Ecología en Bolivia 50(2): 91-114. Septiembre 2015. ISSN 1605-2528.

Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana

Rates of land cover changes and deforestation (1986-2011) in the municipality of Riberalta, Bolivian Amazon

Carmelo Peralta-Rivero[1*], Juan C. Torrico-Albino[2]; Vincent A. Vos[3,4], Maria G. Galindo-Mendoza[5] & Carlos Contreras-Servín[5]

[1]Multidisciplinary Graduate Programme in Environmental Sciences, Autonomous University of San Luis Potosi. San Luis Potosi 78000, Mexico *Autor de correspondencia: peralta.carmelo@gmail.com
[2]Institute for Technology and Resources Management in the Tropics and Subtropics Cologne University of Applied Sciences, Cologne 50679, Alemania.
[3]Autonomous University of Beni José Ballivián, Riberalta, Bolivia.
[4] Centro de Investigación y Promoción del Campesinado, Regional Norte Amazónico, Riberalta, Bolivia.
[5]Coordination for Innovation and the Application of Science and Technology, Autonomous University of San Luis Potosi, San Luis Potosi 78210, México.

Resumen

El presente estudio analiza los cambios de cobertura de suelo principalmente debido a la deforestación, en el municipio de Riberalta, en la Amazonía boliviana. Calculamos las tasas de cambios de coberturas de suelo y la deforestación usando percepción remota y sistemas de información geográfica. En el análisis se utilizaron imágenes Landsat TM 5 para los años 1986, 2000 y 2011. Los cambios de coberturas fueron cuantificados y adicionalmente se utilizó cartografía para identificar y mapear las principales áreas afectadas. Diferentes técnicas de detección de la deforestación basadas en SIG demostraron que la pérdida de vegetación ha ocurrido principalmente en la categoría de bosque con una tasa de cambio de -0.22% entre 1986-2000 y -0.74% entre 2000-2011. La deforestación acumulada fue de 885.55 km^2 y ocurrió principalmente sobre propiedades privadas (314.08 km^2) seguida de comunidades campesinas. Asimismo, la regeneración de la cobertura forestal fue quince veces menor que la deforestación. Concluimos que los procesos de deforestación fueron más intensos entre 2000-2011 con un claro incremento de las coberturas no originales, tales como la vegetación secundaria, pasto, suelo expuesto y área urbana. **Los principales actores ligados a la deforestación fueron los propietarios de tierras privadas y no así las zonas indígenas. La deforestación es más fuerte al norte y al noreste del municipio donde se encuentran las principales vías de comunicación.** Este aumento en la pérdida forestal puede reflejar tendencias futuras de deforestación y cambios de uso de suelo para la región de la Amazonía boliviana en general y es fundamental dar más atención a este municipio para que se tomen medidas preventivas de manejo y conservación de la cobertura forestal y de la biodiversidad.

Palabras clave: Cambios de cobertura del suelo, Pérdida forestal, SIG, Riberalta.

Abstract

This study analyses the changes in land cover in the municipality of Riberalta, in the Bolivian Amazon, mainly related to deforestation. We calculated rates of land cover changes

and deforestation using Remote Sensing and Geographic Information Systems. The analysis was conducted using Landsat TM 5 images for the years 1986, 2000 and 2011. Changes of land cover types were quantified and mapped to identify the affected areas. Different techniques of deforestation detection based on GIS demonstrated that the loss of vegetation has occurred mainly in the land cover type "forest" with a rate of change of -0.22% between 1986 and 2000, and -0.74% between 2000 and 2011. The accumulated deforestation was 885.55 km^2 and occurred mainly on private properties (314.08 km^2) followed by peasant communities. Furthermore, the regeneration of forest cover was fifteen times lower than deforestation rates. We conclude that the deforestation process was more intense between 2000 and 2011 with a clear increase of non-original covers like secondary vegetation, pasture, exposed soil and urban areas. The main actors were linked to deforestation were the owners of private land and not the indigenous areas. The deforestation is stronger in the north and northeast of the municipality where the main roads are located. This increase in forest loss may reflect future trends of deforestation and land use changes for the Bolivian Amazon region in general and it is therefore essential that preventive measures like management and conservation of forest and biodiversity should be taken.

Key words: Forest loss, GIS, Land Cover Change, Riberalta.

Introducción

Bolivia es uno de los países que ha experimentado mayor reducción de su cobertura forestal debido a procesos de deforestación en la última década (2000-2012) (Hansen *et al*. 2013). Generalmente, este proceso de cambio ocurre en las tierras bajas de Bolivia como Santa Cruz y Beni, y las causas directas están asociadas con un incremento en la ganadería con pastos cultivados, la agricultura mecanizada y la agricultura a pequeña escala la cual llevan al cambio de la cobertura forestal (Müller *et al*. 2014a).

En la Amazonia boliviana la deforestación se debe a múltiples factores que están vinculados a los fenómenos culturales y económicos de la zona. Muchas personas realizan actividades de deforestación como parte de su sistema de producción. Las comunidades indígenas y campesinas realizan la deforestación a escala baja con el fin de proporcionar alimentos a sus familias. Asimismo, la deforestación a gran escala está relacionada con el fenómeno de la migración, así como la construcción de carreteras y áreas productivas bajo diferentes usos para garantizar la función socio-económica de la tierra (Torrico 2011). En otros casos, se han previsto los asentamientos a lo largo de estos corredores para amplificar las áreas para la agricultura de subsistencia, comercial y la ganadería (Killeen *et al*. 2005, 2007).

No se tienen cifras exactas del impacto de la deforestación sobre biodiversidad en cuanto al número de especies afectadas en la Amazonía en general (Barreto *et al*., 2006), sin embargo, Vieira *et al*. (2005) entre el 2003 y 2004, estimó que 50 millones de aves y dos millones de primates se vieron afectados por la pérdida de 26,000 km^2 de bosque amazónico. Por su parte Araujo *et al*. (2010) reportan la Amazonía estos procesos contribuyen en una reducción drástica de la biodiversidad local. Asimismo, en una simulación mediante modelado de los impactos combinados de deforestación y cambio climático se espera que hasta el año 2100 una reducción de la biodiversidad nacional a 40% del nivel original (Andersen & Mamani 2009). Por su parte Malhi *et al*. (2008) estiman que para 2050 la superficie total de los bosques amazónicos podría reducirse a un 53% de su superficie actual, de tal manera que la flora se vería fuertemente afectada.

Por otro lado, se debe considerar que Bolivia y por ende Riberalta forman parte de los bosques tropicales del mundo, los cuales debido a procesos de deforestación aportan un

20% de la emisiones globales de gases de efecto invernadero (IPCC 2007, Parker *et al*. 2009). Si consideramos que los bosques de la Amazonía tienen como promedio 175 tC/ha (Carvalho *et al*. 2004), es muy importante tener en cuenta que estos procesos también causan impacto a nivel regional y local en cuanto a las emisiones liberadas. Para el municipio de Riberalta (Beni), en el norte amazónico de Bolivia, los principales procesos de deforestación en esta zona están ligados directamente con la agricultura y la ganadería (FAN 2010). Asimismo, la UFMA (2010) reportó que los desmontes y extracción ilegal de recursos maderables contribuyen a este fenómeno antrópico.

Estudios que analizaron la deforestación en esta región mostraron que ha existido una pérdida considerable de la cobertura boscosa en los últimos años (Pacheco *et al*. 2009, Cuellar *et al*. 2012, Hansen *et al*. 2013, Müller *et al*. 2014a). Entre algunos reportes, Killeen *et al*. (2009), indican una disminución del 7.9% y FAN (2010) de un 8.5% de área boscosa bosques tomando en cuenta como base la superficie municipal. En esas investigaciones se han aplicado diferentes técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica con diferentes escalas de análisis, y consecuentemente existen variaciones en la cuantificación de las áreas afectadas.

En el presente estudio se realizó la clasificación de la cobertura del suelo mediante percepción remota, aplicando un análisis basado en objetos a través de la segmentación multiresolución de las imágenes de satélite con el objetivo de lograr la mejor precisión en la cuantificación de los recursos forestales y coberturas de suelo. Posteriormente se estimó mediante SIG la pérdida y la regeneración de recursos forestales. Varios estudios han demostrado que aplicando diferentes métodos de clasificación por objetos sobre imágenes de satélite de diferentes resoluciones se obtiene mejores resultados en cuanto a precisión que los métodos basados en clasificación por otros métodos como pixel a pixel o sólo de interpretación visual, sobre todo cuando se trabaja en el área ecológica del paisaje (Gao 2008, Lang *et al*. 2006, Lang & Langake 2005, Brunett & Blaschke 2003).

Hay que destacar que el municipio de Riberalta es parte del corredor que une los bosques amazónicos con los bosques de la Chiquitanía importante para la conservación de la fauna, la flora y los procesos biológicos que se desarrollan en el mismo. Asimismo, la región de Riberalta y alrededores están considerados como áreas prioritarias clave para la conservación (Ibish *et al*. 2005, Araujo *et al*. 2010). Según BirdLife International el territorio municipal incluye dos áreas identificadas como hábitat importantes para aves (IBA), ya que uno de ellas tiene la población más importante de *Euscarthmus rufomarginatus* en el país y el otro presenta algunas especies de importancia y amenazadas registradas recientemente, como esa misma especie, así como *Hylopezus auricularis* y *Coryphaspiza melanotis* (BirdLife 2006).

A pesar de su importancia para la conservación, el municipio de Riberalta no cuenta con un área de reserva municipal formalmente reconocida. Existen iniciativas que declaran áreas protegidas pequeñas mediante ordenanzas municipales que establecen áreas protegidas en los alrededores del Lago San José y la laguna San Vicente, pero ambas ordenanzas tienen una formulación ambigua y en la práctica no han cambiado las prácticas de manejo en ambas áreas.

Otras áreas protegidas no consolidadas en el municipio de Riberalta son Yata de 650.000 ha, Tumichucua de 2.000 ha y el área forestal de Reserva Municipal con 47.000 ha (CIDDEBENI 2009). Estos esfuerzos han quedado sólo en propuestas, y solicitudes, pero en la práctica ninguna de estas áreas se han consolidado para desarrollar actividades de conservación (CIDDEBENI 2009). En 2013 gran parte del sureste del municipio fue incluido en el sitio RAMSAR Yata, con una superficie de 2.8 millones de hectáreas (RAMSAR 2013). No obstante, también aquí el estatus de protección es ambiguo y debido a la limitada difusión local

en la práctica aún no se conoce la aplicación de herramientas de conservación o restricciones de uso aplicadas en la práctica.

Para aportar con datos concretos de amenazas sobre las vegetaciones naturales del municipio en general y las áreas protegidas mencionadas en específico, el objetivo principal del presente estudio fue evaluar las tasas de cambios, la deforestación y regeneración de la cobertura forestal en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana. Este estudio busca, además de brindar una cartografía de los procesos de deforestación y regeneración de la cobertura forestal, proporcionar información que sirva como base para otras gestiones ambientales, tales como el cambio de uso del suelo, la estrategia de conservación de áreas protegidas, la formulación de áreas de alto riesgo y, en general, de apoyo a la gestión de los diversos programas municipales, departamentales y estatales que tienen la visión de un desarrollo sostenible para la región.

