrementándose del 76% al 78%, en tanto que la superficie antrópica de 599 ha en 1986 se redujo a 151 ha en 2016. Aunque es un área de protección estricta a nivel nacional, las proyecciones de cambio muestran que, ante los dos trazados de la carretera, el área antrópica en el parque se incrementaría en un 1% (Fig. 5, Tabla 1).

El *Área Natural Municipal de Manejo Integrado Laguna Marfil*, aunque fue creada en 2010, muestra un incremento de la superficie boscosa del 7% en un periodo comprendido entre 1986 y 2016 (Fig. 5). La tasa anual de pérdida de la cobertura boscosa fue de  $0,36$ , con un incremento del 10%. Las proyecciones del LCM muestran que en el escenario de construcción de la carretera # 1 el área antrópica se incrementaría al 56% y en el escenario # 2 alcanzaría al 63% (Fig. 5, Tabla 1).

Constituida como reserva en el 2011, el *Área Protegida Municipal del Patrimonio Natural y Cultural de Copaibo* muestra una pérdida de 2.406 ha de bosque en el periodo de 30 años de análisis (Fig. 5, Tabla 1), mientras que el área antrópica se incrementó de 92 a 1.941 ha, con una tasa anual de cambio del  $0,02$ . Las proyecciones de cambio de la cobertura del suelo en un periodo de 30 años indican que ante la construcción de la carretera en el escenario # 1 el área antrópica se incrementaría del 17% al 19% (Fig. 5, Tabla 1).

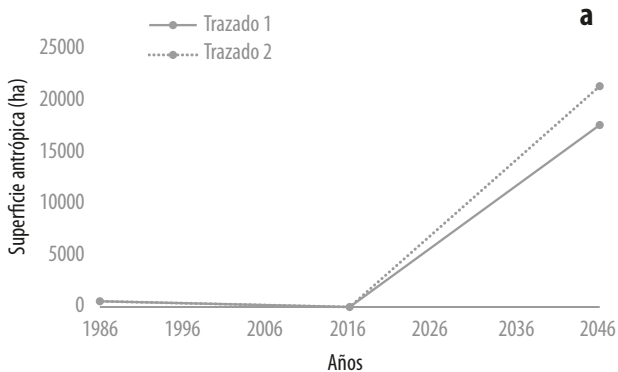
Para la *Reserva Forestal Bajo Paraguá*, los resultados obtenidos de la clasificación de las imágenes satelitales indican que existió un incremento del 2% de la cobertura boscosa entre 1986 y 2016 (Fig. 5). Para el año 1986, la superficie de intervención humana era de 2.093 ha y en 2016 se incrementó a 3.536 ha, con un cambio de la cobertura boscosa de  $-0,07$ . Las proyecciones del LCM muestran que ante el escenario de construcción de la carretera # 1 la superficie

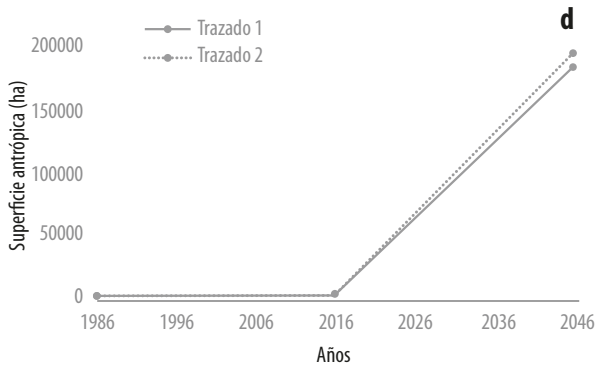
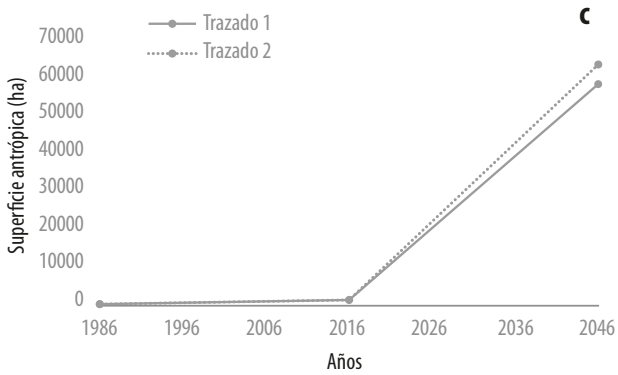
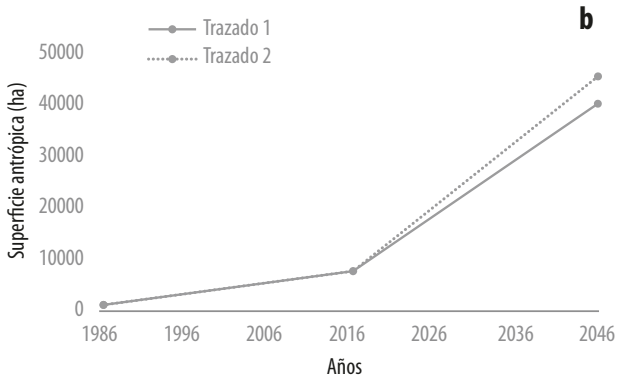
antrópica sería de 185.189 ha, en tanto que en el escenario # 2 el área antrópica alcanzaría una superficie de 195.260 ha (Fig. 5, Tabla 1).

