

Andersen, Lykke E.

Working Paper

Cambio climático en Bolivia: Impactos sobre bosque y biodiversidad

Development Research Working Paper Series, No. 11/2009

Provided in Cooperation with:

Institute for Advanced Development Studies (INESAD), La Paz

Suggested Citation: Andersen, Lykke E. (2009) : Cambio climático en Bolivia: Impactos sobre bosque y biodiversidad, Development Research Working Paper Series, No. 11/2009, Institute for Advanced Development Studies (INESAD), La Paz

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/45673>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo



Serie de Documentos de Trabajo sobre Desarrollo

No. 11/2009

Cambio Climático en Bolivia: Impactos sobre Bosque y Biodiversidad

por:

Lykke E. Andersen

Diciembre 2009

Los opiniones expresados en la Serie de Documentos de Trabajo sobre Desarrollo son de los autores y no necesariamente reflejan los del Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo. Los derechos de autor pertenecen a los autores. Los documentos solamente pueden ser bajados para uso personal.



Cambio Climático en Bolivia: Impactos sobre Bosques y Biodiversidad*

Por: Lykke E. Andersen

La Paz, 31.12.2009

* Este estudio forma parte del proyecto regional “Economía del Cambio Climático en Sudamérica” coordinado por el CEPAL y auspiciado por el Banco Inter-americano de Desarrollo, la cooperación británica y la cooperación danesa. La autora agradece enormemente la colaboración de Juan Carlos Ledezma en la elaboración del documento, así como el apoyo y los comentarios recibidos de Nashira Calvo, Luis Carlos Jemio, Rubén Mamani, Gustavo Nagy, Alejandra Palma, Humberto Perotto, Patricia Valdez, Horacio Valencia, Jaime Villanueva y participantes en diferentes talleres sobre los impactos del cambio climático organizados por el Programa Nacional de Cambios Climáticos.



RESUMEN EJECUTIVO

Bolivia tiene un nivel de biodiversidad extremadamente alto y pocos países del mundo tienen mayor diversidad de ecosistemas que Bolivia, cuyas características geográficas varían en altura (entre 200 y 6000 m.s.n.m), precipitación (entre 200 y 5000 mm/año), temperaturas (glacial hasta tropical) y topografía, y por lo tanto en tipos de vegetación. Los principales tipos de ecosistemas son representados en 22 diferentes áreas protegidas (APs) nacionales, y además existen numerosas APs departamentales o locales. Juntas, las APs cubren alrededor de 16% del territorio nacional. Sin embargo, esta diversidad se encuentra amenazada por el cambio climático y por la expansión de la frontera agrícola.

En este estudio se ha modelado la relación entre factores climáticos (temperatura promedio, precipitación promedio, variabilidad de temperaturas, variabilidad de precipitación) y nivel de biodiversidad, y se ha usado el modelo estimado para simular los efectos del cambio climático previsto por el modelo PRECIS hasta 2100. La modelación se ha hecho a nivel municipal para poder tomar en cuenta la gran heterogeneidad geográfica de Bolivia. El estudio también toma en cuenta que se espera un fuerte proceso de deforestación, cuyos efectos son mucho más dramáticos e inmediatos que los lentos procesos de cambio climático.

Los resultados muestran que los cambios climáticos previstos por el modelo PRECIS hasta el año 2100 podrían tener impactos muy fuertes para la biodiversidad en Bolivia. Especialmente en el Altiplano, donde se prevé un acelerado proceso de desertificación debido a la reducción de precipitación y el aumento en variabilidad de temperaturas sugeridas por el modelo PRECIS.

En las tierras bajas, el cambio climático no es la mayor amenaza para la biodiversidad, sino el avance de la frontera agrícola. En el escenario base (sin cambio climático) se puede prever la deforestación de 33 millones de hectáreas durante el siglo XXI, lo que deja solamente una cuarta parte del bosque original. En las áreas secas del Chaco y de la Chiquitanía en el departamento de Santa Cruz, los modelos indican un aumento en la precipitación, lo que podría tener un efecto positivo sobre la biodiversidad, si no se convierten las áreas a campos agropecuarios primero.

En total, entre los procesos de deforestación y cambio climático, el nivel promedio de biodiversidad en cada lugar, se reduciría a solamente 40% del nivel original, de acuerdo con las estimaciones realizadas. Esto no significa que el 60% de las especies se extingan, ya que muchas especies probablemente sobrevivirán en áreas protegidas, pero significa que, en promedio, habrá sustancialmente menos diversidad de especies en un área dada. A nivel nacional, los procesos de deforestación son responsables del 95% de la reducción en el nivel de biodiversidad, mientras que el cambio climático solamente es responsable de 5%. Sin embargo, en las tierras altas, donde no hay deforestación significativa, el cambio climático sería responsable del 100% de las fuertes reducciones en biodiversidad previstas.



Mientras que la gran biodiversidad y las ecosistemas únicas de Bolivia tienen un valor de existencia incuantificable, la biodiversidad también brindan beneficios tangibles a las comunidades locales, y estos beneficios sí se puede cuantificar, aunque de manera cruda. Por ejemplo, en muchas áreas rurales, la caza y pesca contribuye de manera importante al consumo de alimentos, y la población usa la vegetación local para materiales de construcción, medicina, alimentos, ceremonias, etcétera. La biodiversidad también juega un rol importante en las actividades agropecuarias proporcionando áreas naturales para pastoreo y servicios de polinización, control natural de plagas y variación genética en los cultivos. Además, la biodiversidad puede ser importante para actividades económicas, como ecoturismo, recolección de castañas y otros. Finalmente, la biodiversidad brinda servicios ambientales importantes, como regulación del suministro de agua, control de erosión, revitalización de suelos, y otros, que puede tener un efecto indirecto sobre el nivel de ingresos y consumo de los habitantes.

Se demuestra una relación positiva entre el nivel de biodiversidad y el nivel de ingreso/consumo a nivel municipal, y se usa esta relación para estimar las pérdidas económicas que las poblaciones locales sufrirían por la reducción en biodiversidad atribuible al cambio climático (excluyendo las reducciones atribuibles a deforestación). Los cálculos indican pérdidas en el orden de 1.6% del PIB el año 2100 a nivel nacional, pero hasta 6% en el departamento de Potosí. Santa Cruz es el único departamento que podría verse beneficiado por un aumento en biodiversidad atribuible al cambio climático (el modelo PRECIS prevé más precipitación en las áreas secas de Santa Cruz), pero solamente en el orden de 0.2% del PIB.

Aunque los costos del impacto del cambio climático sobre la biodiversidad son sustanciales, son de segundo orden en comparación con el impacto directo de la deforestación. Por eso, si el objetivo es conservar la biodiversidad - y los beneficios que esta brinda a Bolivia y el mundo - sería esencial implementar políticas para frenar la deforestación excesiva. La recomendación sería, entonces, apostar al mecanismo REDD, que tiene como objetivo transferir fondos de países ricos a países pobres, para ayudar a los últimos controlar los procesos de deforestación.



1. Introducción

Durante el siglo XX, Bolivia convirtió entre 3 y 4 millones hectáreas de bosque para expandir la frontera agrícola en las tierras bajas. Otros 3 millones hectáreas ya se perdieron durante la primera década del siglo XXI¹, y, si no se cambian estas tendencias de deforestación acelerada, Bolivia estaría totalmente deforestada antes de llegar al final de este siglo.

La tasa de deforestación per cápita en Bolivia ($\approx 320 \text{ m}^2/\text{persona/año}$) es unas 20 veces más alto que el promedio mundial ($\approx 16 \text{ m}^2/\text{persona/año}$) y una de las más altas del mundo, pasando los niveles de otros grandes países deforestadores como Brasil ($\approx 137 \text{ m}^2/\text{persona/año}$), Indonesia ($\approx 63 \text{ m}^2/\text{persona/año}$), Malasia ($\approx 109 \text{ m}^2/\text{persona/año}$) y China ($\approx 14 \text{ m}^2/\text{persona/año}$), mientras que muy pocos países africanos están eliminando sus bosques a tasas mayores que Bolivia (Zambia con $948 \text{ m}^2/\text{persona/año}$; Botswana con $739 \text{ m}^2/\text{persona/año}$ y Sudan con $332 \text{ m}^2/\text{persona/año}$).²

Si se convirtiese todas las áreas naturales de Bolivia en tierras agrícolas obviamente tendría graves consecuencias para nuestro estatus de país mega-diverso³. Tan dramáticas serían las consecuencias para la biodiversidad que, probablemente, no importaría si el clima también cambia o no.

Por otro lado, existen estudios que prevén la desaparición de la selva amazónica hasta 2100 debido solamente al cambio climático (Cox et al, 2000; Cox et al, 2004; Harris et al, 2008; Huntingford et al, 2008), lo que también tendría graves consecuencias para la biodiversidad.

Esta situación aparentemente ineludible de pérdida de biodiversidad podría provocar la siguiente pregunta: ¿Para qué esforzarse para reducir la deforestación, si la selva desaparecerá de todos modos? Sin embargo, resulta que existen fuertes interacciones entre la deforestación y el cambio climático que implican que la deforestación pueda aumentar aún más los impactos adversos del cambio climático. La deforestación, por ejemplo, aumenta la probabilidad de inundaciones y erosión de suelos (Bradshaw et al, 2007), como también afecta el micro-clima adicionalmente al clima regional y global.

El propósito de este capítulo es analizar la compleja interacción entre crecimiento poblacional, desarrollo económico, deforestación, biodiversidad y cambio climático, como también proponer opciones para reducir la pérdida de bosque y biodiversidad durante el siglo XXI.

¹ De acuerdo con imágenes satelitales procesados e interpretados por el equipo de investigación del Museo Noel Kempff Mercado.

² Los datos son de FAO (2003) y se refieren al periodo 1990-2000, excepto el dato de Bolivia que ha sido actualizado hasta 2002-2007. El dato para Bolivia para el periodo 1990-2000 era $198 \text{ m}^2/\text{persona/año}$, pero ha aumentado sustancialmente en la última década, lo que no es el caso con las tasas globales.

³ Por ser uno de los 20 países con más biodiversidad en el Mundo, Bolivia es miembro del Grupo de Países Megadiversos Afines, que se estableció con la Declaración de Cancún en Febrero del 2002.



