

Cambios de Uso del Suelo, y Proyectos Forestales MDL y REDD en Riberalta, Amazonía Boliviana

Land use changes and CDM/REDD forest projects in Riberalta, Bolivian Amazon

Peralta-Rivero, C.^{1*} Contreras, C.¹ Galindo, M.G.¹ Torrico, J.C.² Vos, V. A.³

¹ Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma San Luis Potosí – México

² Institute for Technology and Resources Management in the Tropics and Subtropics Cologne University of Applied Sciences

³ Universidad Autónoma del Beni “José Ballivián” – Bolivia

* Autor para correspondencia, peralta.carmelo@gmail.com

RESUMEN

Este estudio se enfocó en el análisis del cambio de uso y cobertura del suelo y la identificación de áreas potenciales para la aplicación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y proyectos de Reducción de Emisiones de Carbono Derivadas de la Deforestación y Degradación Forestal (REDD) en el municipio de Riberalta, Amazonía Boliviana. Mediante la aplicación de análisis de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica se encontró que entre 1986 y 2011 1,141.46 km² de la superficie municipal mostró cambios de uso y coberturas de suelo originales a no-originales. Un total de 415.28 km² de coberturas son disponibles para actividades de reforestación, mientras solo 57.13 km² de esta superficie efectivamente tiene potencial para la implementación de proyectos MDL. También se identificó 7,200.81 km² como potenciales para la aplicación de proyectos REDD. Existe un potencial considerable de áreas para la implementación concreta de proyectos MDL y REDD en este municipio, y estos representan una valiosa oportunidad para establecer pagos por servicios ambientales.

Palabras clave: Deforestación, degradación forestal, Amazonía boliviana, MDL, REDD

ABSTRACT

The present study focused on the analysis of the changes of land use/ land cover and the identification of potential areas for the implementation of the Clean Development Mechanism (CDM) and projects related to the Reduction of Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD) in the municipal area of Riberalta, in the Bolivian Amazon. The application of Remote Sensing and Geographic Information Systems showed that between 1986 and 2011, 1,141.46 km² of the municipality had changed from original to non-original cover. The analysis showed that a total area of 415.28 km² can be used for reforestation activities, whereas only 57.13 km² of this surface are potentially suitable for the implementation of CDM projects. Another 7,200.81 km² were furthermore identified as a potential area for the implementation of REDD projects. There are considerable potential areas for the concrete implementation of CDM and REDD projects in this municipality, and these represent a valuable opportunity for Payments for Environmental Services.

Keywords: Deforestation, forest degradation, Bolivian Amazon, CDM, REDD

INTRODUCCION

El municipio de Riberalta, en el norte amazónico de Bolivia, presenta una de las mayores tasas de deforestación para Bolivia (Killeen et al., 2007), y es uno de los que más ha expandido su frontera agrícola y ganadera (aproximadamente unas 82,301 ha deforestadas hasta el año 2008) (FAN, 2010). Los procesos que se están desarrollando en este municipio, pueden reflejar tendencias futuras para la Amazonía boliviana en general.

Esfuerzos para mitigar problemas de este tipo han sido insuficientes. Por ejemplo, en el año 1995 con la elaboración del primer Plan de Desarrollo Municipal de Riberalta (PDM), no se logró implementar y sentar bases para el manejo eficiente de los recursos del bosque, por ello, en 1997 se elaboró el segundo PDM el cual contemplaba programas operativos anuales concernientes a la ejecución de programas de manejo de recursos naturales y medio ambiente, sin embargo, poco o nada se realizó al respecto (Bojanic & Kaimowitz, 1998). Asimismo, se revisó también el nuevo PDM y el diagnóstico municipal elaborado por CIDDEBENI (2009), y este no recurre como base al anterior y en su ejecución ha sido escasamente implementada, además, su visión en cuanto a recursos forestales es solo de extracción de madera y no de un manejo integral de los recursos forestales.

Por otro lado, el año 1997 se elaboró el Plan de Uso de Suelo (PLUS) para esta región. Sin embargo, muchas de las áreas declaradas como tierras de producción forestal permanente (PLUS, 1997) no son respetadas como tales por algunos actores forestales, y en estas se desarrollan otros tipos de uso del suelo ignorando el actual PLUS y trayendo consigo muchas contradicciones en cuanto al uso adecuado y planificación del desarrollo sustentable en esta región (UFMA, 2010).

De igual manera, revisado el Plan Municipal de Ordenamiento Territorial de Riberalta, elaborado por CONSA (2008), en este no se refleja la importancia del sector forestal y principalmente ha servido para cumplir los requisitos para el asfaltado de la carretera que une al municipio vecino de Guayaramerín, y no así, al de un ordenamiento que provea insumos de importancia para el sector forestal (UFMA, 2010).

El aumento de las concentraciones atmosféricas de CO₂ ha estado causando mucha preocupación, por

También se ha tratado de consolidar tres áreas protegidas y un Área de Reserva Forestal Municipal, las cuales han quedado solo en propuestas, solicitudes y ordenanzas municipales¹, y en sí, ninguna de estas pudieron ser consolidadas para desarrollar actividades de conservación (CIDDEBENI, 2009).

De esta manera, podemos darnos cuenta que se han realizado esfuerzos gubernamentales en este ámbito, pero que han sido escasos para lograr un desarrollo eficiente en base a las potencialidades con que cuenta esta región forestal.

No hay duda que el manejo apropiado de los recursos forestales en toda la Amazonía constituye hoy en día un tema estratégico para la humanidad, y para ello se necesitan poner a práctica y desarrollar herramientas apropiadas para contrarrestar las amenazas y mejorar los niveles de vida de las personas, y al mismo tiempo, mantener sosteniblemente los bosques de esta región (Pacheco et al., 2009).

Entre algunas de las alternativas para reducir los impactos sobre los bosques, está por ejemplo la Certificación de Reducción de Emisiones (CERs) del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) bajo el protocolo de Kioto, el cual fue el primer enfoque internacional que combina la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), mitigación del cambio climático y el desarrollo sustentable (Loayza, 2010). De igual manera, otro mecanismo de pago por servicios ambientales es la Reducción de Emisiones Derivadas de la Deforestación y Degradación Forestal (REDD), que está siendo desarrollado como una alternativa para reducir emisiones de GEI mediante la conservación de los bosques (PNC ONU-REDD, 2010).

Por lo señalado, el presente trabajo pretende demostrar el estado de arte sobre la aplicación de mecanismos de pago por servicios ambientales en el municipio de Riberalta,

¹ Solo se sabe de la ordenanza municipal 06/95 que reconoce el parque municipal "Lago San José" con 17,000 hectáreas, para asegurar la sostenibilidad ecológica y social del lugar. Otras Áreas Protegidas no consolidadas en el municipio de Riberalta es la Área Protegida del Yata de 650,000 has, y el Área Protegida Tumichucua de 2,000 has". También no se consolidó el Área Forestal de Reserva Municipal con 47,000 has (CIDDEBENI, 2009).

rescatando posibilidades y brindando pautas para concretizar mecanismos que permitan la remediación de áreas degradadas a través de proyectos de reforestación y proyectos de reducción de la deforestación y degradación forestal, contribuyendo a la conservación de los bosques, teniendo como incentivo la futura posibilidad de venta de créditos o bonos de carbono² como una alternativa a esta problemática.