Área de estudio

El municipio de Riberalta se encuentra ubicado en el norte amazónico de Bolivia (Fig. 1). Está situado entre las coordenadas 10°59›36»S y 66°04›25»W y limita al norte con el municipio de Puerto Rico de la Provincia Manuripi del departamento de Pando, al este con el municipio de Guayaramerín, al sur con la provincia Ballivián y al oeste con la provincia Madre de Dios, donde se localiza la Tierra Comunitaria de Origen (TCO) Multiétnico II y más al suroeste la TCO Tacana-Cavineño. En

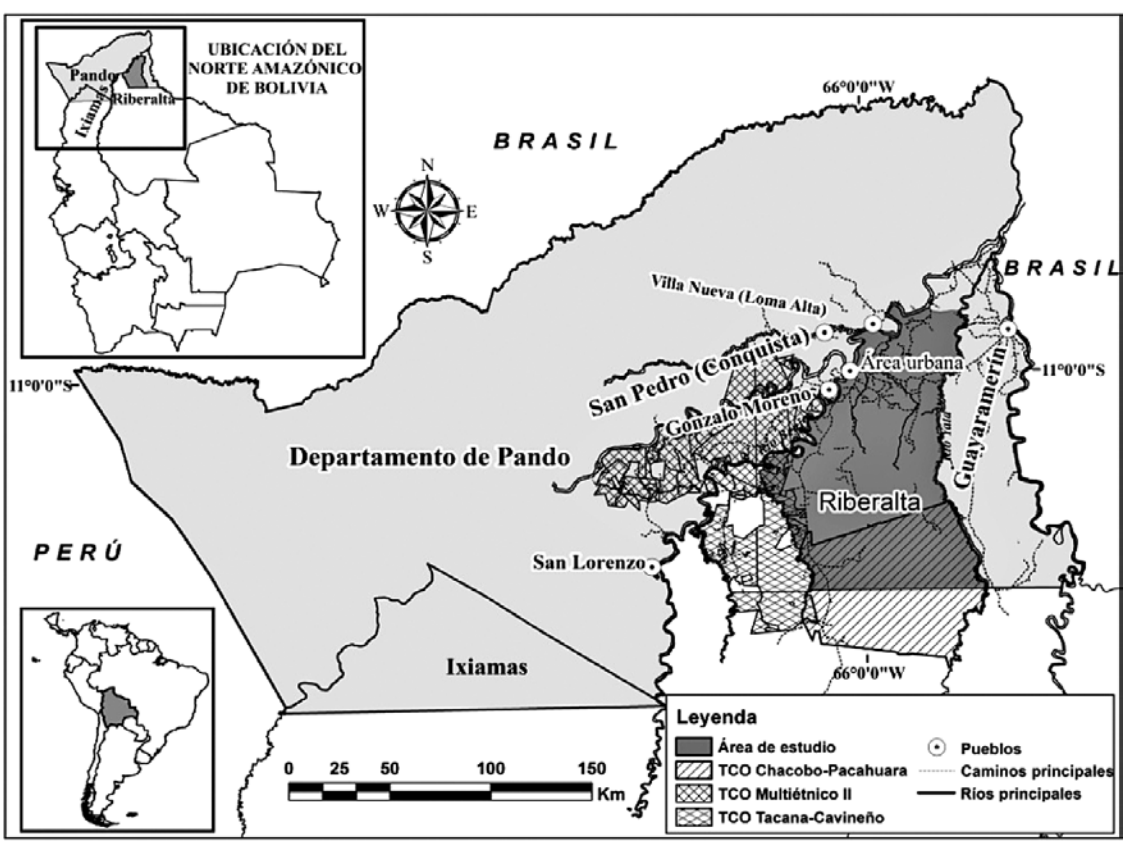


Figura 1. Localización del municipio de Riberalta en el norte amazónico de Bolivia.

la parte sur del municipio se encuentra la TCO Chacobo-Pacahuara, formada por comunidades indígenas. Cuenta con un área aproximada de 9.725 km^2 y una población proyectada de 109.574 habitantes hasta 2012 (CIDDEBENI 2009). La ciudad de Riberalta es el principal centro demográfico y económico de la Amazonía boliviana y se encuentra en el ranking entre una de las 24 ciudades más grandes de la Amazonía continental (UNEP 2009).

En esta región, los principales tipos de vegetación son el bosque pluviestacional semideciduo de la penillanura lateritica y el bosque pluviestacional siempre verde a semideciduo que se inunda con aguas negras o mixtas (Navarro & Ferreira 2007). Existe una leve diferencia de temperatura media entre el mes más cálido y frío (25º-27º C). Es una zona plana con suaves ondulaciones y un rango altitudinal de 100-250 m. El clima es húmedo con una precipitación media anual entre 1.800-2.200 mm y con una época seca de dura unos tres meses al año (julio a septiembre) que da un carácter estacional al bosque (Corredor Norte 2006, CIDDEBENI 2009).

Hasta el presente tiene una cultura extractivista de los recursos del bosque. Se sigue aprovechando intensamente especies forestales maderables. Hasta mediados de la década de los 1980's se vivió el auge de la goma (*Hevea brasiliensis*) para la exportación al mercado internacional. Entre 1997 y 2002 también fue explotado intensamente el palmito (*Euterpe precatoria*) como fuente de alimento, y actualmente, un producto forestal no maderable extraído a gran escala es la nuez de la castaña (*Bertholletia excelsa*) (Corredor Norte 2006, Vos & Aviana 2015). Además de estos, existen otros productos forestales no maderables que se comercializan y exportan a escalas menores como el látex de sangre de grada (*Croton draconoides*) así como frutos y derivados de palmeras como el motacú (*Atallea phalerata*), frutos de asaí (*Euterpe precatoria*), majo (*Oenocarpus bataua*) y hojas de jatata (*Geonoma deversa*) (Peralta *et al*. 2009).

La agricultura realizada en la región es principalmente una producción a pequeña escala por familias campesinas e indígenas. Entre los productos más cultivados se encuentran el arroz (*Oryza sativa*), la yuca (*Manihot esculenta*), el plátano (*Musa sp.*) y el maíz (*Zea mays*). Por lo general más de la mitad de la producción es destinado al consumo familiar, los excedentes de la producción son comercializados en los mercados de las principales ciudades de la región. Se trata de un sistema de producción de rosa, tumba y quema, con inversiones mínimas en tecnologías modernas (Vos 2011). Actualmente está cobrando una creciente importancia la producción ganadera, la cual viene expandiéndose continuamente, y para el año 2009, ya existían alrededor de unas 22,860 cabezas de ganado bovino dentro del municipio (CIDEBENI 2009).

Métodos

Cobertura del suelo

Para determinar la cartografía base de la cobertura de suelo, se utilizaron herramientas como la percepción remota (PR) y sistemas de información geográfica (SIG). Para este propósito, fueron utilizadas imágenes de satélite LandSat Thematic Mapper (TM) de los años 1986, 2000 y 2011 (Tabla 1).

Las imágenes fueron corregidas geométricamente utilizando el software Envi 4.7 mediante puntos de control obtenidos de imágenes corregidas del año 1986 (Landsat TM P233R067 y P233R068; Landsat P001R068) y de 1991 (Landsat TM P001R68) (TGLCF 2010a, 2010b, 2010c). Posteriormente se realizaron mosaicos para los diferentes años y se realizó una clasificación supervisada de la cobertura del suelo orientada a objetos empleando el software Definiens Developer 7.0 (Definiens 2006) (Fig. 2). Esta clasificación se basó en una supervisión de este proceso mediante el conocimiento previo del área de estudio

Tabla 1. Juego de imágenes Landsat Thematic Mapper (TM) (Path/Row) de 1986, 2000 y 2011 para el municipio de Riberalta. Datos disponibles en el sitio web del Instituto Nacional de Investigación Nacional de Brasil (INPE) http://www.cbers.inpe.br/

Región	Path/Row	Sensor	Fecha de las imágenes
Riberalta	P233R067	TM	07/07/1986
	P233R068		07/07/1986
	P001R068		28/06/1986
	P233R067		14/08/2000
	P233R068		14/08/2000
	P001R068		08/10/2000
	P233R067		13/08/2011
	P233R068		13/08/2011
	P001R068		19/07/2011

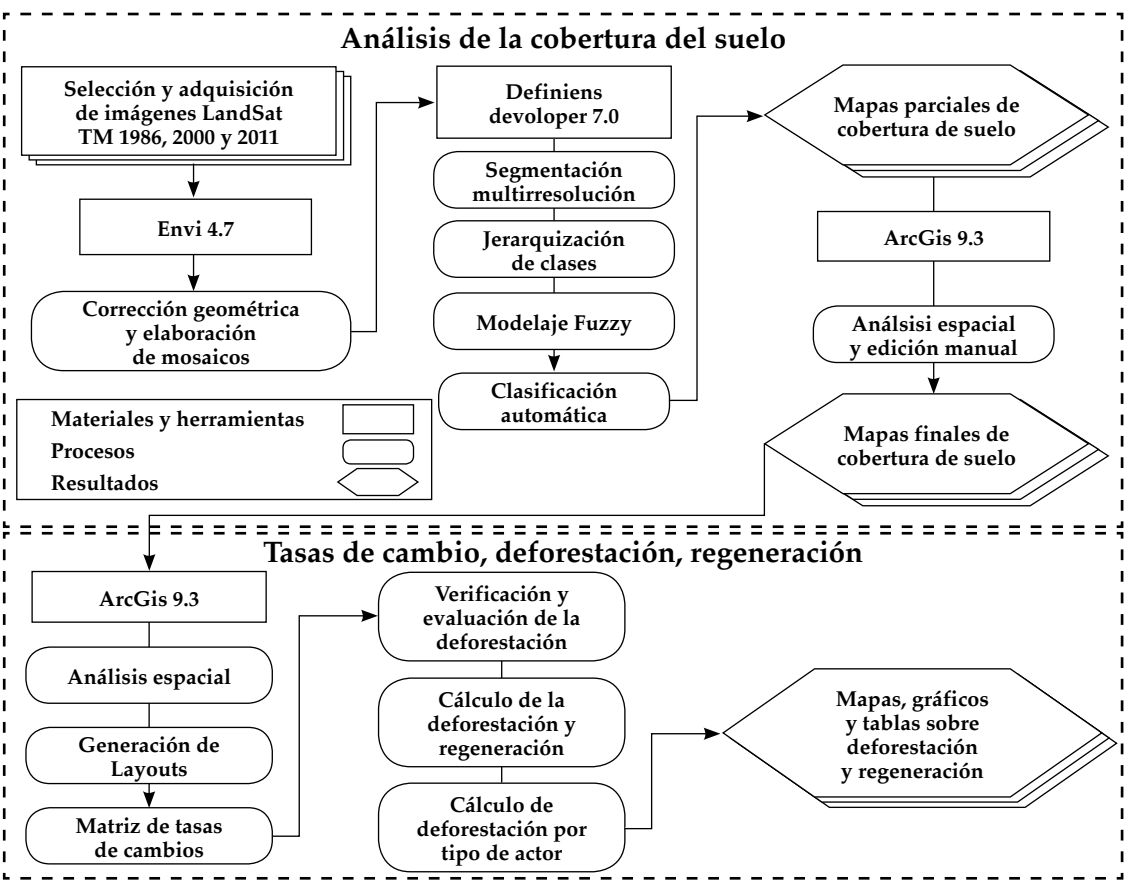


Figura 2. Flujograma metodológico desarrollado en el mapeamiento.

(clases de cobertura del suelo) e identificación de campos de entrenamiento que permitieron extraer estadísticas representativas para las clases detectadas realizando finalmente una evaluación en campo.

En la clasificación de las diferentes clases se empleó segmentación multiresolución con parámetros de escala 30, shape 0.5, compactness 0.5 y composición colorida, es decir, se realizó un análisis orientado a objetos y jerarquía de decisiones. Este algoritmo permitió extraer segmentos espectralmente homogéneos (cobertua de bosques, agua, área urbana y demás clases) con base tanto en el valor del pixel así como en la forma del objeto, definidos por los planos de información insertados y por parámetros establecidos (Definiens 2006).