El resto del documento está organizado en la siguiente manera. En la Sección 2 se hace una proyección realista de la deforestación hasta 2100 para el escenario base (sin cambio climático) usando una metodología que toma en cuenta las restricciones subyacentes que implican que la deforestación no podrá seguir creciendo exponencialmente como se observó en las últimas décadas. En la Sección 3 se hace una estimación del impacto directo de la deforestación sobre la biodiversidad. En la Sección 4 se hace una estimación sobre el impacto directo del cambio climático sobre la biodiversidad, primero sin tomar en cuenta la deforestación, pero después tomando en cuenta que la deforestación puede limitar los efectos (positivos y negativos) del cambio climático sobre la biodiversidad. La Sección 5 discute las implicaciones económicas de la pérdida de biodiversidad para los bolivianos como también para la economía boliviana y la Sección 6 analiza algunas opciones para reducir los impactos negativos. Finalmente, la sección 7 proporciona conclusiones y recomendaciones.

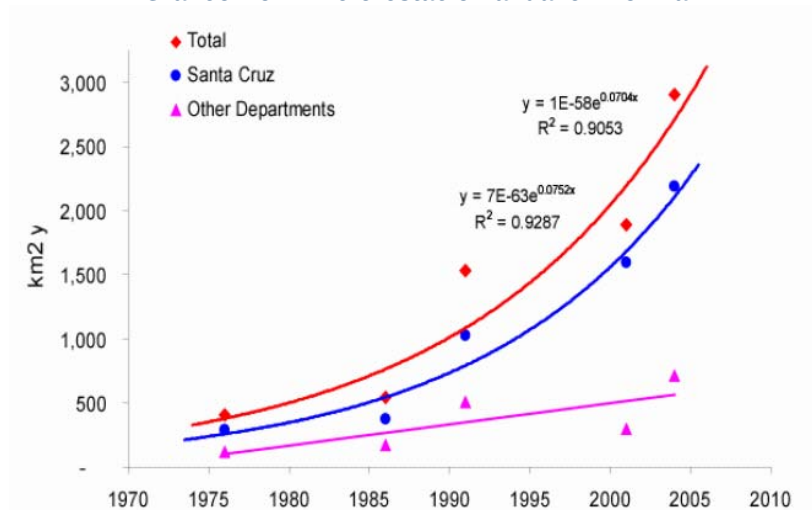
2. Proyecciones de deforestación en el escenario base

La destrucción de hábitat de un día a otro sin lugar a duda tiene un efecto más dramático sobre la biodiversidad que los cambios lentos en temperatura y precipitación promedio que se espera durante el resto del siglo. Por esta razón, antes de poder estimar los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad es necesario, en primer lugar establecer la cantidad de reducción de hábitat que se esperaría en el escenario base sin cambio climático. Esto es lo que se hace en esta sección.

2. 1. Metodología

Killeen et al. (2007) analiza las tasas de deforestación en Bolivia durante los últimos 30 años y sugiere que el área deforestada anualmente está creciendo exponencialmente sin fin aparente. (Ver gráfico No. 1).

Gráfico No. 1: Deforestación anual en Bolivia



Fuente: Killeen et al. (2007).

Sin embargo, no se puede simplemente extrapolar esta tendencia para los próximos 100 años, ya que existen restricciones subyacentes, sobre todo en la disponibilidad de bosque, pero también en la disponibilidad de mano de obra (Ozorio de Almeida & Campari 1996; Campari 2005), que impiden el crecimiento exponencial durante periodos extensos.

Por esta razón, se aplica la metodología de proyección de deforestación desarrollada por Andersen, Ledezma y Vargas (2006) y aplicada en Andersen, Escobar & Ledezma (2009), que consiste en lo siguiente: En primer lugar, se hace proyecciones de la población rural y urbana para cada municipio hasta el año 2100, usando técnicas de proyección de población de los demógrafos, que toman en cuenta los cambios previstos en fecundidad y mortalidad, como también en los patrones esperados de la migración interna y externa. Es importante distinguir entre la población urbana y la rural, ya que solamente la población rural tiene un impacto significativo sobre la cobertura de bosques.

Segundo, se calcula el área promedio deforestada anualmente por cada habitante rural en cada municipio. Este parámetro, llamado la *intensidad de deforestación*, varía mucho de municipio a municipio, dependiendo sobre todo de la topografía del municipio (menor en municipios con topografía accidentada) y la densidad poblacional (menor en municipios densamente poblados). En general, la intensidad de deforestación se ha ido duplicando cada 10 años por avances tecnológicos (Wachholtz et al. 2006) y otros factores que permiten que cada persona rural pueda invertir más en deforestación, preparación de tierra, siembra etc. (Andersen, Escobar & Ledezma, 2009).



Tercero, se multiplica la intensidad de deforestación con la población rural en cada municipio en cada año hasta 2100 para estimar los niveles acumulados de deforestación en cada municipio en el escenario base. Como en Andersen, Escobar y Ledezma (2009) se supone que no se puede deforestar en áreas con pendientes mayores al 25%, y una vez deforestada todo el bosque disponible dentro del municipio, los agricultores son forzados a cambiar su estrategia y empiezan a cultivar más intensivamente las áreas ya deforestadas.

El cambio tecnológico es modelado a través de la intensidad de deforestación. Este parámetro puede aumentar, por ejemplo, si más agricultores aplican tractores y palas en vez de hachas y machetes. Sin embargo, el parámetro capta mucho más que la tecnología. También capta el nivel de pobreza (los más pobres no pueden invertir tanto en deforestación, preparación de suelos, siembra, etc.), el nivel de precios (con precios agropecuarios altos, los agricultores van a querer aumentar la producción), y políticas públicas (inversiones en infraestructura permite aumentar la deforestación). Así que cuando se mencione el avance tecnológico, se habla de un conjunto de factores que permiten a los agricultores aumentar su intensidad de deforestación.

2. 2. Datos

Los datos sobre deforestación usados en el presente documento provienen del Museo Noel Kempff Mercado, ubicado en el departamento de Santa Cruz de la Sierra. Estos datos están basados en el análisis de imágenes Landsat de 1991, 2001 y 2004/2005. Los detalles técnicos son descritos en Killeen et al. (2007).

Todos los datos geográficos sobre topografía, clima, caminos, entre otros, provienen de la base de datos geo-referenciada de Conservation International en Bolivia.

Los datos sobre la población, incluyendo proyecciones de población hasta 2100, son datos oficiales del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) hasta 2030 y después proyecciones de CEPAL hasta 2100.

El análisis de deforestación solamente es relevante para municipios que tienen bosque, por esta razón, se analizan los 142 municipios que tienen más de 10,000 hectáreas (= 100 km²) de áreas naturalmente boscosas.

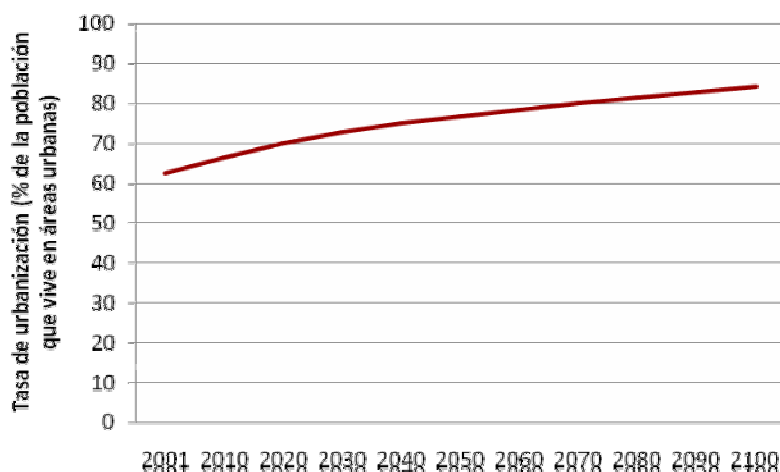
2.3 Proyecciones de población rural/urbano, 2001 - 2100

El Instituto Nacional de Estadísticas (INE) ha elaborado proyecciones de población rural y urbana hasta 2030 en el ámbito departamental, y CEPAL ha extendido estas proyecciones a nivel nacional hasta 2100. Para hacer las proyecciones de deforestación, es necesario desagregar las

proyecciones nacionales hasta nivel municipal rural/urbana, y esta sección explica la metodología aplicada.

Primero, se extienden las proyecciones sobre la tasa de urbanización a nivel nacional. En el año 2001 el 62% de la población vivía en áreas urbanas (conglomeraciones con más de 2000 habitantes) y de acuerdo con las proyecciones oficiales de INE, este porcentaje crecerá hasta 73% en 2030. Se extendió la tendencia llegando a 84% en 2100 (ver el Gráfico No. 2), lo que corresponde aproximadamente al nivel actual promedio de los países que tienen el nivel de ingreso per cápita que se espera para Bolivia el año 2100⁴.

Gráfico No. 2: Proyecciones de la tasa de urbanización en Bolivia

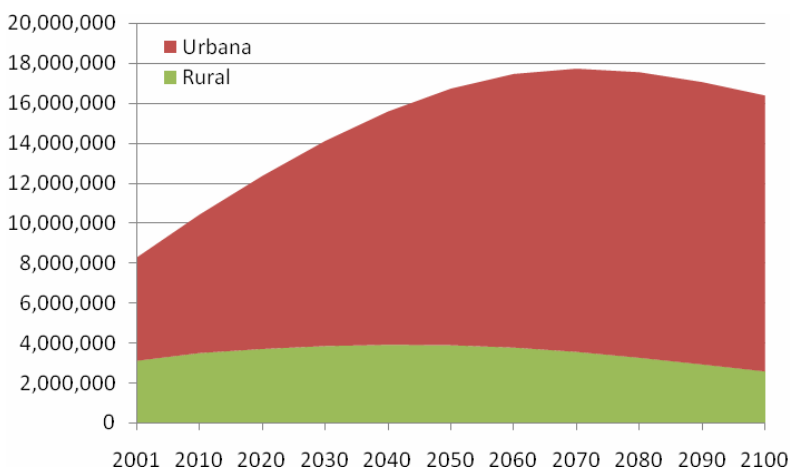


Fuente: Elaboración propia, extendiendo las proyecciones de INE.

Junto con las proyecciones de población de CEPAL hasta 2100, implica la evolución de la población nacional indicado en el Gráfico No. 3. Se nota que la población total llegaría a un máximo de 17.7 millones el año 2070, para después caer a un nivel de 16.4 millones el año 2100. La población rural, sin embargo, llegaría a su máximo de 3.9 millones ya en 2040 y después empieza a caer hasta 2.6 millones en el año 2100.

⁴ Jemio y Andersen (2009) usa un Modelo de Equilibrio General Computable para desarrollar un escenario base para la economía boliviana hasta 2100. El escenario base indica que el PIB per cápita aumentaría aproximadamente 8 veces durante el siglo XXI.