El objetivo principal del presente estudio fue evaluar el uso, cambio de uso y cobertura del suelo en el municipio de Riberalta, en la Amazonía boliviana, para proponer medidas de remediación de áreas degradadas y conservación del bosque a través de proyectos de almacenamiento y captura de carbono bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto y de la Reducción de Emisiones Derivadas de la Deforestación y Degradación Forestal (REDD).

Se planteó la hipótesis de que “en el área de estudio, existe una potencial considerable para proyectos forestales MDL y REDD que permiten la recuperación de las coberturas degradadas y conservación del bosque en base a incentivos de créditos de carbono”.

ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Riberalta por sus características naturales está ubicado dentro del denominado Norte amazónico de Bolivia y es la primera sección de la Provincia Vaca Diez (Figura 1). Se encuentra entre los 10°59'36" de Latitud Sur y 66°04'25" de Longitud Oeste (CIDDEBENI, 2009), posee una superficie aproximada de 9,725.74 km² y cuenta una población proyectada de unos 106,545 habitantes hasta el año 2010 (CONSA, 2008) la cual se ubica como una de las 24 ciudades más grandes de la Amazonía continental que tienen población urbana mayor a 100,000 habitantes (UNEP, 2009).

² Los Bonos o Créditos de Carbono son denominado Certificados de Reducción de Emisiones (CERs por su sigla en inglés). El termino técnico para el resultado de los proyectos llevados a cabo en el Marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Un CER es una unidad de reducciones de gases de efecto invernadero que ha sido generada y certificada bajo las estipulaciones del Artículo 12 del Protocolo de Kyoto, el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Un CER equivale a una tonelada de Carbono y su precio es variable (Angelsen, 2009).

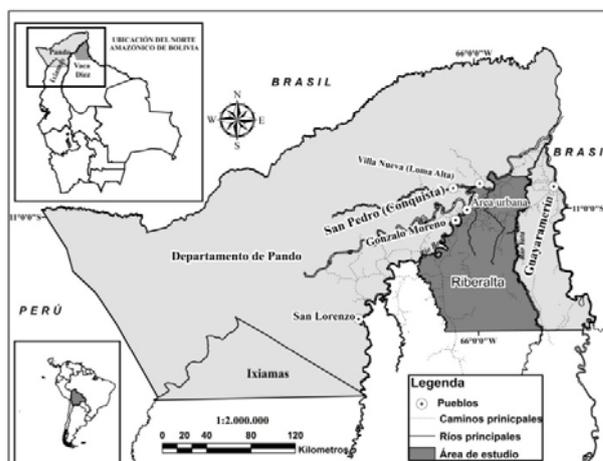


Figura 1. Ubicación del área de estudio “Riberalta” dentro del denominado Norte Amazónico de Bolivia

METODOLOGÍA

Para evaluar el uso del suelo, cambios de uso y cobertura del suelo, así como las áreas potenciales para la implementación de proyectos de reforestación, aforestación y conservación del bosque según el MDL y proyectos REDD, se utilizó como herramientas la Percepción Remota (PR) y el Sistema de Información Geográfica (SIG) a partir de los cuales se crearon mapas con un enfoque de arriba hacia abajo. Para ello, se obtuvieron imágenes LANDSAT TM5 de la cobertura del área de los periodos 1986, 2000 y 2011 a partir de las cuales se determinó las áreas potenciales mencionadas.

El criterio para determinar qué áreas son aptas y no aptas para proyectos MDL se basó en la revisión de las metodologías de línea base para proyectos de aforestación y reforestación a gran y pequeña escala aprobadas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) (MDP, 2006; UNFCCC, 2009a; UNFCCC, 2009b), y también por observación de las coberturas y usos de suelos que desarrollan en estas. De las 16 metodologías a gran escala revisadas (ver más en http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/aproved_ar.html%29), consideramos que 14 de ellas tienen posibilidades de ser implementadas, mientras que de las siete metodologías a pequeña escala (ver más en <http://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>), cinco de ellas podrían ser implementadas.

Los criterios para determinar áreas potenciales para proyectos REDD solo se basó en la identificación de la vegetación arbórea degradada y saludable, con potencial para capturar y conservar el carbono almacenado en estos ecosistemas (PNC ONU-REDD, 2010).

Ya para efectos de clasificación, las imágenes satelitales conseguidas fueron georeferenciadas y reproyectadas utilizando el software Envi 4.3 y para ello se utilizó grupos de puntos de control teniendo como base a las imágenes ya ortorectificadas del año 1986 (LANDSAT 233-067 y 068; LANDSAT 001-068) y 1991 (LANDSAT 001-68) (The Global Land Cover Facility, 2010a; 2010b; 2010c).

Para la clasificación del uso y cobertura del suelo fue empleado el software "Definiens Developer Ell Heart" el cual es un sistema computacional que realiza tareas de interpretación de imágenes de percepción remota empleando segmentación multiresolución, análisis orientado a objetos y jerarquía de decisiones (Definiens, 2006). Este análisis permite que el objeto combine en una única entidad su estructura (atributos) y su comportamiento (operaciones), y establece relaciones con los demás (Definiens, 2006).

En el procesamiento de las imágenes, 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. Para la jerarquización de clasificación, que tiene como resultado diferentes niveles de clases relacionadas entre sí, en función de una topología

definida, se utilizó el algoritmo del vecino más próximo (Nearest Neighbour algorithm). Para la definición de las clases temáticas y selección de muestras que representaron cada una de las clases (Tabla 1), se basó en el conocimiento previo del área de estudio y en la composición colorida utilizada.

En la clasificación se dio énfasis exclusivamente al modelaje fuzzy sobre descriptores espectrales apoyados en la selección de áreas de entrenamiento (muestras). El análisis fuzzy proporciona un grado de participación (pertinencia) de un objeto para todas las clases definidas en la leyenda, cuyos valores pueden ser insertados en nuevos contextos de clasificación (Cruz *et al.*, 2007). De esta manera fue realizada una clasificación no supervisada orientada a objetos con verificaciones de campo en el área del municipio de Riberalta (Figura 2).

Posterior a la clasificación de las clases, fue utilizado el Software ArcGis 9.3 para realizar una reclasificación o agrupación de las clases (Tabla 2), esto con el objeto de hacer un cruzamiento de los datos y posibilitar la cuantificación y espaciamiento de los cambios, método empleado también por Cruz *et al.*, (2007); Seabra & Silva (2011) y Weckmüller *et al.*, 2011. Estos cálculos de áreas de las clases se exportó a una tabla donde se obtuvieron los diferentes tipos de cambios del uso y cobertura del suelo para los años 1986, 2000 y 2011, así como el área en km² de los polígonos de donde ocurrieron los cambios. Finalmente exportamos una tabla de datos en formato Excel 2007 pudiendo a partir de la sumatoria de todas las áreas modificadas (100%) encontrar el porcentaje de cambios para cada cobertura.