La clasificación orientada a objetos a través de la segmentación multiresolución tiene la ventaja de que resoluciones se obtiene mejores resultados que los métodos basados en clasificación por pixels, lo que permite tener mayor precisión en la clasificación de la cobertura de suelo y se adecua mejor a estudios ecológicos del paisaje (Gao 2008, Lang *et al*., 2006, Lang & Langake 2005, Brunett & Blaschke 2003).

La segmentación se la realizó a partir de las bandas 1 (azul), 2 (verde), 3 (rojo), 4 (infrarrojo cercano), 5 (infrarrojo medio) y 7 (infrarrojo lejano o térmico) del espectro electromagnético. Todo este proceso ayudo a diferenciar y definir las clases espectrales y por consiguiente las clases temáticas (agua, área inundada, área urbana, bosque alto de tierra firme, bosque inundable, pasto, sabana, suelo expuesto, vegetación secundaria y depósito aluvial).

La clasificación se la realizó en un nivel uno según el sistema de clasificación de Anderson (1976), donde indica que en este nivel se pueden diferenciar diferentes clases espectrales a escala regional y en donde las imágenes Landsat son aceptables para este nivel de interpretación. En la clasificación no se incluye a la agricultura debido a que esta se la realiza a escala muy pequeña (una a dos hectáreas por lo general) por lo general para subsistencia (Vos 2011, Peralta-Rivero *et al*. 2013). Esta clase traería problemas a la hora de clasificarse y además desaparecería en los filtros post clasificación según la escala de análisis 1:50.000.

La definición de clases, así como la selección de muestras que representaron cada una de las clases, se basó en el conocimiento previo del área de estudio y se dio énfasis exclusivamente al modelaje *fuzzy*, es decir, sobre descriptores espectrales que apoyados en la selección de áreas de entrenamiento (30 muestras por clase) proporcionó un grado de participación (pertinencia) de un objeto para todas las clases definidas en la leyenda sobre las imágenes de satélite, cuyos valores inclusive pueden ser insertados en nuevos contextos de clasificación (Cruz *et al*. 2007).

Tasas de cambios, deforestación y regeneración de la cobertura forestal

Posterior a la clasificación de las clases de suelo, se utilizó el programa ArcGis 9.3 para realizar las sobreposición de los datos y cuantificar los cambios de cobertura de suelo y detectar las áreas deforestadas y otros cambios.

En este trabajo, todos los mapas de cobertura de suelo y áreas deforestadas fueron generados a una escala de análisis de 1:50,000 (se eliminaron áreas de deforestación menor a cuatro hectáreas) según la tabla del área mínima catografiable (AMC) para diferentes escalas desarrollada por Priego *et al*. (2008). Sin embargo, no para todas las áreas el AMC mínima catografiable es aplicable, y en otros casos dependerá de la complejidad del territorio a estudiar.

Por otro lado, se aplicaron dos de las formulas matemáticas más utilizada para calcular la tasa anual de cambio para el bosque y las diferentes coberturas de suelo, de tal manera que permita la comparación con otros estudios. La primera ecuación corresponde a la utilizada por la FAO (1996) y esta sería equivalente a la tasa de interés utilizada en los cálculos financieros:

$$s = \left(\frac{s_2}{s_1}\right)^{1/(t_2-t_1)} - 1$$

La segunda es aquella sugerida por Puyravaud (2003) que tiene un significado matemático y biológico, es decir, esta es utilizada para cálculos financieros de interés compuesto, que no subestima la tasa anual de deforestación cuando los cambios son muy grandes y acelerados, además, esta tasa de deforestación arroja valores más altos que la tasa sugerida por FAO cuando la deforestación sea más alta, ya que en esta se toma en cuenta la pérdida de los recursos forestales y su implicación en la parte biológica de estos ecosistemas:

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \ln \frac{s_2}{s_1}$$

En las ecuaciones, "s" y "r" son las tasas de cambio; s_1 es la superficie al inicio del periodo; s_2 es la superficie al final del periodo; t_1 año de inicio del periodo, y t_2 año final del periodo. Para expresar los valores en porcentaje, el resultado debe ser multiplicado por 100. Esta tasa expresa el cambio en términos de porcentaje de la superficie al inicio de cada año. Este procedimiento fue aplicado para cada una de las clases de tal manera que todos los resultados reflejen todas las transiciones con respecto al cambio de la cobertura del suelo.

Asimismo, para representar lo resultados, se construyó una matriz de tabulación cruzada o matriz de cambios que resulta de cruzar los mapas de las fechas en cuestión (tiempo 1 y tiempo 2). En dicha matriz las filas representan las categorías del mapa en el tiempo 1 y las columnas las categorías del mapa en el tiempo 2 (Tabla 2). De acuerdo a Pontius *et al*. (2004) la matriz permite distinguir las transición de las diferentes clases evaluadas y detectar los cambios de la cobertura de suelo y hacer un análisis de los patrones reales que llevan estos cambios.

Para estimar las áreas forestales que fueron objeto de deforestación inducida y otros cambios de no deforestación, así como para estimar la regeneración natural de la vegetación y otros cambios que no se considera regeneración natural (1986-2011), se realizó una separación de estas áreas mediante un análisis espacial de reconocimiento de las coberturas y su evolución de cambio en el periodo analizado (Tabla 3). Posteriormente se atribuyeron la áreas deforestadas por tipo de usuario (propiedades privadas, comunidades campesinas, tierras comunitarias de origen, tierras fiscales y tierras en saneamiento) utilizando la cartografía de tierras saneadas del Instituto Nacional de Reforma Agraria.

Tabla 2. Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferentes fechas, basado en FAO 1996, Puyravaud 2003 y Pontius *et al.* 2004.

Tiempo 1	Tiempo 2					6	7	8
	1	2	3	4	5			
1		Clase 1	Clase 2	……	Clase n	Total T_1	Tasa de cambio s	Tasa de cambio r
2	Clase 1	P_{11}	P_{12}	……	P_{1n}	P_{1+}	%	%
3	Clase 2	P_{21}	P_{22}	……	P_{2n}	P_{2+}	%	%
4	……	……	……	……	……	……	%	%
5	Clase n	P_{n1}	P_{n2}	……	P_{nn}	P_{n+}	%	%
6	Total T_2	P_{+1}	P_{+2}	……	P_{+n}	P		

Tabla 3. Ejemplos de la dinámica del cambio de cobertura de suelo y la identificación de la deforestación inducida y la regeneración natural de la cobertura boscosa en Riberalta.

t1 (1986)	t2 (2000)	t3 (2011)	Procesos de cambio
Bosque	Vegetación secundaria	Suelo expuesto	Deforestación inducida 1986-2000
Bosque	Bosque	Pasto	Deforestación inducida 2000-2011
Bosque	Área alagada	Bosque	No deforestación inducida 1986-2000
Bosque	Bosque	Depósito aluvial	No deforestación inducida 1986-2001
Vegetación secundaria	Bosque	Bosque	Regeneración natural 1986-2000
Pasto	Vegetación secundaria	Bosque	Regeneración natural 2000-2011
Área alagada	Bosque	Bosque	No regeneración natural 1986-2000
Área alagada	Área alagada	Bosque	No regeneración natural 2000-2011

Finalmente, se realizó la verificación de 141 puntos de deforestación en el área evaluada (Anexo 1). Además de realizar trabajo de campo, la evaluación también fue respaldada con puntos de verificación de desmontes autorizados por la Unidad Operativa de Bosque y Tierra de Riberalta, así como por deforestación detectada y verificada por la Unidad Forestal y Medio Ambiente de Riberalta.

Asimismo, se utilizó Google Earth Pro para verificar la deforestación en áreas muy poco accesible (60 puntos). Zani *et al*. (2013) considera que el uso de Google Earth como referencia para validación puede ser satisfactorio para la escala 1:100,000 debido a que permite la visualización de imágenes de alta resolución y es posible percibir detalles suficientes y observar áreas que serían inaccesibles para verificar en campo. En este trabajo se entiende también que el software también puede ser utilizado a una escala de 1:50.000.

Resultados

Cobertura de suelo

El análisis de la cobertura de suelo fue utilizado para la reconstrucción de la trayectoria evolutiva de los cambios en la cobertura del suelo en el municipio de Riberalta para el periodo 1986-2011 (Tabla 4). Como se indica en la tabla 4, las áreas mapeadas de mayor superficie pertenecen a la clase "bosque" que en la actualidad todavía cubren más del 70% del área municipal de Riberalta. Sin embargo, la tabla 4 también muestra que al comparar la cobertura del suelo entre 1986 y 2011 la reducción más significativa de la zona se ha producido dentro de esta misma clase, es decir, la superficie total ocupada por los bosques se redujo de 8.038,73 km^2, en el año 1986 a 7.814,81 km^2 hasta el año 2000 y para 2011 sólo quedaban 7.200,81 km^2. En síntesis, la pérdida o cambio total de la cobertura boscosa ha sido de 837.92 km^2 en 25 años. Otros cambios significativos en la cobertura de la tierra fueron el incremento de las coberturas de suelo no originales como pastos, suelos expuestos, vegetación secundaria y las zonas urbanas debido a actividades humanas inducidas.

Tasas de cambios de cobertura de suelo

Se encontró evidencia razonable de los cambios de la cobertura del suelo al cruzar t_1-t_2 (1986-2000), t_2-t_3, (2000-2011), tomando en cuenta las dinámica natural de cambios de las coberturas analizadas (Tablas 5-6). Los principales cambios que se produjeron entre t_1-t_2 fueron el incremento de la zona

Tabla 4. Áreas absolutas y relativas de las diferentes clases de cobertura del suelo en el municipio de Riberalta para los años 1986, 2000 y 2011. Símbolo: *= Bosque de tierra firme y bosque inundable fueron agrupados en una sola clase "bosque".

Clases	Area en km²			Area en %		
	1986	**2000**	**2011**	**1986**	**2000**	**2011**
Agua	151.81	127.61	137.82	1.56	1.31	1.42
Bosque*	8,038.73	7,814.81	7,200.81	82.65	80.35	74.04
Área urbana	5.13	14.31	21.19	0.05	0.15	0.22
Áreas alagadas	149.90	104.80	175.67	1.54	1.08	1.81
Depósito aluvial	7.19	9.77	9.82	0.07	0.10	0.10
Pasto	26.04	54.54	47.85	0.27	0.56	0.49
Sabanas	960.23	935.14	930.28	9.87	9.62	9.57
Suelo expuesto	63.36	151.39	367.43	0.65	1.56	3.78
Vegetación secundaria	323.36	513.38	834.87	3.32	5.28	8.58

Tabla 5. Matriz de tabulación cruzada y tasas de cambios entre 1986 y 2000 (datos en km²).