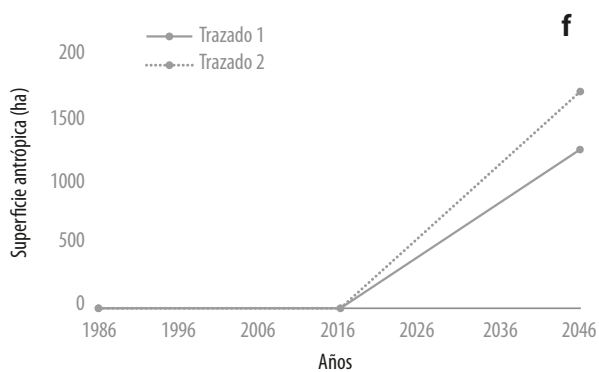
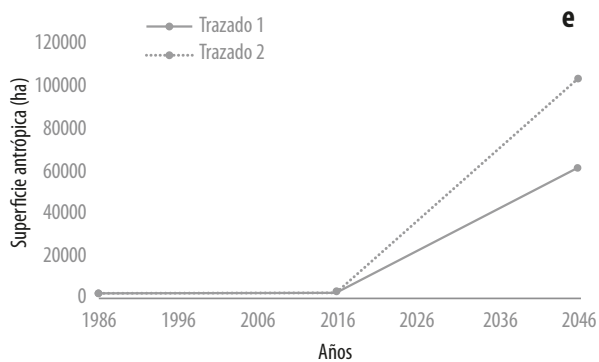
En el área de la *Unidad de Conservación Patrimonio Natural–Refugio de Vida Silvestre Departamental Ríos Blanco y Negro*, la superficie boscosa se redujo en un 6% en 30 años. Por otro lado, las áreas antrópicas tenían una superficie de 102 ha en el año 1986 y se incrementaron notablemente a 2.666 ha, con una tasa anual de deforestación de 0.14, hacia el año 2016. Las proyecciones del LCM muestran que en el escenario de construcción de la carretera # 1 el área antrópica se incrementaría a un 4% y en el escenario # 2 alcanzaría el 7% (Fig. 5, Tabla 1).

Los resultados obtenidos para la *Reserva Municipal de San Ignacio* muestran que la superficie boscosa se incrementó en un 2% (Fig. 5, Tabla 1) considerando que el área antrópica tenía una superficie de 12 ha en 1986 regenerándose hasta 2016. La tasa anual del cambio de la cobertura boscosa en esta área protegida es de  $-0,06$ . Las proyecciones de cambio de la cobertura del suelo en un periodo de 30 años, indican que ante la construcción de la carretera en el escenario # 1 el área antrópica se incrementaría a 1.262 ha y en el escenario # 2 a 1.718 ha (Fig. 5, Tabla 1).