Gráfico No. 3: Proyecciones de población rural/urbana en Bolivia



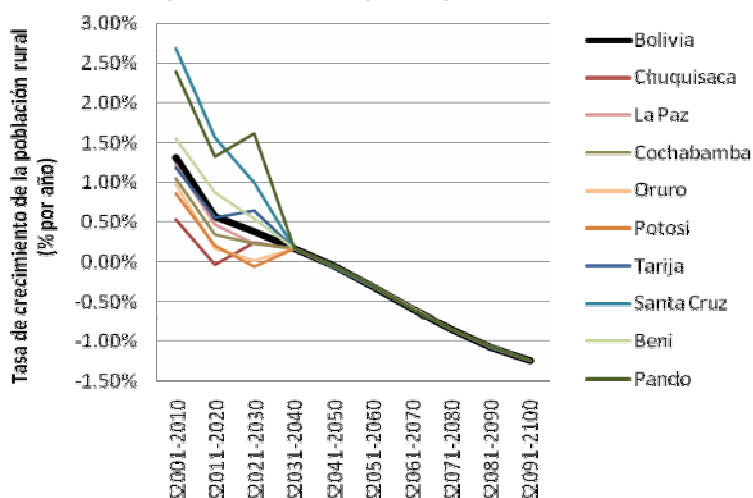
Fuente: Elaboración propia, en base a proyecciones de población de CEPAL y la tasa de urbanización del Gráfico No. 2.

Este comportamiento poblacional previsto implica que las futuras tasas de crecimiento de la población rural sean mucho menores que los que se han visto en el pasado e incluso negativas durante la mayor parte del siglo XXI, lo cual alivia la presión para deforestar.

Sin embargo, de acuerdo con las proyecciones al nivel departamental del INE, la población rural en las tierras bajas (con bosque) estaría creciendo a tasas más altas que la población rural en las tierras altas (sin bosque), por lo que se debe tomar en cuenta estas diferencias. No obstante, en el futuro lejano es imposible prever los patrones de migración interna⁵, así que a partir de 2030, suponemos tasas de crecimiento iguales para todos los departamentos (ver el Gráfico No. 4).

⁵ Por ejemplo, hace 100 años hubiera sido imposible prever el impresionante crecimiento poblacional de Santa Cruz de la Sierra.

Gráfico No. 4: Proyecciones de tasas de crecimiento de la población rural, por departamento



Fuente: Elaboración propia, en base a proyecciones de población de INE y CEPAL y la tasa de urbanización del Gráfico No. 2.

Las tasas de crecimiento de la población rural indicadas en el Gráfico No. 4 son aplicadas a la población rural en cada municipio en 2001, para hacer las proyecciones de población rural a nivel municipal que sean necesarias para después realizar las proyecciones de deforestación a nivel municipal.

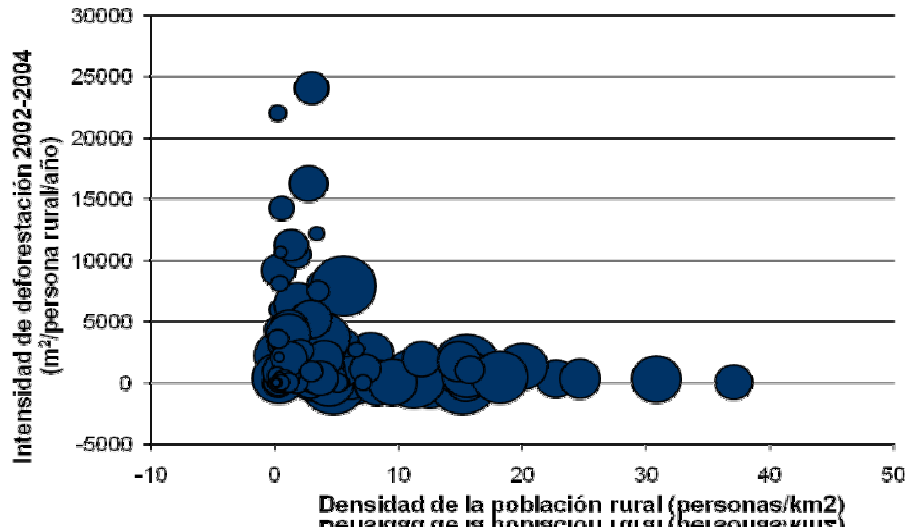
2.4 Intensidades de deforestación

El Gráfico No. 5 muestra la gran variación en intensidades de deforestación entre municipios. Existen municipios que no deforestan prácticamente nada aunque tengan poblaciones rurales grandes y sean densamente poblados. Por otro lado, existen municipios donde cada persona rural (incluyendo mujeres, niños y personas de la tercera edad) en promedio deforesta más de 20.000 m² cada año. En promedio, cada habitante rural en los 142 municipios naturalmente boscosos deforesta 1.746 m² por año. Es decir en promedio tardan unos 6 años en deforestar una hectárea.

En el Gráfico No. 5 se nota que son los municipios escasamente poblados, en los cuales se observan las mayores intensidades de deforestación, mientras los municipios más poblados ya tienen bajas intensidades de deforestación. Esto se debe a tres factores. Primero, en varios de los municipios densamente poblados ya no quedan extensiones boscosas (por ejemplo Warnes, Cotoca, Saavedra y Mineros cerca de Santa Cruz de la Sierra). Segundo, en los municipios densamente poblados, la mayoría de la tierra ya tiene dueños definidos, mientras que en los municipios escasamente poblados (por ejemplo Carmen Rivero Torrez, San Rafael y Ascensión de Guarayos) existen extensiones boscosas aparentemente “libres” que puede ser explotado y/o

reclamado. Tercero, varios de los municipios densamente poblados se ubican en los valles donde la topografía previene altas intensidades de deforestación (por ejemplo Chulumani y Coripata).

Gráfico No. 5: Intensidad de deforestación versus densidad poblacional, por municipio



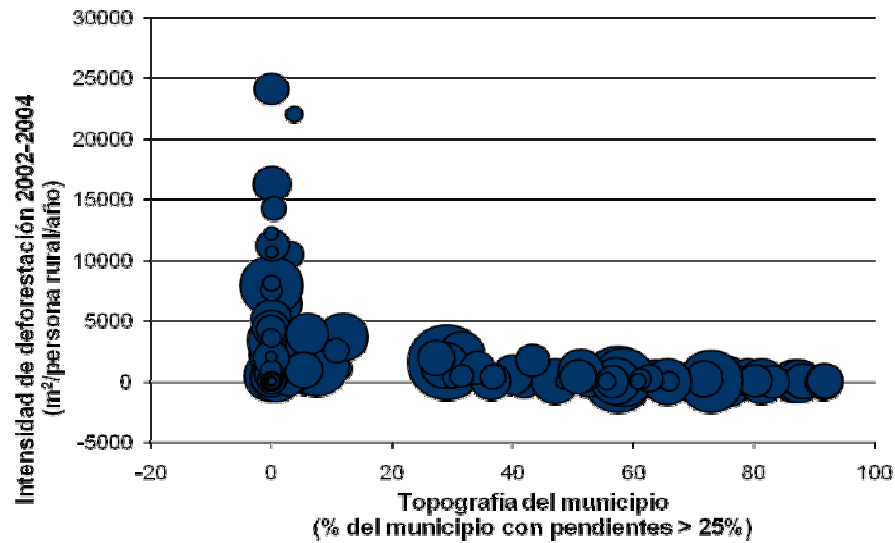
Fuente: Elaboración propia.

Nota: El tamaño de las burbujas señala el tamaño de la población rural en el municipio el año 2001.

Como se muestra en Andersen, Escobar & Ledezma (2009), una topografía accidentada es un limitante importante para la deforestación. Todos los municipios con altas intensidades de deforestación son casi completamente planos, mientras que todos los municipios con topografía muy accidentada tienen intensidades de deforestación muy bajas (ver el Gráfico No. 6).

Dada esta fuerte relación entre topografía y deforestación, nuestras proyecciones de deforestación suponen que no se puede deforestar significativamente en áreas con pendientes mayores a 25%.

Gráfico No. 6: Intensidad de deforestación versus topografía, por municipio

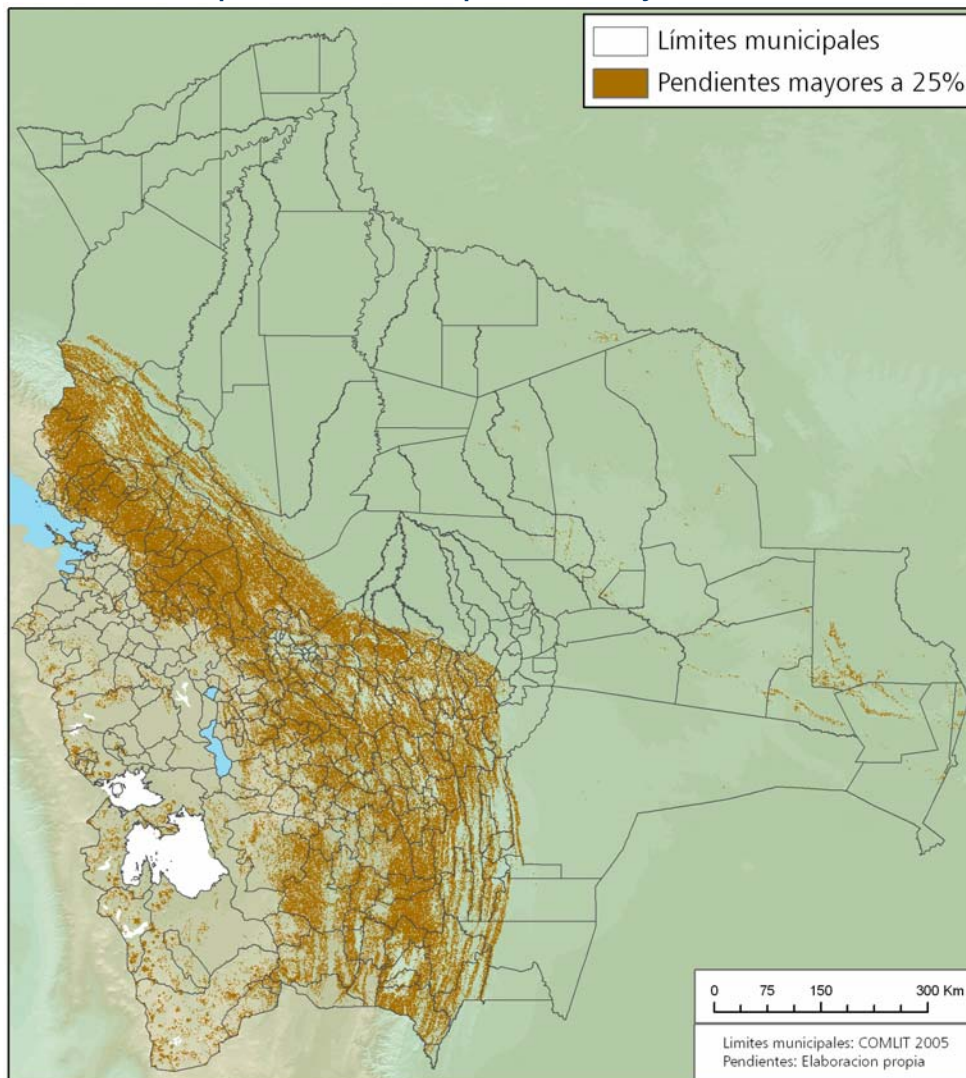


Fuente: Elaboración propia.