	2000											
1986	**Agua**	**Área urbana**	**Áreas alagadas**	**Bosque**	**Depósitos aluviales**	**Pasto**	**Sabanas**	**Suelo expuesto**	**Vegetación secundaria**	**Total 1986**	**Tasa de cambio s (%)**	**Tasa de cambio r (%)**
Agua	**87.01**	0.06	9.33	29.17	7.10	0.17	0.13	0.76	18.09	**151.81**	-1.23	-1.24
Área urbana	0.01	**4.77**	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.15	0.14	**5.13**	7.60	7.32
Áreas alagadas	7.90	0.03	**34.70**	64.43	0.70	0.64	0.28	1.27	39.92	**149.90**	-2.52	-2.54
Bosque	25.63	0.34	49.10	**7,560.12**	0.80	31.70	27.43	59.36	284.30	**8,038.73**	-0.20	-0.20
Depósitos aluviales	2.05	0.00	0.63	0.29	**0.40**	0.04	0.00	0.13	3.68	**7.19**	2.21	2.21
Pasto	0.00	1.19	0.11	2.78	0.00	**2.45**	0.01	9.47	10.01	**26.04**	5.42	5.28
Sabanas	0.00	0.00	0.69	38.02	0.00	0.02	**905.9**	0.38	15.20	**960.23**	-0.19	-0.19
Suelo expuesto	0.20	3.19	0.23	5.82	0.00	2.51	0.14	**39.13**	12.14	**63.36**	6.42	6.22
Vegetación secundaria	4.79	4.73	10.10	114.17	0.80	17.00	1.24	40.73	**129.90**	**323.36**	3.36	3.30
Total 2000	**127.60**	**14.30**	**105**	**7,814.81**	**9.80**	**54.50**	**935.10**	**151.40**	**513.40**			

urbana (7.6% de incremento en comparación de la superficie de este tipo de cobertura al inicio del periodo), para pasto (5.42%), vegetación secundaria (3.36%), depósitos aluviales (2.21%) y suelo expuesto (6.42%). Igualmente, se pudo detectar una pérdida de otras coberturas naturales como las sabanas (-1.19%) así como un reducción de los bosques con una tasa de cambio anual negativa de -0.2% al inicio de cada ano, que en suma asciende a una pérdida de 478.6 km^2 entre 1986 y 2011 (Tabla 5, Fig. 3).

Entre t_2-t_3, las clases de cobertura de suelo que sufrieron pérdidas fueron pasto (-1.18%), sabanas (-0.05%) y bosque (-0.74%). La tasa de cambio de bosque calculada entre 2000 y 2011 fue superior a la tasa anual de cambio calculada para el período 1986-2000 y en total fueron 825.08 km^2 los que se perdieron (Tabla 6, Fig. 4).

Se puede observar que la presión de las actividades humanas sobre la cobertura del suelo natural como los bosques y sabanas ha aumentado considerablemente, lo que se traduce en un aumento de las coberturas no originales como vegetación secundaria, pasto, zonas urbana y suelo expuesto principalmente (Figs. 3-4). La mayor pérdida de la cobertura boscosa se produjo entre 2000 y 2011.

Por otro lado, al realizar la sobreposisición de la cartografía de los diferentes años analizados, se pudo constatar que existe un error en la transición de las coberturas de suelo del 0.95%, del total del área evaluada. Se atribuye mencionado error a la georreferenciación y a la edición final de las imágenes satelitales (Tabla 7). Asimismo se identificó a todas las coberturas mantenidas (84.30%) y a aquellas coberturas que cambiaron su estado (14.75%) en el periodo analizado.

Tabla 6. Matriz de tabulación cruzada y tasas de cambios entre 2000 y 2011 (datos en km^2).

	2011											
2000	**Agua**	**Área urbana**	**Áreas alagadas**	**Bosque**	**Depósitos aluviales**	**Pasto**	**Sabanas**	**Suelo expuesto**	**Vegetación secundaria**	**Total 2000**	**Tasa de cambio s (%)**	**Tasa de cambio r (%)**
Agua	**85.95**	0.07	5.36	15.54	4.56	0.22	0.00	0.97	14.95	**127.61**	0.70	0.70
Área urbana	0.02	**13.40**	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.51	0.38	**14.31**	3.63	3.57
Áreas alagadas	9.04	0.10	**35.07**	27.99	0.21	1.50	0.19	5.31	25.39	**104.80**	4.81	4.70
Bosque	24.14	0.01	94.56	**6,989.74**	1.72	26.60	29.47	119.40	529.20	**7,814.81**	-0.74	-0.74
Depósitos aluviales	4.46	0.00	0.97	0.61	**1.60**	0.06	0.00	0.06	2.01	**9.77**	0.05	0.05
Pasto	0.16	1.12	0.66	3.67	0.00	**2.64**	0.14	27.14	19.02	**54.54**	-1.18	-1.19
Sabanas	0.37	0.00	0.28	40.59	0.00	0.00	**891**	1.54	1.41	**935.14**	-0.05	-0.05
Suelo expuesto	0.59	3.19	1.70	7.10	0.00	1.52	0.40	**117.30**	19.62	**151.39**	8.39	8.06
Vegetación secundaria	13.10	3.30	37.07	115.57	1.73	15.30	9.12	95.33	**222.90**	**513.38**	4.52	4.42
Total 2011	**137.8**	**21.19**	**175.70**	**7,200.81**	**9.82**	**47.90**	**930.30**	**367.40**	**834.90**			

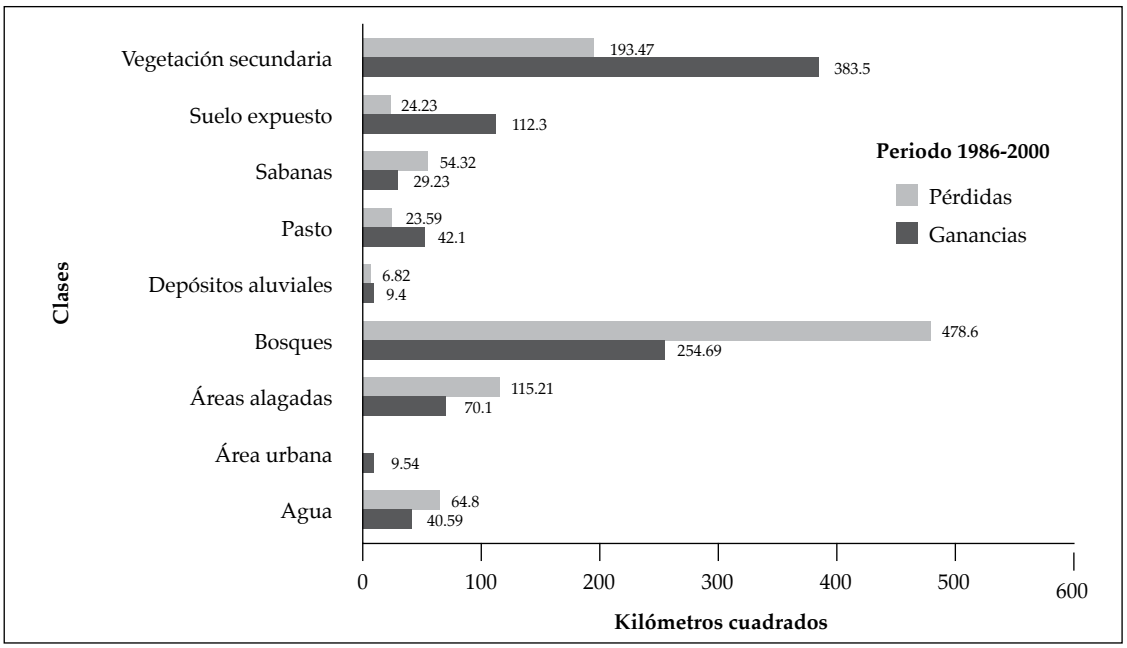


Figura 3. Pérdidas y ganancias de coberturas de suelo en el municipio de Riberalta, periodo 1986-2000.

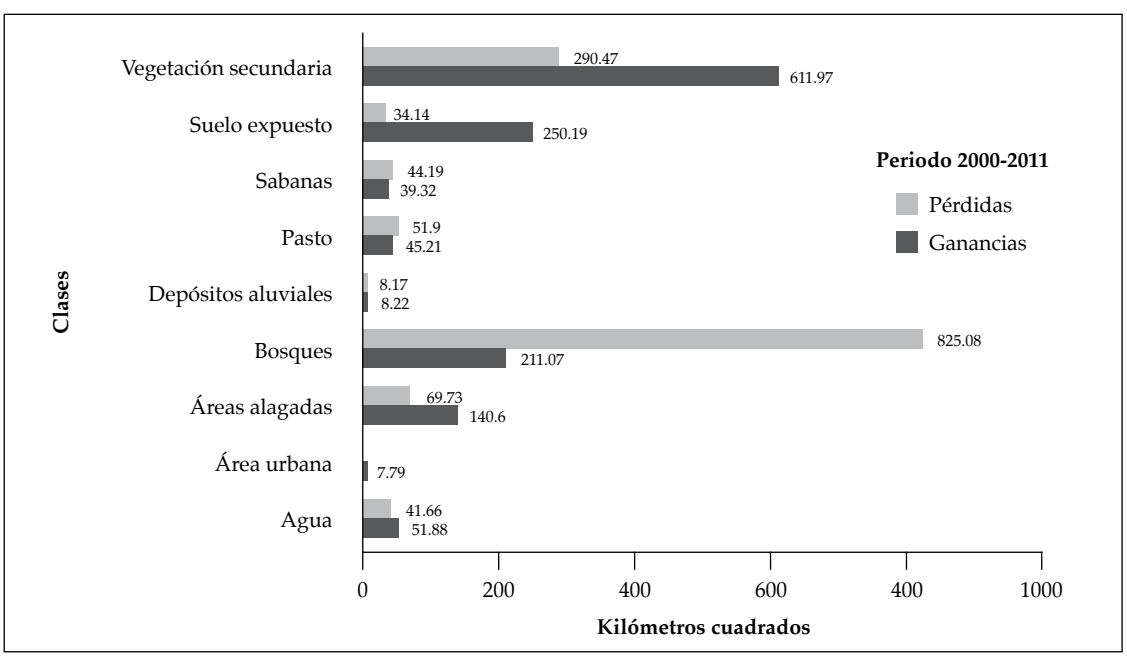


Figura 4. Pérdidas y ganancias de coberturas de suelo en el municipio de Riberalta, periodo 2000-2011.

Tabla 7. Evolución general del cambio de cobertura del suelo periodo 1986-2011.

Cambios de cobertura del suelo	km²	%
Coberturas mantenidas	8,198.52	84.30
Cambios en las coberturas	1,435.02	14.75
Error	92.20	0.95

Deforestación y regeneración natural de la cobertura forestal

El análisis espacial nos permitió diferenciar entre la deforestación real inducida por actividades humanas de aquellos cambios naturales de la cobertura forestal hacia otras coberturas que no implica necesariamente un proceso de deforestación. Es decir, aquellas áreas boscosas que fueron reemplazadas por cuerpos de agua por el cambio de cursos de ríos, por depósitos aluviales, áreas alagadas temporalmente e inclusive aquellas áreas que fueron reconocidas como parte del error de análisis de clasificación descrito anteriormente.

Entre 1986 y 2000 fueron 255.88 km^2 deforestados y entre 2000 y 2011 se alcanzó los 629.67 km^2 (Fig. 5). Mientras tanto que la pérdida de cobertura boscosa por otros procesos naturales que no es deforestación inducida fue de 111.44 km^2 entre 1986 y 2000 y 759.66 km^2 entre 2000 y 2011.

La deforestación entre 1986 y 2000 se efectuó en los alrededores de la ciudad de Riberalta y en las zonas de mayor acceso como las vías camineras (Fig. 5). Entre 2000 y 2011 la deforestación se incrementó teniendo mayor incidencia hacia el norte y noreste del municipio.

También es notorio que además de las vías de comunicación, las vías fluviales al norte y noroeste del municipio parecen tener gran importancia para acceder a otras áreas alejadas que permiten asentamientos humanos (localidades) y por ende deforestación. Sin embargo, esta tendencia no es el caso para la parte sur del municipio en donde se encuentra las Tierras Comunitarias de Origen. En estas áreas las superficies deforestadas son más pequeñas y esporádicas pesé a que la mayor parte de su territorio es bosque.

