

# PROYECCIÓN ESTIMADA DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>e A CAUSA DE LA DEFORESTACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SAN CARLOS, BOLIVIA

## ESTIMATED PROJECTION OF CO<sub>2</sub>e EMISSIONS CAUSED BY DEFORESTATION IN THE MUNICIPALITY OF SAN CARLOS, BOLIVIA

Oswaldo Maillard Z.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fundación Natura Bolivia, Calle Río Totaitú 15, entre Radial Castilla y Calle 1, Barrio Las Palmas, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Email: hylopezus@gmail.com

<sup>2</sup>Dirección actual: Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano, Barrio Las Palmas, Calle 6, Número 95, Avenida Ibérica, Santa Cruz de la Sierra-Bolivia, Tel. (591-3) 3552242.

**Resumen.** Se presenta un análisis de las tendencias de la deforestación en el municipio de San Carlos para los años 1999, 2006 y 2013; con especial atención en las áreas de Curichi y 25 de Septiembre, donde se implementó un proyecto de conservación de bosques con las comunidades locales. Se realizó además una modelación de la deforestación a futuro hasta el año 2023, usando el módulo Land Change Modeler del programa Idrisi Selva y un cálculo de la reducción estimada de emisiones de CO<sub>2</sub>e a través del módulo REDD Project. Los resultados muestran que hasta el año 2013 existían en el municipio de San Carlos 44424 ha de bosque y 4264 ha en el área del proyecto, con una tasa anual de deforestación de -0.02 para un periodo de análisis de 12 años. Las proyecciones a futuro indicarían que si no se realizan acciones de conservación hasta el año 2023 podrían desaparecer en el área del proyecto una superficie de 771 ha y en el municipio un total de 11268 ha de bosques, lo que representa una emisión de 450416 tCO<sub>2</sub>e y 6585396 tCO<sub>2</sub>e respectivamente.

**Palabras claves:** Bolivia, modelación deforestación, proyección de emisiones de CO<sub>2</sub>e, San Carlos.

**Abstract.** A deforestation trend analysis of the San Carlos municipality for the years 1999, 2006 and 2013 was presented; with emphasis on the Curichi and 25 de Septiembre areas, where a forest conservation project was implemented with local communities. At the same time, a deforestation modeling for the years 2013 to 2023 was developed, using the Land Change Modeler from the Idrisi Selva program. Also, a calculation of the estimated reduction of CO<sub>2</sub> emission was developed through the REDD Project module. The results show that until 2013, there were 44424 hectares of forest in the San Carlos municipality, and 4264 hectares of forest in the project area; with an annual deforestation rate of -0.02 for a 12 years period of analysis. Future projections indicate that if no conservation action is applied, by 2023 we could loose 771 hectares of forest in the project area and 11269 hectares in the San Carlos municipality, which represents 450416 tCO<sub>2</sub>e and 6585396 tCO<sub>2</sub>e emissions respectively.

**Key words:** Bolivia, CO<sub>2</sub>e emissions, deforestation modeling, San Carlos.

## INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica la deforestación neta alcanzó entre los años 1990 y 2010 una superficie de 88 millones de hectáreas, y de seguir este ritmo de pérdida de cobertura se estima que toda el área boscosa podría desaparecer completamente en unos 220 años más (FAO, 2012). Estos cambios

en la cobertura boscosa alteran los suministros de importantes servicios de los ecosistemas, tales como la riqueza de la biodiversidad, la regulación del clima, el almacenamiento de carbono y el suministro del agua (Hansen *et al.*, 2013). De todos estos, el almacenamiento de carbono parece ser uno de los más sobresalientes, ya que entre el 10 y 15% de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provienen de la deforestación y degradación de los bosques tropicales (IPCC, 2007; van der Werf *et al.*, 2009). Esta comprensión viene de las intensas investigaciones realizadas en varias décadas que explican los patrones de variación en el CO<sub>2</sub> atmosférico a través del tiempo y el espacio (Schimel, 2014). La implementación de programas para reducir las emisiones de carbono derivadas de la deforestación y la degradación puede ayudar a mitigar el cambio climático y aportar numerosos beneficios a la conservación del medio ambiente.

En Bolivia se estima que hasta el 2010 la superficie boscosa era de aproximadamente 52.5 millones de hectáreas, siendo el periodo comprendido entre los años 1990 y 2010, donde se habrían perdido 5.1 millones de hectáreas de bosque, identificándose a Santa Cruz como el departamento con la mayor área deforestada, con más de 4 millones de hectáreas (Servicio Nacional de Áreas Protegidas, 2013). Investigaciones recientes realizadas por Hansen *et al.* (2013) a una escala global, sostienen que, Bolivia se encuentra entre los principales países donde se incrementó considerablemente la deforestación hasta el año 2012. Sólo en las tierras bajas y la región yungueña, la pérdida potencial de carbono causada por la deforestación entre 2010 y 2013 fue de aproximadamente 62 millones tC (Cuéllar & Larrea-Alcázar, 2016). En Bolivia, la deforestación es un importante contribuyente a la pérdida de biodiversidad y la mayor fuente de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Se estima que el 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (32.987 Gg) provienen de la conversión de bosques a pastizales (Bojanic, 2001). Por otro lado, Harris *et al.* (2012) indican que, producto de la deforestación en el país, entre 2000 y 2005, se habrían producido 11 TgC año<sup>-1</sup>, siendo estas áreas la región Centro-Oeste del departamento de Santa Cruz, Norte de la Amazonía, la región yungueña de La Paz y el Chapare de Cochabamba (Steininger *et al.* 2001; Killeen *et al.*, 2007; Müller *et al.*, 2011; Müller *et al.*, 2012; Cuellar *et al.*, 2012; Müller *et al.*, 2014).