Nota: El tamaño de las burbujas señala el tamaño de la población rural en el municipio el año 2001.

El Mapa No. 1 muestra las áreas con pendientes mayores a 25%, lo que son las áreas que supuestamente no pueden ser deforestadas en las proyecciones, y que no deben ser deforestadas en la realidad, si queremos evitar erosión, deslizamientos, inundaciones y otros problemas ambientales.

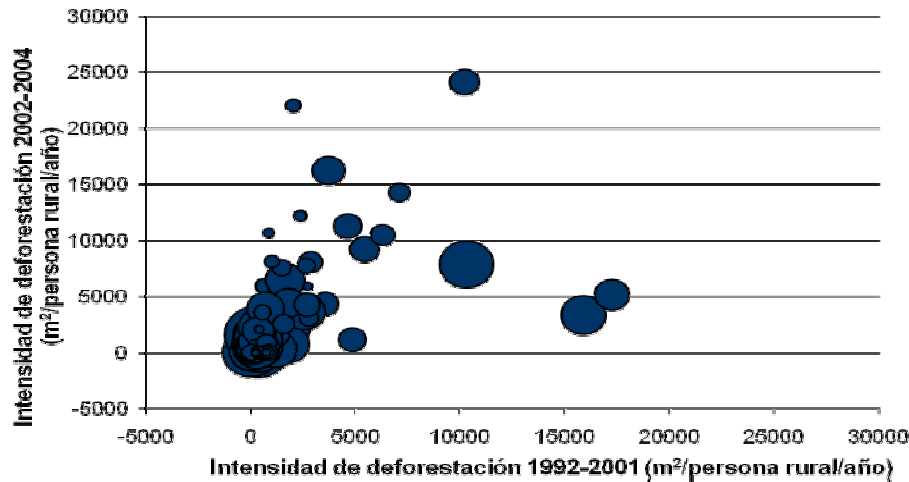
Mapa No. 1: Áreas con pendientes mayores de 25%



Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico No. 7 muestra que la intensidad de deforestación ha aumentado sustancialmente entre el periodo 1992-2001 y el periodo 2002-2004 en casi todos los municipios. Este aumento refleja cambios con la tecnología disponible, acceso físico, capacidades e incentivos para la deforestación. Solamente en 4 municipios (Pailón, Cuatro Cañadas, San Julián, y Okinawa Uno) se ha visto bajadas significativas en las intensidades de deforestación y esto se debe a que en estos cuatro municipios prácticamente se ha acabado el bosque disponible para deforestar.

Gráfico No. 7: Intensidad de deforestación, 1992-2001 versus 2002-2004, por municipio



Fuente: Elaboración propia.

Nota: El tamaño de las burbujas señala el tamaño de la población rural en el municipio el año 2001.

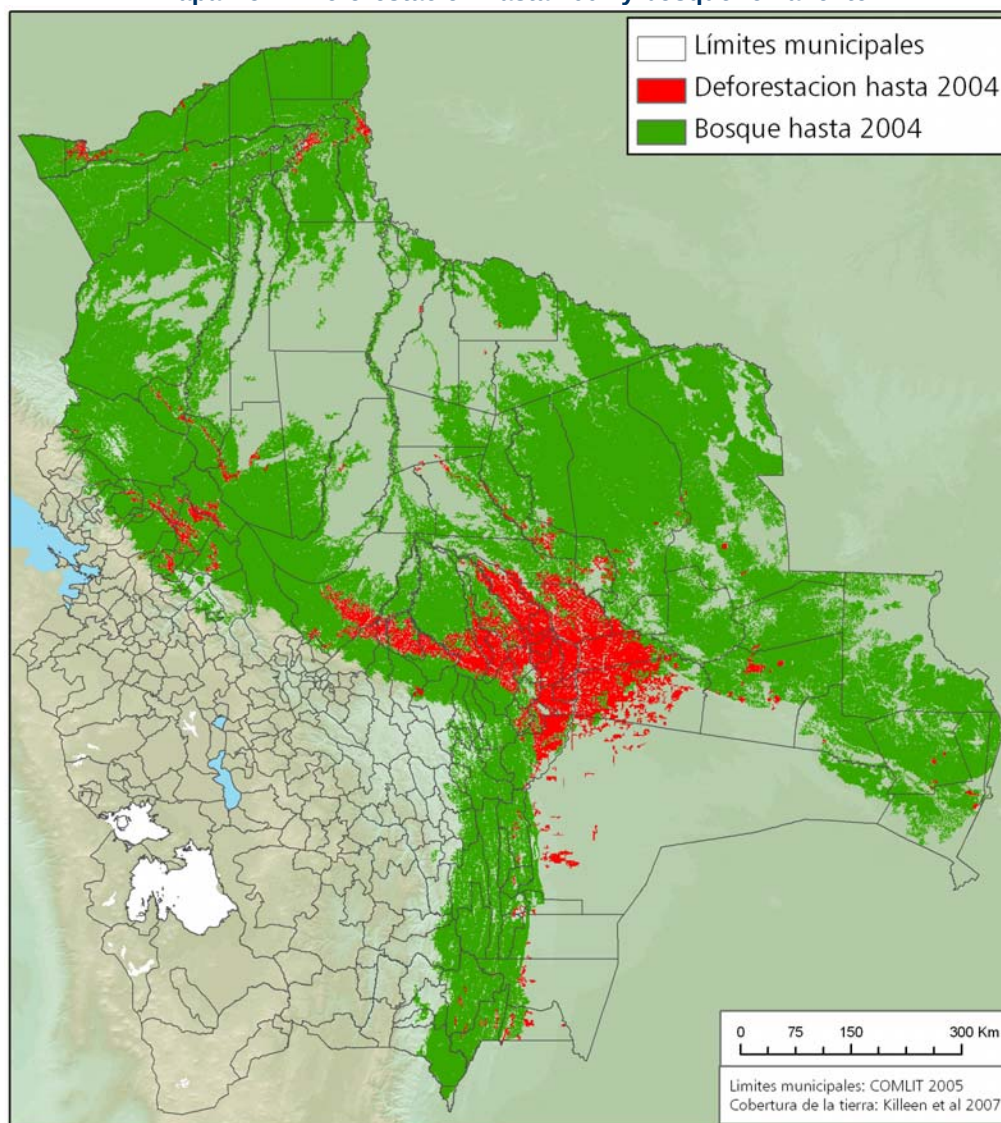
Para el propósito de proyecciones hasta el año 2100, se supone que las intensidades de deforestación en cada municipio siguen duplicándose cada década debido a una variedad de procesos que incluyen más riqueza (lo que permite más inversión en deforestación y preparación de suelos), más caminos (que da acceso a nuevas áreas boscosas) y más demanda para productos agropecuarios (lo que aumenta los precios y hacen más rentables las actividades agropecuarias).

Este supuesto tiende a ser conservador, ya que las altas intensidades de deforestación no se dispersan hasta los municipios con cero deforestación inicialmente. Supone que los productores no son muy móviles y que una vez que se acaba el bosque disponible en su propio municipio ellos se quedan y usan más intensivamente la tierra ya deforestada, en vez de trasladarse a otro municipio para convertir bosque virgen. El supuesto es razonable en una situación de una población rural decreciente, cómo la mayor parte del resto del siglo XXI en Bolivia.

2.5 Proyecciones de deforestación, 2001 - 2100

El Mapa No. 2 muestra la deforestación que ya se ha observado hasta el año 2004 y el bosque que aún queda. En total el área naturalmente boscosa suma a cerca de 50 millones hectáreas, o la mitad del territorio nacional.

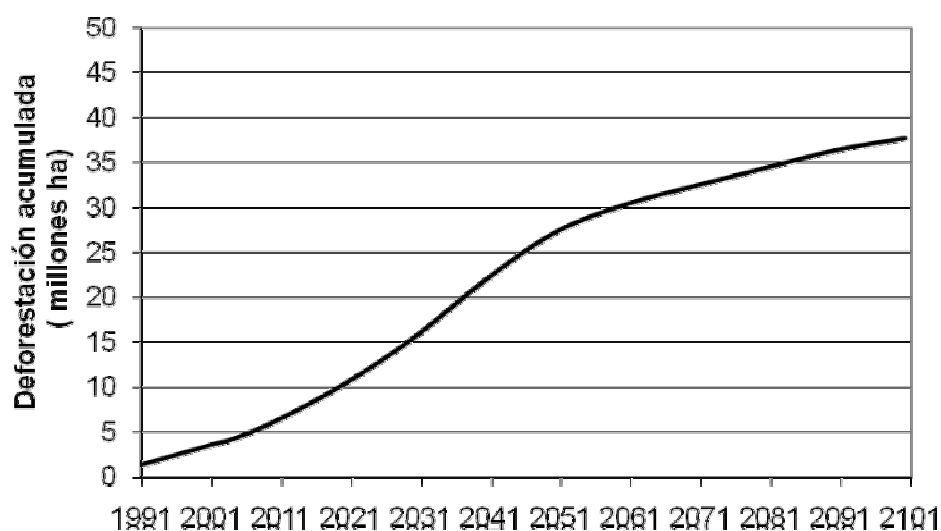
Mapa No. 2: Deforestación hasta 2004 y bosque remanente



Fuente: Elaboración propia.

Con los supuestos anteriormente descritos sobre el crecimiento de la población rural, la evolución de las intensidades de deforestación per cápita y las restricciones naturales para la deforestación, la proyección total de deforestación llegaría a ser de 37 millones hectáreas el año 2100 (ver el Gráfico No. 8). Se nota un punto de inflexión a mediados del siglo que se debe al hecho que en muchos municipios no tendrían más bosques disponibles para deforestar. Al final del siglo, quedarían aproximadamente 6 millones hectáreas de bosque en áreas relativamente planas y casi 7 millones hectáreas de bosque en áreas con pendientes mayores a 25%.