**Figura 12. Tendencia del incremento del área antrópica en las áreas protegidas y reserva forestal, para el periodo 1986-2016, y escenarios de la deforestación para 2046 en los dos trazados de la carretera**







a) Parque Nacional Noel Kempff Mercado, b) Área Natural Municipal de Manejo Integrado Laguna Marfil, c) Reserva Municipal del Patrimonio Natural y Cultural de Copaibo, d) Reserva Forestal Bajo Paraguá, e) Unidad de Conservación del Patrimonio Natural - Refugio de Vida Silvestre Departamental Ríos Blanco y Negro, f) Reserva Municipal de San Ignacio. Fuente: Elaboración propia.



**Cuadro 3. Superficie y porcentaje del área boscosa, no boscosa, antrópico y otras clases, en las cinco áreas protegidas y una reserva forestal, analizadas en el estudio para los años 1986 y 2016, y el escenario de cambio hasta el año 2046**

Área protegida y/o reserva forestal/ Cobertura	Superficie total (ha)	1986		2016		2046 Trazado # 1		2046 Trazado # 2	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Parque Nacional Noel Kempff Mercado (93%)	1.410.180								
Bosque		1.068.815	76	1.121.188	80	1.103.716	78	1.100.035	78
No bosque		325.374	23	273.521	19	273.513	19	273.513	19
Antrópico		599	0	151	0	17.426	1	21.107	1
Otros		15.626	1	15.552	1	15.526	1	15.525	1
Área Natural Municipal de Manejo Integrado Laguna Marfil	70.874								
Bosque		45.778	65	51.002	72	20.634	29	17.079	24
No bosque		18.782	27	9.197	13	6.831	10	5.529	8
Antrópico		570	1	7.228	10	39.915	56	44.773	63
Otros		5.786	8	3.489	5	3.494	5	3.494	5
Reserva Municipal del Patrimonio Natural y Cultural de Copaibo	346.991								
Bosque		342.502	99	340.096	98	282.959	82	278.026	80
No bosque		4.332	1	4.954	1	4.771	1	4.713	1
Antrópico		92	0	1.941	1	59.216	17	64.207	19
Otros		111	0	46	0	45	0	45	0
Reserva Forestal Bajo Paraguá	1.360.604								
Bosque		1.250.491	92	1.275.602	94	1.096.081	81	1.087.612	80
No bosque		95.692	7	63.862	5	61.550	5	59.984	4
Antrópico		2.093	0	3.536	0	185.189	14	195.260	14
Otros		12.520	1	17.797	1	17.784	1	17.748	1

*Continúa en la siguiente página*

Patrimonio Natural– Refugio de Vida Silvestre Departamental Ríos Blanco y Negro	1.421.965								
Bosque		1.378.469	97	1.322.284	93	1.265.505	89	1.222.104	86
No bosque		35.611	3	89.837	6	87.975	6	88.526	6
Antrópico		102	0	2.666	0	61.103	4	103.953	7
Otros		7.992	1	7.387	1	7.383	1	7.383	1
Reserva Municipal de San Ignacio	76.673								
Bosque		74.298	97	75.700	99	74.437	97	73.981	96
No bosque		2.383	3	980	1	974	1	974	1
Antrópico		12	0	0	0	1.262	2	1.718	2
Otros		0	0	13	0	1	0	1	0

Fuente: Elaboración propia.

## Discusión

El modelo se aplicó a una escala regional para inferir cuál podría ser el impacto de la carretera en el futuro, suponiendo que no se tomen medidas para reducir la deforestación. Los resultados muestran que la implementación de este proyecto de infraestructura incrementará potencialmente la deforestación en un 34-43% en el área de estudio (10 km de rango), especialmente si no se realizan acciones apropiadas de ordenamiento territorial y control de los asentamientos y uso del suelo. De hecho, las áreas directamente cercanas a la carretera (0-5 km) están actualmente indicadas por el modelo como áreas de alto riesgo de deforestación.

De acuerdo al PDES, la construcción de la carretera podría justificarse porque permitiría la integración de regiones productivas, facilitaría el acceso al mercado para los productores rurales, daría oportunidades de trabajo y llevaría servicios a las comunidades aisladas. Sin embargo, las áreas potencialmente productivas para actividades agropecuarias constituyen en la actualidad Tierras de Producción Forestal Permanente, por lo que podrían sobrevenir o incrementarse diferentes conflictos socioambientales directos e indirectos. Es conocido que

las carreteras (principalmente las pavimentadas) fragmentan los paisajes y desencadenan la colonización humana y la degradación de los ecosistemas, generan pérdida de la biodiversidad y alteración en las funciones ecosistémicas (Ibisch *et al.*, 2016). Las carreteras aumentan además los riesgos de incendios (Cochrane, 2003), y conducen a un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos (Creutzig, 2016).

