

Impactos socioeconómicos y ambientales de compensaciones por la reducción de emisiones de deforestación en Bolivia: resultados del modelo OSIRIS-Bolivia

Environmental and socio-economic consequences of forest carbon payments in Bolivia: Results of the OSIRIS-Bolivia model

*Lykke E. Andersen**

*Jonah Busch***

*Elizabeth Curran****

*Juan Carlos Ledezma*****

*Joaquín Mayorga******

*Pablo Ruiz******

Resumen:

Bolivia tiene un gran potencial para mitigar el cambio climático a través de la reducción de la deforestación. Mientras que las posibles complicaciones han sido intensamente debatidas, se ha realizado poco análisis cuantitativo al respecto. Introducimos el modelo OSIRIS-Bolivia, con el fin de crear una base cuantitativa para la toma de decisiones. OSIRIS-Bolivia es una herramienta en Excel capaz de analizar los efectos de los incentivos REDD en Bolivia.

* Directora del Centro de Economía y Medioambiente (CEEMA) del Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo (INESAD) e investigadora y docente de la Universidad Privada Boliviana (UPB). Contact: landersen@inesad.edu.bo.

** Center for Global Development, Washington, DC. Contact: jbusch@cgdev.org.

*** CEEMA-INESAD, San Francisco, USA. Contact: ehcurran@gmail.org.

**** Conservación Internacional – Bolivia. Contact: jledezma@conservation.org.

***** CEEMA-INESAD, La Paz, Bolivia. Contact: jmayorga@inesad.edu.bo.

***** University of California – San Diego, USA. Contact: pruijunco@gmail.com.

Esta herramienta está basada en un modelo econométrico-espacial de la deforestación en el periodo 2001-2005, y usa información sobre cobertura forestal, tasas de deforestación, condiciones geográficas, y causantes de la deforestación, **así** como los costos de oportunidad agrícolas, para más de 120.000 píxeles en todo el país. Se trata de un modelo de equilibrio parcial, en el sentido que toma en cuenta el hecho de que reducciones en la deforestación en un lugar causarán una reducción en la oferta de productos agrícolas, lo que a su vez hará subir los precios agrícolas y aumentará la presión para deforestar en otro lugar (fugas de carbono). El modelo nos puede ayudar a resolver preguntas como: ¿dónde es más probable que funcione REDD?, ¿cuánto dinero necesitamos para reducir la deforestación en cierto porcentaje?, ¿cuáles son los potenciales problemas de REDD?

Palabras clave: Deforestación, REDD, Bolivia, simulación, impactos.

Abstract:

Bolivia has significant potential to abate climate change by reducing deforestation. This opportunity presents economic and environmental tradeoffs. While these tradeoffs have been hotly debated, they have as yet been the subject of little quantitative analysis. We introduce the OSIRIS-Bolivia model to provide a quantitative basis for decision-making. OSIRIS-Bolivia is an Excel-based tool for analyzing the potential effects of incentive payments to reduce emissions from deforestation (REDD) in Bolivia. It is based on a spatial econometric model of deforestation in Bolivia during the period 2001-2005, and uses information on forest cover, deforestation rates, geographical conditions, and drivers of deforestation, including agricultural opportunity costs, for more than 120,000 pixels covering the whole country. OSIRIS-Bolivia is based on a partial equilibrium model in which reductions in deforestation in one region reduce the supply of agricultural products to the domestic market, which in turn causes an increase in the price of agricultural products, making conversion of land to agriculture more attractive and thus stimulating an increase in deforestation in other regions (leakage). The model can help answer questions such as: Where in Bolivia are carbon incentive payments most likely to result in reduced deforestation? Who are most likely to benefit from REDD? How much money will it take to reduce deforestation by a given amount? To what extent might transaction costs or preferences for agricultural income undermine the goals of the REDD program?

Keywords: Deforestación, REDD, Bolivia, simulación, impactos.

Clasificación/Classification JEL: Q21, Q56.

1. Introducción¹

Contando con 57 millones de hectáreas de bosque (FAO, 2010), Bolivia es el séptimo país del mundo en términos de extensión de bosque tropical y uno de los doce países con mayor biodiversidad terrestre (Ibisch y Mérida, 2003). Sin embargo, las tasas de deforestación se han incrementado rápidamente durante las últimas tres décadas, y más de 300.000 hectáreas de bosque se pierden anualmente (Killeen, Calderón, Soria, Quezada, Steining, Harper, Solórzano y Tucker, 2007; FAO, 2010), sobre todo debido a la expansión de la frontera agrícola (Killeen, Guerra, Calzada, Correa, Calderón, Soria, Quezada y Steining, 2008). Además, la tala de árboles (Pacheco, 2010) y los incendios incontrolados están degradando grandes áreas del bosque remanente. Más del 80% de la deforestación y tala en Bolivia es ilegal², contribuyendo poco a los ingresos impositivos del Gobierno (Jemio, 2011), al mismo tiempo que causa mucho daño al medioambiente local y global³, así como a las poblaciones indígenas⁴.

Dado el volumen de gases de efecto invernadero emitidos por la deforestación,⁵ Bolivia ha sido seleccionada tanto por el Programa Colaborativo de las Naciones Unidas para la reducción de las emisiones debidas a la deforestación y degradación de bosques (UN-REDD) como por el Fondo del Banco Mundial para reducir las emisiones mediante la protección de los bosques (FCPF); ambos han comprometido fondos destinados a preparar al país para un mecanismo internacional de incentivos con el objetivo de reducir las emisiones de la deforestación y la degradación de los bosques (REDD+). Asimismo, el país ha recibido fondos sustanciosos de fuentes bilaterales para ayudar en el proceso de preparación de REDD (principalmente de los gobiernos de Alemania, Dinamarca y Holanda).

Bolivia es, en muchos sentidos, un país pionero en iniciativas para reducir la deforestación. El primer intercambio de deuda-por-naturaleza en el mundo tuvo lugar en Bolivia (en

1 Esta investigación fue financiada por Conservación Internacional, la Fundación Gordon y Betty Moore, el programa ESPA (Ecosystem Services for Poverty Alleviation) (NERC grant no. NE/I003185/1), la Iniciativa Think Tank de IDRC, la Fundación de la Familia SWIFT y la Fundación de la FamiliaTrott. El modelo OSIRIS-Bolivia está disponible para descarga en www.conservation.org/OSIRIS.

2 Información de la Autoridad Boliviana de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierras (ABT).

3 La deforestación causa daños globales a través de las emisiones de CO₂ y daños locales a través de la pérdida de biodiversidad y aumento en los incendios (Andersen, 2002; Andersen, 2009).

4 La principal amenaza para las poblaciones indígenas es el asentamiento de colonos, que emplean la deforestación para reclamar los derechos de propiedad sobre las tierras (Roper, 2003).

5 De acuerdo con Ruesch y Gibbs (2008), el contenido medio de carbono medio es de 150 tC/ha, lo cual es equivalente a 550 tCO₂/ha. El uso alternativo de suelo contiene en promedio unos 10 tCO₂/ha, por lo tanto las emisiones anuales de la deforestación alcanzan $(550-10) * 300.000 = 162$ millones tCO₂/año.

1987). Asimismo, en 2005 Bolivia se convirtió en el primer país en conseguir reducciones de emisiones por deforestación verificadas gracias al proyecto voluntario de carbono forestal “Acción Climática Noel Kempff”. Además, más de 15 millones de hectáreas han sido declaradas áreas protegidas nacionales y unas 20 millones de hectáreas han sido registradas a nombre de varios pueblos indígenas (Bolivia, 2009)⁶. Aparte de estas áreas de conservación, existen muchas otras áreas declaradas como áreas protegidas departamentales, municipales y privadas. Además, el país ha participado de forma activa en las negociaciones internacionales de REDD desde su inicio en 2005 y ha sido uno de los primeros países en preparar su Plan de Actividades Preparatorias (R-PIN)⁷, aprobado por el FCPF en París en julio de 2008. Su documento UN-REDD fue aprobado en marzo de 2012 en Nairobi.

Si Bolivia pudiera reducir sus emisiones causadas por deforestación en un 25% respecto a sus niveles actuales, la compensación que podría recibir por su participación en el mecanismo REDD sería substancial. Asumiendo un valor conservador de carbono de 10 US\$/tCO₂, la compensación anual por un 25% de reducción en emisiones sería de más de 400 millones de dólares, superando el producto interno bruto del sector agrícola industrial⁸.

Sin embargo, el mecanismo REDD fue rechazado en la Conferencia Mundial de Pueblos sobre el Cambio Climático y Derechos de la Madre Tierra, celebrada en Cochabamba en abril 2010. El acuerdo popular concluyó proponiendo:

La creación de un mecanismo para la gestión integral y la conservación de los bosques que, a diferencia de REDD-plus, respete la soberanía de los Estados, garantice los derechos y participación de los pueblos indígenas y comunidades dependientes de los bosques, y no esté basado en el régimen del mercado de carbono⁹.

El gobierno de Bolivia ha tomado muy en serio esta declaración, lo cual implica que el proceso de preparación para REDD en Bolivia se ha detenido por el momento. Por ejemplo, en un reciente comunicado del Estado Plurinacional de Bolivia al Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), menciona en el punto 8(e): “en

6 Existe una coincidencia de 2 millones de hectáreas entre territorios indígenas y áreas protegidas.

7 El R-PIN es el primer paso para poder acceder a fondos de FCPF y empezar a preparar el país para un mecanismo REDD.

8 De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (www.ine.gob.bo), el PIB agrícola industrial en 2010 alcanzó los US\$ 357 millones.

9 <http://www.bolpress.com/art.php?Cod=2010052804>. 22 de marzo de 2012.

todos los actos relacionados con el bosque, se preservará la integridad y la multifuncionalidad de los sistemas ecológicos y no se aplicarán o desarrollarán mecanismos de mercado”¹⁰.

Es evidente que una mayor consulta interna y un profundo análisis sobre REDD son necesarios para entender a fondo los efectos positivos y negativos de REDD en Bolivia. Solamente entendiendo estos efectos es posible tomar una decisión informada y diseñar los mecanismos de tal manera que maximicen los efectos positivos y minimicen los efectos negativos.

La herramienta OSIRIS-Bolivia (Andersen, Busch, Curran, Ledezma y Mayorga, 2012)¹¹ ha sido desarrollada para contribuir al análisis y la discusión de los efectos positivos y negativos del mecanismo REDD en Bolivia. La herramienta interpreta a REDD en su forma original de orientación hacia resultados a través de pagos por reducción de emisiones por deforestación por debajo de un determinado nivel de referencia. La degradación forestal no ha sido incluida en la herramienta, como tampoco otros tipos de incentivos para reducir la deforestación, como contratos de conservación¹² o multas por deforestación ilegal.

Este artículo explica cómo funciona la herramienta OSIRIS-Bolivia y muestra qué tipo de preguntas nos puede ayudar a resolver. Estas preguntas incluyen los costos de reducir la deforestación, los efectos distributivos de REDD, la identificación de los ganadores y perdedores, y el conflicto entre reducir las emisiones y reducir la pobreza. Estos asuntos no son característicos únicamente de Bolivia sino de todos los países con grandes extensiones de bosques.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 explica el modelo OSIRIS-Bolivia. La sección 3 presenta el modelo espacial-económico de las causas de la deforestación que forman la base de OSIRIS. La sección 4 nos muestra el tipo de preguntas que OSIRIS puede ayudar a responder. Finalmente, la sección 5 aporta conclusiones, recomendaciones políticas, y posibles líneas de investigación futuras.

10 FCCC/AWG/LCA/2011/CRP.23, 4 de Octubre 2011.

11 La herramienta puede descargarse de forma gratuita del sitio web: www.conservation.org/OSIRIS.

12 Incentivos de conservación en forma de pagos a propietarios de tierra que firman contratos de conservación a largo plazo pueden ser analizados en la herramienta hermana de OSIRIS, CISS-Bolivia (Conservation Incentives Spread Sheet for Bolivia), que puede descargarse también en: www.conservation.org/OSIRIS.

2. El marco OSIRIS para modelar los incentivos de REDD

OSIRIS-Bolivia ha sido adaptado de OSIRIS-Indonesia (Busch, **Lubowski**, Godoy, Juhn, Austin, Hewson, Steininger, Farid y Boltz, 2012), el cual a su vez ha sido adaptado del modelo OSIRIS internacional (Busch, Strassburg, Cattaneo, Lubowski, Bruner, Rice, Creed, Ashton y Boltz, 2009). En este momento, los modelos OSIRIS nacionales son las herramientas económicas más sofisticadas para la evaluación de los potenciales efectos de las políticas REDD. Estos modelos incluyen avances metodológicos con respecto a otros modelos existentes que han tratado de estimar el potencial de reducción de emisiones de REDD.