Gráfico No. 8: Proyección de deforestación acumulada en los 142 municipios naturalmente boscosos



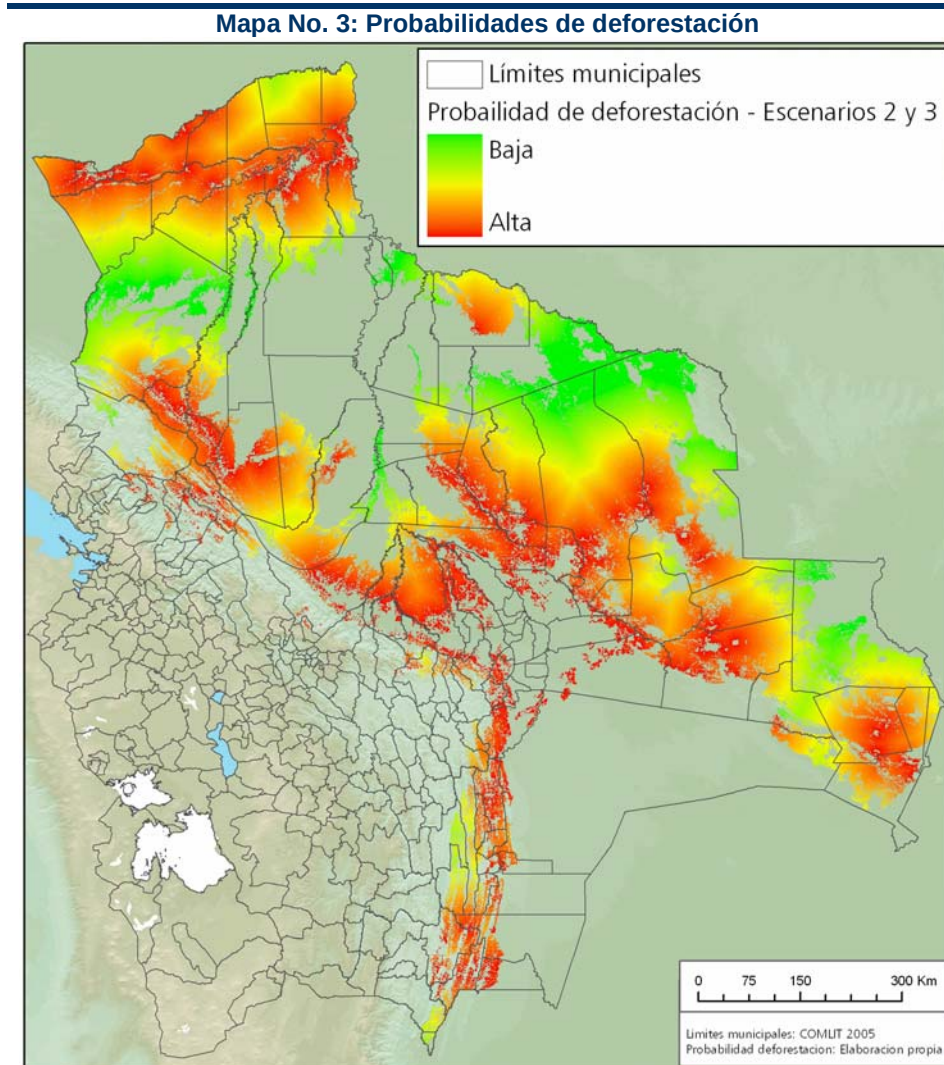
Fuente: Elaboración propia.

La proyección obviamente es sensible a los supuestos hechos, y se podría haber hecho proyecciones con diferentes supuestos o diferentes metodologías. Sin embargo, esta proyección parece plausible dadas las tendencias que se puede esperar en los factores que determinan el nivel de deforestación, y esta es la proyección que se usará como escenario base en el presente documento. Por casualidad, la deforestación promedio anual para el resto del siglo es prácticamente igual que la deforestación anual que se experimentó en 2007 (aproximadamente 345.000 hectáreas)⁶.

Con la creciente demanda para tierras agropecuarias, se espera mayor presión sobre Áreas Protegidas (APs) y Territorios Comunitarios de Origen (TCOs). Bajo el supuesto que la

⁶ Dato de la Superintendencia Forestal.

probabilidad de deforestación es inversamente relacionada con la distancia hacia áreas ya deforestadas (ver el Mapa No. 3), se puede estimar el área deforestada dentro de APs y TCOs cada año.



Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro No. 1 muestra que para el año 2100 se espera que 37.7 millones hectáreas de bosque boliviana habrá sido deforestada, de los cuales 5.6 millones hectáreas se quedaría dentro de los límites actuales de las APs y 10.5 millones hectáreas dentro de los límites actuales de las TCOs.



Cuadro N° 1: Deforestación total, en APs y en TCOs

Año	Deforestación acumulada (millones ha)	Deforestación acumulada dentro de áreas protegidas (millones ha)	Deforestación acumulada dentro de TCOs (millones ha)
2004	4.3	0.1	0.5
2030	15.7	1.2	3.8
2050	27.3	3.1	8.0
2070	32.4	4.1	9.4
2100	37.7	5.6	10.5

Fuente: Estimación propia.

3. Los impactos directos de la deforestación sobre la biodiversidad

En esta sección se estimará el impacto de la deforestación prevista hasta 2100 sobre la biodiversidad en cada municipio del país.

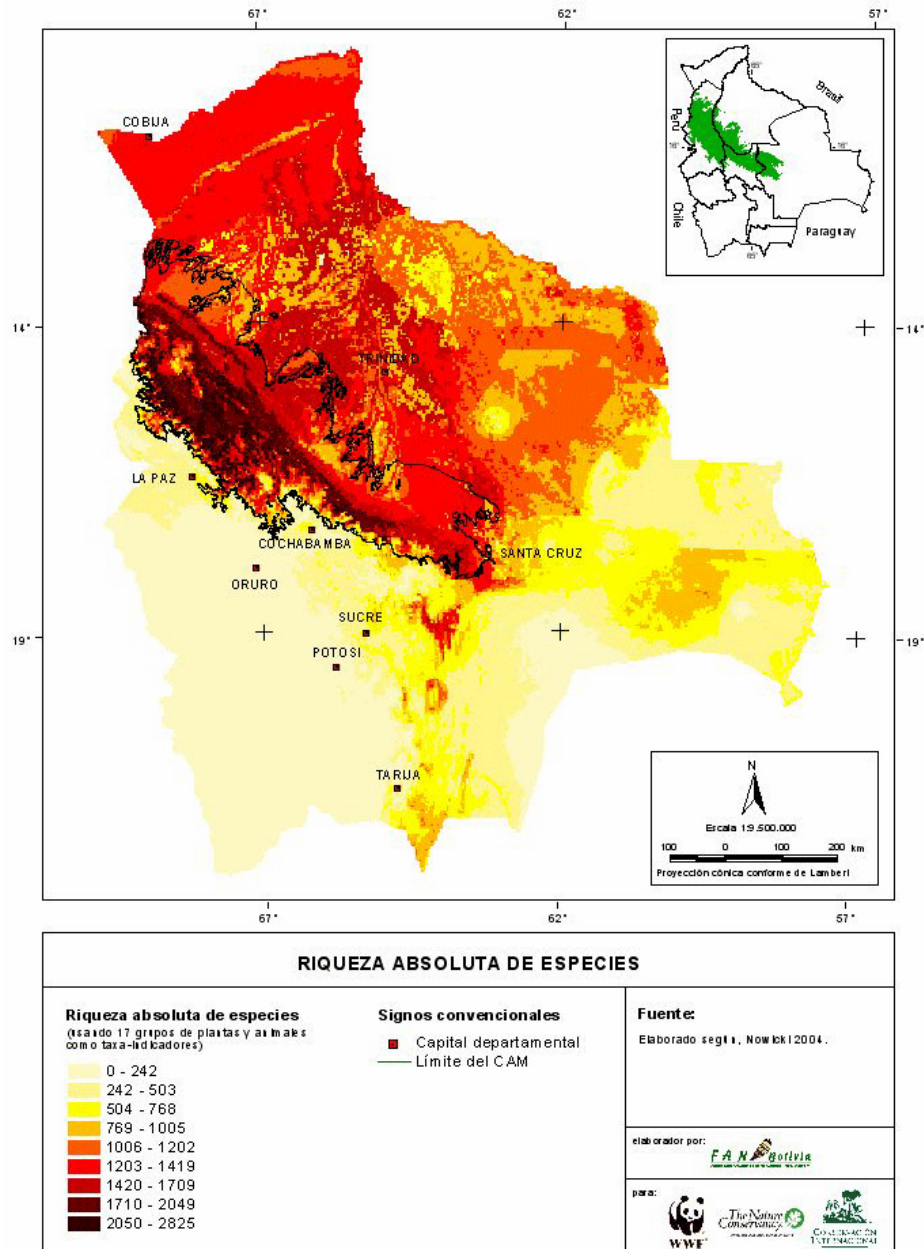
3.1 ¿Cómo medir la biodiversidad?

Dado el enorme territorio de Bolivia y la inaccesibilidad de muchas áreas, no existen registros detallados sobre todas las especies que existen en el país. Se ha estudiado en detalle ciertas especies, como las orquídeas (Vásquez & Ibisch, 2004), pero contar todas las especies en todo el territorio sería imposible. Por eso se usa modelos como BIOM para estimar la distribución geográfica de diferentes especies y para estimar el nivel de biodiversidad y endemismo en diferentes regiones (Sommer *et al*, 2003; Nowicki *et al*, 2004). Estos modelos usan observaciones actuales sobre la presencia de ciertas especies en diferentes climas y eco-sistemas para predecir su presencia o no en otras áreas del país.

Para el presente análisis se eligió usar la estimación de Riqueza Absoluta de Especies de Nowicki (2004), que también es usado por FAN (2005). La variable está estimada para todo el país en cuadrículas de 2 arc min. (3,6 * 3,6 km, aproximadamente), lo que significa más de 77.000 cuadrículas en total. Se han utilizado 17 grupos de plantas y animales como taxa-indicadores, y el máximo número de especies dentro de estos 17 grupos dentro de una cuadrícula es de 2825 especies. El mínimo es cero (por ejemplo en glaciares y salares).

El Mapa No. 4 muestra la variación en Riqueza Absoluta de Especies en el país. Se puede notar que las áreas con más riqueza de especies (flora y fauna) se encuentran en las valles de La Paz y Cochabamba, áreas caracterizadas por altos niveles de precipitación y una topografía muy accidentada. Las áreas con menos biodiversidad son las áreas planas y áridas del Altiplano y del Chaco.

Mapa No. 4: Riqueza absoluta de especies en Bolivia



Fuente: FAN (2005).