Tabla 1. Coberturas de suelo y usos de suelo definidas para la clasificación.

| Tipos de cobertura | Características de uso del suelo |
|-----------------------------|---|
| Agua | Esta categoría incluye áreas que están cubiertas o saturadas por agua. Incluye todos los cuerpos de agua (lagos, lagunas, ríos). |
| Área inundada | Categoría que incluye todas las áreas con vegetación y otras coberturas que sufren inundaciones principalmente por ríos. |
| Área urbana | Cobertura correspondiente a centros poblados. |
| Bosque alto de tierra firme | Vegetación arbórea en diferentes estados de conservación debido al aprovechamiento forestal (bosques degradados y no degradados) y no es común que se inunden. |
| Bosque inundable | Vegetación arbórea en diferentes estados de conservación producto del aprovechamiento forestal (bosques degradados y no degradados) las cuales sufren por inundaciones durante algunos meses al año. |
| Pasto | Debido al objeto del estudio, esta cobertura incluye pastos naturales y plantados e inclusive la agricultura (por lo general entre una y dos hectáreas) y otros tipos de gramíneas como el sujo (<i>Imperata sp.</i>). |
| Sabana | Cobertura compuesta por extensos pastizales y árboles dispersos. La vegetación está conformada por plantas herbáceas, esencialmente gramíneas de gran altura, arbustos más o menos dispersos y árboles aislados. |
| Suelo expuesto | Cobertura compuesta por áreas libres de vegetación viva, es decir, se incluyó a las áreas con vegetación seca y aquellas que fueron detectadas como quemadas en el momento del análisis. |
| Vegetación secundaria | Áreas con vegetación en diferentes etapas de regeneración (sucesión secundaria) generalmente modificada por actividades antrópicas. También fue considerada como vegetación secundaria las plantaciones forestales y sistemas agroforestales. |
| Depósito aluvial | Cobertura natural característica en los bordes y centro de los ríos de la Amazonía “playas” visibles en los meses de sequía (junio a octubre). |

Tabla 2. Agrupamiento de las clases mapeadas en el análisis del cambio de uso y cobertura del suelo.

| Clases | Clases Agrupadas | Clasificación |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|
| Agua | Áreas inundadas | Coberturas naturales |
| Áreas inundadas | Bosques | |
| Área urbana | Depósitos aluviales | |
| Bosques* | Sabanas | |
| Depósitos aluviales | Pasto | Coberturas no originales |
| Pasto | Suelo expuesto | |
| Sabanas | Vegetación secundaria | |
| Suelo expuesto | | Agua |
| Vegetación secundaria | | Área urbana |

* Bosque alto de tierra firme y bosques inundables fueron juntados en una sola clase “bosques”.

En la Tabla 1 se describen las diferentes coberturas y usos de suelos asignados para la clasificación de las imágenes satelitales. Para este caso, agregamos la cobertura al uso de suelo considerando que las primeras son considerada la expresión de las actividades humanas en la superficie terrestre, y está directamente relacionada al uso del suelo y su manejo (Weckmüller *et al.*, 2011).

En este trabajo, todos los mapas de la trayectoria evolutiva del cambio de uso de suelo y áreas adecuadas

para proyectos MDL y REDD fueron generados a una escala de análisis de 1:100,000 adaptado de otros trabajos realizados en esta temática (Cruz *et al.*, 2007; Seabra & Silva, 2011; Weckmüller *et al.*, 2011) y según la tabla del área mínima cartografiable para diferentes escalas desarrollada por (Salitchev, 1979 en Priego *et al.*, 2008). Asimismo, la información fue representada en mapas a una escala de 1:600,000 debido a la dimensión de la superficie municipal.

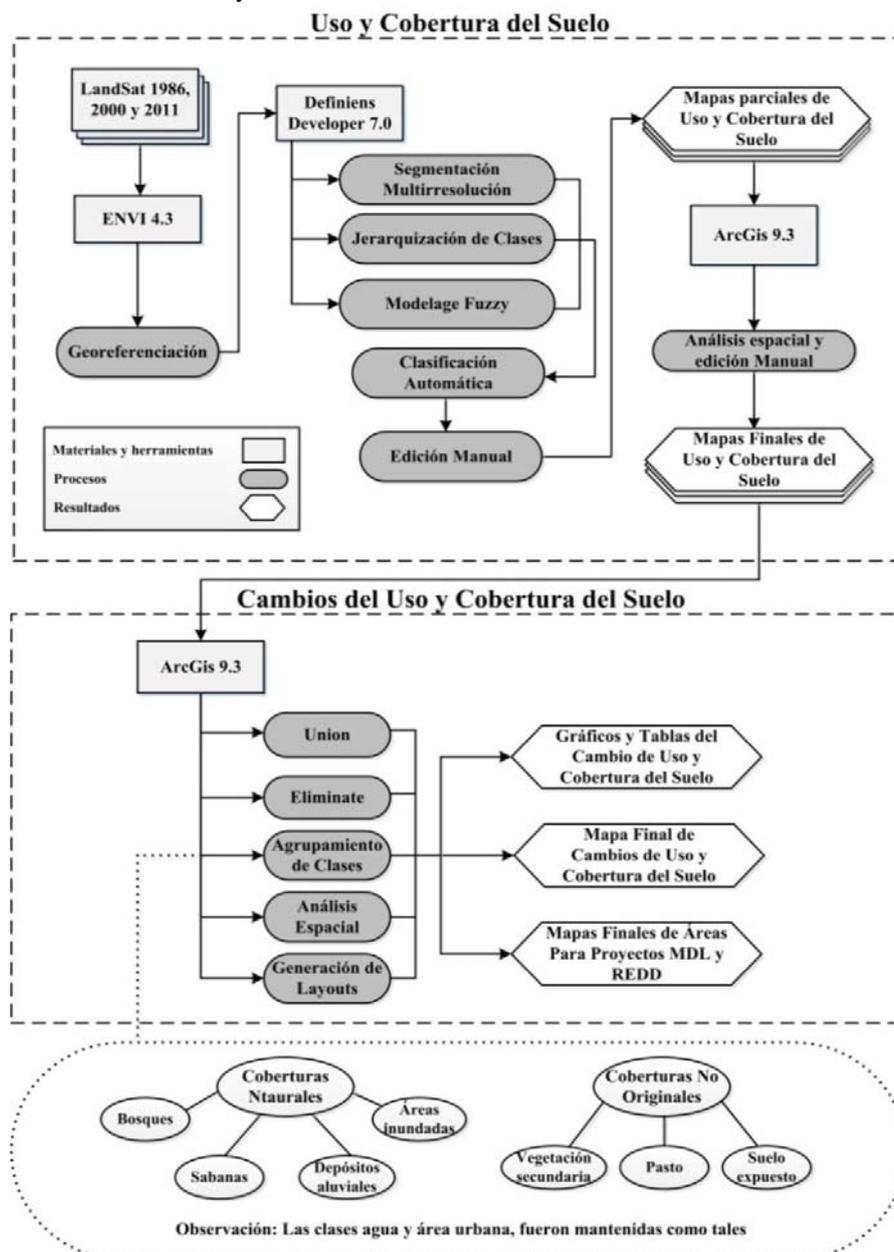


Figura 2. Flujoograma de las etapas desarrolladas en el mapeamiento

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uso y cobertura del suelo

A partir del análisis de la información obtenida, podemos entender la trayectoria evolutiva de los cambios del uso y cobertura del suelo en un lapso de tiempo de 26 años, en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana (Tabla 3).

La Tabla 3 indica que las mayores áreas mapeadas fueron los tipos de bosques en diferentes estados de conservación (bosques degradados y no degradados), que abarcan actualmente más del 70% de la superficie del municipio de Riberalta. Asimismo, los datos demuestran que entre los tres periodos analizados, la mayor reducción de superficie corresponde a la clase de bosque (8.61%). Estos se redujeron de 8,038.73 km² presentes en el año 1986 a 7,814.81 km² hasta el año 2000, y para el 2011 ya solo existían 7,200.81 km². Es decir, la pérdida o el cambio de uso y cobertura del suelo en esta clase ha sido de 837.92 km² (83,792 ha) en un lapso de tiempo de 26 años.