En el departamento Santa Cruz, desde la década de los 50's, los procesos de colonización, construcción de infraestructura caminera y los incentivos económicos originaron una enorme presión hacia las áreas boscosas, especialmente en el área de las rutas troncales (Villegas & Martínez, 2009). Como resultado, las tendencias de la tasa de deforestación fueron en constante aumento, especialmente en el municipio de San Carlos.

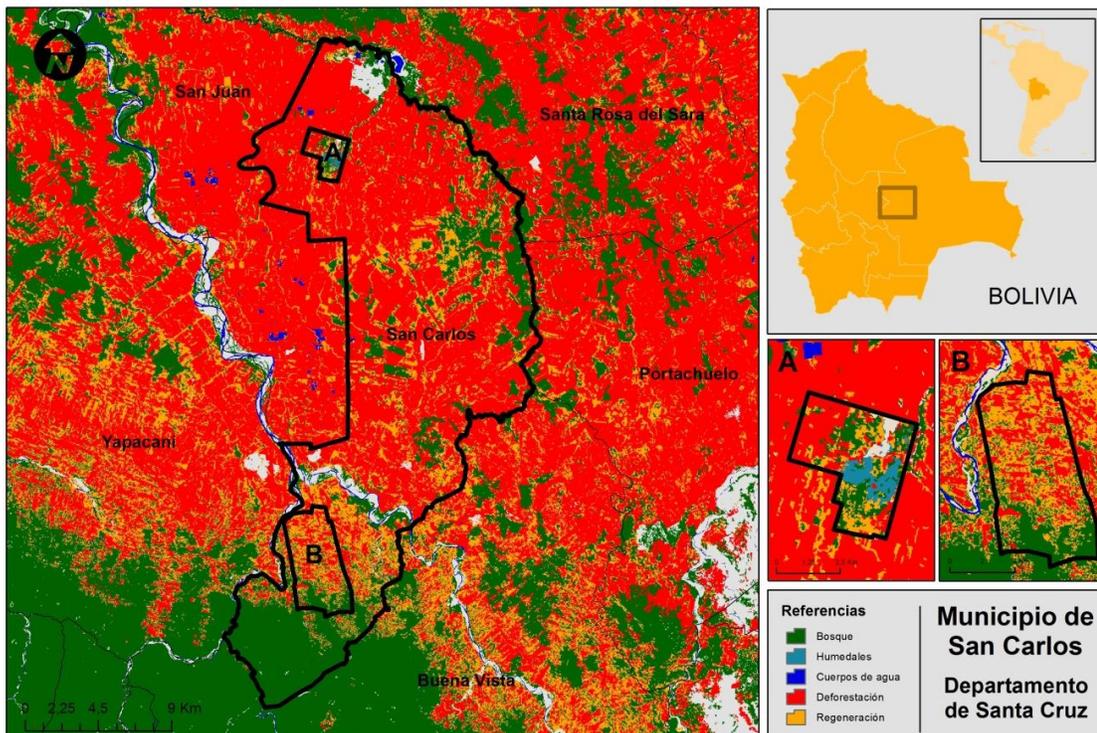
Es importante seguir realizando un monitoreo de la deforestación y degradación de los bosques en el país, y en este sentido, los sensores remotos siguen siendo un medio muy práctico para detectar estos cambios. El costo de datos satelitales está disminuyendo y las principales fuentes de datos son gratuitas (Asner, 2009). Asimismo, si bien la tecnología satelital nos puede ayudar a realizar estimaciones de almacenamiento (stock) y emisiones de carbono a una escala regional y nacional, sólo después de evaluar en campo las densidades iniciales de carbono se puede tener una mayor precisión de dichas estimaciones, por lo que, la combinación de información de la tasa de cambio en la cobertura boscosa, las alteraciones boscosas y la cantidad de carbono almacenada en el bosque (Asner, 2009), se convierten en una fuente de datos fiable y eficiente. Durante los últimos años se han incrementado las modelaciones para predecir a futuro el cambio del uso de la tierra, así como también las estimaciones emisiones de CO<sub>2</sub> producto de la deforestación (Fuller *et al.*, 2011; Gutierrez-Velez & Pontius, 2012; Sangermano *et al.*, 2012).

En este trabajo, presentamos los resultados de una proyección futura donde determinamos los cambios en la cobertura boscosa, y cuánto representaría la reducción estimada de emisiones de CO<sub>2</sub>e resultante al implementar un proyecto de almacenamiento de carbono en un bosque amazónico en el Oeste del departamento de Santa Cruz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio comprende el municipio de San Carlos, una de las 56 entidades en las que se divide política y administrativamente el departamento de Santa Cruz. San Carlos cuenta con aproximadamente 20 mil habitantes (INE, 2013). Este municipio, que se constituye en la segunda sección de la provincia Ichilo, tiene una extensión de 1212 km<sup>2</sup>, y se encuentra ubicado entre la latitud 16°59' - 17°38'S y la longitud 63°35' - 63°54'W, limitando al Norte con el municipio de Santa Rosa del Sara, al Oeste con los municipios de San Juan y Yapacaní, al Sur con el municipio de Buena Vista y al Este con el municipio de Portachuelo (Figura 1). Al Sur del municipio se encuentra una de las áreas protegidas con mayor biodiversidad en el planeta, el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Amboró. El clima en esta región es categorizado como húmedo subtropical, con una temperatura media anual de 24°C. Fisiográficamente, presenta una llanura plana a ondulada con presencia de serranías bajas en el Sur, en el área del Parque Nacional Amboró, que no sobrepasan los 850 m de altitud.