3.2 Estimación del impacto directo de la deforestación sobre la biodiversidad

Para estimar el efecto directo de la deforestación (*DEF*) sobre la riqueza de especies (*RE*) en el municipio *i*, suponemos que la deforestación total de un municipio causa la pérdida de 80% de su nivel de riqueza original de especies, mientras que un nivel de deforestación menor causa una pérdida proporcionalmente menor:

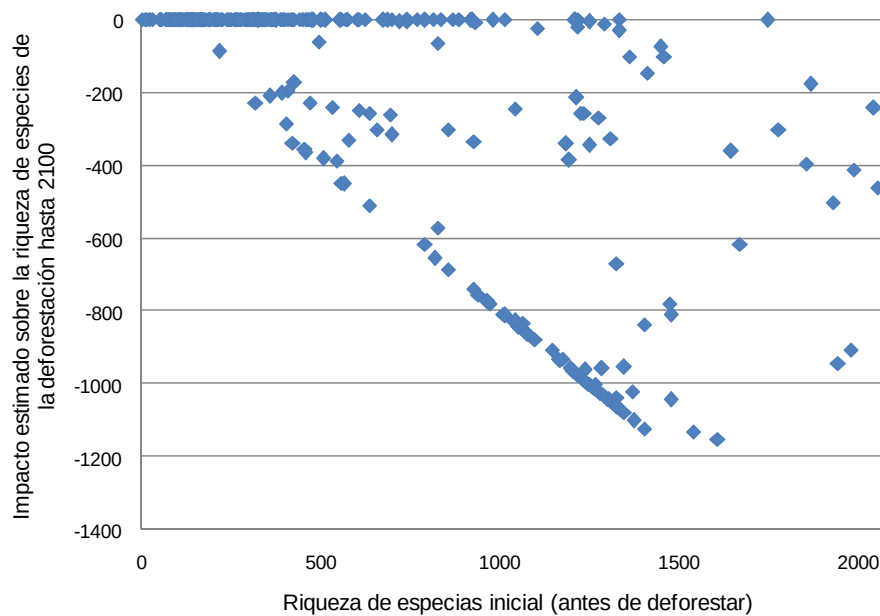
$$\Delta RE_i = -0.8 \cdot DEF_i \cdot RE_{0,i}$$

Esto obviamente es una simplificación dramática de los cambios complejos que ocurren cuando los humanos transforman áreas naturales para usos antropogénicos. Sin embargo, para los propósitos de un estudio sobre los impactos del cambio climático es suficiente con una aproximación cruda. Es importante notar que no se sugiere que se pierda 80% de las especies en el municipio si se deforesta el 100% del bosque, sino que la riqueza, o abundancia, de especies promedio en cada pixel se reduce con 80%⁷.

El impacto calculado bajo este supuesto, es ilustrado en el Gráfico No. 9 para cada municipio graficado contra su nivel de riqueza de especies original. Los municipios que se encuentran en la línea de cero impactos son los que no van a deforestar nada hasta 2100. En la mayoría de los casos esto se debe a que no tienen una cantidad de bosque significativa para deforestar o porque sus bosques son naturalmente protegidos por la topografía del municipio.

⁷ Lo que es relevante para el propósito de este estudio no es la existencia de una especie, sino la abundancia de la especie, porque solamente especies abundantes pueden brindar beneficios sustanciales a la población local. Por ejemplo, Bolivia no sería el primer exportador del mundo de castañas, si solamente tenía un par de árboles *Bertholletia excelsa* en una esquina de un municipio. Para brindar beneficios económicos se necesita cientos de miles de estos árboles distribuidos en áreas grandes.

Gráfico No. 9: El impacto directo de la deforestación sobre la riqueza de especies



Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que se encuentran en la línea diagonal, son los municipios que van a deforestar 100% de su bosque hasta 2100 (de acuerdo con las proyecciones elaboradas en la anterior sección), y que por eso van a perder cerca del 80% de su abundancia de biodiversidad original en nuestros cálculos.

El Cuadro No. 2 muestra las pérdidas promedio por departamento. Esta simulación simple indica que Beni y Santa Cruz perderían más de la mitad de su biodiversidad original debido a la deforestación masiva que se espera hasta 2100. Oruro y Potosí no perderían nada porque no hay deforestación significativa en estos departamentos. Dado las grandes tamaños de Beni y Santa Cruz, a nivel nacional se perdería poco más de la mitad de la biodiversidad por la deforestación prevista hasta 2100 en el escenario base (sin cambio climático y sin esfuerzos para limitar la deforestación). Esto no necesariamente significa la extinción total de la mitad de nuestras especies, ya que muchas especies podrían sobrevivir en áreas naturales remanentes en poblaciones reducidas, pero sí significaría la extinción local de muchas especies.



Cuadro N° 2: Impactos de la deforestación sobre la riqueza de especies, por departamento

Departamento	Riqueza de Especies Inicial	Impacto de la deforestación prevista hasta 2100
Beni	1252	-819
Chuquisaca	460	-50
Cochabamba	943	-356
La Paz	1110	-469
Oruro	113	0
Pando	1290	-561
Potosí	93	0
Santa Cruz	751	-538
Tarija	473	-197
Bolivia	814	-461

Fuente: Estimación propia.

Nota: Promedios ponderados por el área de cada municipio.

Una vez establecida la línea base sin cambio climático, la siguiente sección estima los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad.

4. Los impactos directos del cambio climático sobre la biodiversidad

Para estimar los impactos directos del cambio climático sobre la biodiversidad, primero se necesita conocer las relaciones entre clima y biodiversidad.

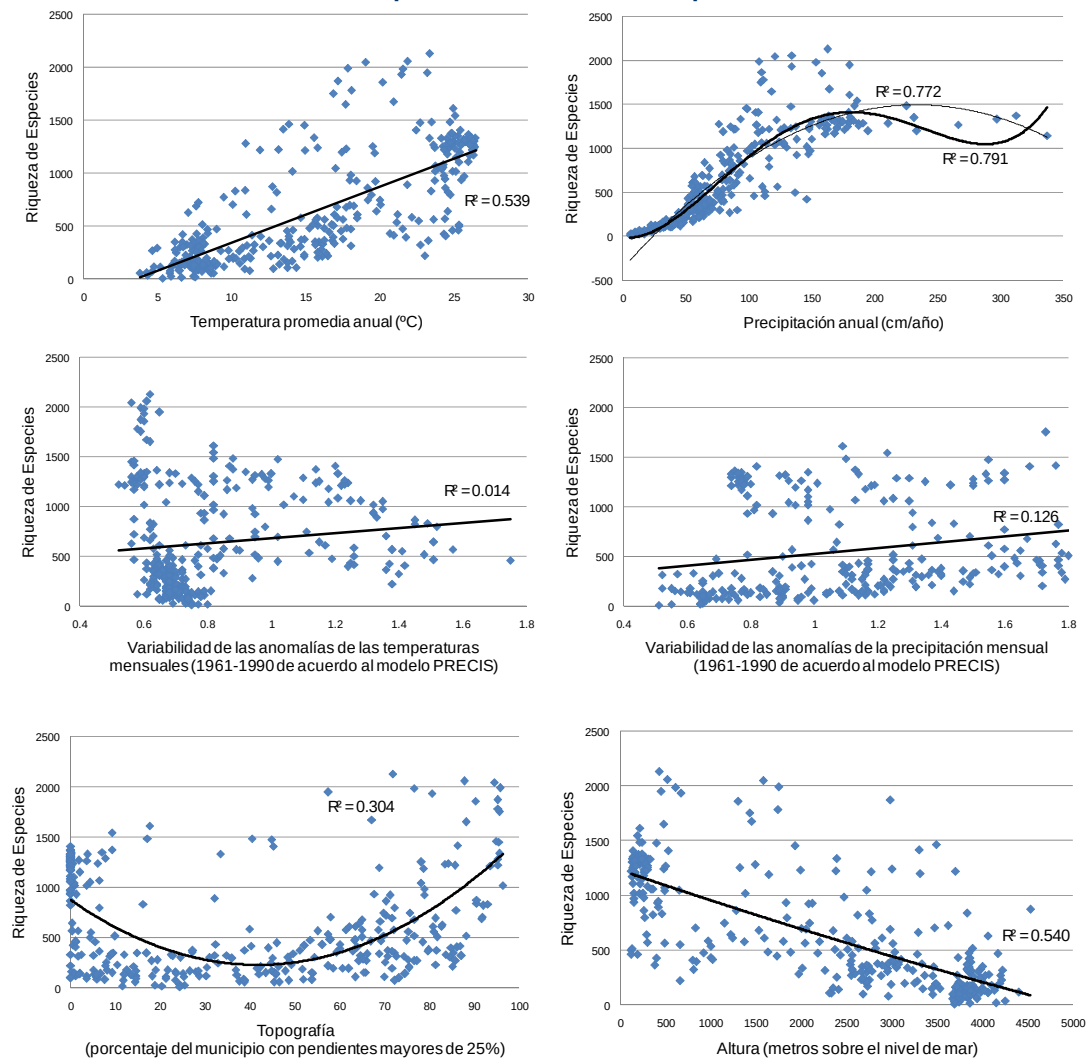
4.1 Relaciones entre clima y biodiversidad en el largo plazo

Para cuantificar el efecto de factores climáticos sobre la biodiversidad, se estima un modelo simple a nivel municipal que explica la variación en riqueza de especies (del Mapa No. 3) con variables climáticas (temperatura promedio, precipitación promedio, variación en temperaturas, variación en precipitación), controlando por topografía (porcentaje del municipio con pendientes mayores de 25%) y altura sobre el nivel de mar.

Para poder escoger una especificación adecuada para el modelo, primero se grafica las relaciones bi-variables entre riqueza de especies y estas 6 posibles variables explicativas (ver el Gráfico No. 10). Se nota una relación positiva, aproximadamente lineal, entre temperatura promedio anual y riqueza de especies. También existe una relación positiva entre precipitación anual y riqueza de especies, pero la relación no es lineal ni cuadrática. Para poder captar bien la relación, especialmente en áreas con poca precipitación, es necesario especificar un polinomio de cuarto orden. Las relaciones entre variabilidad de temperaturas, variabilidad de precipitación y riqueza de especies no son muy fuertes. Se nota una relación de forma U entre topografía y riqueza de

especies. Municipios con pendientes fuertes tienen altos niveles de riqueza de especies porque incluyen muchos y diferentes micro-climas dentro de cada hectárea. En el otro extremo, municipios completamente planos, se encuentran en dos grupos, los de tierras bajas que tienen alta biodiversidad y los municipios de tierras altas que tienen bajos niveles de biodiversidad. Esto lleva al último gráfico que muestra una relación inversa respecto a la altura.

Gráfico No. 10: Relaciones simples entre riqueza de especies y potenciales variables explicativas, a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.