Existe evidencia que demuestra que la pérdida boscosa tiende a propagarse de manera más rápida alrededor de caminos recién construidos o pavimentados, debido a la implementación de redes de caminos secundarios. En la Amazonia de Brasil, por cada kilómetro de camino secundario legal se desarrollan casi tres kilómetros ilegales (Barber *et al.*, 2014), y se estima que el 95% de toda la deforestación ocurre dentro de los 5.5 km próximos a un camino consolidado (pavimentado o no pavimentado; Laurance *et al.*, 2002). Los caminos secundarios se crean en varios tipos de estructura paisajística, que van desde el típico patrón de espina de pez (*fishbone*), en el que las pequeñas propiedades o asentamientos se distribuyen regularmente a lo largo de las carreteras, hasta aquellas dominadas por remanentes considerables en ranchos ganaderos extensivos (Oliveira-Filho y Metzger, 2006). Un típico ejemplo de la dinámica de patrón de espina pez se observa actualmente en el camino existente en el trazado de la carretera # 1, en la región sur del Área Protegida Copaibo, donde se asientan comunidades interculturales (Vides-Almonacid *et al.*, 2015). Los caminos secundarios de tercer orden en la Chiquitania muestran una tendencia a irradiarse a partir de las vías principales y de los centros poblados más densos como vías de acceso a propiedades privadas, comunidades alejadas y caminos internos de concesiones forestales (Vides-Almonacid *et al.*, 2007). En el reporte anual de la FAO (2018) se menciona que, en los últimos diez años, pequeños agricultores sin títulos de propiedad se trasladaron a las tierras bajas del país en busca de áreas con mejor calidad de suelos (zonas planas, con drenaje adecuado y alta fertilidad), y el gobierno nacional les otorgó amnistías por deforestación ilegal con la condición de que apliquen programas integrados de restauración de bosques mediante sistemas

agroforestales, o en todo caso, la producción de alimentos. Este fenómeno solo ha provocado el aceleramiento de la deforestación y el incremento de estos caminos secundarios, así como la degradación de suelos que no son aptos para las actividades agrícolas intensivas, sino principalmente suelos para la producción forestal permanente.

Bolivia se encuentra entre los principales países donde se incrementó considerablemente la deforestación a una escala global en las últimas décadas, especialmente en sus bosques secos tropicales (Hansen *et al.*, 2013). Esta tendencia de cambio de la cobertura incluye además algunos espacios protegidos de carácter nacional (Vargas *et al.*, 2012; Fernández-Llamazares *et al.*, 2017), pese a que el país suscribió el Convenio sobre la Diversidad Biológica, y donde se comprometió a conservar al menos el 17% de su superficie terrestre para 2020 a través de una red de áreas protegidas. Asimismo, uno de los pilares estratégicos para el Vivir Bien en armonía con la Madre Tierra del Estado Plurinacional de Bolivia, lo constituye el Mecanismo Conjunto de Mitigación y Adaptación al cambio climático a través del manejo integral y sustentable del bosque (Pacheco B., 2014). La construcción de carreteras pavimentadas que atraviesen espacios legalmente protegidos y a la vez en tierras de producción forestal permanente —que son fundamentales para la implementación del mecanismo de mitigación y adaptación señalado— deberían considerarse en las decisiones políticas y las acciones de planificación y prevención de daños y de conflictos socioambientales. Un ejemplo claro del consecuente impacto de la deforestación por el crecimiento de caminos, lo constituye la Reserva Forestal *El Choré* en el departamento de Santa Cruz, donde se aceleró en los últimos años el uso agropecuario del suelo, así como los asentamientos ilegales y se estima que para el año 2034 se perderá el 32% de su área boscosa (Vides-Almonacid *et al.*, 2015).