Para empezar, la mayoría de los estudios anteriores han realizado un supuesto del “coste de oportunidad” determinístico, que establecía que la deforestación sería erradicada por completo allá donde los pagos por carbono potenciales superasen a las rentas netas derivadas de usos de suelo alternativos (Plantinga, Mauldin y Miller, 1999; Grieg-Gran 2006; Kindermann, Obersteiner, Sohngen, Sathaye, Andrasko, Rametsteiner, Schlamadinger, Wunder y Beach, 2008; Busch *et al.* 2009; Butler, Koh y Ghazoul 2009; Venter, Meijaard, Possingham, Dennis, Sheil, Wich, Hovani y Wilson, 2009; Soares-Filho, Moutinho, Nepstad, Anderson, Rodrigues, Garcia, Dietzsch, Merry, Bowman, Hissa, Silvestrini y Maretti, 2010; World Bank Institute, 2011).

En contraste, OSIRIS es capaz de calibrar el impacto marginal de los pagos potenciales por carbono sobre la deforestación usando la relación empírica entre la deforestación observada en un periodo histórico y la variación espacial en los beneficios y costos de convertir la tierra de bosque a agricultura. Al incluir estas “preferencias reveladas o expresas”, es capaz de estimar los pagos potenciales basados en evidencia de decisiones de uso de suelo reales, y tener en cuenta una serie de factores que realmente afectan a los cambios de uso de suelo en la práctica (Stavins 1999; Lubowski *et al.*, Plantinga y Stavins, 2006; Pfaff, Kerr, Lipper, Cavatassi, Davis, Hendy y A. Sánchez-Azofeifa, 2007; Warr y Yusuf, 2011).

En segundo lugar, la mayoría de los estudios previos han modelado los cambios de uso de suelo con un sólo parámetro -el precio del carbono. OSIRIS, por otra parte, es capaz de comparar una gama más amplia de políticas, al tomar en cuenta variaciones tanto en el precio del carbono como en los niveles de referencia subnacionales, y modelando las decisiones de participación para distintas escalas geográficas.

En tercer lugar, considera la “fuga de carbono” causada por la deforestación dentro del país, por la cual la reducción de la deforestación en una región puede causar un aumento en otra

región como causa de las dinámicas del mercado. Este cálculo se asemeja a aquellos realizados en modelos de equilibrio parcial (Borner y Wunder, 2007; Butler *et al.*, 2009) o equilibrio general (Soares-Filho *et al.*, 2010; Murray, 2008) mientras que difiere de otros análisis del coste de oportunidad (Angelsen y Wertz-Kanounnikoff, 2008).

Por último, OSIRIS difiere de anteriores discusiones cualitativas de políticas de incentivos REDD (Pedroni, Dutschke, Streck y Estrada-Porrúa, 2009; Cortez, Saines, Griscorn, Martin, De Deo, Fishbein, Kerkering y Marsh, 2010; FAO 2010) en que es capaz de cuantificar y representar en un mapa los impactos de estas políticas dentro de un país determinado (Busch *et al.* 2012).

OSIRIS-Bolivia ha sido construido a partir de un modelo de deforestación (ecuación 1) que predice la probabilidad de deforestación en cada píxel i en ausencia de REDD basándose en características observables de cada píxel:

$$y_i = \exp(\beta_0 + X_i\beta_1 + \beta_2 \ln(A_i)) + \epsilon \quad (1)$$

Aquí, $y_i = (F_i^o - F_i^f)/F_i^o$ es el porcentaje deforestado en el píxel i , donde F_i^o es la cubierta forestal en el píxel i al principio del periodo 2001-2005, y F_i^f es la cubierta forestal en el píxel i al final del periodo de observación. X_i es una matriz de datos geográficos observables relacionados con la cubierta forestal inicial, acceso, topografía y otros factores geográficos detallados en la siguiente sección (Cuadro 1). A_i es el valor actual neto de las potenciales rentas agrícolas por hectárea en el píxel i (adaptado de Naidoo e Iwamura, 2007). Al contrario que en OSIRIS-Indonesia, usamos las rentas agrícolas netas en vez de las brutas. Suponemos que las rentas netas representan el 33% de las rentas brutas, como sugieren Leguía, Malky y Ledezma (2011) y tomamos el logaritmo natural debido a la utilidad marginal decreciente de la renta. El valor actual neto ha sido calculado con una tasa de descuento del 10% bajo el supuesto de 5 años consecutivos de cultivo, y más adelante 15 años sin rentas agrícolas. Esto corresponde a la duración media de cultivo de todos los cultivos en el departamento de Santa Cruz, de acuerdo con Andersen (2006). Finalmente, la constante β_0 captura los componentes no observados de los beneficios netos esperados de deforestar el píxel i .

La probabilidad de deforestación predicha en el píxel i , en ausencia de REDD+, $\hat{y}_{i,NOREDD}$, viene dada por:

$$\hat{y}_{i,NOREDD} = \exp(\hat{\beta}_0 + X_i\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \ln(A_i)) \quad (2)$$

La distribución espacial a lo largo del país de $\hat{y}_{i,NOREDD}$ forma el escenario “Business-as-Usual”¹³ (BAU) en OSIRIS-Bolivia, mientras que la distribución de y_i constituye el escenario histórico de referencia. Si $\hat{\beta}_2 > 0$, como en el caso de Bolivia, entonces las rentas agrícolas potenciales más elevadas se traducen en una mayor probabilidad de deforestación, como indican la teoría y las pruebas empíricas (Barbier, 2001).

El mecanismo REDD ha sido diseñado para cambiar el atractivo relativo de la agricultura comparado con la conservación de los bosques, a través de compensaciones por reducción en emisiones. Suponiendo que un dólar recibido de pagos REDD tiene un impacto igual y opuesto sobre la probabilidad de deforestar que un dólar recibido de rentas agrícolas¹⁴, podemos deducir los ingresos marginales de REDD por hectárea, RR_i de A_i cuando simulamos el efecto de REDD. Entonces, si un píxel decide participar en REDD, el costo de oportunidad de conservar el bosque sería más bajo, y la probabilidad de la deforestación, menor. Sin embargo, hay otro efecto opuesto: un aumento en los precios agrícolas τ_1 , causado por la reducción en la deforestación y disminución de la oferta agrícola en la frontera forestal, haría de la agricultura una práctica más atractiva.

Consecuentemente, si un píxel decide participar en REDD, la probabilidad de deforestación en él viene dada por la ecuación (3):

$$\hat{y}_{i,REDD,optim} = \exp(\hat{\beta}_0 + X_i' \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \ln((1 + \tau_1)A_i - RR_i)) \quad (3)$$

Los ingresos REDD por hectárea de un píxel que ha decidido participar en REDD vienen dados por:

$$RR_i = p_{CER} * (1 - r) * ER_i \quad (4)$$

donde p_{CER} es el precio pagado por los compradores internacionales de reducciones de emisiones de carbono¹⁵, $r \in [0, 1]$ es la porción del precio internacional de carbono retenido por el gobierno nacional bajo un acuerdo para compartir beneficios¹⁶ (por ejemplo, $r=0$ quiere

13 Se refiere al escenario en el que todo continúa como si nada hubiese pasado, es decir, sin la presencia de REDD.

14 Este supuesto puede ser cambiado en OSIRIS-Bolivia, permitiendo al usuario decidir cuál de las dos rentas es preferible, o si son equivalentes (véase la ecuación 8).

15 Celda B4 en la hoja “SUMMARY”. El valor predeterminado es US\$ 5.5/TCO₂. Una lista de todos los valores por defecto está presentada en el anexo.

16 Celda B8 en la hoja “SUMMARY”. El valor predeterminado es 0.07, para cubrir la fuga de carbono nacional.

decir que la totalidad de los pagos corresponden al píxel) y ER_i es la cantidad de reducción de emisiones conseguida en el píxel i (tCO_2/ha).

El aumento en los precios agrícolas nacionales, τ_1 , se modela de forma endógena en OSIRIS-Bolivia y depende de un parámetro de “elasticidad efectiva,”¹⁷ el cual es funcionalmente equivalente a la elasticidad-precio de la demanda exponencial de la agricultura fronteriza (Busch *et al.*, 2009). Se supone que también incorpora la retroalimentación en los mercados de trabajo domésticos y los mercados de capital productivos.

$$\tau_1 = \left(\frac{D_{NOREDD}}{D_{REDD}} \right)^e \quad (5)$$

donde D_{NOREDD} es la cantidad total de deforestación en el país sin REDD, *i.e.*, el nivel de referencia nacional, y D_{REDD} es la cantidad total de deforestación en el país con REDD.

El valor por defecto escogido para el parámetro de “elasticidad efectiva” en OSIRIS-Bolivia es 1.4, el cual causa una fuga de carbono de aproximadamente 6%. Esta estimación se encuentra en la parte baja del rango 2%-40% encontrado en el proyecto para ampliar el parque nacional Noel Kempff Mercado (Sohngen y Brown, 2004), el cual aplicaba incentivos y compensaciones para reducir la deforestación similar a un proyecto REDD.

Algunos píxeles o municipios podrían decidir no participar en REDD porque las rentas netas agrícolas que pueden obtener son mayores que las ganancias por participar en REDD. Para estos píxeles/municipalidades, la probabilidad de deforestación viene dada por:

$$\hat{y}_{i,REDD,optout} = \exp(\hat{\beta}_0 + X_i \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \ln((1 + \tau_1)A_i)) \quad (6)$$

La decisión del píxel/municipio sobre participar o no en REDD depende no sólo de los costos de oportunidad, sino también del nivel de emisiones de referencia REL_p , el cual sería el nivel de deforestación de referencia multiplicado por el factor de emisiones correspondiente al píxel, E_i .

Los factores de emisiones han sido calculados de mapas que contienen información sobre los contenidos de carbono en la vegetación natural, $C_{veg,i}$, en el suelo, $C_{soil,i}$ y en el uso de suelo alternativo, C_{ag} :

¹⁷ Celda B57 en la hoja “SUMMARY”. El valor por defecto es 1.4.

$$E_i = 3.67 * [(C_{veg,i} - C_{ag}) + \varphi C_{soil,i}] \quad (7)$$

donde φ es la proporción del carbono contenido en el suelo que se supone es emitido durante el cambio de uso de suelo¹⁸.

La decisión de participación a nivel píxel viene determinada por una comparación entre los beneficios netos de participar o no en el mecanismo REDD+. Los dueños del píxel deciden participar si se cumple:

$$p_{CER} * (1 - r) [RL_i - \hat{y}_{i,REDD,optin} * F_i^O * E_i] > \gamma ((\hat{y}_{i,REDD,optout} - \hat{y}_{i,REDD,optin}) * F_i^O * (1 + \tau_1) * A_i) \quad (8)$$

El parámetro γ representa la preferencia de la población por las rentas agrícolas en comparación con las rentas derivadas de REDD¹⁹. Si $\gamma = 1$, entonces un dólar de rentas agrícolas es equivalente a un dólar de rentas de REDD. Posteriormente, exploramos valores de este parámetro distintos de 1.

3. Un modelo econométrico-espacial sobre los causantes de la deforestación

El cuadro 1 describe en detalle todas las variables potencialmente correlacionadas con la deforestación consideradas para OSIRIS-Bolivia. Estas variables son evaluadas a nivel píxel, habiendo primero dividido el territorio nacional de Bolivia en 120.475 píxeles cuadrados de 3x3 km.

A partir de Busch *et al.* (2012), estimamos en Stata 9 la deforestación usando un estimador Poisson de cuasi-máxima verosimilitud (Wooldridge, 2002). Un modelo Poisson tolera valores igual a cero, al contrario que una distribución log-normal, y genera una distribución de valores predichos que encaja con los datos mejor que una regresión logit o MCO. Esta distribución está concentrada cerca de la deforestación nula y disminuye para valores más altos de deforestación.

¹⁸ Celda B51 en la hoja "SUMMARY". El valor por defecto es 0.10.

¹⁹ Celda B54 en la hoja "SUMMARY". El valor por defecto es 1.