Se estima un modelo simple con estas 6 variables explicativas, con las formas funcionales indicados por el Gráfico No. 10. Los resultados de esta simple estimación se indica que las variables climáticas y de topografía y altura explican muy bien la variación observado en la riqueza de especies en Bolivia, el poder explicativo del modelo alcanza el 87%. Todas las variables, excepto la temperatura promedio, son estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 99% (ver el Cuadro No. 3)⁸.

Cuadro N° 3: Modelo municipal de Riqueza de Especies

Variable explicativo	Coeficiente estimado
Constante	716.670 (4.43) ***
Temperatura Promedio	-8.732 (-1.56)
Precipitación Promedio	-1157.148 (-4.06) ***
Precipitación Promedio ²	2979.472 (7.04) ***
Precipitación Promedio ³	-1297.745 (-6.77) ***
Precipitación Promedio ⁴	184.146 (5.91) ***
Desviación Estándar de Temperaturas	-238.570 (-3.69) ***
Desviación Estándar de Precipitación	150.245 (5.90) ***
Topografía	-8.390 (-5.42) ***
Topografía ²	0.122 (7.42) ***
Altura	-0.082 (-2.97) ***
# obs = 327	R ² = 0.8776

Fuente: Estimación propia.

Notas: Los números en paréntesis son estadísticas t.

* Significativo a nivel 10%,

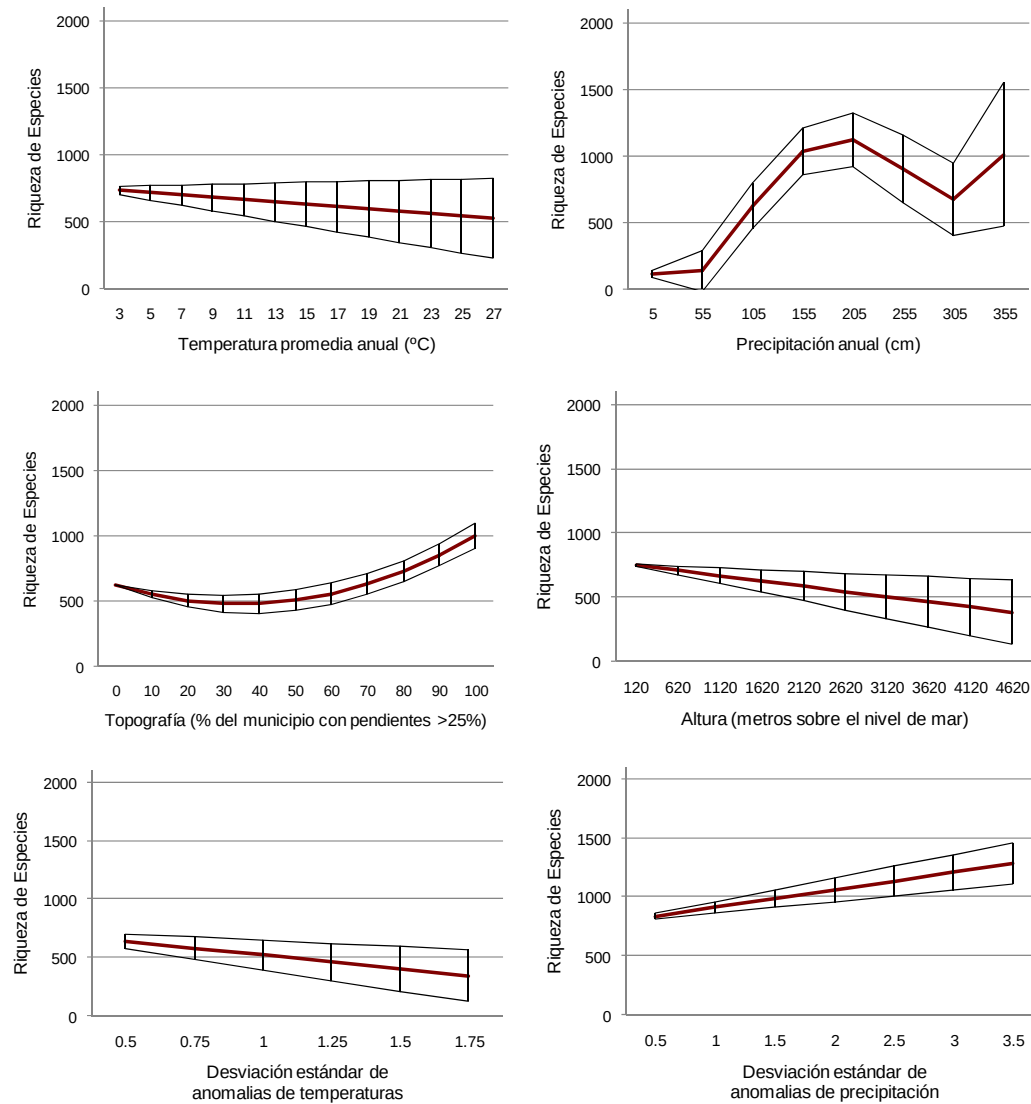
** Significativo a nivel 5%,

*** Significativo al nivel 1%.

Las relaciones parciales estimadas son ilustrados en el Gráfico No. 11 con intervalos de 95% de confianza.

⁸ Para ver la robustez de la relación, se intentó excluir las dos variables de variabilidad climática (por qué sus relaciones con biodiversidad no son muy claras en el Gráfico No. 10, y porqué las variables vienen del modelo PRECIS y no son confirmados por observaciones reales), pero esto no tenía un efecto sobre los signos y la significancia estadística de las otras variables. También se intentó incluir una variable de interacción entre temperatura y precipitación, pero no resultó estadísticamente significativa.

Gráfico No. 11: Relaciones estimadas entre clima, topografía y riqueza de especies



Fuente: Elaboración propia.

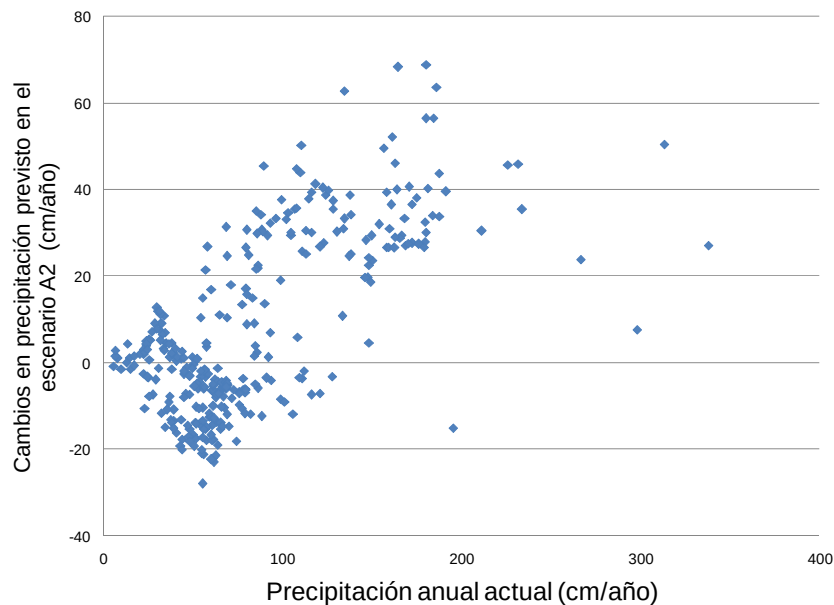
Nota: Las líneas rojas representan los estimados puntuales del Cuadro No. 1, mientras que las líneas negras delimitan los intervalos de 95% de confianza (calculados por el comando lincom de Stata).

Una vez determinada las relaciones de largo plazo entre clima y riqueza de especies, se puede proceder a simular los efectos de cambios en las variables climáticas.

4.2 Simulación de impactos directos de cambio climático sobre biodiversidad en el largo plazo (sin tomar en cuenta la deforestación)

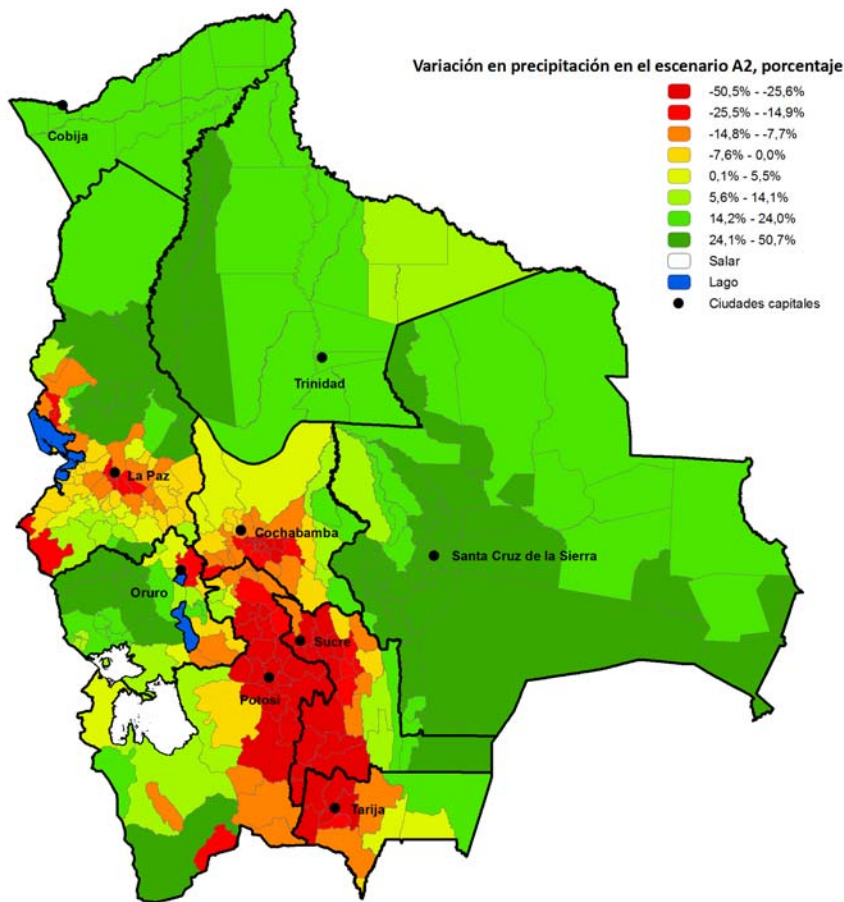
En esta sección se simulan los impactos del cambio climático previsto por el modelo PRECIS en el escenario A2 descrito en Andrade (2009). En general, los cambios previstos son aumentos en temperatura de 3.7 – 5.1°C (más en el norte del país y más en el Altiplano) y aumentos en la variabilidad de temperaturas y en la variabilidad de precipitación en todos los municipios. La precipitación cambiaría de manera mucho más compleja (y más incierta), pero en general el modelo PRECIS prevé una reducción de precipitación en áreas actualmente secas y un aumento en áreas que actualmente reciben abundantes cantidades de precipitación (ver el Gráfico No. 12 y el Mapa No. 5). Sin embargo, hay excepciones a este patrón de precipitación más extrema. Para el Chaco, en el sur del departamento de Santa Cruz, que actualmente es relativamente seco, el modelo prevé un aumento en precipitación como consecuencia del calentamiento global y también hay varios municipios muy secos en el departamento de Oruro, donde el modelo prevé aumentos en la precipitación anual en el orden de 20 - 40%.