En la región de la Chiquitania y en sus ecosistemas vinculados, la tendencia de cambios en las áreas protegidas es acelerada. Vides-Almonacid *et al.* (2015), identificaron para el periodo 1986-2013 que la pérdida de la cobertura de vegetación en la *Reserva Forestal Bajo Paraguá* fue del 0,32%, en tanto que para el *Área Municipal del Patrimonio Natural y Cultural de Copaibo* fue del 0,53%. En este

sentido, el escenario es preocupante ya que esta carretera atravesaría completamente una reserva forestal (Paraguá), discurriría por un área muy cercana a una reserva municipal (Copaibo), y por el área de influencia de un parque nacional de gran valor como patrimonio natural en el país y el mundo (Noel Kempff) y de otras áreas protegidas departamentales (Ríos Blanco y Negro) y municipales (San Ignacio, Laguna Marfil). Las áreas que presentan la mayor probabilidad de cambio son Laguna Marfil (56-63%), Copaibo (17-19%), Paraguá (14%). Estas áreas presentan un alto valor para la conservación por los servicios ambientales que proporcionan y sus niveles altos de riqueza de biodiversidad y endemismos (Vides-Almonacid *et al.*, 2007). Además, actúan como una barrera defensiva que protege a otros ecosistemas circundantes que no tienen el mismo nivel de supervisión, especialmente si se fortalecen las políticas de conservación dentro de las áreas. La presión sobre estas áreas puede aumentar y tener un impacto negativo si la construcción de la carretera no es respaldada por medidas y políticas de conservación y ordenamiento territorial.

## **Conclusiones**

Con la creciente preocupación por las implicaciones de la deforestación tanto en el cambio climático como en el funcionamiento de los ecosistemas, la modelización del cambio de uso de tierras se está utilizando ampliamente para generar escenarios de deforestación y evaluar y/o prever potenciales conflictos socioambientales. La planificación del territorio resulta compleja, y para ello es necesario determinar modelos prospectivos que brinden información lo más cercana posible a la realidad para la gestión y desarrollo del territorio. Este estudio analizó la deforestación pasada, actual y futura potencial, presentando resultados que pueden ser fácilmente interpretados por tomadores de decisiones y autoridades. Se identificaron claramente a los proyectos de infraestructura vial como los facilitadores de la deforestación en las áreas protegidas, éstos podrían generar fuertes impactos directos e indirectos sobre los ecosistemas naturales. Debido a la existencia de las dos vías de acceso no pavimentadas, y dadas las condiciones geográficas del área de estudio, el riesgo de deforestación sigue siendo alto sin importar que la vía esté o no pavimentada. El

análisis reafirma la importancia de realizar evaluaciones de impacto ambiental que deben acompañar cualquier proyecto de infraestructura vial, pero también de la necesidad de políticas nacionales y locales para frenar la deforestación y promover estrategias de conservación para ecosistemas críticos y áreas prioritarias para la biodiversidad. También es importante la consulta informada a los diferentes actores y sectores sociales involucrados para lograr minimizar o evitar impactos negativos y potenciales conflictos socioambientales.

## Referencias

- ABT. (2016). *Deforestación en Bolivia 2012-2015*. Santa Cruz: Unidad de Monitoreo de Información Geoespacial, Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra.
- Asner, G., Knapp, D., Balaji, A., y Paez-Acosta, G. (2009). Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 3, Issue 1, 033543-033543-24.
- Barber, C., Cochrane, M., Souza, C. J., y Laurance, W. (2014). Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation*, 177, 203–209.
- Casella, J., y Paranhos Filho, A. (2013). The influence of highway BR262 on the loss of cerrado vegetation cover in Southeastern Brazil. *Oecología Australis*, 17(1), 77-85.
- Cochrane, M. (2003). Fire science for rainforests. *Nature*, 421, 913–919.
- Creutzig, F. (2016). Evolving narratives of low-carbon futures in transportation. *Transport. Reviews*, 36(3), 341–60.
- Eastman, R. (2015). *TerrSet Manual*. Worcester: Clark University.
- Estado Plurinacional de Bolivia. (2016). *Plan de desarrollo económico y social en el marco del desarrollo integral para vivir bien 2016 – 2020*. La Paz: Ministerio de Planificación del Desarrollo.