Cuadro 1
Potenciales causantes de la deforestación en Bolivia, 2001-2005

Variable dependiente	Unidades	Fuente	Valor promedio	Min - Max
Pérdida forestal entre 2001 y 2005	Proporción del píxel	Fundación Amigos del Museo Noel Kempff Mercado, Mapa de deforestación 2009.	0,028	0 - 1
Variables explicativas	Unidades	Fuente	Valor promedio	Min - Max
Cubierta forestal inicial en 2001	Proporción del píxel	Fundación Amigos del Museo Noel Kempff Mercado, Mapa de deforestación 2009.	0,556	0 - 1
Distancia a carreteras	km	Distancias a carreteras calculadas con información del mapa ABC, 2010 RVF.	23,331	0 - 146
Distancia a ríos	km	Mapa de las distancias a los principales ríos primarios y secundarios, con información de SITAP, 2009.	12,444	0 - 149
Distancia a centros urbanos de más de 5000 habitantes	km	Mapa creado a partir de las cifras de población oficiales obtenidas de INE, 2001.	90,100	0 - 327
Pendiente promedio del píxel	%	Modelo de elevación digital SRTM V2 (2005).	10,022	0 - 89
Altitud promedio	m.a.s.l.	Altitud promedio calculada del modelo de elevación digital SRTM V2 (2005).	1229,852	0 - 5837
Contenido de carbono promedio en la vegetación	tC/ha	Ruesch y Gibbs (2008).	89,081	0 - 193
Contenido promedio de carbono en el suelo	tC/ha	FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2012. <i>Harmonized World Soil Database (version 1.2)</i> . FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria.	9,325	0 - 144
Productividad primaria neta	kg C/m ² /año	Mapas de productividad primaria neta para 2001-2005 provenientes de NITSG (NumericalTerradynamicsSimulationGroup).	11,738	0 - 60
Densidad de fuegos	Anomalías térmicas/ha	Mapa MODIS de densidad 2001-2006 sobre anomalías térmicas observadas con más de 60% de probabilidad de ocurrencia.	0,503	0 - 18

Variables explicativas	Unidades	Fuente	Valor promedio	Min - Max
Densidad poblacional	Habitantes/ha	Mapa de densidad proveniente del censo 2001.	7.511	0 - 4118
Distancia a píxeles ya deforestados	km	Mapa de distancia a píxeles deforestados hasta 2001. Fundación Amigos del Museo Noel Kempff Mercado, 2009.	37.032	0 - 397
Título individual de la tierra	Proporción del píxel	INRA (Instituto Nacional de Reforma Agraria), 2009.	0,076	0 - 1
Tierra comunitaria	Proporción del píxel	INRA (Instituto Nacional de Reforma Agraria), 2009.	0,172	0 - 1
Tierra pública	Proporción del píxel	INRA (Instituto Nacional de Reforma Agraria), 2009.	0,170	0 - 1
Título de la tierra ambiguo	Proporción del píxel	INRA (Instituto Nacional de Reforma Agraria), 2009.	0,568	0 - 1
Área protegida	Variable dummy	SERNAP (Servicio Nacional de Áreas Protegidas).	0,173	0 - 1
Índice de Desarrollo Humano	Índice	PNUD (2001).	0,596	0 - 0,77
Dummy vegetación puna	Dummy	Derivado de Ibisch <i>et al.</i> (2003). Mapa de las eco-regiones y ecosistemas de Bolivia.	0,124	0 - 1
Dummy vegetación cerrado	Dummy	Derivado de Ibisch <i>et al.</i> (2003). Mapa de las eco-regiones y ecosistemas de Bolivia.	0,101	0 - 1
Dummy vegetación bosque amazónico	Dummy	Derivado de Ibisch <i>et al.</i> (2003). Mapa de las eco-regiones y ecosistemas de Bolivia.	0,151	0 - 1
Valor actual neto del valor neto agrícola	USD/ha	Adaptado de Naidoo e Iwamura (2007).	854,581	0,0033 - 2174
Logaritmo natural del valor actual neto del valor agrícola	ln (USD/ha + 1)		5,773	0,0033 - 7,685

Una condición necesaria para que tuviera lugar la deforestación es que hubiese superficie forestal presente en el píxel al principio del periodo. Por tanto, todos los píxeles sin cubierta forestal en 2001 fueron excluidos de la regresión. Esto nos dejó 92.715 píxeles con cubierta forestal positiva en 2001, los cuales fueron utilizados para estimar el modelo de deforestación (Cuadro 2). Como tenemos más de 90.000 observaciones y solamente 23 posibles variables explicativas, no existe riesgo de sobreajuste; entonces, inicialmente incluimos todas las posibles variables explicativas, pero subsecuentemente excluimos aquéllas que no resultaron ser significativas a nivel 5%.

Cuadro 2
Modelo Poisson de deforestación para Bolivia, 2001-2005

Variable dependiente	Número de observaciones	Pseudo R²
Pérdida forestal entre 2001 y 2005	92.715	0,3241
Variables explicativas	Coefficiente	Z-valor
Cubierta forestal inicial en 2001	-1,2618	-34,42
Distancia a carretera	-0,0143	-16,38
Distancia a río	-0,0114	-11,60
Distancia a centro urbano con más de 10000 habitantes	-0,0113	-27,44
Pendiente promedio del píxel	-0,0535	-21,10
Altitud promedio	0,0003	6,50
Contenidos de carbono en la vegetación	-0,0017	-7,61
Contenidos de carbono en el suelo	-0,0043	-5,56
Productividad primaria neta	0,0265	21,71
Densidad de fuegos	0,1991	30,53
Densidad poblacional	0,0001	2,64
Distancia a píxel ya deforestado	-0,2581	-10,99
Título de la tierra individual	0,1867	6,59
Título de la tierra comunal	-0,6079	-13,08
Tierra publica	-0,6644	-12,51
Índice de desarrollo humano	-0,2447	-4,43
Vegetación <i>dummy</i> : Puna	-15,8405	-34,69
Vegetación <i>dummy</i> : Cerrado	-0,2522	-7,38
Logaritmo natural del valor presente neto de la agricultura	0,0745	5,01
Constante	-1,2165	-10,40

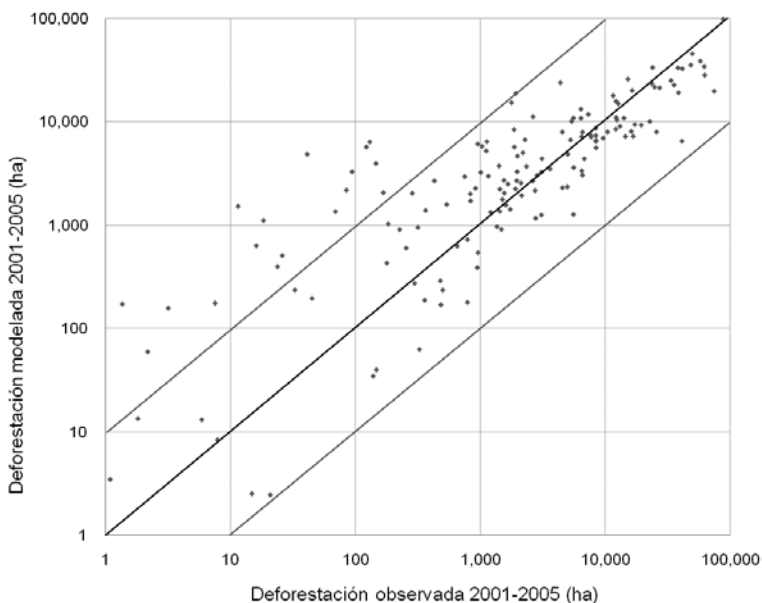
Este modelo de regresión indica que la deforestación fue mayor en píxeles con cubierta forestal inicial baja. Esto tiene sentido, ya que es más fácil deforestar un bosque fragmentado que un bosque intacto y denso. Además, como es de esperar, los índices de deforestación fueron más elevados en superficies planas cercanas a las carreteras, ríos, centros urbanos, y a píxeles ya deforestados. Las áreas de propiedad privada tuvieron más probabilidad de deforestación que las de propiedad comunal (territorios indígenas o tierra pública, incluyendo áreas protegidas). La tasa de deforestación también fue mayor en áreas con mayor densidad poblacional, con productividad primaria neta más elevada, y con un índice de incendios más elevado.

Es importante destacar que las tasas de deforestación fueron mayores en áreas con un potencial agrícola más elevado. Esto es importante para OSIRIS, ya que el impacto de los incentivos REDD se simula a través de esta misma variable. Por ejemplo, si la deforestación total es reducida, el precio de los productos agrícolas en la frontera aumentará, lo cual aumentará el valor agrícola y a su vez aumentará la probabilidad de deforestación.

El poder explicativo del modelo de regresión es $R^2 = 0,32$, lo cual indica que todavía hay mucha variabilidad sin explicar dentro de las tasas de deforestación aun habiendo tenido en cuenta tantos factores. Sin embargo, si agregamos los resultados a nivel municipal (337 municipios), la correlación entre deforestación medida y estimada es 0.87, bastante elevada. Se puede concluir que el modelo funciona mejor prediciendo cuánta deforestación ocurrirá en un municipio que prediciendo exactamente dónde ocurrirá la deforestación dentro de ese municipio.

El Gráfico 1 compara la deforestación estimada y observada entre 2001 y 2005 para cada municipio con deforestación positiva. El gráfico se presenta en una escala Log-Log para poder observar tanto valores pequeños como elevados. La línea negra de 45° indica los casos en que la deforestación modelada es igual a la deforestación estimada en un municipio. Pocos municipios caen directamente sobre la línea. Las líneas azules indican las fronteras en las cuales la deforestación modelada se encuentra alejada por un factor de diez de la deforestación observada. El modelo predice mejor la deforestación en municipios con un alto nivel de deforestación (más de 1.000 ha) que en municipios con un nivel de deforestación más bajo.

Gráfico 1: Deforestación observada y modelada, nivel municipal, Bolivia, 2001-2005



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0.

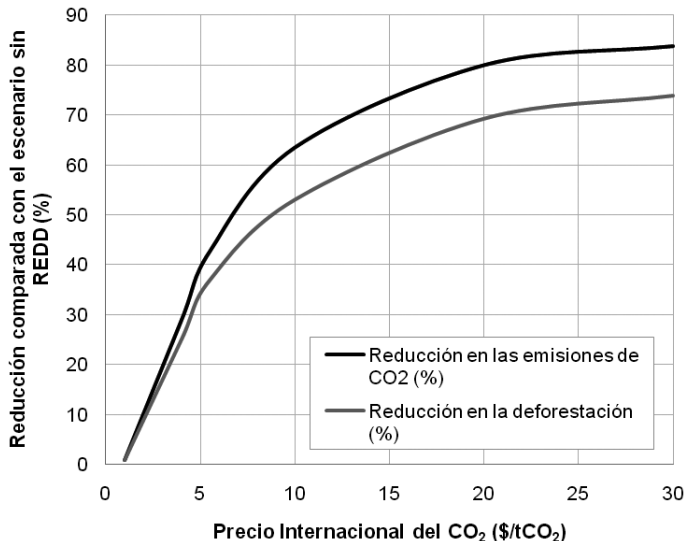
4. Aplicaciones

Esta sección aplica la herramienta OSIRIS-Bolivia a preguntas que son importantes para el diseño y la implementación de pagos para reducir las emisiones causadas por la deforestación en Bolivia. Una pregunta crucial para los políticos es: ¿cuánto costaría reducir la deforestación en Bolivia? La respuesta a esta pregunta puede ayudarnos a entender cuánta reducción en la deforestación es realista y cuánto costaría. Otra pregunta de considerable interés para políticos y beneficiarios del mecanismo es: ¿dónde funcionaría el mecanismo REDD dentro del país? Preguntas adicionales que serán exploradas en esta sección tienen que ver con los niveles de referencia, niveles de contabilidad, costes de transacción y preferencias por rentas agrícolas versus rentas derivadas de REDD.

4.1. ¿Cuánto costaría reducir la deforestación en Bolivia?

Varios estudios han afirmado que reducir la deforestación sería una forma relativamente barata de reducir las emisiones de carbono (Stern, 2006; Antorini y Sathaye, 2007; Naucler y Enkvist, 2009). OSIRIS-Bolivia nos permite evaluar cuánta reducción de emisiones podríamos alcanzar a diferentes precios del carbono. Por un módico precio de CO₂ de \$5/tCO₂, se podría reducir la deforestación un 35% (asumiendo que no existen costos de transacción). Dado un precio de US\$ 10, podría reducirse un 53%, y con un precio de US\$ 30, un 74% (Gráfico 2). Es de destacar el efecto marginal decreciente del precio de CO₂.

Gráfico 2: Precio internacional del CO₂ y reducción de la deforestación y las emisiones de CO₂ en Bolivia (sin costos de transacción)

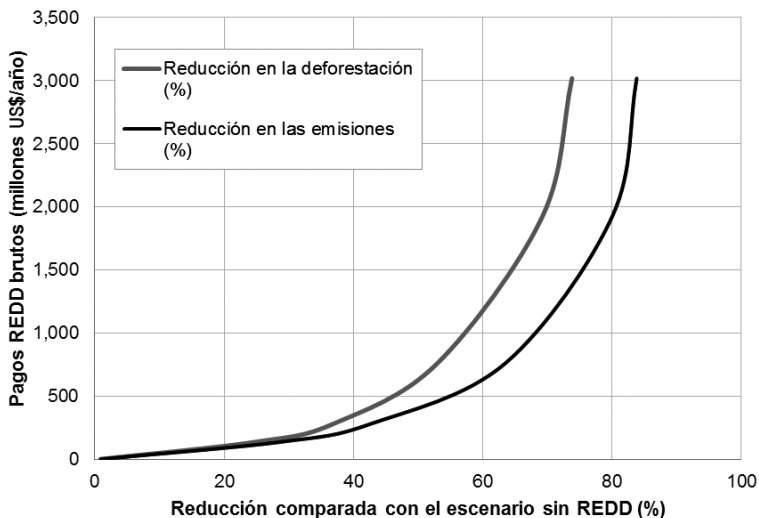


Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante (celda B8), que ha sido ajustado para asegurar que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero.