Por su parte, Killen *et al.*, (2009) indica que los niveles de pérdida de bosques en Riberalta hasta el año 2008 fueron de 7.9% del total del área municipal, información que se asemeja a los encontrados en nuestro estudio (8.61%) hasta el 2011. Asimismo, se estimó que hasta el año 2008 la deforestación acumulada ascendió a 82,301.5 ha (FAN, 2010), superficie tan solo menor en 1,490.5 ha en relación

a las 83,792 ha que hemos identificado. Diferencia que podemos atribuir al aumento de la deforestación en los últimos tres años, considerando el promedio anual de pérdida de bosques en Riberalta (FAN2010), así como también a las diferencias en la interpretación de las imágenes satelitales utilizadas.

Asimismo, Altamirano (2009) estima una superficie total de 757,166.75 ha de bosques para el año 2008, superficie mayor a las 720,081.00 ha encontradas en el presente estudio. Aunque parte de la diferencia puede ser atribuido a diferencias metodológicas, una comparación de estos datos sugiere que la cobertura forestal entre 2008 y 2011 ha disminuido aproximadamente 37,086 ha en Riberalta. La comparación de tipos de vegetación que se realizó en el marco del presente estudio (1986-2011) confirman una pérdida de vegetación boscosa de 837.92 km² ha. Esto resulta principalmente de actividades antrópicas demostrado en este estudio por el aumento de coberturas tales como la vegetación secundaria (de 323 a 834 km²), pastos (de 26 a 48 km²) y suelo expuesto (de 63 a 367 km²).

Cambios de uso y cobertura del suelo

Al cruzar los datos de tres años (1986, 2000 y 2011) se observa que a pesar de las presiones antrópicas, gran parte de la cobertura del suelo (84.3%) no ha perdido su estado original, mientras que el 14.75%, es decir, unos 1,435.32 km² han cambiado su cobertura en el transcurso de estos años (Tabla 4).

Tabla 3. Sistematización de las áreas por clase y año de clasificación.

| Clases | Área en km ² | | | Área en % | | |
|--|-------------------------|----------|----------|-----------|-------|-------|
| | 1986 | 2000 | 2011 | 1986 | 2000 | 2011 |
| Aguas | 151.81 | 127.61 | 137.82 | 1.56 | 1.31 | 1.42 |
| Bosque alto de tierra firme y bosque inundable | 8,038.73 | 7,814.81 | 7,200.81 | 82.65 | 80.35 | 74.04 |
| Depósitos aluviales | 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 |
| Suelos expuestos | 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 |
| Área urbana | 5.13 | 14.31 | 21.19 | 0.05 | 0.15 | 0.22 |
| Áreas inundadas | 149.90 | 104.80 | 175.67 | 1.54 | 1.08 | 1.81 |

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes Landsat TM5 de los años 1986, 2000 y 2011, obtenidas del INPE: <http://www.cbears.inpe.br/>

Tabla 4. Evolución general del cambio de uso y cobertura del suelo entre los años 1986, 2000 y 2011 en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana.

| Cambios en el uso y cobertura del suelo | km ² | % |
|---|-----------------|-------|
| Coberturas mantenidas | 8,198.52 | 84.30 |
| Cambios en las coberturas | 1,435.02 | 14.75 |
| Error | 92.20 | 0.95 |

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes Landsat TM5 de los años 1986, 2000 y 2011, obtenidas del INPE: <http://www.cbears.inpe.br/>

Las coberturas mantenidas abarcan tanto coberturas naturales como coberturas no originales (Tabla 5). Los cambios en las coberturas son aquellas que dejaron de ser por ejemplo coberturas naturales y pasaron a ser coberturas no originales. Por otro lado, son parte del error de 0.95%, las áreas que sufrieron errores en la edición final o georeferenciación de las imágenes satelitales.

Tabla 5. Evolución del estado y cambios de todas las coberturas agrupadas y mantenidas entre los años 1986, 2000 y 2011.

| Estado de las coberturas | km ² | % |
|---|-----------------|-------|
| Coberturas naturales mantenidas hasta 2011 | 7,897.54 | 81.20 |
| Coberturas no originales mantenidas hasta el 2011 | 225.93 | 2.32 |
| Área urbana mantenidas hasta el 2011 | 4.97 | 0.05 |
| Aguas mantenidas hasta el 2011 | 70.09 | 0.72 |
| Cambios en las coberturas | 1,435.02 | 14.75 |
| Error | 9,220 | 0.95 |

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes Landsat TM5 de los años 1986, 2000 y 2011, obtenidas del INPE: <http://www.cbers.inpe.br/>

Cabe destacar que dentro de las coberturas agrupadas, como por ejemplo las coberturas no originales, estas

presentan cambios internos, por decir, la cobertura pasto que paso a ser vegetación secundaria, esta continua siendo cobertura no original mantenida por estar dentro del mismo grupo.

Un total de 83% de los cambios del uso y cobertura del suelo (Tabla 6) observados en los 26 años de análisis, se los atribuye a cambios de coberturas naturales que se convirtieron en coberturas no originales, caracterizado principalmente por la deforestación. Las causas principales de la deforestación y cambio de uso de suelo fueron para realizar actividades de ganadería y agricultura principalmente (UFMA, 2010), tal como sucede en otras áreas de la Amazonía boliviana (Pacheco *et al.* 2009). Las áreas que sufren mayor deforestación y degradación forestal son las propiedades privadas y comunidades campesinas (UFMA, 2010), información que debe ser verificada a más detalle debido a que al momento del análisis no nos fue proporcionada la base de datos del saneamiento de la tierras de Riberalta por parte del Instituto Nacional de Reforma Agraria.

Asimismo, pese a que existe un gran cambio de las coberturas naturales hacia las no originales, estas últimas, han venido regenerándose a coberturas naturales entre 50.5 km² entre 1986 y el año 2000 y otros 108.78 km² entre 2000 y 2011. La principal cobertura no original que se ha regenerado corresponde a la vegetación secundaria (511.51 km²).

Otros cambio importantes en las coberturas son por ejemplo las coberturas no originales que cambiaron para áreas urbanas (14.88 km²) lo cual puede atribuirse a nuevos asentamientos humanos sobre pastos y suelos expuestos.