La regeneración natural de la cobertura forestal entre 1986 y 2000 fue de 39.51 km^2, se refiere principalmente a aquella cobertura que alcanzo el estrato forestal bosque. Para el periodo 2000-2011 se regeneraron 22.17 km^2. Dicha regeneración ocurre frecuentemente cerca de las áreas deforestadas (Fig. 5). Otros cambios que no se califican como regeneración natural como por ejemplo el cambio de áreas alagadas a bosque, fueron de 15.58 km^2 entre 1986 y 2000, mientras que para el periodo 2000-2011 fueron de 4.92 km^2 (Tabla 8).

Tabla 8. Cuantificación de la superficie deforestada y la regeneración de la cobertura forestal en Riberalta.

Procesos de cambio	km²
Deforestación inducida 1986-2000	255.88
Deforestación inducida 2000-2011	629.67
Otros cambios (no deforestación inducida) 1986-2000	111.44
Otros cambios (no deforestación inducida) 2000-2011	759.66
Regeneración natural 1986-2000	39.51
Regeneración natural 2000-2011	22.17
Otros cambios (no regeneración natural) 1986-2000	15.58
Otros cambios (no regeneración natural) 2000-2011	4.92

Los principales actores ligados a la deforestación para el periodo 1986-2011 son los propietarios de tierras privadas con una deforestación acumulada de 314.08 km^2, seguidos de tierras de comunidades campesinas (Figs. 6-7). Cabe mencionar que existe un área de deforestación (254.39 km^2) considerado como tierras en proceso de saneamiento, inhibiendo la identificación del tipo de actor responsable de esta importante pare de la deforestación. Se verificaron 141 puntos en dónde existió algún proceso de deforestación, de los cuales 60 puntos fueron verificados por el software Google Earth Pro (Figs. 5-7).

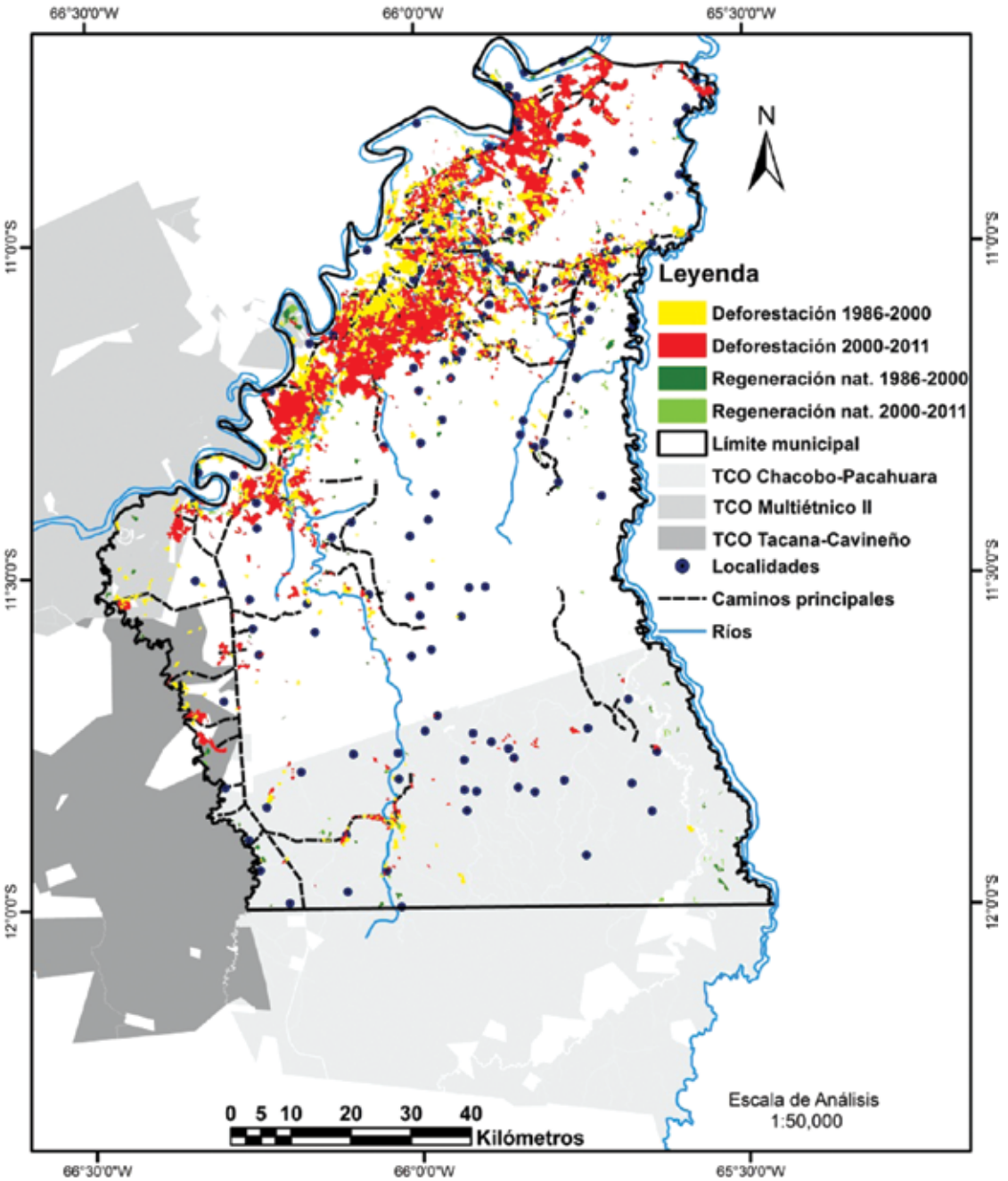


Figura 5. Deforestación y regeneración natural de la cobertura forestal en Riberalta, periodo 1986-2011.

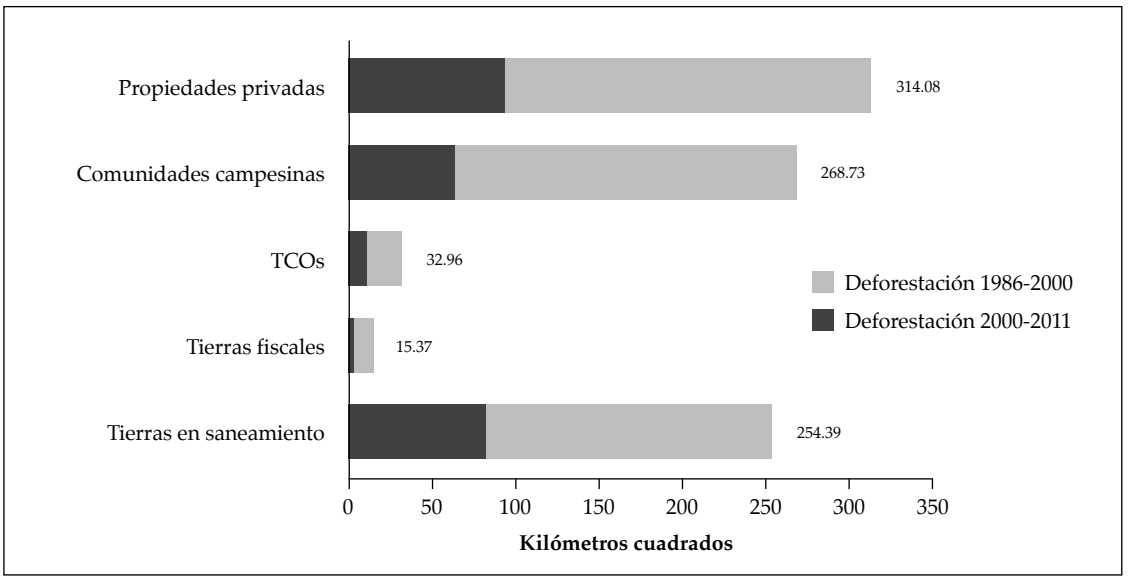


Figura 6. Deforestación de la cobertura forestal en Riberalta, periodo 1986-2011.

Discusión

Originalmente, Riberalta fue un municipio forestal, ya que la mayor parte de la superficie municipal históricamente ha estado cubierta por bosques naturales. En un informe de Kaimowitz & Bojanic (1998) indicaron de que el 93% del territorio (excepto la cobertura sabana) estaba cubierto por bosque primario, el 4% estaba bajo cultivo y vegetación secundaria, el 2% eran pastos naturales y la superficie restante eran pastos cultivados que estaban bajo de otros usos de suelo, y además, antes de los años 1980s la deforestación era muy baja.

Sin embargo, el cambio en la cobertura del suelo de bosques hacia otras clases ha significado una reducción del 8.81% de la superficie municipal en general, representando el 10.42% del área originalmente cubierta por bosques en 1986; cifras comparables con los encontrados por Killeen *et al*. (2009) en su estudio sobre la pérdida de bosques en esta área hasta 2008 (7.9%). Las estimaciones de pérdida de la cobertura forestal realizadas por FAN (2010) fue de 823.01 km^2 hasta 2008, también un dato muy parecido a nuestras estimaciones de 837.92 km^2 para el período comprendido entre 1986 y 2011.

Altamirano (2009) por su lado estimó un área total de 7.572 km^2 de bosque para 2008, dato que comparado con los 7.201 km^2 de bosques cuantificados en el presente estudio hasta 2011, muestran diferencias cuantitativas que se puede atribuir a las metodológicas o se sugiere que la cubierta forestal entre 2008 y 2011 se perdieron aproximadamente 370.86 km^2.

Una comparación de las clases de cobertura de suelo en este estudio confirma una reducción de 837.92 km^2 de bosques entre 1986 hasta 2011. De acuerdo con nuestro análisis, la pérdida de bosques en este período corresponde principalmente a los cambios de bosques a vegetación secundaria (32.34-83.49 km^2), incremento en la cobertura de pastos (2.6-4.79 km^2) y de suelo expuesto (6.34-36.74 km^2), indicando una transición de coberturas forestales a coberturas no originales y antrópicas tal como se han detectado en otros estudios realizados en la zona (Killeen *et al*. 2005, 2007, Müller *et al*. 2014a).