Reducir la deforestación es exponencialmente más caro para niveles elevados de reducción. El Gráfico 3 muestra que para reducir la deforestación un 25% a través de incentivos REDD, la comunidad internacional tendría que pagar a Bolivia unos US\$ 200 millones al año, lo que corresponde a un precio de CO₂ de aproximadamente US\$4/tCO₂, mientras que una reducción del 50% requeriría unos US\$ 700 millones al año en pagos brutos de REDD,

correspondiendo a un precio de US\$ 8/tCO₂. Esta segunda cantidad corresponde al 8.5% del PIB total del país, por lo que tendría efectos importantes en la economía del país y en la distribución de la renta dentro de Bolivia.

Gráfico 3: Reducciones en la deforestación y las emisiones, y pagos brutos anuales por REDD



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante (celda B8), que ha sido ajustado para asegurar que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero.

4.2. ¿Dónde podría funcionar REDD dentro de Bolivia?

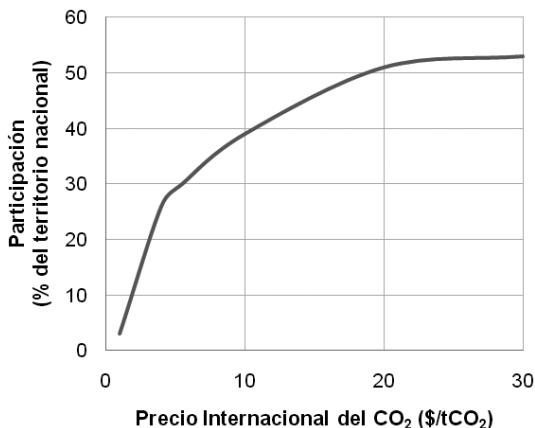
Existen tres condiciones principales que causan que un área tenga más posibilidades de participar en REDD:

- ♦ Alta cubierta forestal inicial.
- ♦ Altas tasas de deforestación en el escenario de referencia.
- ♦ La habilidad para reducir la deforestación a costos relativamente bajos.

Para cada píxel, OSIRIS-Bolivia compara las rentas netas derivadas de agricultura con las rentas netas potenciales ofrecidas por REDD, dados el nivel de referencia y el precio del CO₂

fijado. Evidentemente, cuanto más alto sea el precio del CO₂, más píxeles estarán interesados en participar. El Gráfico 4 muestra como la participación en el programa REDD depende del precio internacional del CO₂. La participación aumenta de forma drástica al subir el precio hasta US\$5/tCO₂, pero subidas adicionales en el precio no provocan aumentos tan pronunciados en la participación. Cuando el precio está alrededor de US\$ 20/tCO₂, casi todos los píxeles con bosque (56% del territorio nacional) querrían participar en REDD.

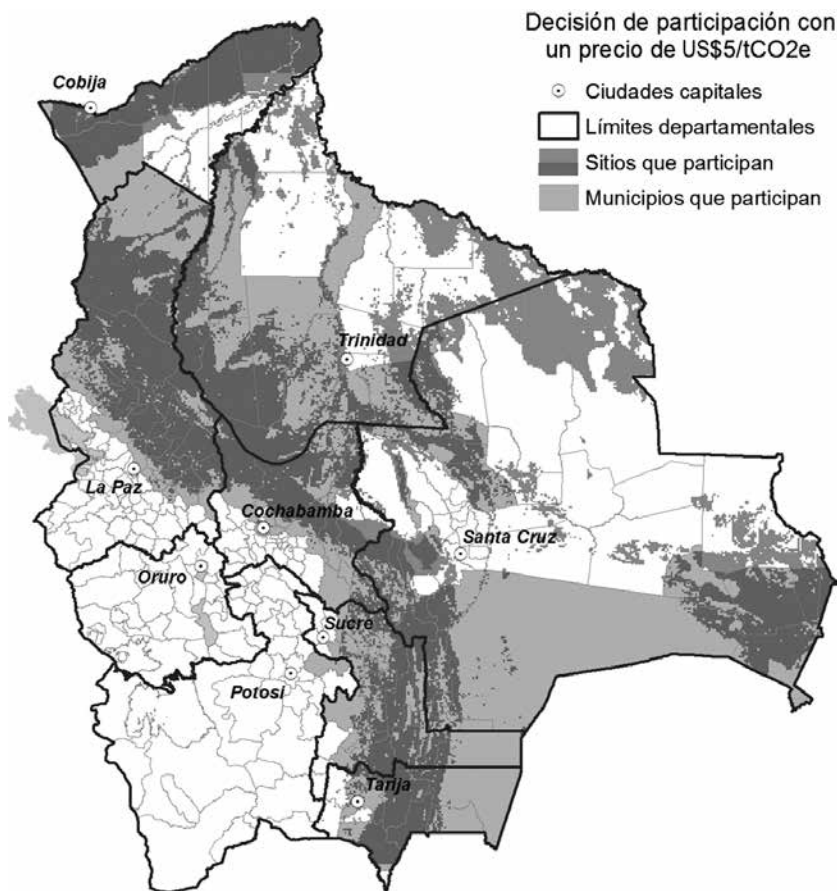
Gráfico 4: Precio internacional del CO₂ y participación de los píxeles en REDD



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante (celda B8), que ha sido ajustado para asegurar que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero.

El mecanismo REDD puede funcionar tanto con propietarios privados al nivel píxel como con entidades administrativas, como municipios. Si REDD comenzase a funcionar a nivel municipal, querría decir que las rentas de REDD serían pagadas a los municipios y no a los individuos, y el municipio decidiría cómo distribuir o invertir las rentas para reducir la deforestación y beneficiar a la población local. El mapa 1 indica los píxeles donde las rentas por REDD serían más altas que las rentas agrícolas si el precio del CO₂ fuese US\$5/tCO₂ y el nivel de referencia fuese BAU.

Mapa 1: Píxeles/municipios que participarían en el mecanismo REDD, dado un precio del CO₂ de US\$ 5/tCO₂e y bajo el escenario de referencia BAU



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros se mantienen al nivel por defecto, salvo el precio del CO₂ que se fija en US\$ 5/tCO₂e y las decisiones a nivel píxel y municipio, fijadas en 1.

El altiplano boliviano en el Suroeste se ve excluido de REDD debido a la ausencia de bosques y, por lo tanto, ausencia de deforestación. Gran parte del departamento de Santa Cruz en el Este, donde la deforestación observada es más intensa, se muestra como una zona poco probable de participar en REDD debido a costes de oportunidad elevados. Las áreas con más posibilidades de participar en REDD son la tierras bajas del departamento de La Paz, el departamento de Pando, en el Norte, el departamento de Tarija, en el Sur, y la parte del departamento de Santa Cruz localizada más al Este.

Cuánto se beneficiaría cada municipalidad de participar en REDD depende no sólo de los precios de CO₂, niveles de referencia y costes de oportunidad, sino también del tamaño de la población en cada municipalidad. Para hacernos una idea de la distribución y magnitud de los beneficios REDD, hicimos una simulación con OSIRIS manteniendo todos los parámetros en sus valores por defecto (financiación externa de US\$ 1 billón para el periodo de 4 años²⁰, correspondiente a un precio internacional del carbono US\$ 5,5/tCO₂; niveles de referencia BAU; contabilidad a nivel municipal).

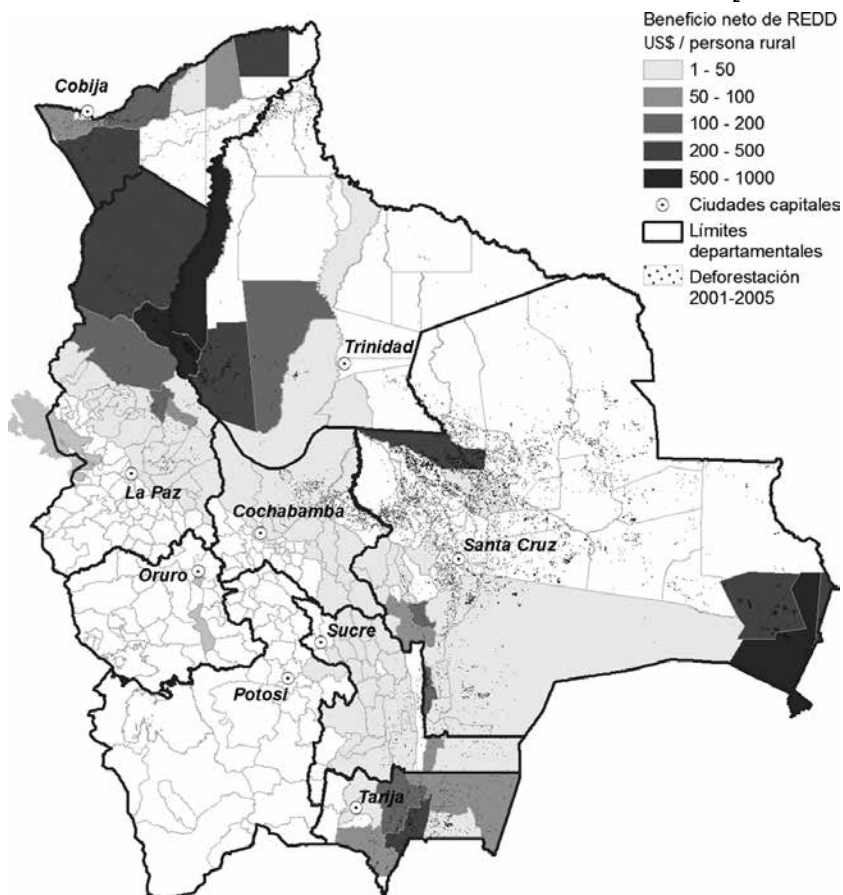
Uno de los resultados clave de OSIRIS es la renta neta por participar en REDD en comparación con el escenario sin REDD²¹, la cual se calcula restando de las rentas brutas recibidas por REDD las rentas agrícolas renunciadas y los costos de transacción. Dado que REDD es más relevante para la población rural, hemos representado en el mapa las rentas netas de REDD por persona rural en el Mapa 2.

Las áreas que muestran el beneficio neto REDD más elevado son el norte del departamento de La Paz, el departamento de Pando, el departamento de Tarija y la parte este del departamento de Santa Cruz. En estas regiones las reservas de carbono y la deforestación son elevadas, el coste de oportunidad de mantener el bosque es relativamente bajo y la densidad de la población es baja. Por lo tanto, los pagos se comparten entre pocas personas. De acuerdo a esta simulación, cuatro municipios recibirían beneficios REDD por encima de US\$ 500 por persona rural por año (San Buenaventura, Reyes, Rurrenabaque y Puerto Suarez). El beneficio más alto existente es US\$ 710 por persona rural por año en San Buenaventura, una gran cantidad, dado que los ingresos medios de una persona rural son US\$ 300 por año.

²⁰ El precio del carbono por defecto ha sido seleccionado para que los pagos brutos por REDD alcance US\$1 billón a lo largo del periodo de 4 años. Éste es un número conveniente y refleja la cantidad de financiamiento necesario para reducir la deforestación de manera significativa en Bolivia. Nos permite responder a la pregunta: ¿qué se puede lograr con US\$1 billón en Bolivia en términos de reducción en la deforestación y aumento en las rentas rurales?.

²¹ Celda H35 en la hoja "SUMMARY".

Mapa 2: Distribución de rentas netas REDD entre la población rural de Bolivia, con US\$ 1 billón de pagos REDD brutos y un escenario de referencia BAU. Reducción de emisiones: 189 millones tCO₂



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros en su valor por defecto.

Es importante añadir que la participación y los beneficios de REDD dependen estrechamente de cómo se establezcan los niveles de referencia (ver siguiente sección).

4.3. La importancia de los niveles de referencia

Establecer los niveles de referencia, el nivel bajo el cual las reducciones generarían pagos REDD, es uno de los elementos más críticos del diseño de estas políticas (Busch *et al.*, 2009).

Bajo un mecanismo REDD internacional, los niveles de referencia serían determinados en las negociaciones internacionales, sin embargo, los países serían libres de crear sus propias políticas para reducir la deforestación (Busch *et al.*, 2012). En otras palabras, el nivel de referencia nacional bajo el cual Bolivia recibirá fondos será determinado en negociaciones internacionales, pero el país podría utilizar este dinero para reducir la deforestación dentro de sus fronteras como considere adecuado. Por lo tanto, una de las decisiones más importantes al diseñar una política nacional REDD es determinar los niveles de referencia locales, ya que esto afectará a la distribución de pagos dentro de Bolivia.