**Figura 1.** Ubicación del municipio de San Carlos y las áreas de El Curichi (A) y la comunidad 25 de Septiembre (B). La cobertura del área boscosa, deforestación y regeneración para el año 2010 según el Servicio Nacional de Áreas Protegidas (2013).

Dentro del municipio de San Carlos se definieron dos áreas donde se pretende realizar los esfuerzos para reducir la deforestación, la comunidad 25 de Septiembre (17°26'39.90"S,

63°49'55.73"O) y un humedal conocido como El Curichi (17°7'12.74"S, 63°48'33.25"O). La comunidad 25 de Septiembre se ubica en el Norte del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Amboró, y cuenta con una extensión aproximada de 59 km<sup>2</sup>. El Curichi presenta un fragmento de bosque y pastizales ubicado al Norte del municipio, contando con una extensión aproximada de 17 km<sup>2</sup>.

### Análisis de datos

Con la finalidad de poder obtener un mapa de la cobertura boscosa, se utilizaron imágenes satelitales Landsat TM 5 (1999 y 2006) y Landsat LDCM 8 (2013), las cuales se caracterizan por presentar una resolución espacial moderada de 30 m. Estas imágenes satelitales de la escena 231-072 fueron descargadas desde el portal de internet del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos, <https://earthexplorer.usgs.gov>), con una cobertura nubosa menor al 10%. Las escenas fueron procesadas y clasificadas con ayuda del CLASlite 3.1 (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 desarrollado por el Departamento de Ecología Global de la Institución Carnegie para la Ciencia (Asner *et al.*, 2009). A través del algoritmo AutoMCU (Segregación Espectral Automatizada Monte Carlo), CLASlite ofrece la particularidad de realizar un análisis de las coberturas fraccionales de la vegetación viva del dosel o vegetación fotosintética (PV), vegetación muerta o vegetación no fotosintética (NPV), y superficie expuesta o sustrato expuesto (S). Estas coberturas fraccionales son los determinantes principales de la composición, estructura, biomasa, fisiología y procesos biogeoquímicos del bosque. De acuerdo a Asner *et al.* (2009) la cobertura fraccional de la vegetación fotosintética  $\geq 80\%$  es identificada como bosque.

Una vez obtenido el mapa de cobertura fraccional se definió el área del proyecto, el área de fuga (leakage area) y el área de referencia. El área de proyecto está constituida por la zona de la actividad donde se van a realizar los esfuerzos para reducir la deforestación, en este caso 25 de Septiembre y El Curichi. El área de fuga que está representada por la región donde los actores locales podrían realizar sus actividades, en ese sentido se definió los límites del municipio de San Carlos. El área de referencia fue definida en base a un *buffer* de 5 km alrededor de los de los límites externos del municipio, obteniéndose de esta manera un límite rectangular con la que se realizaron los recortes de las escenas clasificadas. Posteriormente, con el software Idrisi Selva 17.2 (Eastman, 2012) se realizó una reclasificación de píxeles mediante digitalización manual en pantalla, y finalmente se generaron dos clases (bosque y no bosque). Se emplearon 100 puntos de verificación para evaluar el nivel de incertidumbre de la clasificación resultante del CLASlite, la cantidad de muestras fue determinada en relación a lo propuesto por Congalton & Green (2009). La distribución de las muestras para la evaluación fue realizada de forma aleatoria por estrato a través del módulo Sample del software Idrisi. Adicionalmente se realizaron prospecciones de campo para validar la clasificación con ayuda de un GPS y se obtuvieron registros fotográficos. Con los resultados obtenidos de la validación, se creó una matriz de confusión para posteriormente medir la diferencia entre el mapa real observado y las muestras distribuidas simplemente al azar con el coeficiente Kappa (Congalton & Green, 2009). La tasa anual del cambio de cobertura boscosa fue determinada a través el método estandarizado propuesto por Puyravaud (2003).

Se realizó una proyección a futuro de cambio de la cobertura boscosa al año 2023 a través del módulo Land Change Modeler (LCM), una herramienta desarrollada por el Clark Labs junto a Conservación Internacional incluido en el software Idrisi Selva (Eastman, 2012). El LCM permite

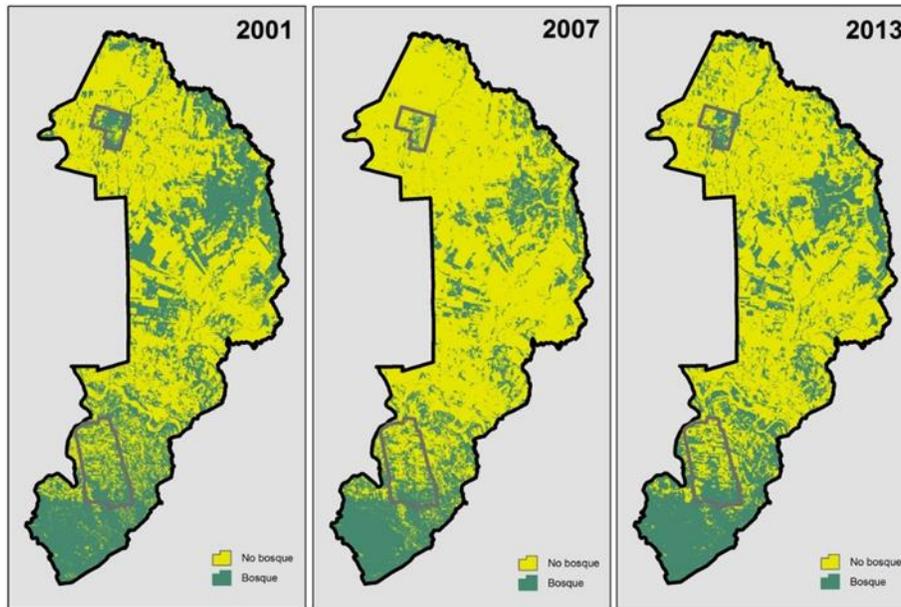
generar un modelo de uso de la tierra del espacio mediante la cadena de Markov, para crear una predicción de dónde ocurrirá la deforestación sobre la base de la relación entre la deforestación pasada y ciertas variables que representan los conductores significativos. Las variables usadas fueron la distancia al borde de bosque para el año 2001, la distancia a los ríos secundarios, distancia a las vías camineras, distancias a los centros poblados menores y medianos (Instituto Nacional de Estadística), elevación (Aster GDEM, <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp>), pendiente y parques nacionales (Servicio Nacional de Áreas Protegidas). Esto permitió obtener una estimación de las áreas de transición potencial de bosque a no bosque y un mapa de probable cambio en el paisaje entre los años 2013 y 2023. Se utilizó el índice ROC para determinar el nivel de certidumbre en la modelación, entre la imagen de probabilidad de cambio a futuro y la imagen de referencia de la cobertura boscosa actual.