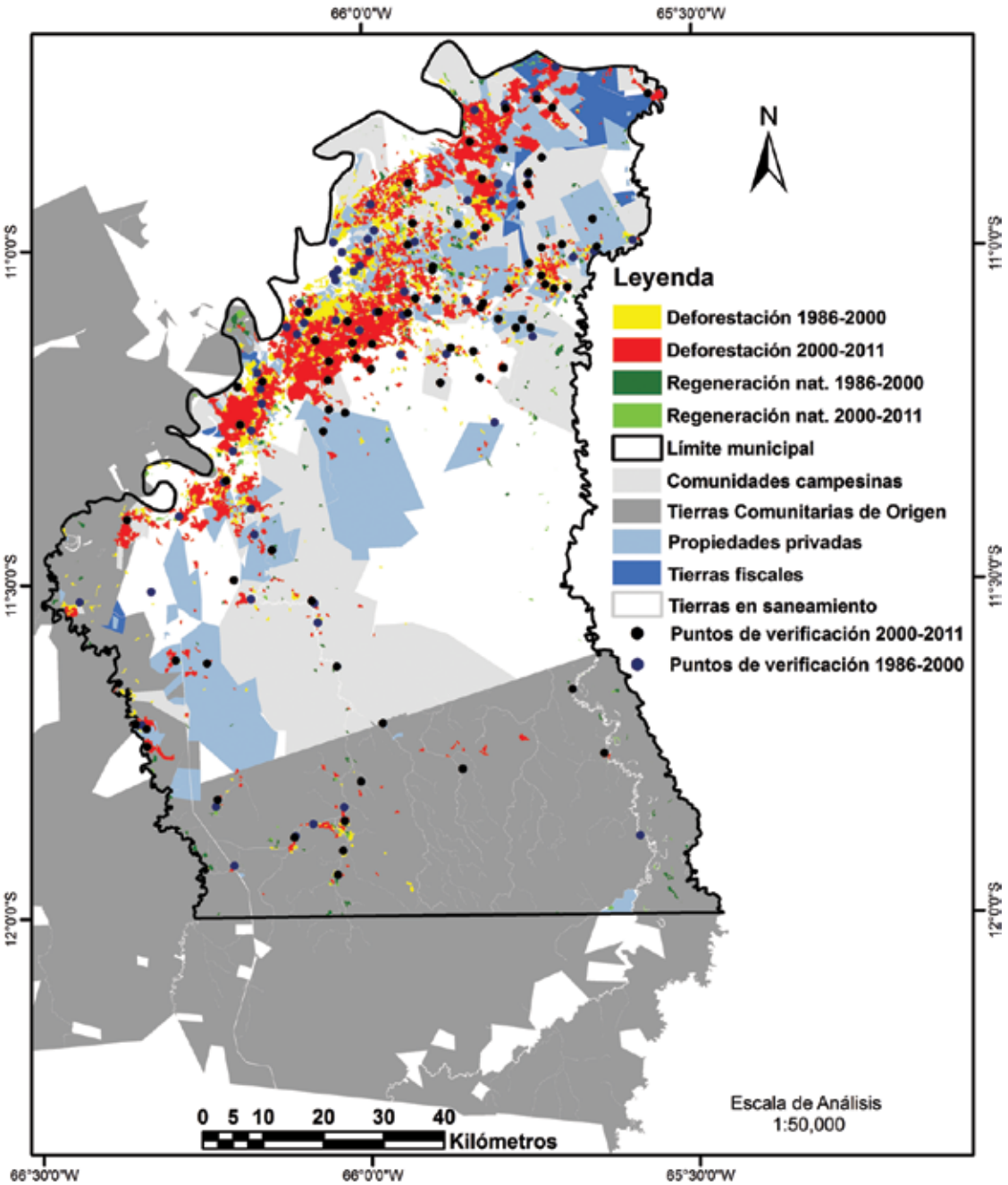
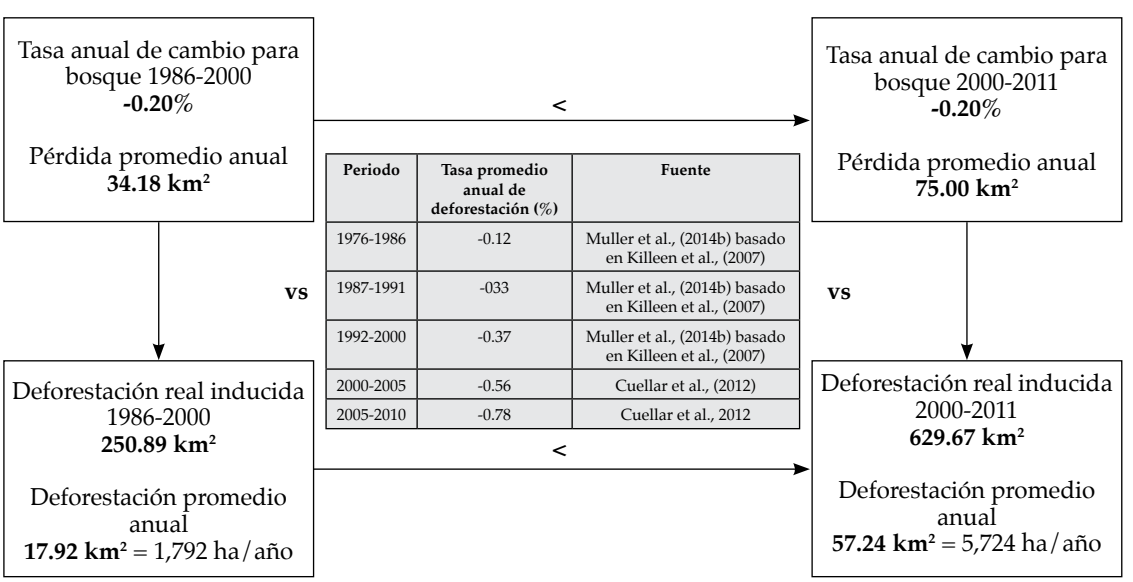


Figura 7. Deforestación y regeneración natural de la cobertura forestal por tipo de usuario en Riberalta, periodo 1986-2011.

Los 255.88 km^2 deforestados entre 1986-2000 y los 629.67 km^2 entre 2000-2011 también se detectaron otros tipos de pérdida de cobertura boscosa debido procesos naturales (111.44 km^2 entre 1986 y 2000 y 759.66 km^2 entre 2000 y 2011). Algunos de estos cambios de coberturas de suelo por lo general están relacionados a la dinámica de los ríos en épocas crecientes lo cual lleva a un reemplazo de cobertura forestal hacia depósitos aluviales, agua o áreas inundadas o alagadas tal como menciona Rodríguez (1995) al explicar estos cambios en la Amazonía.

Por otro lado, el análisis de tasas de cambios de las coberturas mediante la matriz de tabulación cruzada permitió identificar que todos los cambios de la clase bosque no necesariamente son deforestación real inducida, sino más bien una serie de cambios naturales como se describió previamente. De acuerdo a Pontius *et al*. (2004) se fundamenta que la matriz evalúa el cambio total de clases de coberturas de suelo de acuerdo a cambio neto y los intercambios entre clases, asimismo, el análisis de estos componentes permitió distinguir entre una transición del paisaje claramente sistemática y una transición paisaje aparentemente al azar. Esto ayudo a centrarnos en las señales más fuertes de transiciones sistémicas del paisaje para distinguir el patrón natural y antrópico y por consiguiente detectar los cambios de la cobertura de suelo y deforestación con mayor exactitud.

La tasa de cambio de la superficie de bosques fue de -0.2% de reducción en comparación al inicio de cada año entre 1986 y 2000, y es más baja que la tasa de deforestación nacional general para Bolivia -0.3% para el período 1975-1993 calculada por Wochholtz *et al*. (2006), la cual se incrementó en 89% entre 1993 y 2000 (Rojas *et al*., 2003). Asimismo, Müller *et al*. (2014b) - basado en Killeen *et al*. (2007) - calculó una tasa de -0.33% para el periodo 1987-1991 y -0.37% para el periodo 1992-2000, valores mayores que la tasa de cambio calculada para Riberalta. Estas comparaciones sugieren que los procesos de cambios de la cobertura boscosa para el área evaluada hasta antes del año 2000 eran bajos en relación al promedio de deforestación anual nacional (Fig. 8).



Periodo	Tasa promedio anual de deforestación (%)	Fuente
1976-1986	-0.12	Muller et al., (2014b) basado en Killeen et al., (2007)
1987-1991	-033	Muller et al., (2014b) basado en Killeen et al., (2007)
1992-2000	-0.37	Muller et al., (2014b) basado en Killeen et al., (2007)
2000-2005	-0.56	Cuellar et al., (2012)
2005-2010	-0.78	Cuellar et al., 2012

Figura 8. Comparación de la tasa anual de cambio y deforestación real inducida en Riberalta, periodo 1986-2011 en relación a la deforestación nacional.

Entre 2000 y 2011, la tasa de cambio de -0.74% fue superior a la tasa nacional de deforestación calculada por Rojas *et al*. (2003), Wochholtz *et al*. (2006) y Cuéllar *et al*. (2012) entre 1975 y 2005. Sin embargo, fue ligeramente inferior a la del período 2005-2010 (-0.78%) calculado por Cuéllar *et al*. (2012). Del mismo modo, se puede observar que los principales cambios ocurridos en materia de cubiertas naturales que transforman en cubiertas no originales (vegetación secundaria, pastos, área urbana y del suelo expuesto), se produjeron sobre todo en el período de tiempo comprendido entre 2000 y 2011.

Generalmente la deforestación en Riberalta ha ocurrido a los lados de la infraestructura caminera, que por lo general es un factor que se repite en la región (Corredor Norte 2006), en la Amazonía boliviana (Lordemann *et al*., 2011, Müller *et al*. 2014a, b), así como en la Amazonía continental (Soares-Filho *et al*. 2006). Según Laurance *et al*. (2015), el 95% de toda la deforestación en la Amazonía se produce a una distancia hasta 5 kilómetros desde una carretera.

De igual manera, nuestros datos y observaciones indican de que la deforestación en Riberalta está vinculada principalmente a las actividades realizadas por los propietarios de tierras privadas con 314.08 km^2 entre 1986 y 2011, hecho que se relaciona a lo expuesto por la UFMA (2010) de que las zonas que sufren más la deforestación y la degradación forestal corresponden a las propiedades privadas y las comunidades rurales y no meras zonas indígenas según lo sugerido anteriormente por Killeen *et al*. (2008) cuando clasifican a los usuarios del norte amazónico como indígenas y campesinos e interpretan que estos son los principales causantes de la deforestación (Peralta-Rivero *et al*. 2013). Además las comunidades campesinas muestran grandes superficies deforestadas debido a que en muchos casos se han establecidos sobre tierras ya intervenidas o deforestadas previamente, es decir, áreas que les fueron asignadas por compensación de falta de territorios demandadas durante el saneamiento de tierras en el norte amazónico de Bolivia (Pacheco *et al*. 2009).

Por otro lado, la regeneración de la cobertura forestal (61.68 km^2) entre 1986 y 2011 ha sido muy baja en relación a la deforestación, lo cual indica que anualmente se incrementa el déficit de cobertura forestal en el municipio, fenómeno que ocurre para toda el área forestal de Bolivia (SERNAP 2013). Otro aspecto que no favorece a la regeneración de la cobertura forestal en la región es la falta de programas o proyectos de restauración de áreas degradadas y las acciones están más bien dirigidas sólo a que las coberturas forestales se conserven sin tener planes de acciones concretos.

Toda la pérdida forestal en Riberalta viene a reforzar a lo indicado por Malhi *et al*. (2008) respecto a la constante reducción de los bosques amazónicos, como también lo sugirieron Andersen & Mamani (2009) y Araujo *et al*. (2010) en cuanto a respuesta de la biodiversidad. Por otro lado, con esta actividad se está contribuyendo con las emisiones por deforestación tomando en cuenta las 175 tC/ha que en promedio un bosque amazónico posee, indicado por Carvalho *et al*. (2004).

Varios estudios sugieren que áreas de este municipio es considerada y tiene el potencial en cuanto a biodiversidad (Ibish *et al*. 2005, BirdLife 2006, Araujo *et al*. 2010, RAMSAR 2013). Sin embargo, las experiencias demuestran que programas de conservación han sido limitados escasos. De esta manera se considera de suma importancia tomar medidas preventivas de manejo y conservación de los ecosistemas en la región.

Conclusión

El análisis realizado en base a la matriz de tabulación cruzada y las tasas de cambios de las coberturas de suelo demuestra que las coberturas no nativas como la vegetación

secundaria, suelo expuesto, zona urbana y pastos han modificado el paisaje biofísico del municipio de Riberalta en el período 1986-2011. La tasa de cambio para bosques (-0.2%) entre 1986 y 2000 fue inferior a las tasas de deforestación nacionales reportadas para Bolivia entre 1987 y 2000, sin embargo, se ha incrementado hasta -0.74% entre 2000 y 2011, aproximándose a la tasa de deforestación nacional entre 2005 y 2010 (-0.78%), reportado por otros autores. Los principales actores ligados a la deforestación fueron los propietarios de tierras privadas con 314.08 km^2 y no así las zonas indígenas.