Tabla 6. Cambios en el uso y cobertura del suelo de las clases reclasificadas en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana, entre los años 1986, 2000 y 2011.

| Clases de cambios del uso y cobertura del suelo | km ² | % |
|---|-----------------|-------|
| Aguas mantenidas hasta el 2011 | 70.09 | 0.72 |
| Aguas que cambiaron para cob. naturales entre 1986 y 2000 | 4.59 | 0.05 |
| Aguas que cambiaron para cob. naturales entre 2000 y 2011 | 5.19 | 0.05 |
| Aguas que cambiaron para cob. no originales entre 1986 y 2000 | 8.50 | 0.09 |
| Aguas que cambiaron para cob. no originales entre 2000 y 2011 | 8.29 | 0.09 |
| Área Urbana mantenidas hasta el 2011 | 4.97 | 0.05 |
| Áreas Urbanas que cambiaron para cob. no originales entre 2000 y 2011 | 0.12 | 0.00 |
| Cob. naturales que cambiaron para aguas entre 1986 y 2000 | 14.15 | 0.15 |
| Cob. naturales que cambiaron para aguas entre 2000 y 2011 | 17.05 | 0.18 |
| Cob. naturales que cambiaron para cob. no originales entre 1986 y 2000 | 277.25 | 2.85 |
| Cob. naturales que cambiaron para cob. no originales entre 2000 y 2011 | 914.21 | 9.40 |
| Cob. naturales que cambiaron para área urbana entre 1986 y 2000 | 0.21 | 0.002 |
| Cob. no originales que cambiaron para agua entre 1986 y 2000 | 4.17 | 0.04 |
| Cob. no originales que cambiaron para agua entre 2000 y 2011 | 7.14 | 0.07 |
| Cob. no originales que cambiaron para área urbana entre 1986 y 2000 | 8.61 | 0.09 |
| Cob. no originales que cambiaron para área urbana entre 2000 y 2011 | 6.27 | 0.06 |
| Cob. no originales que se regeneraron para cob. naturales entre 1986 y 2000 | 50.50 | 0.52 |
| Cob. no originales que se regeneraron para cob. naturales entre 2000 y 2011 | 108.78 | 1.12 |
| Coberturas naturales mantenidas hasta 2011 | 7897.54 | 81.20 |
| Coberturas no originales mantenidas hasta el 2011 | 225.93 | 2.32 |
| Error (otros cambios) | 92.20 | 0.95 |

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes Landsat TM5 de los años 1986, 2000 y 2011, obtenidas del INPE: <http://www.cbbers.inpe.br/>

Áreas potenciales para proyectos MDL

Basado en la clasificación de uso de suelo del año 1986, se identificaron 89.40 km² adecuadas para proyectos LULUCF del MDL basados en los criterios establecidos por la CMNUCC (MDP, 2006; UNFCCC, 2009a; UNFCCC, 2009b). Cabe mencionar que estas áreas corresponden a suelos expuestos y pastos presentes en el año 1986. Puesto que las áreas identificadas en el año 1986 sufren cambios en el uso y cobertura del suelo, se identificaron las áreas potenciales (57.13 km²) que no han cambiado su uso y aún son válidas hasta el año 2011 para implementar proyectos MDL basado en el protocolo de Kioto (CMNUCC, 1998) (Figura 4). Asimismo, considerando el vencimiento del primer periodo de compromiso de este acuerdo (2008-2012), se identificaron todas las áreas potenciales disponibles hasta el 2011 para realizar proyectos de reforestación, las

mismas que podrían ser importantes si existen modificaciones futuras en el protocolo mencionado (Guía para la Elaboración de Proyectos MDL Forestales, 2009) (Figura 5).

Las áreas de color negro de la Figura 4 corresponden a aquellas que son potenciales para implementar proyectos del MDL. Las áreas potenciales no consideradas (color blanco) son sabanas identificadas hasta el 2011 (930.28 km²) y no son consideradas para este tipo de proyectos, debido a que actividades de aforestación podrían traer consigo una serie de consecuencias ecológicas negativas tales como cambios en la fertilidad del suelo, disponibilidad de nutrientes, aumento de la acidez, pérdida del carbono orgánico del suelo, cambios en las corrientes de aguas, además, existe una alta probabilidad de importantes cambios ecológicos en ausencia de políticas de cuidado (Farley, 2004; Jackson *et al.*, 2005).

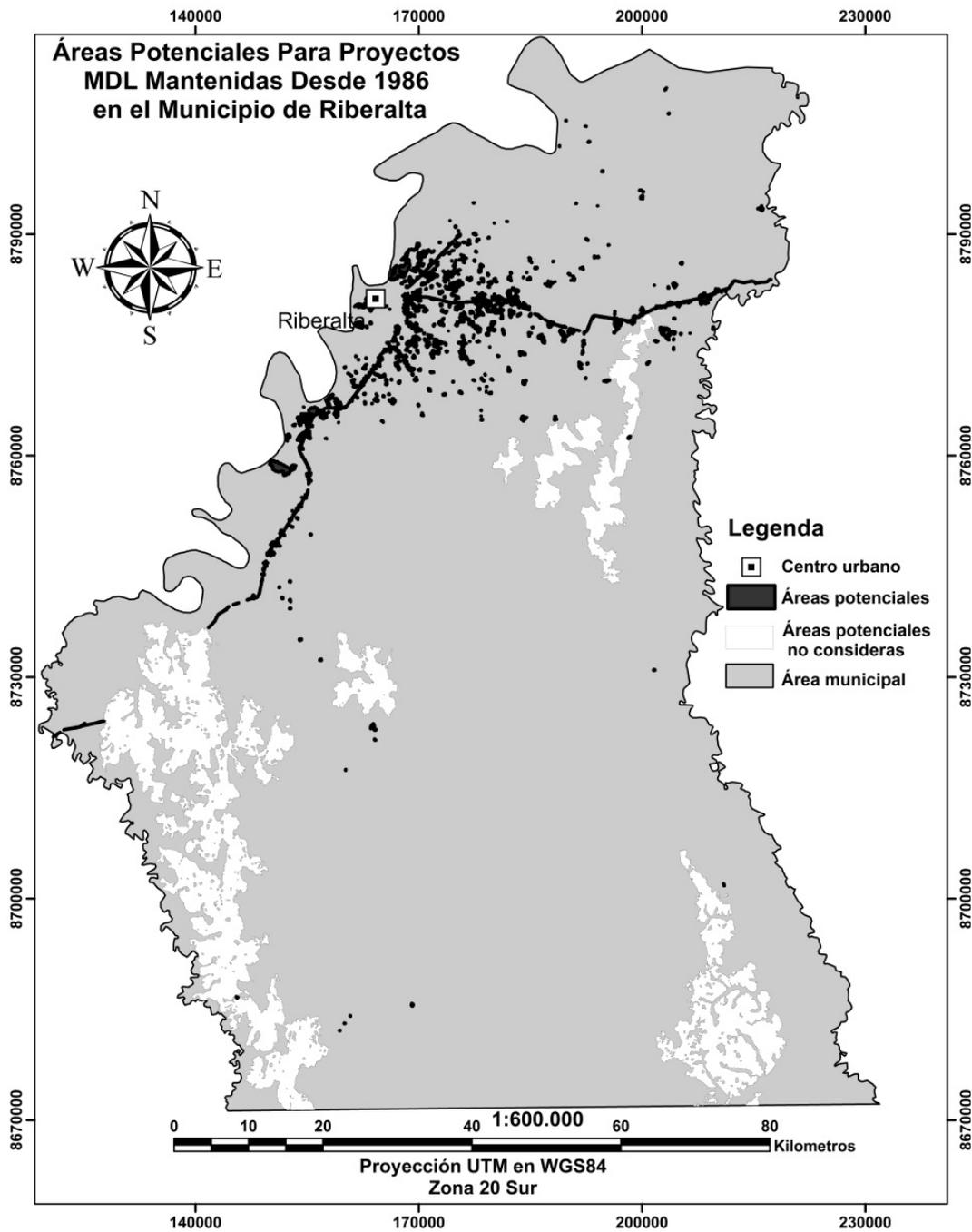


Figura 4. Áreas potenciales para la implementación de proyectos MDL en el municipio de Riberalta según el protocolo de Kioto