Posteriormente, se determinó la reducción estimada en la emisión CO<sub>2</sub>e resultante de la implementación de un proyecto de almacenamiento de Carbono en el municipio de San Carlos, utilizando la función REDD Project del módulo LCM. Esta herramienta está basada en la metodología propuesta por la organización BioCarbon Fund (BioCF RED Mosaic Methodology) del Banco Mundial, la cual ha sido desarrollada para estimar las reducciones de las emisiones de GEI desde un mosaico de deforestación (BioCarbon Fund, 2008; BioCarbon Fund, 2011). Además, esta metodología fue diseñada para ser compatible con el Estándar Verificado de Carbono (VCS). Los datos de la densidad de tC ha<sup>-1</sup> introducidos al LCM fueron estimados en base a la información obtenida en un muestreo de campo en el área del proyecto (10 parcelas de muestreo) llevado a cabo por la Fundación Natura Bolivia en el año 2013 (Carreño-Rocabado, 2014). Al combinar esta información con la proyección de la deforestación, se construyó el escenario base para predecir la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> probable que se produzca en ausencia del proyecto hasta el año 2023.

## **RESULTADOS**

### **Deforestación**

Los resultados obtenidos de la clasificación de imágenes satelitales indican que, en el año 2001, la superficie boscosa en el municipio de San Carlos era de 52341 ha, la cual se redujo a 35121 ha hasta el año 2007, para después haberse incrementado a 44424 ha en el 2013 (Figura 2). Para el año 2013, la superficie boscosa concentrada en el área donde se está implementando el proyecto era de 4264 ha, de las cuales 904 ha se distribuyen en El Curichi y 3360 ha en la comunidad 25 de Septiembre. La tasa anual del cambio de la cobertura boscosa en el municipio de San Carlos es del -0.02 para el periodo de análisis (12 años, 2001–2013), lo cual representa un promedio anual de deforestación de 660 ha. Los puntos de verificación permitieron obtener una matriz de confusión en la que se puede observar que la confiabilidad del usuario en comparación con el del productor no tiene diferencia, lo que significa que está muy cerca a la realidad. Así también, mediante el coeficiente Kappa se obtuvo un valor de 0.91 %, lo cual indicaría que la clasificación de la imagen para el año 2013 es aceptable.

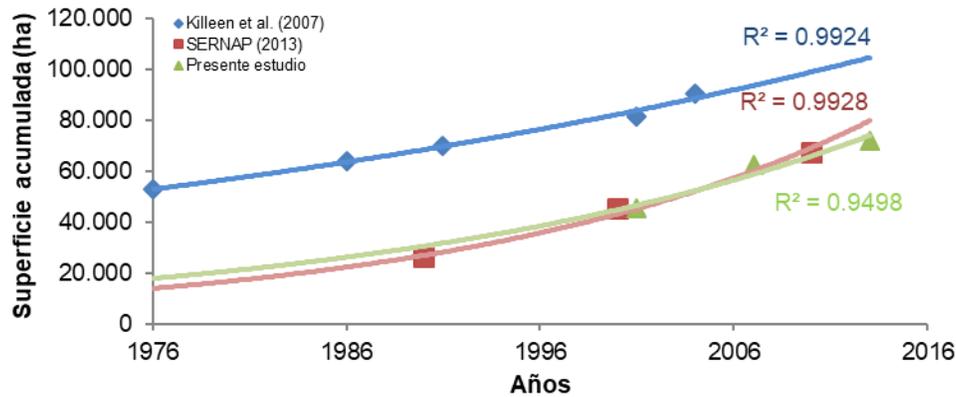


**Figura 2.** Cambio de la cobertura boscosa en el municipio de San Carlos y el área del proyecto ocurridos en los años 2001, 2007 y 2013.