OSIRIS-Bolivia cuenta con tres tipos de niveles de referencia domésticos: histórico, BAU e incentivos combinados (Strassburg, Turner, Fisher, Schaeffer and Lovett, 2009)²². Los niveles de referencia históricos se basan en tasas de deforestación observadas en el departamento, municipio o píxel (dependiendo de la decisión sobre el nivel de contabilidad). Un nivel de referencia BAU se refiere al nivel de emisiones provocadas por la deforestación que ocurrirían si el departamento, municipio o píxel decidiesen no participar en REDD. Estos niveles de referencia deberían ser establecidos tomando en cuenta los distintos causantes de la deforestación (utilizando un modelo como el presentado en la sección anterior u otro similar (*e.g.*, Sangermano, Toledano y Eastman, 2012)), pero en la práctica puede ser difícil estimarlos con exactitud (Busch *et al.*, 2012). El nivel de referencia de incentivos combinados es la media aritmética de la tasa de deforestación local histórica y la tasa de deforestación nacional histórica. Un nivel de referencia de incentivos combinados busca incentivar la participación de las regiones con tasas de deforestación históricamente bajas y requieren un nivel mayor de contribución inicial de regiones con tasas de deforestación históricamente altas.

La elección de niveles de referencia sub-nacionales tiene efectos importantes sobre la reducción de emisiones, el nivel de beneficios en el país y la distribución de esos beneficios dentro del país. En OSIRIS-Bolivia, el nivel de referencia BAU es el más eficiente para reducir la deforestación, porque se supone que refleja exactamente la cantidad de deforestación que hubiese ocurrido en la ausencia de REDD. Por lo tanto, no existen casos donde se paga por "aire caliente" (pagos por reducciones no adicionales), debido a niveles de referencia demasiado elevados, y tampoco existen casos en los cuales actores deciden no participar debido a niveles de referencia por debajo de la presión real. Sin embargo, como no se puede prever el futuro con exactitud, es imposible establecer escenarios de referencia que coinciden exactamente con la presión real para deforestar.

²² Celda B12 en la hoja "SUMMARY".

Usar niveles de referencia que difieren de la presión real para la deforestación es menos eficiente. Por ejemplo, los niveles de referencia puramente históricos probablemente no serán capaces de predecir con exactitud tasas de deforestación futuras. Esto se debe al hecho de que la frontera agrícola tiende a moverse desde áreas más desarrolladas a áreas vírgenes (Andersen *et al.*, 2002). Esto quiere decir que un área que históricamente ha estado localizada más allá de la frontera, experimentando baja deforestación, puede de pronto experimentar alta deforestación durante el periodo en que la frontera la atraviesa. Más tarde, esta misma región se estabilizará y experimentará tasas de deforestación más bajas (posiblemente debido a la ausencia de bosque). Si el nivel de referencia histórico es más bajo que la verdadera presión a la deforestación, entonces los propietarios de tierra escogerán no participar en REDD, porque tendrían que reducir algunas emisiones de forma gratuita. Por otra parte, si el nivel de referencia histórico es más alto que la verdadera presión para deforestar, entonces los donantes pagarán por reducciones en emisiones sin esfuerzo alguno.

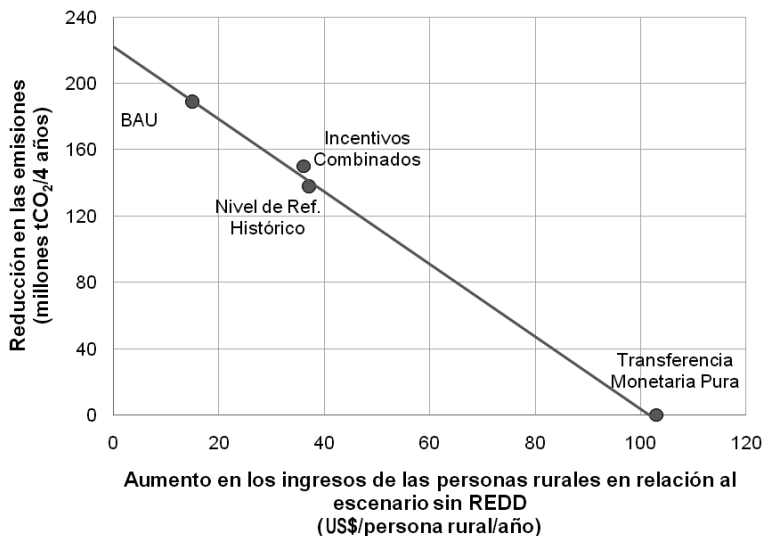
Si el mecanismo REDD está pagando a los propietarios de tierra exactamente sus costos de oportunidad para no cultivar la tierra, entonces el beneficio neto de participar para estos propietarios de tierra es cero, por definición. Los beneficios netos positivos tendrán lugar cuando a los propietarios de la tierra se les pague más que los costos de oportunidad. Existen varias razones por las cuales podrían recibir beneficios más elevados. En primer lugar, si los donantes ofrecen un precio fijo por reducción de emisiones de CO₂, tendrán que pagar tanto a los propietarios de tierra que tienen este coste de oportunidad exacto como a los que tienen costos de oportunidad más bajos. En segundo lugar, es difícil saber exactamente cuánta tierra tienen pensado deforestar los dueños. Si el nivel de referencia es demasiado alto, los donantes pagarán por algo de aire caliente. En general, el pago recibido se distribuye entre el pago por costos de oportunidad (que reduce la deforestación) y la renta (que aumenta los beneficios netos).

En general, para una cantidad fija de fondos aportados por los donantes (en este caso, US\$ 1 billón a lo largo de 4 años), existe una competencia (*trade-off*) entre los dos objetivos de reducción de emisiones y aumento en rentas para la población rural. Cuanto más eficiente es el mecanismo al reducir las emisiones, menos beneficios netos recibe la población rural, y viceversa²³. En el Gráfico 5 hemos incluido los resultados de una transferencia de fondos

23 La relación inversa representada en el Gráfico 5 solamente se da en el caso de una cantidad de financiamiento fija. Si en vez de esto el precio del carbono es fijo y el tamaño del fondo es variable dependiendo del rendimiento de reducción de emisiones (como podría ocurrir en países que participen en un mercado internacional de bonos de carbono), no se vería una competencia tan clara entre los dos objetivos (reducción de emisiones y reducción de pobreza).

pura de US\$ 1 billón; esto incrementaría las rentas rurales *per cápita* en unos US\$ 103 por año (equivalente al 34%).

Gráfico 5: Relación entre la reducción de emisiones y el aumento en las rentas de los habitantes rurales de Bolivia en relación al escenario sin REDD (simulaciones realizadas suponiendo US\$ 1 billón de financiamiento y costos de transacción cero)



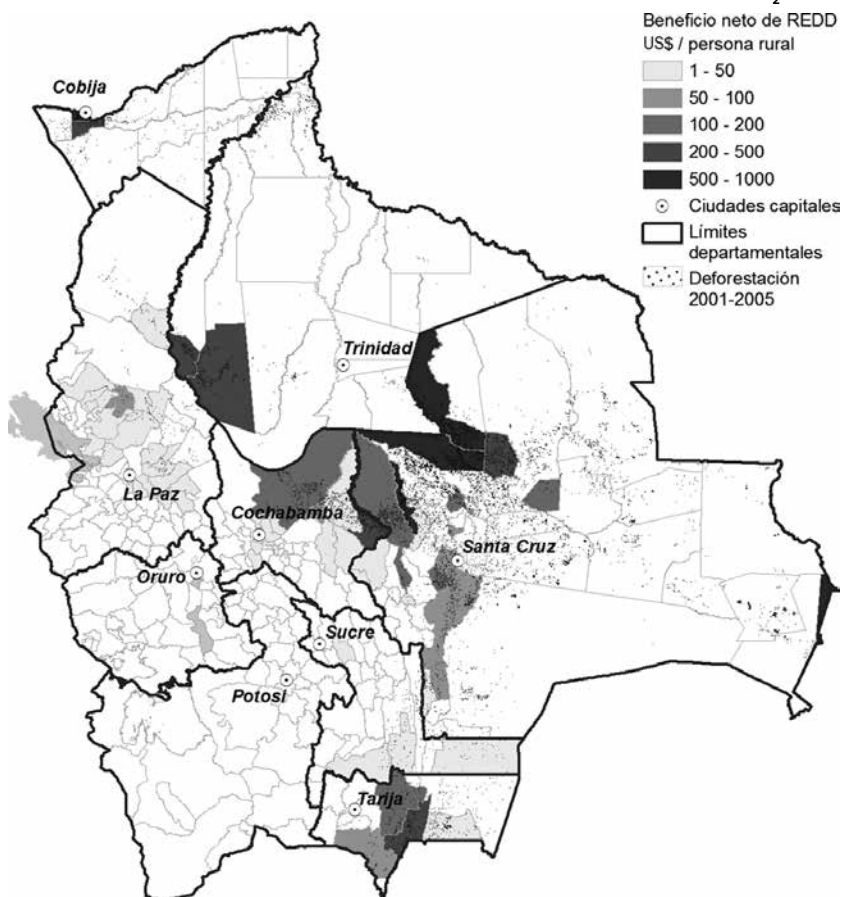
Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el tipo de escenario de referencia, el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante, que han sido ajustados para asegurar que los pagos brutos REDD equivalgan a US\$ 1 billón al mismo tiempo que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero).

La reducción de emisiones más alta que podríamos lograr con US\$ 1 billón en financiamiento se produciría en el caso de que pudiésemos averiguar exactamente los costos de oportunidad en cada píxel, ordenarlos de menor a mayor costo de oportunidad y pagar a aquellos píxeles con costos menores. En este hipotético caso (no incluido en el gráfico), reduciríamos las emisiones en 402 millones de tCO₂ a lo largo del periodo de 4 años. Dado que se pagaría a los propietarios sólo su costo de oportunidad, los beneficios netos de participar en REDD de todas las personas rurales serían cero.

Los mapas 3 y 4 muestran las diferencias existentes entre la distribución de beneficios netos de REDD cuando el nivel de referencia cambia de BAU a histórico o a incentivos combinados.

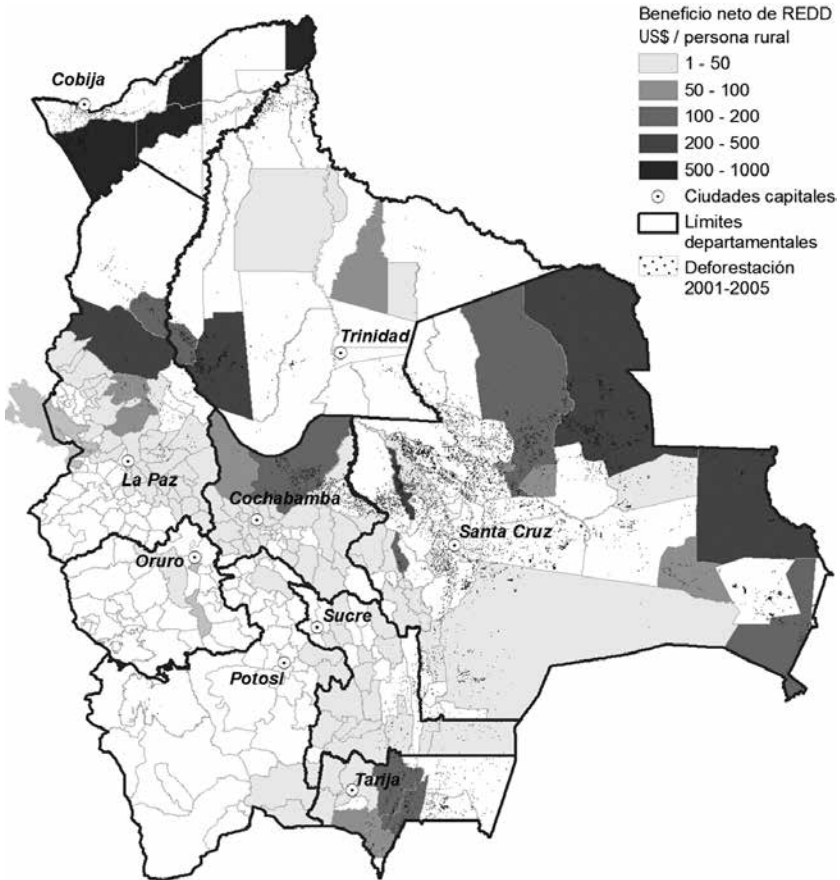
En los tres casos (mapas 2, 3 y 4), los beneficios de REDD están muy concentrados. Incluso bajo el supuesto de que los ingresos por REDD se distribuyen igualmente entre todas las personas dentro de un municipio, más del 90% de los beneficios de REDD corresponderían a menos del 5% de la población. Sin embargo, como los incentivos REDD están dirigidos a la población rural, inclusive así causarían una ligera mejora en la distribución de la riqueza total.