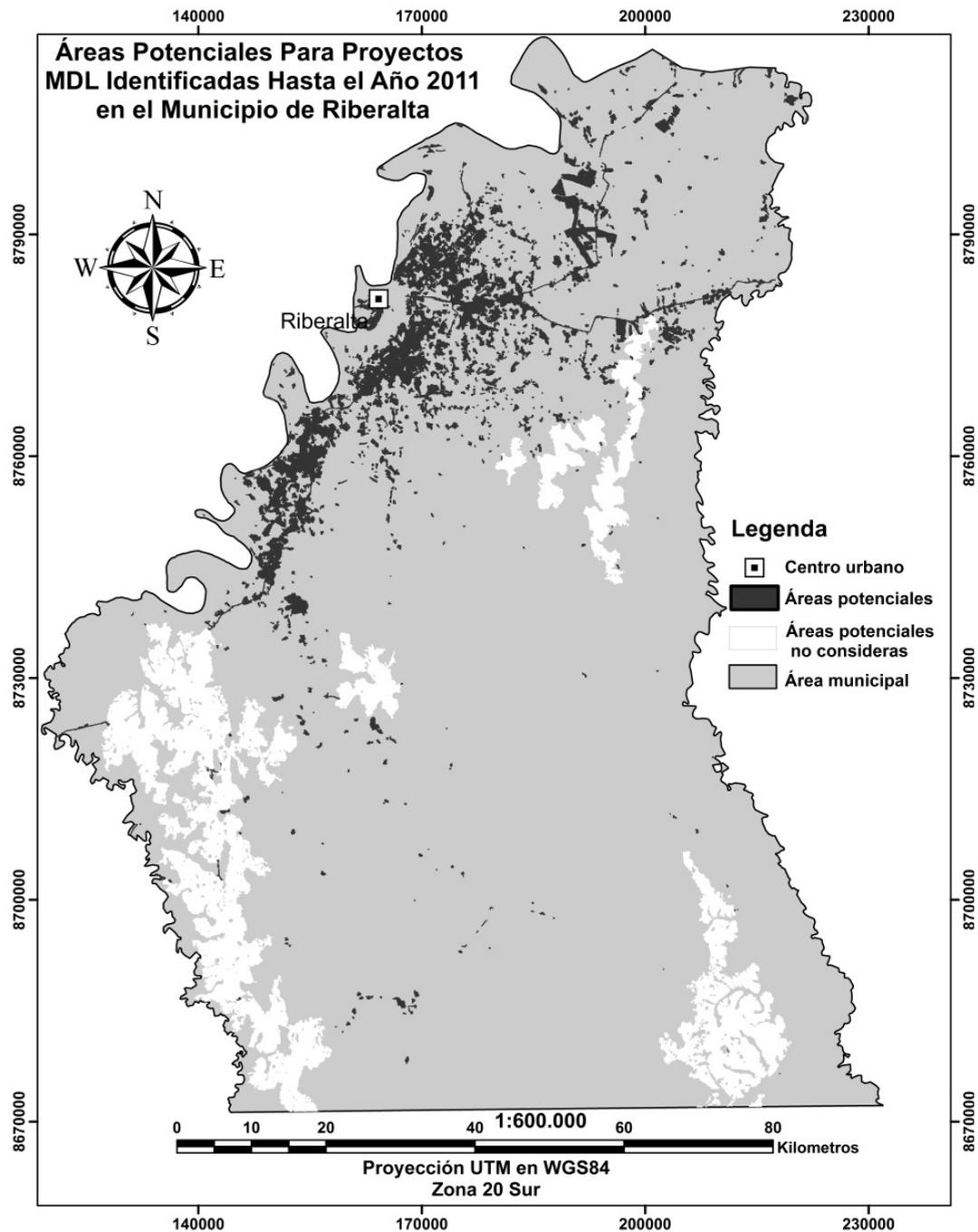


Figura 5. Áreas potenciales para la implementación de proyectos MDL en el municipio de Riberalta presentes hasta el año 2011.

Las áreas de color negro de la Figura 5 corresponden a aquellas que son potenciales para implementar proyectos de reforestación (415.28 km²), las mismas que estaban presentes hasta el año 2011. Las áreas potenciales no consideradas (color blanco) son sabanas identificadas hasta el 2011 (930.28 km²) y no son consideradas para este tipo de proyectos.

Áreas potenciales para la implementación de proyectos REDD

Las áreas potenciales identificadas hasta el año 2011 (7,200.81 km²) para proyectos REDD (Figura 6) son muy importantes para buscar alternativas para la venta de servicios ambientales por la conservación del bosque, y así generar ingresos económicos por la venta de bonos o créditos de carbono. Los servicios ambientales no locales como los que brinda REDD, son ofrecidos hacia afuera, que benefician a la sociedad a nivel regional, nacional o mundial, como la regulación climática por medio de la captura de carbono, la conservación de la biodiversidad, y la regulación y protección del recurso hídrico (WB, 2002; CCAD-PNUD, 2002; Beer *et al.*, 2003; Marinidou, 2009).

Si consideramos que los bosques de la Amazonía tienen como promedio 175 tC/ha (Carvalho *et al.*, 2004), estaríamos hablando de unos 126,014,175 tC/ha presentes en el municipio de Riberalta. Sin embargo, se debe considerar que cierto porcentaje de los bosques se encuentran degradados por el aprovechamiento forestal, y por lo tanto las cantidades de carbono no serían las mismas a la de un bosque conservado. Actualmente la FAN Bolivia viene desarrollando investigaciones para

determinar las cantidades de Carbono en los bosques de Riberalta.

Mediante la información proporcionada por la Fundación Amigos de la Naturaleza de Bolivia, se estimó que entre el año 2003 y 2008, uno 137.7 km² de bosques han sido degradados en el municipio de Riberalta, lo cual disminuye el stock de carbono en diferentes cantidades dependiendo si la extracción de madera ha sido del tipo convencional (mayor pérdida de carbono) o a través de un manejo forestal sostenible con técnicas de extracción de bajo impacto (menor pérdida de carbono) (Putz *et al.*, 2008; Imai *et al.*, 2009) (Tabla 7). Además, diferentes estudios afirman que la degradación forestal juega un papel importante en la pérdida de carbono y cuya magnitud de impacto, según la intensidad de intervención del aprovechamiento forestal maderero puede ser parecida a la deforestación, por lo que se requiere más información sobre la temática (Asner *et al.*, 2006; Putz *et al.*, 2008).

Sin embargo, pese a los múltiples beneficios que pueden brindar los bosques a través de sus servicios ambientales, es necesario discutir los problemas y beneficios colaterales que pueden traer este tipo de proyecto principalmente a la población más pobre como por ejemplo las comunidades campesinas e indígenas dependientes del bosque. Los proyectos REDD bien podrían ser de alto riesgo en cuanto a restricciones del uso del bosque para los pobres que dependen de estos, sin embargo, también brinda importantes oportunidades para reducir la pobreza y mejorar la equidad, destinando flujos económicos significativos a áreas rurales (Brown *et al.*, 2009).