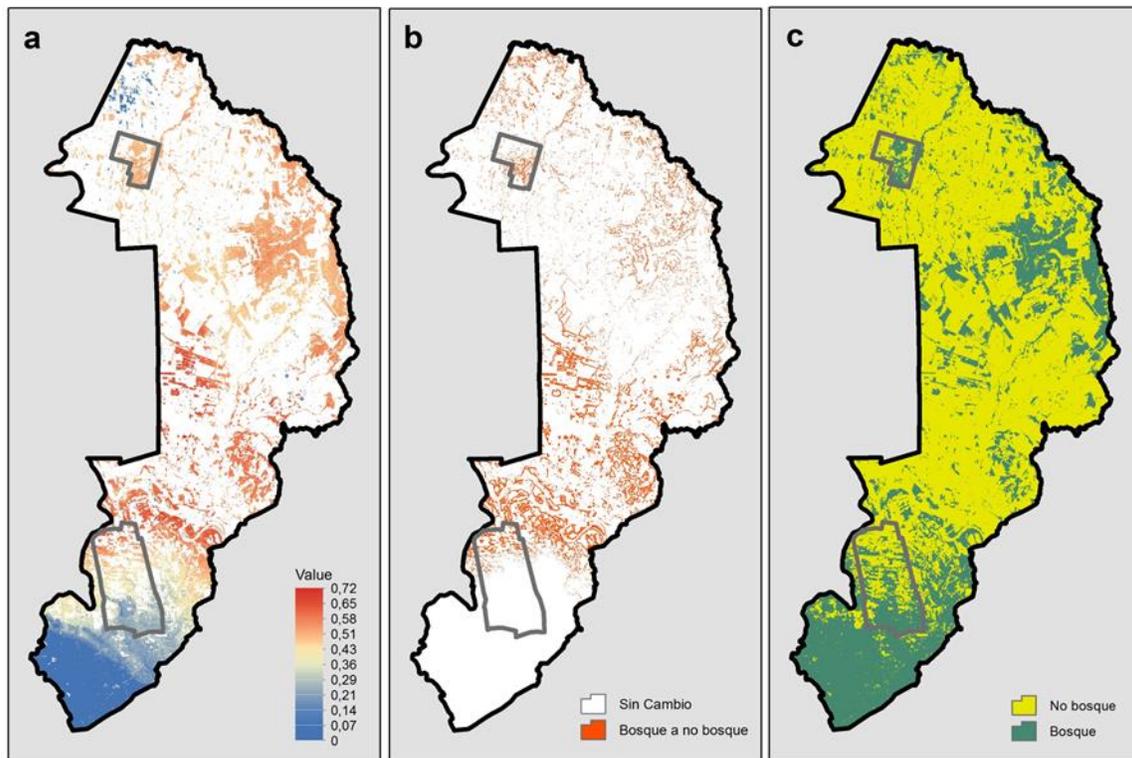
Las áreas de cobertura forestal continua en San Carlos fue identificada en la zona del PN y ANMI Amboró, donde, dentro del área de protección estricta (no existen caminos y asentamientos urbanos) el bosque se extiende sobre una superficie de 4403 ha, y en el ANMI (presencia de asentamientos de comunidades), la cobertura ocupa 15905 ha de su superficie, estando mejor conservado en su porción Suroeste, ya que, en su porción Central los bosques están fragmentados y severamente impactado en el resto de esta área protegida. Así también, en las afueras del ANMI, principalmente en el área cercana a las comunidades de Buen Retiro, El Pilar y a lo largo del río Palacios se identificaron algunos remanentes de bosques distribuidos en forma de parches, los cuales actúan como corredores.

Los resultados de deforestación obtenidos en este estudio coinciden con los previamente generados para Bolivia, donde se puede observar que, las tendencias de pérdida de cobertura boscosa son positivas a partir de los periodos de >1976–2004, 1990–2010 y 2001–2013 (Figura 3) (Killeen *et al.*, 2007; Servicio Nacional de Áreas Protegidas, 2013). Sin embargo, existen diferencias notables en cuanto a los valores obtenidos para las series de tiempo analizadas cuando comparamos dichos autores (Figura 3). Las cifras alcanzadas en el presente estudio se asemejan a lo reportado por el Servicio Nacional de Áreas Protegidas (2013), discrepando en un orden de magnitud de casi dos veces en relación al estudio de Killeen *et al.* (2007).

La extrapolación realizada a futuro indica que, hasta el año 2023, las regiones donde existiría una mayor probabilidad de cambio en el municipio de San Carlos estarían situadas en zonas aledañas a la carretera principal Santa Cruz–Cochabamba, en tanto que, las regiones de menor probabilidad se ubicarían dentro de las áreas protegidas y algunas zonas aisladas en el norte (Figura 4a). Por lo que, se estima que, la superficie boscosa en el municipio de San Carlos podría reducirse a 38404 ha, lo cual, en relación al año 2013, esta superficie representaría una pérdida del 13% de la cobertura forestal (Figura 4b & 4c).



**Figura 3.** Tendencias de la deforestación acumulada en el municipio de San Carlos. a) >1976–2004: Killeen *et al.* (2007), b) 1990–2010: Servicio Nacional de Áreas Protegidas (2013). c) 2001–2013: Presente estudio.



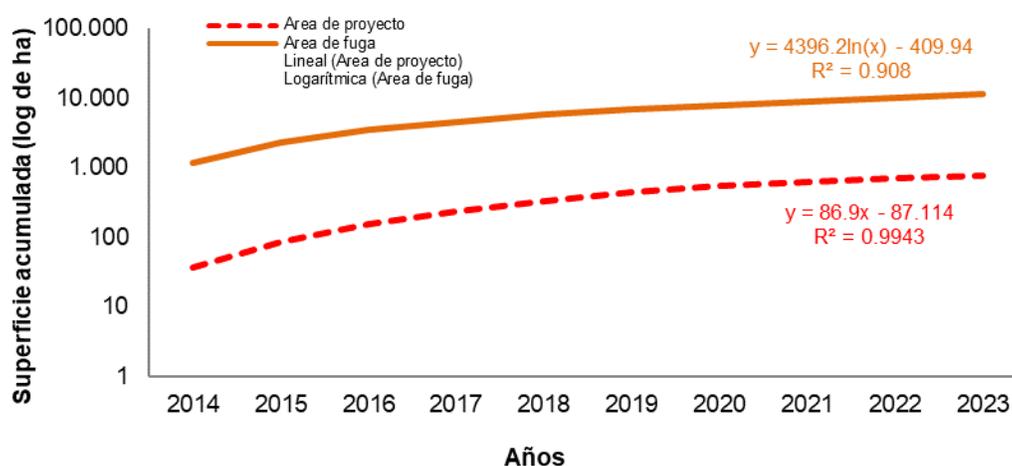
**Figura 4.** Predicción de cambio la cobertura boscosa en el municipio de San Carlos y el área del proyecto al año 2023. a) Transición potencial de cambio de la cobertura boscosa. b) Escenario potencial de cambio de bosque a no bosque. c) Proyección de la presencia de bosques en el 2023.