Mapa 3: Distribución de las rentas netas de REDD entre la población rural de Bolivia, con US\$ 1 billón en financiamiento y un nivel de referencia histórico. Reducción en emisiones: 138 millones de tCO₂.



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros en su valor por defecto, excepto el tipo de escenario de referencia que está en "histórico".

Mapa 4: Distribución de rentas REDD netas entre la población rural de Bolivia, con US\$ 1 billón en pagos REDD y un nivel de referencia de incentivos combinados. Reducción en emisiones: 150 millones de tCO₂.



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros en su valor por defecto, excepto el tipo de escenario de referencia que está en "incentivos combinados".

4.4. Co-beneficios

Además de reducir la deforestación y las emisiones de carbono, los pagos REDD podrían reducir la pérdida de biodiversidad e incrementar las rentas de los más pobres. OSIRIS-Bolivia es capaz de estimar estos efectos y también el porcentaje de la población rural que participa en el programa. El Gráfico 6 muestra estos resultados sobre los co-beneficios.

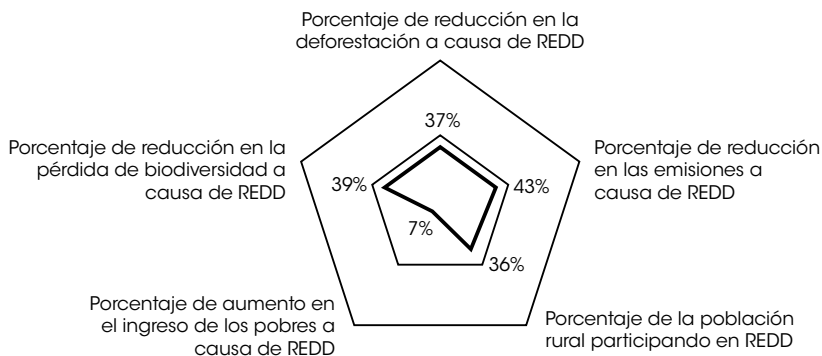
OSIRIS-Bolivia contiene datos sobre la biodiversidad al nivel píxel, utilizando la variable “Riqueza Total de Especies” estimada por Nowicki, Ley, Caballero, Sommer, Barthlott e Ibsch (2004). Usa 17 grupos de plantas y animales como indicadores de taxones. El número más elevado de especies que se ha encontrado dentro de estos 17 grupos es 2.825 especies por píxel,²⁴ mientras que el más bajo ha sido 0 (por ejemplo, en glaciares y salares).

OSIRIS-Bolivia estima el efecto sobre la biodiversidad calculando la reducción en la pérdida de hábitat para la biodiversidad en comparación con el escenario sin REDD, usando “Riqueza Total de Especies” como peso para determinar la importancia de cada hectárea para el objetivo de proteger la biodiversidad.

Al mantener los parámetros en su valor por defecto, OSIRIS-Bolivia muestra un decrecimiento en la pérdida de hábitat-biodiversidad de 39.2%. Esto es ligeramente mayor que la disminución en la deforestación del 36.9% con REDD, indicando que el mecanismo parece dirigirse a áreas con alta biodiversidad, aunque éste no es un criterio explícito de REDD.

Respecto a la reducción de la pobreza, OSIRIS-Bolivia muestra un aumento del 7.2% de los ingresos de los municipios pobres que participan en REDD, mientras que, tomando en cuenta todos los municipios pobres, se observa un incremento de 2.2% (Gráfico 6). Estos incrementos se dan al fijar un umbral de pobreza igual a US\$ 2 por día.

Gráfico 6: Co-beneficios de REDD



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros se mantienen en su valor por defecto.

²⁴ Los píxeles utilizados en Nowicki *et al.* (2004) son ligeramente más grandes que los usados en OSIRIS (3.6 por 3.6 km en vez de 3 por 3 km); entonces, los datos fueron re-muestreados para coincidir con los píxeles de OSIRIS.

4.5. El papel de los costos de transacción

Por ahora no hemos incluido el papel de los costos de transacción en REDD. En la realidad, los recursos financieros requeridos para desarrollar la capacidad técnica e institucional que se necesita en un mecanismo de REDD son presumiblemente sustanciosos (Pagiola y Bosquet, 2009). Existen costos institucionales, como la capacidad técnica e institucional (a menudo referidos como preparación para REDD). También existen costos asociados a definir claramente los derechos de propiedad e invertir en programas para mejorar la eficiencia agrícola en zonas ya deforestadas. Los costos de transacción son los “recursos utilizados para definir, establecer, mantener y transferir los derechos de propiedad” (McCann, Colby, Easter, Kasterine and Kuperan, 2005). Esta definición reconoce que los bienes y servicios ambientales suelen carecer de una clara definición y que, además de los costos asociados a los pagos y la negociación, se deben incluir los costos asociados a la capacidad institucional y aquellos asociados a definir los derechos de propiedad.

El modelo OSIRIS-Bolivia separa los costos iniciales, tal como aquéllos asociados a la preparación técnica y administrativa para REDD, de los costos de transacción de negociar, ejecutar y monitorear los pagos. Los costos iniciales son un parámetro que es asumido por el Gobierno o instituciones internacionales. En el modelo, simplemente son restados de los ingresos brutos nacionales de REDD junto a los ingresos agrícolas no aprovechados para obtener los ingresos nacionales netos de REDD. En la realidad, Bolivia necesitará fondos internacionales para cubrir la mayoría de estos costos. El valor por defecto de los costos iniciales en OSIRIS-Bolivia es cero²⁵.

OSIRIS-Bolivia calcula también un parámetro de coste por costos de transacción por hectárea/4 años. Este costo de transacción es restado a las ganancias potenciales de participar en REDD, y por lo tanto es incluido en la decisión del píxel de participar o no. Los costos de transacción tienen efectos directos sobre las tasas de participación, y por lo tanto afectan a las reducciones en la deforestación y en emisiones. Unos costos de transacción más elevados reducen el número de participantes, al aumentar los costos de oportunidad de participar.

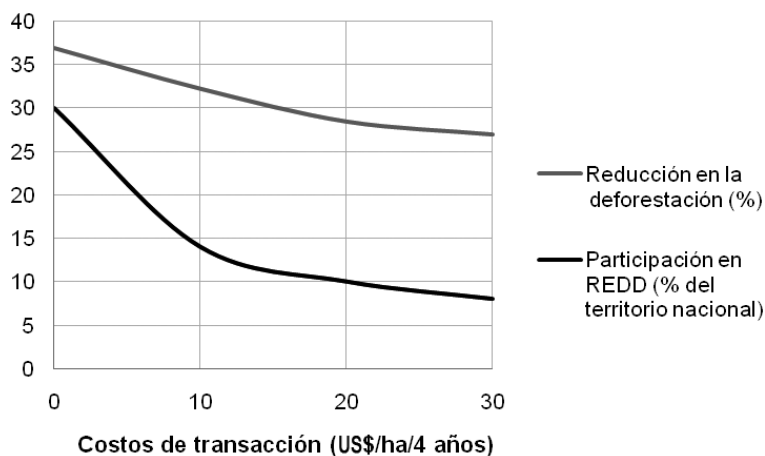
El Informe Stern (Stern, 2006), que incluye un análisis de los bosques tropicales en Bolivia, estima que los costos de transacción se encuentran entre US\$ 5 y US\$ 15 por hectárea (Grieg-Gran, 2006). El Proyecto de Acción Climático Noel Kempff incurrió en costos de transacción

25 Celda B65 en la hoja "SUMMARY".

de US\$ 3.3 millones para un proyecto de 634.286 hectáreas (Antorini y Sathaye, 2007), lo cual corresponde a US\$ 52/ha. Si repartimos estos costos sobre los primeros 10 años de proyecto, el coste por hectárea y año es de US\$ 5.2, o aproximadamente US\$ 20 por hectárea por cada periodo de 4 años.

En los Gráficos 7 y 8 mostramos los impactos de los costos de transacción en un rango de US\$ 0 a US\$ 30 por hectárea por un periodo de 4 años. La participación se reduce de forma drástica cuando se añaden los costos de transacción, ya que las áreas con costo de oportunidad cercano al precio internacional de carbono (en esta simulación, US\$ 5.5/tCO₂) deciden no participar, aunque la reducción en la deforestación se reduce de forma menos drástica.

Gráfico 7: Impacto de los costos de transacción sobre la participación en REDD y la reducción de la deforestación (simulaciones con US\$ 1 billón en financiamiento internacional)

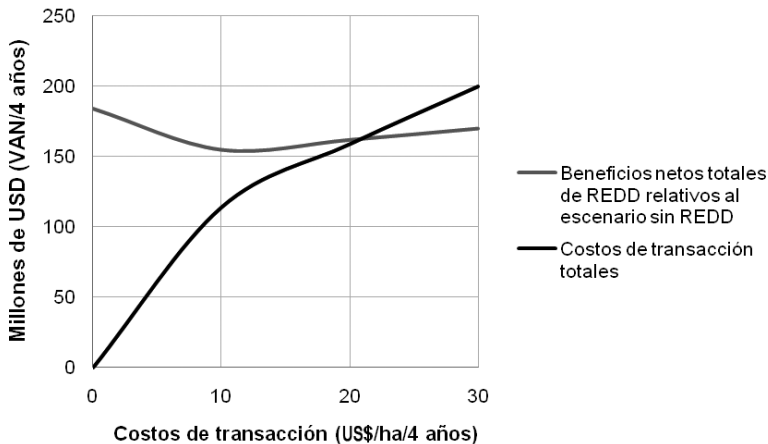


Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto los costos de transacción, y además el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante, que han sido ajustados para asegurar que los pagos brutos REDD equivalgan a US\$ 1 billón al mismo tiempo que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero).

El Gráfico 8 muestra que los costos de transacción totales suben rápidamente hasta alrededor de US\$ 200 millones por periodo de 4 años (20% del financiamiento total) si los costos de transacción alcanzan US\$ 30/ha/4 años. Esta cifra es cercana al 19% que surgió del Proyecto de Acción Climático Noel Kempff (Antorini y Sathaye, 2007). En contraste, los beneficios REDD netos no se ven casi afectados. Esto se debe a que los píxeles con beneficios netos cercanos a cero deciden no participar cuando los costos de transacción son incluidos.

En este caso, el US\$ 1 billón de financiamiento se distribuye entre menos píxeles, con mayores beneficios netos.

Gráfico 8: Impacto de los costos de transacción sobre los beneficios netos REDD (simulaciones teniendo en cuenta US\$ 1 billón de financiamiento internacional)



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. (Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto los costos de transacción, y además el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante, que han sido ajustados para asegurar que los pagos brutos REDD equivalgan a US\$ 1 billón al mismo tiempo que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero).

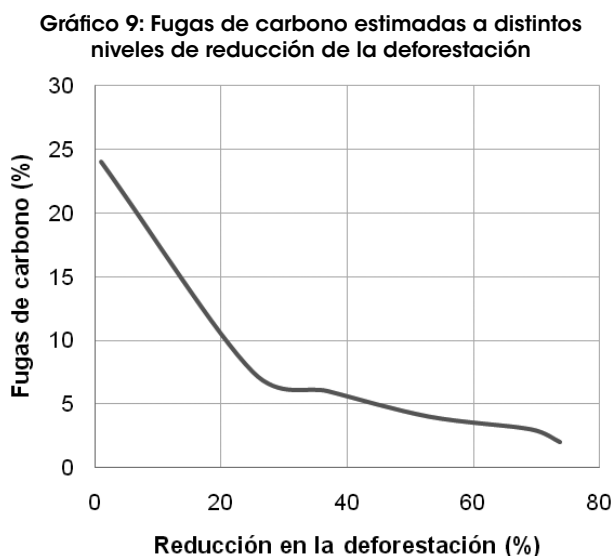
Por lo tanto, los costos de transacción suelen ser asumidos por los donantes, por lo menos en el caso de un fondo de tamaño fijo. Con costos de transacción en el rango del 20% de financiamiento total, las reducciones en la deforestación serían 27% más bajas que si no existiesen los costos de transacción. Por otra parte, los beneficios REDD para Bolivia serán 8% menores.

4.6. Fugas de carbono

Los mecanismos para reducir la deforestación se enfrentan al problema de las fugas de carbono o desplazamiento de la deforestación. Este fenómeno se produce cuando, debido a la subida de los precios agrícolas causada por la disminución de la deforestación en algunos lugares, aumenta la deforestación en otros. Niveles altos de fugas reducen la efectividad de los mecanismos para reducir la deforestación. En OSIRIS-Bolivia, las fugas se miden como

el volumen de aumento en las emisiones dividido por el volumen de reducción en las emisiones²⁶.