- FAO. (2018). *El estado de los bosques del mundo—Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Roma.
- Fernández-Llamazares, Á., Helle, J., Eklund, J., Balmford, A., Moraes, M., Reyes-García, V., y Cabeza, M. (2017). New law puts Bolivian biodiversity hotspot on road to deforestation. *Current Biology*, 28(1), 15-16.
- Tejada, G. et al. (2015). Deforestation scenarios for the Bolivian lowlands. *Environmental Research*, 144, 49-63.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., . . . Townshend, J. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *International Journal of Advances in Engineering y Technology*, 7(4); *Science* 342: 850–853, 1161-1169.
- Ibisch, P., y Mérida, G. (2003). *Biodiversidad: la riqueza de Bolivia: estado de conocimiento y conservación*. Santa Cruz: Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN-Bolivia).
- Ibisch, P., Hoffmann, M., Kreft, S., Pe'er, G., Kati, V., Biber-Freudenberger, L., . . . Selva, N. (2016). A global map of roadless areas and their conservation status. *Science*, 354, 1423-1427.
- INE. (2012). Censo de Población y Vivienda 2012. Obtenido de <http://censosbolivia.ine.gob.bo/webine/>
- Jiang, Z. (2007). The road extension model in the land change modeler for ecological sustainability of IDRISI. *15th ACM International Symposium on Geographic Information Systems, ACM-GIS 2007, November 7-9, 2007*. Seattle, Washington, USA.
- Laurance, W., Albernaz, A., Schroth, G., Fearnside, P., Bergen, S., Venticinque, E., y Da Costa, C. (2002). Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. *Journal of Biogeography*, 29, 737–748.



- Maillard, O. (2018). Proyección estimada de emisiones de CO<sub>2</sub> a causa de la deforestación en el Municipio de San Carlos, Bolivia. *Kempffiana*, 14 (1), 1-12.
- Meijer, J., Huijbregts, M., Schotten, K., y Schipper, A. (2018). Global patterns of current and future road infrastructure. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064006.
- Müller, R., Larrea-Alcázar, D., Cuéllar, S., S., y Espinoza, S. (2014). Causas directas de la deforestación reciente (2000-2010) y modelado de dos escenarios futuros en las tierras bajas de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 49 (1), 20-34.
- Navarro, G. (2011). *Clasificación de la vegetación de Bolivia*. Santa Cruz: Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño.
- Oliveira-Filho, F., y Metzger, J. (2006). Thresholds in landscape structure for three common deforestation patterns in the Brazilian Amazon. *Landscape Ecology*, 21, 1, 1061–1073.
- Olofsson, P., Foody, G., Herold, M., Stehman, S., Woodcock, C., y Wuldere, M. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57.
- Pacheco B., D. (2014). *Una Mirada a la política de bosques en Bolivia. La descolonización de las políticas*. La Paz: Fundación de la Cordillera-Universidad de la Cordillera.
- Puyravaud, J. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 117, 593-596.
- Quiroga, D., Araujo, N., Espinoza, S., y Larrea-Alcázar, D. (2011). *Estudio de identificación de prioridades de conservación para el Sistema Departamental de Áreas Protegidas (Proy. Fortalecimiento, gestión, control, monitoreo de áreas protegidas, Dpto. Santa Cruz). Informe Final de Consultoría*. Santa Cruz de la Sierra: Gobierno Departamental Autónomo Santa Cruz.

- Reymondín, L., Arévalos, F. F., Palacios, F., Caballero, J., Ortiz, E., Báez, M., . . . Yanosky, A. (2016). Indirect Impact Assessment of the road segment San Juan Nepomuceno-Ruta 6 in Paraguay. *Paraquaria*, 4(1), 20-32.
- Sangermano, F., Toledano, J., y Eastman, J. (2012). Land cover change in the Bolivian Amazon and its implications for REDD+ and endemic biodiversity. *Landscape Ecology*, 27, 571–584.
- Soares-Filho, B., Alencar, A., Nepstad, D., Cerqueira, G., Diaz, V., Rivero, S., y Solorzano, L. (2004). Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarem-Cuiaba corridor. *Global Change Biology*, 10, 745-764.
- Tejada, A. (2012). *Minería en las tierras de Bolivia*. Cochabamba: CEDIB.
- Vargas, M., Garzón, N., Osinaga, E., y Müller, R. (2012). *Compensación por servicios ambientales de carbono. Una alternativa para reducir la deforestación en el TIPNIS*. La Paz: Embajada Real de Dinamarca, Fundación Natura Bolivia, PIEB.
- Vides-Almonacid, R., y Justiniano, H. (2011). Ecological integrity and sustainable development in the Chiquitano Dry Forest, Bolivia. En M. Patry, R. Horn, y S. Haraguchi (Edits.), *Adapting to Change. The State of conservation on world heritage forests in 2011* (págs. 91-95). París: UNESCO-WHC.
- Vides-Almonacid, R., Pacheco, N., y Anívarro, D. (2015). *Problemática de las Reservas Forestales en el Departamento de Santa Cruz*. Santa Cruz de la Sierra: undación para la Conservación del Bosque Chiquitano; Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz.
- Vides-Almonacid, R., Reichle, S., y Padilla, F. (2007). *Planificación ecorregional del bosque seco chiquitano*. Santa Cruz: Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano.