Las áreas deforestadas dentro de las tierras comunitarias de origen (TCO) son pequeñas y esporádicas, mientras que la deforestación es más fuerte al norte y al noreste del municipio donde se encuentran las principales vías de comunicación.

La regeneración natural de la cobertura forestal (61.68 km^2) en el municipio es casi quince veces menor en superficie en relación a la deforestación inducida (885.55 km^2).

El análisis de los cambios en la cobertura de la tierra en este municipio demuestra que las tasas de cambio y la deforestación están aumentando en este municipio y estos procesos pueden reflejar una tendencia de deforestación futura para la región de la Amazonía boliviana en general, si no se toman medidas preventivas de manejo y conservación de la cobertura forestal ante este fenómeno antrópico.

Agradecimientos

Este estudio fue apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México y el Centro de Recursos Naturales y Desarrollo de Alemania (CNRD) a través de una beca a tiempo completo. También agradecemos al Programa de Posgrado Multidisciplinario en Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, al personal del Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria de la Coordinación para la Innovación y la Aplicación de la Ciencias y Tecnología en México por su colaboración y apoyo en el desarrollo este proyecto de investigación.

Referencias

Andersen, L. & Mamani, R. 2009. "Cambio Climático en Bolivia hasta 2100: Síntesis de Costos y Oportunidades". Documento para el Estudio Regional de Economía del Cambio Climático en Sudamérica (ERECC-SA), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). La Paz. 41 p.

Anderson, J., E. Hardy, J. Roach & R. Witmer. 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Geological Survey Professional Paper 964: 1-28.

Altamirano, S. 2009. Estratificación de bosques para el programa subnacional indígena REDD Amazonía. Informe final de consultoría, no publicado. Fundación Amigos de la Naturaleza, Santa Cruz. 9 p.

Araujo, N., R. Müller, C. Nowicki & P. Ibisch (eds.). 2010. Prioridades de conservación de la biodiversidad en Bolivia. SERNAP, FAN, TROPICO, CEP, NORDECO, GEF II, CI, TNC, WCS, Universidad de Eberswalde. Editorial FAN, Santa Cruz. 74 p.

Barreto, P., C. Souza, R. Noguerón, A. Anderson & R. Salomão. 2006. Human pressure on the Brazilian Amazon forest. World Resources Institute-WR/Instituto do Homen e Meio Ambiente da Amazonia-IMAZON, Belém. 84 p.

BirdLife, 2006. Conservando las aves migratorias neotropicales en los Andes tropicales. Ecuador: BirdLife International y U.S. Fish and WildlifeService, Quito. 105 p.

Bürgi, M., A. Hersperger & N. Schneeberger. 2004. Driving forces of landscape change-current and new directions. Landscape Ecology 19(8): 857-868.

Brunett, C. & T. Blaschke. 2003. A multi-scale segmentation/object relationship modeling methodology for landscape analysis. Ecological Modelling 168 (3): 233-249.

Carvalho, G., P. Moutinho, D. Nepstad, L. Mattos & M. Santilli. 2004. An Amazon perspective on the forest-climate connection: Opportunity for climate mitigation, conservation and development?. Environment, Development and Sustainability 6: 163- 174.

Carnevale, N. J., C. Alzugaray & N. Di Leo. 2007. Estudio de la deforestación en la Cuña Boscosa santafesina mediante teledetección espacial. Quebracho-Revista de Ciencias Forestales (14): 47-56.

Corredor Norte. 2006. Diagnóstico socioeconómico: Evaluación ambiental estratégica del corredor norte de Bolivia. Ministerio de Servicios y Obras Públicas Servicio Nacional de Caminos, La Paz, 454 p.

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. Mapa a escala 1:2.300.000.

Cruz, C., R. Vicens, V. Seabra, R. Balbi, O. Alvarenga, M. Richter, P. Kopke, E. Arnaut & M. Araújo. 2007. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. Pp. 5691-5698. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis.

CIDDEBENI (Centro de Investigación y Documentación para el Desarrollo del Beni). 2009. Diagnóstico municipal consolidado de Riberalta. Riberalta. 68 p.

Definiens, A. G. 2006. User guide. Document Version 5.0.6.1. Munich. 122 p.

Etter, A., C. McAlpine, D. Pulla & H. Possingham. 2005. Modeling the age of tropical moist forest fragments in heavily-cleared lowland landscapes of Colombia. Forest Ecology and Management 208(1-3): 249-260.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1996. Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Roma. 154 p.

FAN (Fundación Amigos de la Naturaleza). 2010. Cambio de cobertura de la tierra 1976-2008 en la Amazonía. Museo de Historia Natural Noel Kempff, Depto. de Geografía 2009, Santa Cruz. 10 p.

Vieira, I., J. M. Silva, & P. M. Toledo. 2005. Estratégias para Evitar a Perda de Biodiversidade na Amazônia. Estudos Avançados 19(54): 153-164.

Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, 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.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge y Nueva York. 996 p.

Kaimowitz, D. & A. Bojanic. 1998. Riberalta: Extractivistas bajo una élite tradicional. pp.136-178. En: Pacheco; P. & Kaimowitz D. (eds.) Municipios y Gestión Forestal en el Trópico Boliviano. Centro Internacional de Investigaciones Forestales (CIFOR), Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA), Taller de Iniciativas en Estudio Rurales y Reforma Agraria (TIERRA), Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR), Santa Cruz.

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(7): 600-606.

Killeen, T. J., A. Guerra, M. Calzadilla, L. Correa, V. Calderon, L. Soria, B. Quezada & M. K. Steininger. 2008. Total historical land-use change in eastern Bolivia: who, where, when, and how much? Ecology and Society 13(1): 36. Disponible en: http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art36/

Killeen, T. J., V. Calderon, L. Soria, B. Quezada, M. K. Steiniger & G. Harper. 2009. Treinta años de cambio de uso del suelo, quiénes, dónde, por qué y cuánto? Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Conservación Internacional & NASA/Goddard Space Flight Center, Santa Cruz. Informe no publicado. 18 p.

Laurance, W.F., A. Peletier-Jellema, B. Geenen, H. Koster, P. Verweij, P. Van Dijck, T.E. Lovejoy, J. Schleicher & M. Van Kuijk. 2015. Reducing the global environmental impacts of rapid infrastructure expansion. Current Biology 25(7): 259-262. http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2015.02.050

Lang, S., F. Albrecht & T. Blaschke, 2006. OBIA-Tutorial – Introduction to Object-based Image Analysis, v 1.0 – Salzburg.

Lang, S. & T. Langake. 2006. Object-based mapping and objetc-relationship modelling for land use classes and habitats. PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformatik 1: 1-18.

Lordemann, J. A., H. V. Quino, J. M. Lacambra & D. Leguía. 2011. Análisis municipal de los determinantes de la deforestación en Bolivia. Documentos de trabajo. Universidad de Zaragoza. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Zaragoza. 28 p.

Malhi, Y., J. T. Roberts, R. A. Betts, T. J. Killeen, W, Li & C. A. Nobre. 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. Science, American Association for the Advancemet of Science 319: 169-172.

Müller, R., D. M. Larrea-Alcázar, S. Cuéllar, & S. Espinoza. 2014a. 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.

Müller, R., P. Pacheco & J. C. Montero. 2014b. El contexto de la deforestación y degradación de los bosques en Bolivia: Causas, actores e instituciones. Documentos Ocasionales 100. Bogor, Indonesia. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor. 89 p.

Navarro, G. & W. Ferreira. 2007. Leyenda explicativa de las unidades del mapa de vegetación de Bolivia a escala 1:250.000. The Nature Conservancy / Rombol, Cochabamba. 65 p.

Pacheco, P., E. Ormachea, P. Cronkleton, M. Albornoz & L. Paye. 2009. Trayectorias y tendencias de la economía extractiva en el norte amazónico de Bolivia. Centro Internacional de Investigaciones Forestales (CIFOR), Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA), La Paz. 52 p.

Parker, C., Mitchell, A., Trivedi, M., & N. Mardas. 2009. The little REDD+ Book. Global Canopy Programme.71 p.

Peralta-Rivero, C., C. Contreras, M. G. Galindo, J. C. Torrico, & V.A. Vos. 2013. Percepción sobre la valoración del bosque y proyectos MDL y REDD en Riberalta, Amazonía boliviana. CienciAgro 2(4): 441-455.

Peralta, C., V. Vos, O. Llanque & A. Zonta. 2009. Productos del Bosque. Potencial social, natural y financiero en hogares de pequeños productores de la Amazonía. Report of the livelihood Workpackage 3. Universidad Autónoma del Beni "José Ballivián", Riberalta. Reporte no publicado. 175 p.

Pontius, R. G., E. Shusas & M. McEachern. 2004. Detecting important categorical

land changes while accounting for persistence. Agriculture, Ecosystems and Environment 101: 251-268. http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008

Priego, A., G. Bocco, M. Mendoza & A. Garrido 2008. Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes, fundamentos y métodos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental Universidad Nacional Autónoma de México, México DF. 98 p.

RAMSAR. 2013. Sitio Ramsar Yata, Beni-Bolivia. Mapa a escala 1: 1,732,404.

Rodríguez , F. (1995). El recurso del suelo en la Amazonía peruana, diagnóstico para su investigación. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Iquitos. 58 p.

Rojas, D., I. Martínez, W. Cordero & F. Contreras. 2003. Tasa de deforestación de Bolivia: 1993–2000. Superintendencia Forestal, Proyecto BOLFOR, Santa Cruz. 46 p.

Seabra, V. & F. P. Silva. 2011. O uso do sensoriamento remoto para análise da evolução das manchas urbanas no município de Maricá entre os anos de 1975. 1990 e 2008. Pp. 6426- 6433. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba.

SERNAP (Servicio Nacional de Áreas Protegidas). 2013. Deforestación y regeneración de bosques en Bolivia y en sus áreas protegidas nacionales para los periodos 1990-2000 y 2000-2010. Ed. Servicio Nacional de Áreas Protegidas, Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado y Conservación Internacional – Bolivia, La Paz. 36 p.

Sierra, R. 2000. Dynamics and patterns of deforestation in the western Amazon: the Napo deforestation front: 1986–1996. Applied Geography 20(1): 1-16.

Soares-Filho, B. S., D. C. Nepstad, L. M. Curran, G. C. Cerqueira, R. A. Garcia, C. A. Ramos & P. Schlesinger. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. Nature 440(7083): 520-523.

Torrico, J. 2011. La "Revolución Sectorial" a examen. Revolución productiva, rural, agraria y forestal. Parte A: Problemas, Contradicciones y Alternativas. Análisis 1(4): 34-45.

TGLCF (The Global Land Cover Facility). 2010a. Landsat GeoCover degree subset p233r67_5t19860707, University of Maryland Institute for Advanced Computer Studies, College Park, Maryland, 04/17/2003.

TGLCF (The Global Land Cover Facility). 2010b. Landsat GeoCover degree subset p233r68_5t19860707, University of Maryland Institute for Advanced Computer Studies, College Park, Maryland, 04/17/2003.

TGLCF (The Global Land Cover Facility). 2010c. Landsat GeoCover degree subset p001r68_5t19910728, University of Maryland Institute for Advanced Computer Studies, College Park, Maryland, 04/18/2003.

UFMA (Unidad Forestal y Medio Ambiente). 2010. Diagnóstico de actores del sector forestal con vista a la mesa de diálogo del bosque. Municipio de Riberalta, Riberalta. 64 p.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2009. Geo Amazonia: environment outlook in Amazonia. Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) en colaboración con el Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico (CIUP), Ciudad de Panamá. 323 p.