Por otro lado, la proyección futura de deforestación estima que, los bosques yungueños y transicionales amazónicos del PN Amboró se conservarían aparentemente intactos con sus 4403 ha, sumando a éstas otras 14789 ha de bosques amazónicos (1116 ha menos que en 2013) que estarían resguardados en la región del ANMI Amboró (Figura 4c). Sin embargo, de no realizarse acciones de conservación, bajo las actuales tendencias de deforestación en la región, el modelo muestra que, para el año 2023, en el área del proyecto (El Curichi y la comunidad 25 de Septiembre) se van a perder aproximadamente 770.7 ha de bosque (Cuadro 1). Las tendencias de la

deforestación proyectadas al año 2023 (Figura 5), tanto para el área del proyecto ( $R^2=0,99$ ) como el área de fuga ( $R^2=0,90$ ), indican que van a incrementarse significativamente cada año (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Resultados obtenidos con el Land Change Modeler, en la modelación de la deforestación y la emisión de CO<sub>2</sub>e proyectada al año 2023.

Año	Deforestación anual (ha)		Emisión de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> e)	
	Área proyecto	Área fuga	Área proyecto	Área fuga
2014	36	1.168	20.935	682.646
2015	51	1.153	29.667	673.914
2016	65	1.139	37.820	665.763
2017	81	1.123	47.130	656.451
2018	98	1.105	57.545	646.036
2019	107	1.097	62.279	641.303
2020	97	1.107	56.808	646.772
2021	86	1.118	50.128	653.453
2022	91	1.113	53.021	650.560
2023	60	1.144	35.084	668.497
<b>Total</b>	<b>771</b>	<b>11.268</b>	<b>450.416</b>	<b>6.585.396</b>



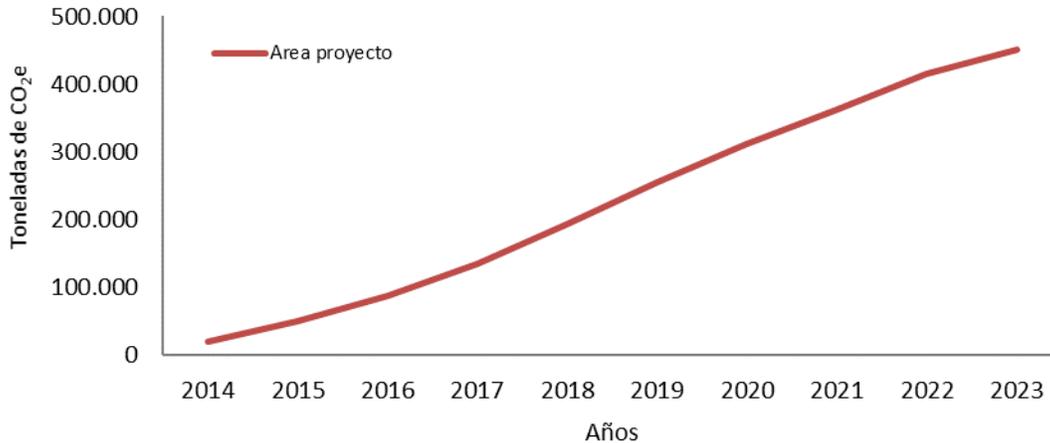
**Figura 5.** Proyección de la deforestación acumulada hasta el año 2023 en el área del proyecto (El Curichi y el 25 de Septiembre) y el área de fuga (resto del municipio de San Carlos).

### Estimaciones de emisiones de CO<sub>2</sub>e

El modelo obtenido con el LCM pudo estimar que, en el área del proyecto, el promedio de la densidad de carbono (asumiendo un 95% de intervalo de confianza) depositado en la biomasa aérea es de 287.81 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>, 4.58 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> en la madera y 11.19 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> en la hojarasca, en tanto que, en el suelo, el valor contenido sería de 280.75 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> (cálculos basados en Carreño-Rocabado, 2014).

Según las tendencias futuras de deforestación, existe la posibilidad de que, en el área del proyecto (El Curichi y la comunidad 25 de Septiembre) deberían haberse perdido 35.82 ha de bosques hasta el año 2014. Por lo que, al haber conservado esta área boscosa, se habría evitado una emisión de 20934.8 tCO<sub>2</sub>e. Con la implementación de acciones de conservación para evitar la potencial deforestación de 770.67 ha hasta el año 2023 dentro del área del proyecto, se estima evitar

una emisión acumulada de 450416.11 tCO<sub>2</sub>e (Figura 6). Por otro lado, las proyecciones muestran que para el resto del municipio de San Carlos (área de fuga), en el escenario de impedir la deforestación de un área de 11267.73 ha de bosque hasta el año 2023, se podría impedir potencialmente una emisión acumulada de 6585395.88 tCO<sub>2</sub>e.



**Figura 6.** Toneladas de CO<sub>2</sub>e acumuladas que se evitarían si se implementaran acciones de conservación hasta el año 2023, en el área de El Curichi y la comunidad 25 de Septiembre.