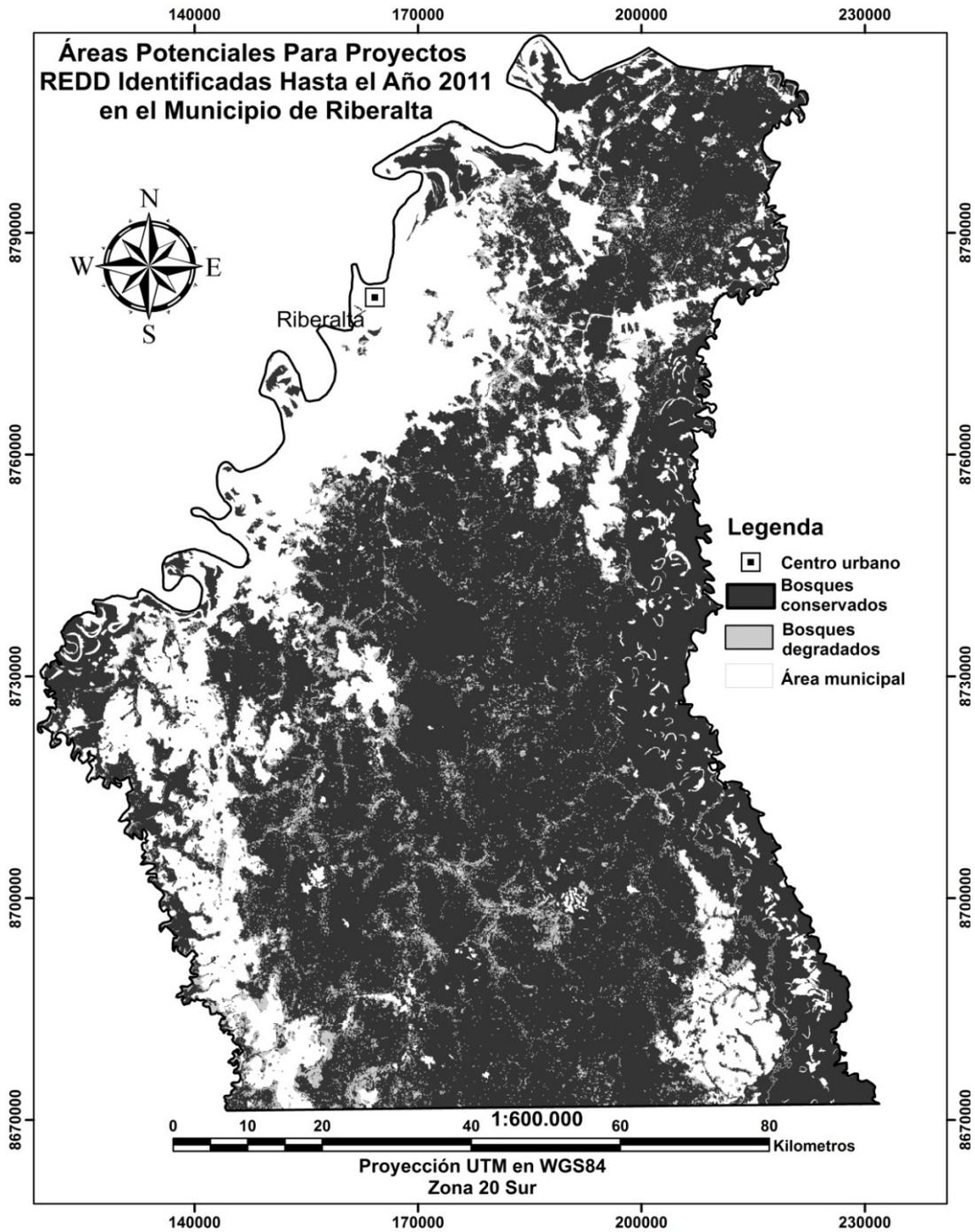


Figura 6. Áreas potenciales para proyectos REDD en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana.

La Figura 6 indica que las áreas de color gris oscuro corresponden a bosques conservados hasta el año 2011 (6,950.41 km²) y las de color gris claro, a bosques degradados tanto por fenómenos naturales como antrópicos entre los años 2003 al 2008 (137.7 km²) (Tabla 7) (la información de la degradación forestal que se utilizó fue proporcionada por la Fundación Amigos de la Naturaleza de Bolivia).

Tabla 7. Estado de los bosques en el municipio de Riberalta hasta el año 2011.

| | Bosque alto de tierra firme (km ²) | Bosque inundable (km ²) | Total (km ²) |
|--|--|-------------------------------------|--------------------------|
| Área de bosque hasta el 2011 | 6,124.18 | 1,076.63 | 7,200.8 |
| Área de bosques degradados entre 2003 y 2008 | 106.11 | 31.59 | 137.7 |

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes Landsat TM5 de los años 1986, 2000 y 2011, obtenidas del INPE: <http://www.cbers.inpe.br/> y la base de datos sobre degradación forestal proporcionada por la FAN Bolivia.

La Tabla 7 indica que del total de bosques en el municipio de Riberalta (7,200.8 km²) aproximadamente 106.11 km² de bosque alto de tierra firme se encuentra degradado y otros 31.9 km² de bosque inundable se encuentra en la misma situación.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de este estudio están dirigidas a la evaluación de uso, cambio de uso y cobertura del suelo y las áreas potenciales para proyectos forestales MDL y REDD, de tal manera que puedan desarrollarse estrategias o propuestas concretas para su aplicación en Riberalta, Amazonía boliviana.

- La cobertura de suelo que mayor superficie ha perdido en un lapso de tiempo de 26 años en el municipio de Riberalta corresponde a la clase de bosque con un total de 837.92 km², correspondiente al 10.42% en relación al año base de evaluación 1986.
- Las coberturas con mayor aumento en su superficie relacionado principalmente a actividades antropógenas, corresponden a las clases de pasto con un crecimiento de 21.81 km², suelo expuesto

(304.07 km²) y vegetación secundaria (511.51 km²) entre 1986 y 2011.

- Los principales cambios de uso y cobertura de suelo corresponden a las coberturas naturales que cambiaron para coberturas no originales (1,141.96 km²) y las coberturas no originales que se regeneraron para coberturas naturales (159.29 km²) en un periodo de 26 años.
- Existe un área potencial considerable de 57.13 km² para proyectos de reforestación y no así para proyectos de aforestación en el municipio de Riberalta, según el Protocolo de Kioto. Asimismo, hasta el año 2011 en total se cuantifico unos 415.28 km² considerados aptos para actividades de reforestación, sin considerar el Protocolo de Kioto.
- Existen 7,200.81 km² de áreas boscosas en diferentes condiciones de conservación (bosques degradados y no degradados) para la implementación de proyectos REDD en el municipio de Riberalta.
- Existe una potencial considerable de áreas para proyectos forestales MDL y REDD que pueden permitir la recuperación de las coberturas degradadas y conservación del bosque en base a incentivos de créditos de carbono, y estos representan una valiosa oportunidad para establecer un marco de pagos por servicios ambientales de estos ecosistemas en el municipio de Riberalta, Amazonía Boliviana.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) de México por la beca otorgada; a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y los Programa Multidisciplinarios de Posgrados en Ciencias Ambientales. Al personal de la Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y Tecnología (CIATCyT) y al Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de información Fitosanitaria (LANGIF) en México. Al personal, estudiante y profesores (Guilherme, Raúl, Felipe, Rômulo, Pedro) del Laboratorio de Geografía Física (LAGEF), Universidad Federal Fluminense, Brasil. Al esfuerzo de Catalina, Ana y Simone del Centro de Recursos Naturales y Desarrollo de Alemania (CNRD) por su