## Anexos

### Anexo 1.

**Cuadro 4. Insumos cartográficos y espaciales utilizados en la construcción de las variables para el LCM**

Variable	Tipo	Fuente
DEM	Continúa	AsterGDEM 2 ( <a href="http://gdem.ersdac.jp/spacesystems.or.jp">http://gdem.ersdac.jp/spacesystems.or.jp</a> )
Pendiente	Continúa	Elaboración propia en base al AsterGDEM 2.
Áreas protegidas nacionales	Categoría (binaria)	Servicio Nacional de Áreas Protegidas, 2015.
Áreas protegidas departamentales y municipales	Categoría (binaria)	Dirección de Conservación del Patrimonio Natural, 2015.
Tenencia de la tierra (propiedad privada, tierra fiscal, TCO)	Categoría	Instituto Nacional de Reforma Agraria, 2014.
Concesión forestal	Categoría	Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra, 2015.
Plan de manejo forestal (PGMF)	Categoría	Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra, 2015.
Área de asentamiento no legales	Categoría	Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra, 2015.
Concesiones mineras	Categoría	Servicio geológico y técnico de minas, 2010.
Red caminera 1986	Categoría (binaria)	Elaboración propia.
Red caminera 2016	Categoría (binaria)	Elaboración propia.
Centros poblados	Categoría (binaria)	Instituto Nacional de Estadística, 2015.
Ríos secundarios	Categoría (binaria)	Instituto Geográfico Militar, 2016.
Cobertura 1986	Categoría	Elaboración propia en base a clasificación de imágenes satelitales Landsat 5.
Cobertura 2016	Categoría	Elaboración propia en base a clasificación de imágenes satelitales Landsat 8.

## Anexo 2.

**Cuadro 5. Valores de restricción de la variable de permiso y tenencia de la tierra**

Permiso o tenencia	Valor de restricción	Observaciones
Plan de desmonte	1	Son áreas que tienen permiso de desmonte, y la deforestación es un hecho.
Concesiones mineras	0.8	Si se hace extracción, una concesión minera siempre tiene impactos.
Tierra fiscal o en proceso	0.8	Estas áreas son susceptibles de ser colonizadas sin ningún tipo de planificación ni respeto a las leyes vigentes, como la 1715 y 1700.
Tierra fiscal o en proceso	0.8	Estas áreas son susceptibles de ser colonizadas sin ningún tipo de planificación ni respeto a las leyes vigentes, como la 1715 y 1700.
Área de asentamiento no legales	0.5	Existen algunos asentamientos que aún no tienen título, el asentamiento siempre es para hacer algún tipo de actividad económica.
Concesión forestal	0.4	Las concesiones sufren presión de colonizadores.
Plan de manejo forestal (PGMF)	0.4	Los PGM sufren presión de colonizadores.
Propiedad privada	0.4	Tiene la capacidad económica para el cambio de uso, pero debe respetar las reglas de las leyes 1715 y 1700.
Tierras Comunitarias de Origen (TCO)	0.3	La capacidad de cambio de uso es mínima, pero nuevas carreteras someten a las TCO a presión de colonizadores.
Parque Nacional	0.1	Los parques son respetados y no existe infraestructura caminera.
Cuerpos de agua	0	No existen cambios en las lagunas y ríos.