El nivel relativo de la fuga de carbono a medida que se reduce la deforestación es ambiguo. Por una parte, cuanto mayor sea el aumento de los precios agrícolas, mayor será el incentivo para aumentar la deforestación. La fuerza de este efecto viene dada por el parámetro “Sensibilidad del precio de producción doméstica a los cambios en el área deforestada”²⁷. Por otra parte, a medida que los pagos para reducir la deforestación incentivan la participación de forma más amplia, queda menos cubierta forestal para posibles fugas de carbono. Como se indica en el Gráfico 9, el segundo efecto tiende a dominar en OSIRIS, y por lo tanto las fugas son menores para mayores reducciones en la deforestación.



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante, que han sido ajustados para asegurar que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero).

Sohngen y Brown (2004) estiman que las fugas de carbono para el Proyecto de Acción Climático se encuentran entre 2 y 40%. Las predicciones de OSIRIS se encuentran en la mitad de este intervalo para niveles bajos de reducción de deforestación.

26 Variable endógena en la celda K21 de la hoja "SUMMARY".

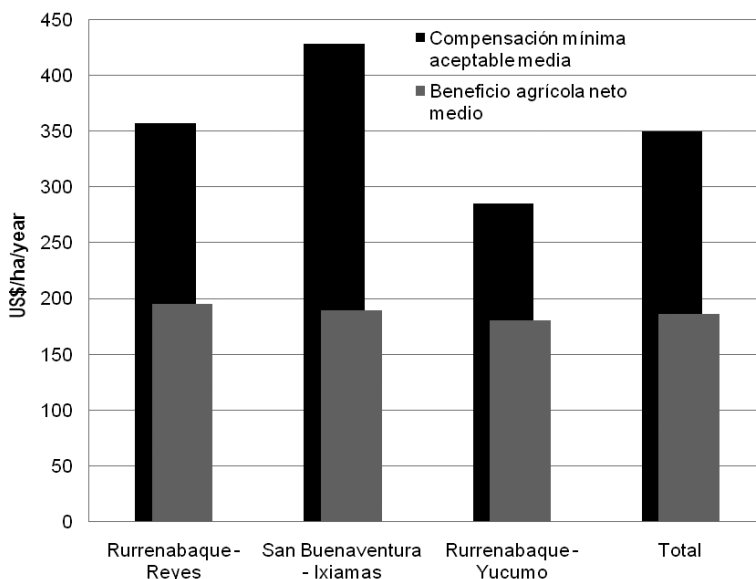
27 Celda B57 en la hoja "SUMMARY". El valor por defecto es 1.4.

4.7. Preferencias respecto a ingresos por medio de REDD o agricultura

Supusimos inicialmente que un dólar proveniente de pagos REDD tendría un efecto igual y opuesto sobre la deforestación que un dólar de ingresos agrícolas. Sin embargo, preocupaciones acerca de la oferta alimentaria o poca familiaridad con el mecanismo REDD podrían implicar que los propietarios de tierra prefiriesen ingresos por medio de la agricultura que por medio de REDD, justificando un $\gamma > 1$. Existen también argumentos que podrían justificar que γ fuese menor que uno. Por ejemplo, los agricultores pueden ser capaces de obtener tiempo libre al no tener que dedicarse a la agricultura, e incluso buscar rentas alternativas a la agricultura y a los pagos por REDD.

Un estudio empírico diseñado para establecer los costos de oportunidad en Bolivia encontró que los agricultores, al ser preguntados por la compensación mínima que necesitarían para renunciar a sus actividades agrícolas, demandaron una compensación anual que era casi el doble que sus rentas agrícolas (Gráfico 10) (Leguía, Malky y Ledezma, 2011). Esto puede deberse a que los agricultores tienden a subestimar sus costos laborales y por lo tanto sobrestimar sus beneficios netos. También puede deberse a que tienen una fuerte preferencia hacia las rentas agrícolas que son familiares y aportan seguridad en cuanto a suficiencia y seguridad alimentaria, al contrario de las rentas de REDD, que no son familiares.

Gráfico 10: Comparación de beneficios netos agrícolas y mínimos pagos por compensación. Estudio llevado a cabo en el noroeste de Bolivia

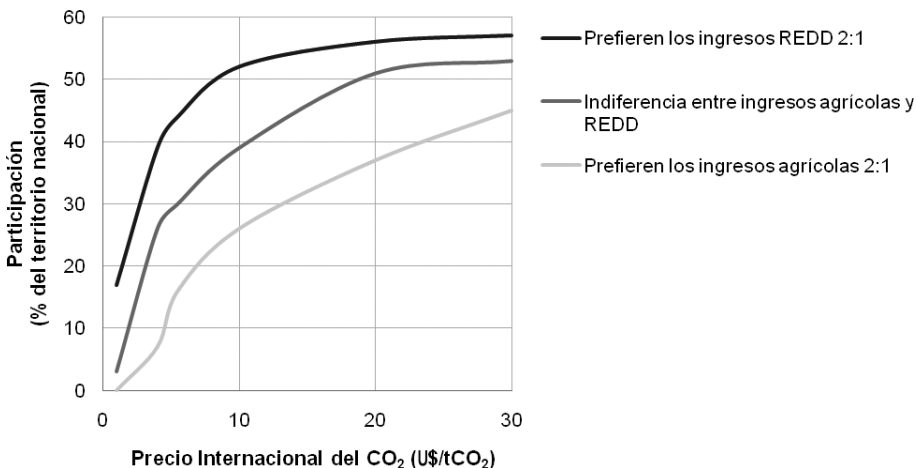


Fuente: Leguía, Malky y Ledezma (2011)

OSIRIS-Bolivia permite al usuario cambiar las preferencias entre rentas agrícolas y rentas REDD²⁸. El Gráfico 11 muestra cómo la participación en REDD sería considerablemente menor si los agentes tuvieran una preferencia por las rentas agrícolas en vez de los pagos por REDD, especialmente con precios de CO₂ bajos. Por ejemplo, bajo el precio de US\$ 5/tCO₂, la participación sería del 16% en vez del 30% si los agricultores requiriesen US\$ 2 de pagos REDD para compensar US\$ 1 de rentas agrícolas. Sin embargo, si existen precios elevados de CO₂, hasta aquellos con preferencias fuertes hacia ingresos agropecuarios querrían participar en el mecanismo REDD. Por otra parte, si los agricultores prefieren REDD sobre las rentas agrícolas, entonces la participación sería del 45% hasta con el precio de US\$ 5/tCO₂.

28. Celda B54 en la hoja "SUMMARY." El valor por defecto es 1.

Gráfico 11: Participación en REDD dependiendo de las preferencias respecto a las rentas agrícolas y a los pagos por carbono



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante, que han sido ajustados para asegurar que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero).

5. Conclusiones y recomendaciones

El mecanismo REDD+ internacional sigue en la fase de diseño y negociación, y existe un requerimiento de información cuantitativa que pueda servir de guía en el proceso para asegurar que el mecanismo resultante sea justo y efectivo y reciba los fondos suficientes para reducir la deforestación. La herramienta presentada en este documento, OSIRIS-Bolivia, nace con la intención de ayudar a llenar el vacío de información cuantitativa. Nos permite llegar a una serie de conclusiones en cuanto a los impactos socioeconómicos y sociales de un mecanismo enfocado en compensaciones por reducciones en emisiones causadas por deforestación.

En primer lugar, es probable que la cantidad de financiamiento internacional requerida para reducir la deforestación en Bolivia sea elevada. En términos relativos, puede ser más barato reducir la deforestación en Bolivia que en países ricos, pero en términos absolutos se requerirán cientos de millones de dólares de financiamiento internacional cada año para reducir la deforestación de forma significativa a través del mecanismo REDD. Por ejemplo, una reducción del 50% requeriría al menos US\$ 700 millones por año en pagos REDD brutos.

En segundo lugar, es muy probable que los beneficios que surjan de estas transferencias internacionales estén extremadamente concentrados. Tanto la población urbana como la población rural en el Altiplano sin bosque serán automáticamente excluidas del mecanismo, ya que está orientado a reducir la deforestación. Sin embargo, hasta dentro de las zonas con bosque, los fondos serán distribuidos de forma desigual porque la deforestación misma está distribuida de forma desigual en el escenario de referencia. Los resultados muestran que municipios con menos del 5% de la población reciben más del 90% de los beneficios netos de REDD (beneficios brutos menos beneficios agrícolas sacrificados). Además, la distribución de estas rentas podría tener un componente arbitrario, dependiendo de cómo se asignen los niveles de referencia. Si REDD fuera implementado en Bolivia sería importante hacer un esfuerzo para mejorar los efectos distributivos, aún si esto tendría un costo en términos de una reducción en la eficiencia en la reducción de la deforestación.

En tercer lugar, los precios agrícolas pueden ser bastante sensibles a reducciones en la producción agrícola, por lo cual es importante que al menos una parte de los pagos REDD estén dirigidos a mejorar la productividad agrícola sobre tierra ya deforestada. Posiblemente se produzcan inversiones en intensificación agrícola debido a la creciente escasez de tierra causada por el mecanismo, pero también se podría apoyar este proceso con asistencia técnica y políticas que incentiven la agricultura en áreas deforestadas previamente.

En cuarto lugar, las fugas de carbono son un problema potencialmente importante si no se implementa el mecanismo a nivel nacional. La mayoría de los agricultores en las áreas boscosas de Bolivia son emigrantes o descendientes de emigrantes, con lo cual tienen un alto grado de movilidad y una red familiar amplia. Por lo tanto, podrían potencialmente participar en REDD en un área y usar esas rentas para practicar la agricultura en otro área. Esto quiere decir que el mecanismo REDD en Bolivia no sería efectivo si no se implantase a escala nacional.

A pesar de que OSIRIS-Bolivia está basado en grandes cantidades de datos, es un modelo económico simplificado y se debe usar teniendo en cuenta sus limitaciones. El modelo se concentra exclusivamente en incentivos económicos positivos para reducir la deforestación, pero los resultados reales dependerán del entorno político en que estas medidas se apliquen. Por ejemplo, los incentivos positivos probablemente serían más eficientes si se combinan con un buen control y penalización de la deforestación ilegal, mientras que serían mucho menos efectivos en presencia de políticas que apoyen la expansión de la frontera agrícola. Otros factores externos, como la evolución de los precios de los alimentos, también pueden tener un efecto mayor sobre la deforestación que los incentivos positivos en OSIRIS.

Las simulaciones en OSIRIS-Bolivia se enfocan en el pago a los propietarios o municipalidades por reducciones de emisiones de carbono por debajo de un nivel de referencia establecido. Sin embargo, podría ser poco práctico y muy costoso establecer niveles de referencia para propietarios individuales y certificar la reducción de sus emisiones para pagarles una compensación adecuada. Más aun, los resultados de OSIRIS-Bolivia muestran que la distribución de los beneficios bajo tal mecanismo puede estar altamente concentrada. Mecanismos más simples que no requieren el cálculo elaborado de niveles de referencia y contabilidad de carbono costosa pueden ser más susceptibles de ser implementados a gran escala. Los programas PSE de Costa Rica (Rodríguez-Zúñiga, 2003) y Socio Bosque de Ecuador (Koning, Aguiñaga, Bravo, Chiu, Lascano, Lozada y Suarez, 2011) son ejemplos de mecanismos mucho más simples de contratos de conservación de largo plazo que realizan pagos semi-anales a los propietarios. Investigaciones futuras deberían considerar extensiones de OSIRIS-Bolivia que analicen estos tipos de incentivos, para que los efectos multidimensionales de diferentes tipos de incentivos puedan ser comparados.

Por último, se debe resaltar que los datos usados para OSIRIS-Bolivia son de hace una década aproximadamente, y la situación puede haber cambiado. Por lo tanto, el análisis debe ser actualizado cuando existan datos de un nuevo censo poblacional y datos más actualizados sobre la deforestación.