## DISCUSIÓN

Actualmente las tendencias de la tasa de la deforestación estimadas para Bolivia son muy elevadas, especialmente en el departamento de Santa Cruz (Killeen *et al.*, 2007; Müller *et al.*, 2011; Müller *et al.*, 2012; Cuellar *et al.* 2012; Müller *et al.*, 2014). Los análisis realizados por Killeen *et al.* (2007) sobre el cambio de uso de suelo en el país, muestran que antes del año 1976 en San Carlos la pérdida de la cobertura boscosa era de 52851 ha, lo que representaba un 43.5% del total de la superficie de todo el municipio. En una evaluación de la deforestación y regeneración de los bosques en Bolivia elaborado posteriormente por el Servicio Nacional de Áreas Protegidas (2013), se estimó que, para el año 1990, la deforestación acumulada en el municipio de San Carlos era de 26267 ha, incrementándose a 45182 ha en el año 2000, y alcanzando una superficie de 67584 ha deforestadas hasta el 2010. Estas tendencias de deforestación son atribuidas principalmente a que, desde varias décadas atrás se pusieron en marcha algunas iniciativas para incentivar el desarrollo y el crecimiento de la economía nacional, lo que implicó una aceleración en el cambio del uso del suelo (Villegas & Martínez, 2009). Las principales actividades que ocasionaron la deforestación en las tierras bajas del país son atribuidas a la expansión de la ganadería, la agricultura mecanizada de mediana y gran escala y la agricultura a pequeña escala (Müller *et al.*, 2012; Müller *et al.*, 2014); en tanto que la degradación de estos bosques está asociada principalmente a los incendios forestales, la extracción de madera, la extracción de la leña y la ganadería de ramoneo (Müller *et al.*, 2014).

Por otro lado, los resultados obtenidos por el Servicio Nacional de Áreas Protegidas (2013) sostendrían además que, hasta el año 2010, la extensión de la superficie boscosa remanente en el municipio de San Carlos era de 27583 ha (22.7% del área de San Carlos) y que aparentemente se habría producido una regeneración de otras 22002 ha de bosque. Si bien es cierto que ha habido un proceso de regeneración de la cobertura de vegetación en el municipio de San Carlos, es necesario tener cuidado con estas interpretaciones, puesto que, las prospecciones de campo realizadas en el

presente estudio han ayudado a constatar la existencia de áreas donde se han establecido plantaciones de árboles frutales (ej. cítricos) y que no podrían considerarse como bosques secundarios.

Los análisis para predecir dónde ocurrirán los cambios de uso de suelo en el futuro son importantes, ya que los diversos tipos de bosques pueden contener diferentes cantidades de carbono, los mismos que se perderían producto de la deforestación. En una investigación realizada por Sangermano *et al.* (2012) con la finalidad de evaluar la potencialidad de desarrollar proyectos REDD+ en la región de la Amazonía en Bolivia, donde también se incluyó las áreas protegidas, se determinó que existe la posibilidad de que hasta el año 2050 podrían desaparecer entre el 8% y el 48% de las reservas de carbono del país, lo cual representa una cifra muy preocupante. Esta situación puede ser constatada en los alrededores de las áreas protegidas, especialmente en las tierras bajas (<400 m), donde existe una fuerte tendencia al cambio de uso de suelo (Cuéllar *et al.*, 2012; Servicio Nacional de Áreas Protegidas, 2013).

Según Uyuni (2013), quien realizó una proyección de cambios de uso de suelo hasta el año 2030 en la región del Amboró, podrían perderse alrededor de 1410 ha (0.3 %) dentro del área de protección estricta, 17539 ha (12.9 %) en el ANMI, y otras 87469 ha en áreas externas al Norte del Amboró, la cual también incluye el municipio de San Carlos. Los bosques remanentes a lo largo de los ríos y humedales (ej. El Curichi), así como también los bosques continuos y fragmentados en el ANMI del Amboró (ej. comunidad 25 de Septiembre), representan sitios importantes para adoptar medidas preventivas contra una posible conversión de los bosques a futuro mediano y largo plazo, con lo que se podría evitar la emisión de más de 450 mil tCO<sub>2</sub>e hasta el 2023.

## AGRADECIMIENTOS

A Javier Quino por su ayuda en la verificación de campo y a Victoria Aguilera por su asistencia en la validación de la clasificación de la imagen satelital. Zulma Villegas aportó con importantes comentarios y correcciones al manuscrito. A Greg Asner y al equipo de CLASlite por la asistencia técnica proporcionada. Esta investigación fue parte del proyecto IICA llevado a cabo por la Fundación Natura Bolivia. Las opiniones expresadas en este documento son las del autor y no necesariamente reflejan el criterio institucional del financiador.

## LITERATURA CITADA

- ASNER, G.P. 2009. Tropical forest carbon assessment: integrating satellite and airborne mapping approaches. *Environmental Research Letters* 4:034009.
- ASNER, G.P.; D.E. KNAPP; A. BALAJI & G. PAEZ-ACOSTA. 2009. Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. *Journal of Applied Remote Sensing* 3:033543.
- BIOCARBON FUND. 2008. Methodology for estimating reductions of GHG emissions from mosaic deforestation. RED-NM-001/ Version 01. Washington, 15 December 2008 [https://wbcarbonfinance.org/docs/BioCF\\_RED\\_Mosaic\\_Methodology.pdf](https://wbcarbonfinance.org/docs/BioCF_RED_Mosaic_Methodology.pdf)
- BIOCARBON FUND. 2011. BioCarbon fund experience: Insights from afforestation and reforestation clean development mechanism projects. Washington: BioCarbon Fund