Vos, V.A. & E. Aviana M. 2015. La castaña, orgullo boliviano (Brazil Nuts, Bolivian Pride). Enfoque Amazónico 2: 9-33.

Wachholtz, R. 2006. Avance de la deforestación mecanizada en Bolivia: Tasa anual de deforestación mecanizada en los años 2004 y 2005. Proyecto Combate a la Deforestación ilegal e Incendios del

bosque boliviano (CDI). USAID. TNC. BOLFOR II. CIM – GTZ, Santa Cruz. 51 p.

Weckmüller, R., N. C. Slovinscky & R. Vicens. 2013. Análise multitemporal como subsídio à identificação da trajetória evolutiva do uso e cobertura da terra no corredor ecológico do Muriqui/RJ. Revista Brasileira de Cartografia 65(3): 467-477.

Zani, M., L. Rosario, R. Barros & C. Cruz. 2013. Uso de mineração de dados na identificação da cobertura vegetal através de modelos espectrais: uma contribuição metodológica para o mapeamento na escala 1:100,000. Pp. 3207-3214. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçú.

Artículo recibido en: 21 julio 2015.
Manejado por: Mónica Moraes.
Aceptado en: 26 agosto 2015.

Anexo 1. Puntos de verificación de la deforestación en el municipio de Riberalta, periodo 1986-2011.

Número	Puntos para 1986-2000		Número	Puntos para 2000-2011	
1	66° 0′ 17.213″ W	11° 1′ 34.297″ S	71	66° 13′ 45.396″ W	11° 49′ 27.124″ S
2	66° 19′ 35.810″ W	11° 30′ 41.149″ S	72	66° 20′ 8.196″ W	11° 44′ 36.838″ S
3	66° 16′ 59.035″ W	11° 23′ 57.089″ S	73	66° 22′ 39.312″ W	11° 38′ 52.395″ S
4	66° 10′ 19.036″ W	11° 16′ 17.336″ S	74	65° 44′ 49.985″ W	10° 53′ 20.079″ S
5	66°12′ 1.369″ W	11° 18′ 6.279″ S	75	65°44′ 53.681″ W	11° 1′ 29.402″ S
6	66°9′ 20.898″ W	11°13′ 51.706″ S	76	65°55′ 46.931″ W	10° 54′ 9.874″ S
7	66° 9′ 28.249″ W	11°12′ 33.857″ S	77	66° 17′ 26.945″ W	11° 36′ 53.158″ S
8	66°9′ 44.802″ W	11° 11′ 7.607″ S	78	66° 14′ 35.639″ W	11° 37′ 11.157″ S
9	66°12′ 52.297″ W	11°20′ 54.508″ S	79	65° 39′ 4.380″ W	10°57′ 31.868″ S
10	66°6′ 4.248″ W	11°7′ 39.903″ S	80	65° 49′ 4.676″ W	11° 5′ 1.244″ S
11	66° 6′ 59.954″ W	11°7′ 0.668″ S	81	65°46′ 45.892″ W	11° 3′ 46.299″ S
12	66° 5′ 24.424″ W	11°6′ 38.122″ S	82	65° 49′ 6.872″ W	10° 53′ 51.222″ S
13	66°5′ 48.140″ W	11° 4′ 53.997″ S	83	65°50′ 11.539″ W	10° 50′ 30.708″ S
14	66°2′ 29.998″ W	11° 2′ 50.682″ S	84	65° 48′ 48.640″ W	10° 58′ 12.591″ S
15	66° 2′ 43.919″ W	11° 2′ 18.105″ S	85	65° 43′ 38.051″ W	10° 51′ 58.543″ S
16	66° 0′ 50.565″ W	11° 2′ 3.986″ S	86	65° 52′ 6.397″ W	11° 9′ 0.823″ S
17	66°2′ 19.427″ W	11° 1′ 55.299″ S	87	65° 50′ 2.109″ W	11° 9′ 21.127″ S
18	66°2′ 31.063″ W	11° 6′ 28.985″ S	88	65° 47′ 43.773″ W	11° 6′ 27.328″ S
19	66°0′ 22.281″ W	11° 7′ 22.014″ S	89	65° 44′ 1.297″ W	10° 46′ 43.159″ S
20	65°58′ 50.663″ W	11°5′ 44.247″ S	90	65° 42′ 37.490″ W	10° 47′ 31.903″ S
21	65° 56′ 23.881″ W	11° 6′ 3.055″ S	91	65° 46′ 53.133″ W	10° 47′ 33.113″ S
22	65° 56′ 16.619″ W	11° 3′ 56.044″ S	92	66° 1′ 45.395″ W	11° 14′ 46.927″ S
23	65° 55′ 15.724″ W	10° 59′ 27.053″ S	93	66° 3′ 11.319″ W	11° 10′ 9.234″ S
24	65° 56′ 40.495″ W	11° 9′ 34.683″ S	94	65° 58′ 35.973″ W	11° 5′ 43.645″ S
25	65° 52′ 28.923″ W	11° 9′ 34.330″ S	95	65° 59′ 14.382″ W	11° 8′ 36.937″ S
26	65° 50′ 38.458″ W	11° 4′ 48.486″ S	96	65° 59′ 22.395″ W	11°10′ 53.136″ S

27	66° 2′ 41.589″ W	10° 59′ 26.030″ S	97	66° 3′ 18.586″ W	11° 11′ 51.315″ S
28	65° 59′ 25.654″ W	11° 0′ 18.959″ S	98	66° 3′ 14.885″ W	11° 14′ 28.405″ S
29	66° 1′ 54.567″ W	11° 0′ 21.047″ S	99	66° 20′ 9.945″ W	11°43′ 0.615″ S
30	65°59′ 32.194″ W	10° 59′ 9.568″ S	100	66°2′ 45.101″ W	11°37′ 34.844″ S
31	65°58′ 57.599″ W	10° 58′ 23.050″ S	101	65°58′ 35.928″ W	11° 42′ 42.720″ S
32	65° 59′ 14.898″ W	10° 56′ 4.195″ S	102	66°0′ 39.434″ W	11° 47′ 57.204″ S
33	65° 55′ 51.591″ W	10° 54′ 15.178″ S	103	66°6′ 46.429″ W	11° 52′ 55.551″ S
34	65° 49′ 52.957″ W	10°58′ 58.205″ S	104	66° 2′ 10.694″ W	11°51′ 28.476″ S
35	65° 48′ 14.184″ W	10° 55′ 49.939″ S	105	65°51′ 22.310″ W	11°46′ 53.995″ S
36	65° 50′ 23.858″ W	10° 55′ 47.928″ S	106	65° 38′ 24.240″ W	11° 45′ 36.001″ S
37	65° 47′ 38.519″ W	10° 54′ 19.430″ S	107	65° 41′ 14.971″ W	11°39′ 49.003″ S
38	65° 47′ 32.073″ W	10°51′ 12.550″ S	108	65° 41′ 24.550″ W	11° 3′ 38.761″ S
39	65° 49′ 42.201″ W	10° 47′ 39.384″ S	109	65° 33′ 56.278″ W	10°46′ 17.565″ S
40	65° 46′ 57.128″ W	10° 47′ 9.725″ S	110	65° 44′ 48.391″ W	11°7′ 16.883″ S
41	65° 44′ 4.532″ W	10°46′ 18.998″ S	111	65°45′ 34.463″ W	11° 6′ 31.416″ S
42	65° 42′ 19.316″ W	10°43′ 49.006″ S	112	65°43′ 46.704″ W	11°2′ 35.919″ S
43	65° 44′ 54.068″ W	10° 53′ 31.353″ S	113	65°42′ 39.106″ W	11° 3′ 47.039″ S
44	65°40′ 51.615″ W	11° 0′ 58.217″ S	114	65°46′ 7.786″ W	11° 7′ 16.479″ S
45	65°38′ 58.269″ W	11°0′ 25.777″ S	115	65° 49′ 27.047″ W	11° 11′ 45.267″ S
46	65° 35′ 25.406″ W	10° 59′ 26.983″ S	116	65°47′ 17.492″ W	11° 10′ 52.953″ S
47	66° 5′ 3.929″ W	11°51′ 42.536″ S	117	65° 38′ 42.184″ W	11°0′ 1.490″ S
48	66° 2′ 13.502″ W	11° 50′ 14.856″ S	118	65° 41′ 53.194″ W	10° 59′ 47.581″ S
49	66°4′ 26.505″ W	11° 33′ 36.710″ S	119	65° 43′ 44.283″ W	11° 0′ 4.184″ S
50	66°4′ 45.270″ W	11° 31′ 51.573″ S	120	66° 2′ 51.402″ W	11° 56′ 18.657″ S
51	66° 10′ 31.504″ W	11° 31′ 26.510″ S	121	66° 4′ 57.661″ W	11° 31′ 39.569″ S
52	66° 10′ 7.469″ W	11° 25′ 38.925″ S	122	66° 12′ 39.409″ W	11° 20′ 47.979″ S
53	66°10′ 26.152″ W	11° 23′ 19.883″ S	123	66° 12′ 2.020″ W	11° 29′ 43.611″ S
54	66°26′ 8.092″ W	11°31′ 33.894″ S	124	66°9′ 16.023″ W	11° 11′ 54.000″ S
55	66° 20′ 35.315″ W	11° 42′ 40.816″ S	125	66°21′ 43.842″ W	11° 24′ 13.119″ S
56	66°12′ 17.338″ W	11°55′ 24.411″ S	126	66° 5′ 2.630″ W	11° 5′ 39.589″ S
57	66° 6′ 40.898″ W	11°52′ 47.820″ S	127	66° 1′ 27.027″ W	11° 6′ 33.746″ S
58	66° 13′ 55.063″ W	11°50′ 3.805″ S	128	66°0′ 41.870″ W	11°9′ 50.785″ S
59	65°35′ 11.822″ W	11° 53′ 1.745″ S	129	66°4′ 24.637″ W	11° 8′ 14.357″ S
60	65° 44′ 36.030″ W	11° 8′ 4.870″ S	130	66° 1′ 1.826″ W	11° 8′ 29.330″ S
61	65° 48′ 10.122″ W	11° 15′ 46.067″ S	131	65°53′ 20.121″ W	11° 4′ 35.855″ S
62	65° 51′ 19.213″ W	10° 57′ 54.913″ S	132	65° 53′ 38.170″ W	11° 1′ 41.765″ S
63	65° 53′ 41.126″ W	11° 2′ 1.653″ S	133	65° 55′ 27.511″ W	10° 57′ 46.061″ S
64	65° 43′ 26.506″ W	11° 3′ 24.458″ S	134	65° 45′ 33.851″ W	10° 56′ 15.428″ S
65	65°49′ 20.121″ W	11° 5′ 27.392″ S	135	66° 11′ 21.009″ W	11° 15′ 44.836″ S
66	66° 2′ 21.242″ W	11° 54′ 8.143″ S	136	66°11′ 31.834″ W	11° 12′ 21.181″ S
	Puntos para 2000-2011		137	65° 53′ 3.242″ W	11°12′ 9.848″ S
67	66° 3′ 46.078″ W	11° 16′ 25.486″ S	138	65° 55′ 56.480″ W	11°5′ 52.378″ S
68	66°21′ 8.948″ W	11°42′ 33.582″ S	139	65° 55′ 15.179″ W	11° 4′ 33.425″ S
69	65°55′ 54.329″ W	10° 59′ 43.559″ S	140	66° 8′ 33.853″ W	11°27′ 2.598″ S
70	65° 47′ 6.014″ W	10° 51′ 12.461″ S	141	65°44′ 55.534″ W	10° 54′ 22.724″ S