Artículo recibido en: 10 de abril de 2012

Manejado por: ABCE

Aceptado en: 8 de septiembre de 2014

Referencias

1. Andersen, L. E., J. Busch, E. Curran, J. C. Ledezma y J. Mayorga (2012). *Open Source Impacts of REDD+ Incentives Spreadsheet – Bolivia* (OSIRIS-Bolivia).
Version 2.0: <<http://www.conservation.org/osiris>>, Downloaded 1 March 2012.
2. Andersen, L. E., C. W. J. Granger, E. J. Reis, D. Weinhold y S. Wunder (2002). *The Dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon*. Cambridge: Cambridge University Press
3. Andersen, L. E. (2006). “El impacto de los cambios en el uso de suelo sobre la economía en el departamento de Santa Cruz.” Development Research Working Paper Series N°. 11/2006, Institute for Advanced Development Studies, La Paz, Bolivia, September.
4. Andersen, L. E. (2009). “Cambio climático en Bolivia: impactos sobre bosque y biodiversidad.” Development Research Working Paper Series N°. 11/2009, Institute for Advanced Development Studies, La Paz, Bolivia, December.
5. Angelsen, A. y S. Wertz-Kanounnikoff (2008). *Moving Ahead with REDD*. CIFOR, Bogor, Indonesia.
6. Antorini, C. y J. Sathaye (2007). “Assessing transaction costs of project-based greenhouse gas emissions trading”. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, January.
7. Barbier, E. B. (2001). “The Economics of Tropical Deforestation and Land Use: An Introduction to the Special Issue”, *Land Economics* 77(2), 155-171.
8. Bolivia (2009). “Estrategia nacional de bosque y cambio climático.” Ministerio de Medio Ambiente y Agua. La Paz.
9. Borner, J. y S. Wunder (2008). “Paying for avoided deforestation in the Brazilian Amazon: From cost assessment to scheme design.” *International Forest Review*, 10:496–511.
10. Busch, J., B. Strassburg, A. Cattaneo, R. Lubowski, A. Bruner, R. Rice, A. Creed, R. Ashton y F. Boltz (2009). “Comparing climate and cost impacts of reference levels for reducing emissions from deforestation.” *Environmental Research Letters*, 4:044006 (11 pp.). doi:10.1088/1748-9326/4/4/044006.
11. Busch, J., R. Lubowski, F. Godoy, D. Juhn, K. Austin, J. Hewson, M. Steininger, M. Farid y F. Boltz (2012). “Structuring economic incentives to reduce emissions from deforestation in Indonesia.” *PNAS*, 109 (4) 1062-1067; published ahead of print January 9, 2012, doi:10.1073/pnas.1109034109

12. Butler, R., L. P. Koh y J. Ghazoul (2009). "REDD in the red: palm oil could undermine carbon payment schemes." *Conservation Letters* 2:67-73.
13. Cortez, R., R. Saines, B. Griscom, M. Martin, D. De Deo, G. Fishbein, J. Kerkering y D. Marsh (2010). *A Nested Approach to REDD+. Structuring effective and transparent incentive mechanisms for REDD+ implementation at multiple scales*. The Nature Conservancy, Arlington, VA.
14. FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC (2009). *Harmonized World Soil Database (version 1.1)*. FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria.
15. FAO (2010). "Global Forest Resources Assessment 2010." Forestry Paper N° 163. Rome, Italy.
16. Golub, A., T. Hertel, H. Lee, S. Rose y B. Sohngen (2009). "The opportunity cost of land use and the global potential for greenhouse gas mitigation in agriculture and forestry." *Resource and Energy Economics*, 31(4), 299-319. doi:10.1016/j.reseneeco.2009.04.007
17. Grieg-Gran, M. (2006). *The Cost of Avoiding Deforestation. Report prepared for the Stern Review of the Economics of Climate Change*. International Institute for Environment and Development (IIED). London, United Kingdom. 20 pp.
18. Gregersen, H., H. El Lakany, A. Karsenty y A. White (2010). *Does the opportunity cost approach indicate the real cost of REDD+? Rights and realities of paying for REDD+. Rights and Resources Initiative*. Washington, DC, USA.
19. Ibisch, P. L., S. G. Beck, B. Gerkmann y A. Carretero A. (2003). "Ecoregiones y ecosistemas." En: P. L. Ibisch y G. Mérida (eds.) (2003) *Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación*. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Editorial FAN.
20. Ibisch, P. L. y G. Mérida (2003). *Biodiversidad: la riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Editorial FAN.
21. Jemio, L. C. (2011). *Cuentas ambientales: medioambiente y economía en Bolivia*. La Paz: Plural editores.
22. Killeen, T. J., V. Calderon, L. Soria, B. Quezada, M. K. Steininger, G. Harper, L. A. Solórzano y C. J. Tucker (2007). "Thirty Years of Land-cover Change in Bolivia." *Ambio*, 36(7): 600-606.

23. Killeen, T.J., A. Guerra, M. Calzada, L. Correa, V. Calderon, L. Soria, B. Quezada y M. K. Steininger (2008). "Total historical land-use change in eastern Bolivia: Who, where, when, and how much?" *Ecology and Society*, 13(1): 36.
(URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art36/>).
24. Kindermann, G.E., M. Obersteiner, B. Sohngen, J. Sathaye, K. Andrasko, E. Rametsteiner, B. Schlamadinger, S. Wunder y R. Beach. (2008). "Global cost estimates of reducing carbon emissions through avoided deforestation." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(30):10302-10307.
25. De Koning, F, M. Aguiñaga, M. Bravo, M. Chiu, M. Lascano, T. Lozada y L. Suarez (2011). "Bridging the gap between forest conservation and poverty alleviation: the Ecuadorian Socio Bosque program." *Environmental Science & Policy*, 14(5): 531–542.
26. Leguía, D., A. Malky y J. C. Ledezma (2011). "Análisis del costo de oportunidad de la deforestación evitada en el noroeste amazónico de Bolivia." *Conservation Strategy Fund*. La Paz.
27. Lubowski R. N., a. Plantinga y R. N. Stavins (2006). "Land-use change and carbon sinks: Econometric estimation of the carbon sequestration supply function." *Journal of Environmental Economics and Management*, 51(2):135–152.
28. McCann, L., B. Colby, K. W. Easter, A. Kasterine y K. Kuperan (2005). "Transaction cost measurement for evaluating environmental policies." *Ecological Economics*, 52(4): 527-542.
29. Murray, B. C. (2008). *Leakage From an Avoided Deforestation Compensation Policy*. Nicholas Institute, Durham, NC.
30. Murray, B. C., R. Lubowski y B. Sohngen (2009). *Including International Forest Carbon Incentives in Climate Policy: Understanding the Economics*. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University, Durham, NC.
31. Naidoo, R. y T. Iwamura (2007). "Global-scale mapping of economic benefits from agricultural lands: Implications for conservation priorities." *Biological Conservation*, 140(1-2): 40-49.
32. Naucler, T. y P.A. Enkvist (2009). *Pathways to a low-carbon economy: Version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve*. McKinsey & Company. 192 pp;
Disponble en:
<https://solutions.mckinsey.com/ClimateDesk/default.aspx>.
33. Nowicki, C., A. Ley, R. Caballero, J.H. Sommer, W. Barthlott y P.L. Ibisch (2004). "Extrapolating distribution ranges - BIOM 1.1., a computerized bio-climatic model for the

- extrapolation of species ranges and diversity patterns.* En: R. Vasquez Ch. y P.L. Ibisch (eds.): *Orchids of Bolivia. Diversity and conservation status*. Vol. 2.Laeliinae, Polystachinae, Sobraliinae with update and complementation of the Pleurothallidinae. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Editorial FAN, pp. 39-68.
34. Pagiola, S. y B. Bosquet (2009). “*Estimating the costs of REDD at the country level.*” Forest Carbon Partnership Facility.
Disponible en:
URL: http://mpraub.uni-muenchen.de/18062/1/MPPA_paper_18062.pdf.
35. Pacheco, P. (2010). “Análisis de los impactos de la legislación boliviana de tierras, forestal y medio ambiente sobre la deforestación y degradación forestal”. Estudio elaborado en el marco de la preparación de RPP y financiado por GTZ.
36. Pedroni, L., M. Dutschke, C. Streck y M. Estrada-Porrúa (2009). “*Creating incentives for avoiding further deforestation: The nested approach.*” *Climate Policy*, 9:207–220.
37. Pfaff, A., S. Kerr, L. Lipper, R. Cavatassi, B. Davis, J. Hendy y G. A. Sanchez-Azofeifa (2007). “*Will buying tropical forest carbon benefit the poor? Evidence from Costa Rica.*” *Land Use Policy*, 24:600–610.
38. Plantinga, A.J., T. Mauldin y D. J. Miller (1999) “*An econometric analysis of the costs of sequestering carbon in forests.*” *American Journal of Agricultural Economics*, 81:812–824.
39. Rodríguez-Zúñiga, J. M. (2003). “Pago por los servicios ambientales: la experiencia de Costa Rica.” *Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 54(1), 31-33.
40. Roper, J. M. (2003). “*Bolivian Legal Reforms and Local Indigenous Organizations: Opportunities and Obstacles in a Lowland Municipality.*” *Latin American Perspectives*, 30(1): 139-161.
41. Ruesch, A., Y H. K. Gibbs (2008). *New IPCC Tier-1 Global Biomass Carbon Map for the Year 2000*.
Disponible en línea from the Carbon Dioxide Information Analysis Center (URL: <http://cdiac.ornl.gov>), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
42. Sangermano, F., J. Toledano y J. R. Eastman (2012). “*Land cover change in the Bolivian Amazon and its implications for REDD+ and endemic biodiversity.*” *Landscape Ecology*, Online First.
doi 10.1007/s10980-012-9710-y.

43. Soares-Filho, B., P. Moutinho, D. Nepstad, A. Anderson, H. Rodrigues, R. Garcia, L. Dietzsch, F. Merry, M. Bowman, L. Hissa, R. Silvestrini y C. Maretti (2010). "Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(24): 10821-10826.
44. Sohngen, B. y S. Brown (2004). "Measuring leakage from carbon projects in open economies: a stop timber harvesting project in Bolivia as a case study." *Canadian Journal of Forestry Research*, 34: 829-839.
45. Stavins, R. N. (1999). "The costs of carbon sequestration: A revealed-preference approach." *American Economic Review*, 89(4), 994-1009.
46. Stern, N. (2006). *Stern Review: The economics of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
47. Strassburg, B., K. Turner, B. Fisher, R. Schaeffer y A. Lovett (2009). "Reducing emissions from deforestation: The "combined incentives" mechanism and empirical simulations." *Global Environmental Change*, 19(2): 265-278.
48. Venter, O., E. Meijaard, H. Possingham, R. Dennis, D. Sheil, S. Wich, L. Hovani y K. Wilson (2009). "Carbon payments as a safeguard for threatened tropical mammals." *Conservation Letters*, 2:123-129.
49. Warr, P. y A. Yusuf (2011). "Reducing Indonesia's deforestation-based greenhouse gas emissions." *Australian Journal of Agricultural Resource Economics*, 55: 297-321.
50. Wooldridge, J. M. (2002). *Econometric Analysis of Cross-Section and Panel Data*. Cambridge, MA: MIT Press.
51. World Bank Institute (2011). *Estimating the Opportunity Costs of REDD*. The World Bank, Washington, DC.

Anexo

Cuadro A1
Lista de los valores por defecto en OSIRIS v. 2.0

Nombre	Valor US\$
Precio global del carbono (\$/tCO ₂ e)	5,50
Nivel de referencia en Bolivia como porción del nivel BAU	1,00
Porción del precio global del carbono retenido por el gobierno a causa de la reducción de emisiones por debajo del nivel de referencia	0,07
Porción del precio global del carbonopagado por el gobierno a causa del aumento de emisiones por encima del nivel de referencia	1,00
Niveles de referencia: 1 = histórico; 2 = BAU; 3 = "incentivos combinados"	2
Nivel de referencia estatal como porción del nivel BAU provincial	1,00
Nivel de referencia municipal como porción del nivel BAU a nivel distrito	1,00
Nivel de referencia del pixel como porción del nivel BAU del pixel	1,00
Suelo del nivel de referencia estatal, como porción del nivel medio nacional de emisiones	-
Suelo del nivel de referencia municipal, como porción del nivel medio nacional de emisiones	-
Suelo del nivel de referencia a nivel pixel, como porción del nivel medio nacional de emisiones	-
Incentivos Combinados: peso del nivel de referencia estatal en el nivel histórico nacional de emisiones vs. Nivel de emisiones estatales históricas	0,50
Incentivos Combinados: peso del nivel de referencia municipal en el nivel histórico nacional de emisiones vs. Nivel de emisiones municipales históricas	0,50
Incentivos Combinados: peso del nivel de referencia a nivel pixel en el nivel histórico nacional de emisiones vs. Nivel de emisiones a nivel pixel históricas	0,50
Elegible para participar en REDD+	1
Contabilidad nacional	1
Contabilidad estatal	-
Contabilidad municipal	1
Contabilidad a nivel pixel	-
Porcentaje del suelo incluido en el factor de emisión	0,1
Preferencia social por las rentas agrícolas relativas a las rentas derivadas de REDD.	1,0
Sensibilidad del precio de producción domestico a los cambios en área deforestada	1,4
Aumento exógeno en los precios agrícolas (a causa de la reducción de área agrícola global por la reducción global de deforestación gracias a REDD+)	0,0
Costos de iniciación (US\$; NPV)	\$0
Costos de transacción por hectárea (US\$/4yr)	\$0