- BOJANIC, A.H. 2001. Bolivia's participation in the UN Framework on climate change. Overseas Development Institute, London.
- CARREÑO-ROCABADO, G. 2014. Estudio piloto para determinar el potencial de almacenamiento de carbono en comunidades aledañas al área protegida Amboró, Bolivia. Informe no publicado. Fundación Natura Bolivia, Santa Cruz.
- CONGALTON, R.G. & K. GREEN. 2009. Assessing the accuracy of remotely sensed data. Principles and Practices. Second edition.
- CUÉLLAR, S.; A. RODRÍGUEZ; J. ARROYO; S. ESPINOZA & D.M. LARREA. 2012. Mapa de deforestación de las tierras bajas y los yungas de Bolivia 2000-2005-2010. Proyección Sistema de Coordenadas Geográficas Datum WGS84, Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN), Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 1 Mapa col. 75x70 cm
- CUÉLLAR, S & D.M. LARREA-ALCÁZAR. 2016. Pérdida de carbono por deforestación reciente (2010-2013) en las tierras bajas y Yungas de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 51 (1):15-25.
- EASTMAN, R.J. 2012. Idrisi Selva Manual. Manual Version 17.01. Clark University.
- FAO. 2012. El estado de los bosques del mundo. Roma.
- FULLER, D.O.; M. HARDIONO & E. MEIJAARD. 2011. Deforestation projections for carbon-rich peat swamp forests of Central Kalimantan, Indonesia. *Environmental Management* 48:436-447.
- GUTIERREZ-VELEZ, V.H. & R.G. PONTIUS JR. 2012. Influence of carbon mapping and land change modelling on the prediction of carbon emissions from deforestation. *Environmental Conservation* 39(4):325-336.
- HANSEN, M.C.; P.V. POTAPOV; R. MOORE; M. HANCHER; S.A. TURUBANOVA; A. TYAKAVINA; D. THAU; S.V. STEHMAN; S.J. GOETZ; T.R. LOVELAND; A. KOMMAREDDY; A. EGOROV; L. CHINI; C.O. JUSTICE & J.R.G. TOWNSHEND. 2013. High-resolution global maps of 21st – century forest cover change. *Science* 342:850-853.
- HARRIS, N.L.; S. BROWN; S.C. HAGEN; S.S. SAATCHI; S. PETROVA; W. SALAS; M.C. HANSEN; P.V. POTAPOV & A. LOTSCH. 2012. Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions. *Science* 336(22):1573-1576.
- HEROLD, M.; R.M. ROMÁN-CUESTA; V. HEYMELL; Y. HIRATA; P. VAN LAAKE; G.P. ASNER; C. SOUZA; V. AVITABILE & K. MACDICKEN. 2011. A review of methods to measure and monitor historical carbon emissions from forest degradation. *Unasylva* 238 (62):16-24.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge Univ Press, New York.
- INE. 2013. Bolivia. Características de población y vivienda. Censo nacional de población y vivienda 2012. <http://www.ine.gov.bo:8081/censo2012/PDF/resultadosCPV2012.pdf>

- KILLEEN, T.J.; V. CALDERON; L. SORIA; B. QUEZADA; M.K. STEININGER; G. HARPER; L.A. SOLÓRZANO & C.J. TUCKER. 2007. Thirty Years of Land-cover Change in Bolivia. *Ambio* 36:600-606.
- MÜLLER, R.; D. MÜLLER; F. SCHIERHORN & G. GEROLD. 2011. Spatiotemporal modeling of the expansion of mechanized agriculture in the Bolivian lowland forests. *Applied Geography* 31(2):631-640.
- MÜLLER, R.; D. MÜLLER; F. SCHIERHORN; G. GEROLD & P. PACHECO. 2012. Proximate causes of deforestation in the Bolivian lowlands: an analysis of spatial dynamics. *Regional Environmental Change* 12(3):445-459.
- MÜLLER, R.; P. PACHECO & J.C. MONTERO. 2014. El contexto de la deforestación y degradación de los bosques en Bolivia: Causas, actores e instituciones. Documentos ocasionales 101. CIFOR. Bongor, Indonesia.
- PUYRAVAUD, J.P. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 117:593-596.
- SANGERMANO, F.; J. TOLEDANO & J.R. EASTMAN. 2012. Land cover change in the Bolivian Amazon and its implications for REDD+ and endemic biodiversity. *Landscape Ecology* 27:571-584.
- SCHIMEL, D. 2014. Forests in the global carbon cycle. Pp 231–239, en: *Challenges and opportunities for the world's forests in the 21st century* (Trevor, F. ed.). *Forestry Sciences* 81.
- SERVICIO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS. 2013. Deforestación y regeneración de bosques en Bolivia y en sus áreas protegidas para los periodos 1990-2000 y 2000-2010. Ed. Servicio Nacional de Áreas Protegidas, Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado y Conservación Internacional, La Paz.
- STEININGER, M.K.; C.J. TUCKER; J.R.G. TOWNSHEND; T.J. KILLEEN; A. DESCH; V. BELL & P. ERSTS. 2001. Tropical deforestation in the Bolivian Amazon. *Envir. Conserv.* 28:127-234.
- UYUNI, G. 2013. Análisis multitemporal de la deforestación en la región del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Amboró y Área Natural de Manejo Integrado Río Grande - Valles Cruceños. Tesis de licenciatura. UAGRM. Santa Cruz, Bolivia.
- VAN DER WERF, G.R.; D.C. MORTON; R.S. DEFRIES; J.G.J. OLIVIER; P.S. KASIBHATLA; R.B. JACKSON; G.J. COLLATZ & J.T. RANDERSON. 2009. CO<sub>2</sub> emissions from forest loss. *Nature Geoscience* 2:737-738.
- VILLEGAS, Z. & J. MARTÍNEZ. 2009. La visión agrarista de los actores de la deforestación en Bolivia. *Revista Tinkazos* 27:33-47.