gestión en la beca otorgada; a Susanne Börner y a todas las personas e instituciones que colaboraron en la ejecución de este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELSEN, A. (EDS.), 2009. Avancemos con REDD: problemas, opciones y Consecuencias. CIFOR, Bogor, Indonesia. 156 p.
- ASNER, G.; EBEN, N.; BROADBENT, E.; OLIVEIRA, P.; KELLER, M.; KNAPP, D.; SILVA, N., 2006. Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. *PNAS* (103), 12947–12950.
- BEER, J.; HARVEY, C.; IBRAHIM, M.; HARMAND, J. M.; SOMARRIBA, E.; JIMÉNEZ, F., 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10 (37-38), 80-87.
- BOJANIC, A. & KAIMOWITZ D. 1998. RIBERALTA: EXTRACTIVISTAS BAJO UNA ÉLITE TRADICIONAL EN: PACHECO, P., & KAIMOWITZ, D., (EDS). 1998. Municipios y gestión forestal en el trópico boliviano. 23 p.
- BROWN, D.; SEYMOUR, F.; PESKETT, L., 2009. ¿Cómo obtenemos beneficios colaterales de REDD sin causar daño?. En: Angelsen, A. (ed.) (2009). Avancemos con REDD: problemas, opciones y consecuencias. 107-118 pp.
- CRUZ, C.; VICENS, R.; SEABRA, V.; BALBI, R.; ALVARENGA, O.; RICHTER, M.; KOPKE, P.; ARNAUT, E.; ARAÚJO, M., 2007. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril, INPE, 5691-5698 pp.
- CCAD-PNUD-COMISIÓN CENTROAMERICANA DE AMBIENTE Y DESARROLLO – PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO-FONDO MUNDIAL PARA EL MEDIO AMBIENTE, 2002. Guía metodológica de valoración económica de Bienes y Servicios ambientales. Proyecto para la consolidación del corredor biológico mesoamericano. Serie técnica (4), 149 p.
- CIDDEBENI-CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCUMENTACIÓN PARA EL DESARROLLO DEL BENI 2009. Diagnostico Municipal Consolidado de Riberalta. 68 p.
- CMNUCC-CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 25 p
- DEFINIENS, A.G., 2006. Document Version 5.0.6.1. München, Germany. 122 p.
- CONSA-CONSULTORES ASOCIADOS SRL., 2008. Plan Municipal de Ordenamiento Territorial del Municipio de Riberalta. La Paz.
- FARLEY, K.; KELLY, E.; HOFSTEDE, R., 2004. Soil Organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems* 7, 729-739.
- FAN-FUNDACIÓN AMIGOS DE LA NATURALEZA, 2010. "Cambio de Cobertura de la tierra 1976-2008 en la Amazonía". Elaboración FAN-Bolivia a partir del estudio Museo de Historia Natural Noel Kempff, Dpto. de Geografía 2009. Santa Cruz, Bolivia.
- FAO-ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN., 2010. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales. Departamento Forestal. Roma, Italia. 12 p.
- GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS MDL FORESTALES, 2009. Guidebook to markets and commercialization of forestry CDM projects. Version 1.0. Serie técnica. Manual Técnico /CATIE. No. 65. CATIE, Turrialba. 43 p.
- IMAI, N.; SAMEJIMA, H.; LANGNER, A.; ONG, R.C.; & KITA, S., 2009. Co-Benefits of Sustainable Forest Management in Biodiversity Conservation and Carbon Sequestration. *PLoS*

- ONE* 4 (12): e8267.
doi:10.1371/journal.pone.0008267.
- JACKSON, R.; JOBBÁGY, E.; AVISSAR, R.; BAIDYA, S.; ROY, D.; BARRETT, C. W.; COOK, K. A.; FARLEY, D. C.; LE MAITRE, B. A.; MCCARL, B.; MURRAY, C., 2005. Trading Water for Carbon with Biological Carbon Sequestration. *Science* 3 (10), 1944-1947.
- KILLEEN, T.J.; CALDERON, V.; SORIA, L.; QUEZADA, B.; STEINIGER, M.K.; HARPER, G., 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, Bolivia
- KILLEEN, T. J.; CALDERON, L.; SORIA, B.; QUEZADA, M. K.; STEINIGER, G.; HARPER, L.; SOLÓRZANO, A.; TUCKER, C. J., 2007. Thirty years of land-cover change in Bolivia. *Ambio* 36 (7), 600-606.
- LOAYZA, T., 2010. Potential assessment of land use, land use change and forestry (LULUCF) projects under the clean development mechanism (CDM) in the Mata Atlântica, Municipality of Cachoeiras de Macacu, RJ-Brasil. MSc Thesis. San Luis Potosi, Mexico. 115 p.
- MARINIDOU, E., 2009. Estimación del aporte de la cobertura arbórea a la regulación climática y la conservación de la biodiversidad: diseño y aplicación de una metodología en Chiapas. México. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba. CR. 164 p.
- MPD-MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO, 2006. Estrategia de Participación en el Mecanismo de Desarrollo Limpio y en otros Esquemas de Comercio de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero bajo el Marco del Plan Nacional de Desarrollo. La Paz, Bolivia. 124 p.
- PACHECO, P.; ORMACHEA, E.; CRONKLETON, P.; ALBORNOZ, M.; PAYE, L., 2009. Trayectorias y tendencias de la economía extractiva en el norte amazónico de Bolivia. CIFOR-CEDLA, La Paz. 52 p.
- PRIEGO, A.; BOCCO, G.; MENDOZA, M.; & GARRIDO, A., 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. 98 p.
- PUTZ, F. E.; ZUIDEMA, P.A.; PINARD, M. A.; BOOT, R., & SAYER, J.A., 2008. Improved tropical forest management for carbon retention. *PLoS Biology* 6 (7), e166. doi:10.1371/journal.pbio.0060166
- PNC ONU-REDD BOLIVIA-PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA EMISIONES DE LA DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN FORESTAL DEL BOSQUE EN LOS PAÍSES EN DESARROLLO, 2010. Documento del Programa Nacional Conjunto de Bolivia, Primera versión. 73 p.
- SALITCHEV, K. A., 1979. *Cartografía*. Editorial Pueblo y Educación, MES, Ciudad de La Habana, Cuba.
- SEABRA, V.; SILVA, F.P., 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. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba-PR.
- 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.
- 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.

- 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 DE RIBERALTA, 2010. Diagnóstico de actores del sector forestal con vista a la mesa de diálogo del bosque. Riberalta, Bolivia.
- UNEP-UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2009. Geo Amazonia: Environment Outlook in Amazonia. UNEP. ACTO and CIUP. Panama City.
- UNFCCC-UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2009a. Small-scale Afforestation and Reforestation Methodologies. Available at: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>
- UNFCCC- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2009b. Large-scale Afforestation and Reforestation Methodologies. Available at: http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/approved_ar.html%29
- WECKMÜLLER, R.; SLOVINSCKY, N.C.; VICENS, R., 2011. O Uso das Geotecnologias como subsídio à análise da evolução do uso e cobertura do solo: caso do Corredor Ecológico do Muriqui/RJ. Anais da 1ª Jornada de Geotecnologias do Estado do RJ. Rio de Janeiro.
- WB-WORLD BANK, 2002. Project appraisal document of the integrated silvopastoral approaches to ecosystem management project in Colombia, Costa Rica and Nicaragua, CATIE. Washington DC; USA. Report No. 21869-LAC. 184 p.