Gráfico No. 12: Cambios en precipitación previsto por el PRECIS en el escenario A2



Fuente: Elaboración propia.

Mapa No. 5: Cambios en precipitación previsto por el PRECIS en el escenario A2



Fuente: Elaboración propia.

Para esta primera simulación se compara un escenario sin cambio climático (y sin deforestación) con un escenario con cambio climático (pero sin deforestación). La diferencia entre los dos escenarios sería el impacto atribuible al cambio climático, en la ausencia de otros cambios.

Formalmente, el nivel de riqueza de especies (RE) en municipio i en el escenario sin cambio climático (la situación actual) se puede escribir como:

$$RE_{i, SCC} = \alpha + \beta_1 \cdot temp_{i, SCC} + \beta_2 \cdot temp_{i, SCC}^2 + \beta_3 \cdot precip_{i, SCC} + \beta_4 \cdot precip_{i, SCC}^2 + \beta_5 \cdot precip_{i, SCC}^3 + \beta_6 \cdot precip_{i, SCC}^4 + \beta_7 \cdot SDT_{i, SCC} + \beta_8 \cdot SDP_{i, SCC} + \beta_9 \cdot topo_i + \beta_{10} \cdot topo_i^2 + \beta_{11} \cdot alt_i + \varepsilon_i$$

Eliminado: ¶



donde $temp_{i,SCC}$ y $precip_{i,SCC}$ son temperatura promedio anual y precipitación acumulada anual en municipio i en el periodo de referencia⁹; $SDT_{i,SCC}$ y $SDP_{i,SCC}$ miden la variabilidad en temperatura y precipitación en el municipio i en el periodo de referencia¹⁰; $topo_i$ y alt_i son variables que describen la topografía y la altura sobre nivel de mar de municipio i ; y ε_i es el término de error para municipio i .

Equivalentemente, el nivel de riqueza de especies en el escenario con cambio climático (la situación prevista por el modelo PRECIS en 2100) se puede escribir como:

$$RE_{i,CCC} = \alpha + \beta_1 \cdot temp_{i,CCC} + \beta_2 \cdot temp_{i,CCC}^2 + \beta_3 \cdot precip_{i,CCC} + \beta_4 \cdot precip_{i,CCC}^2 + \beta_5 \cdot precip_{i,CCC}^3 + \beta_6 \cdot precip_{i,CCC}^4 + \beta_7 \cdot SDT_{i,CCC} + \beta_8 \cdot SDP_{i,CCC} + \beta_9 \cdot topo_i + \beta_{10} \cdot topo_i^2 + \beta_{11} \cdot alt_i + \varepsilon_i$$

Entonces, el efecto sobre biodiversidad que se puede atribuir al cambio climático hasta 2100 sería:

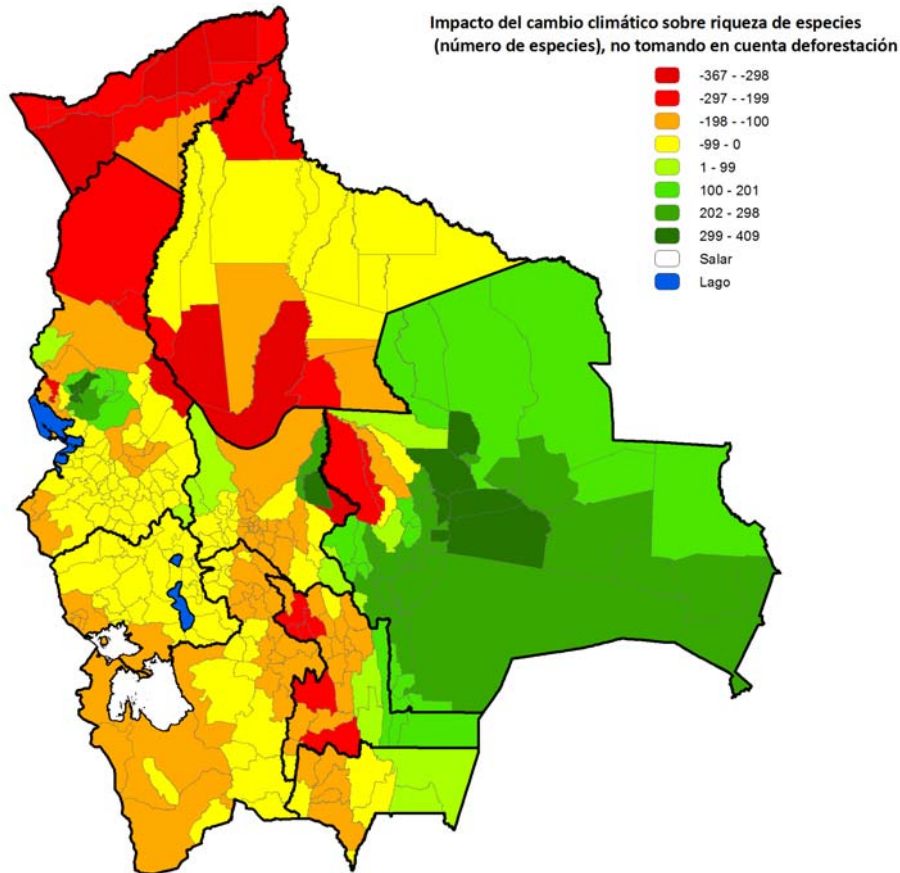
$$\Delta RE_{i,CC} = RE_{i,CCC} - RE_{i,SCC} = \beta_1 \cdot (temp_{i,CCC} - temp_{i,SCC}) + \beta_2 \cdot (temp_{i,CCC}^2 - temp_{i,SCC}^2) + \beta_3 \cdot (precip_{i,CCC} - precip_{i,SCC}) + \beta_4 \cdot (precip_{i,CCC}^2 - precip_{i,SCC}^2) + \beta_5 \cdot (precip_{i,CCC}^3 - precip_{i,SCC}^3) + \beta_6 \cdot (precip_{i,CCC}^4 - precip_{i,SCC}^4) + \beta_7 \cdot (SDT_{i,CCC} - SDT_{i,SCC}) + \beta_8 \cdot (SDP_{i,CCC} - SDP_{i,SCC})$$

Los resultados de esta simulación están ilustrados en el Mapa No. 6. Los resultados indican que la biodiversidad en el departamento de Santa Cruz podría verse favorecida por los cambios climáticos previstos por el PRECIS, mientras que en casi todo el resto del país los cambios climáticos tendrían un efecto adverso.

⁹ Datos de Worldclim reflejando la situación antes del cambio climático.

¹⁰ Calculados como la desviación estándar de las temperaturas y precipitaciones promedios mensuales en cada municipio durante el periodo 1961-1990 de acuerdo con el modelo PRECIS.

Mapa No. 6: Impacto del cambio climático en el escenario A2 sobre la riqueza absoluta de especies en Bolivia (sin tomar en cuenta la deforestación)



Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro No. 4 desagrega los efectos por las diferentes vías por los cuales operarían los cambios climáticos. No hay ningún efecto por cambios en la temperatura, ya que el modelo estimado en el Cuadro No. 3 indicaba que la biodiversidad no varía significativamente con temperatura (todos otros factores constantes). Los cambios previstos en precipitación tendrían un efecto muy positivo en el departamento de Santa Cruz, pero negativo en la mayor parte de La Paz, Chuquisaca y Potosí. El aumento previsto en la variabilidad de temperaturas tendrían un efecto negativo en todo el país, pero más fuerte en Pando, donde la biodiversidad está acostumbrada a temperaturas muy estables. El aumento previsto en la variabilidad de precipitación tendría un efecto moderadamente positivo sobre la biodiversidad en todo el país.



En total, los cambios climáticos tendrían un efecto positivo en el departamento de Santa Cruz (por el aumento en precipitación en áreas relativamente secas), pero negativo en el resto de los departamentos. En Beni, por ejemplo, se perdería un promedio de 116 especies en cada pixel, desde un nivel inicial de 1252 especies por pixel, en promedio, para este departamento.

Cuadro N° 4: Impactos del cambio climático del Escenario A2 sobre la riqueza de especies (sin tomar en cuenta deforestación), por departamento y vía de impacto

Departamento	Por cambio en temperatura	Por cambio en precipitación	Por cambio en variabilidad de temperaturas	Por cambio en variabilidad de precipitación	Impacto total del cambio climático previsto en el escenario A2
Beni	n.s.	7	-189	67	-116
Chuquisaca	n.s.	-11	-60	8	-62
Cochabamba	n.s.	23	-117	35	-59
La Paz	n.s.	-28	-145	54	-119
Oruro	n.s.	12	-123	52	-58
Pando	n.s.	8	-326	51	-267
Potosí	n.s.	-16	-115	25	-106
Santa Cruz	n.s.	205	-59	40	186
Tarija	n.s.	-2	-33	12	-23
Bolivia	n.s.	69	-121	44	-9

Fuente: Estimación propia.

Nota: Promedios ponderados por el área de cada municipio.

n.s. significa "no estadísticamente significativo a un nivel de confianza de 90%".

En vez de reportar los resultados por departamento, el Cuadro No. 5 los reportan por eco-sistema predominante en cada municipio. Se puede notar que las áreas de puno y otra vegetación alto andina perdería más de 40% de su biodiversidad por los cambios climáticos previstos en el escenario A2. Los otros tipos de vegetación son más resistentes y perderían un porcentaje mucho menor. Incluso, el Chaco, el Cerrado Chaqueño y el Bosque Seco Chiquitano podrían ver aumentos significativos en la biodiversidad por los aumentos previstos en precipitación en estas áreas.

Cuadro N° 5: Impactos del cambio climático del Escenario A2 sobre la riqueza de especies (sin tomar en cuenta deforestación), por eco-región

Departamento	Riqueza de Especies Inicial	Impacto del cambio climático previsto hasta 2100 (Escenario A2)
Puna y vegetación alto andina	209	-89
Bosque montañoso	1194	-109
Chaco y Chiquitano	513	212
Sabanas	1178	-47
Bosque inundable	1229	-131
Bosque amazónico	1112	-13
Bolivia	814	-9

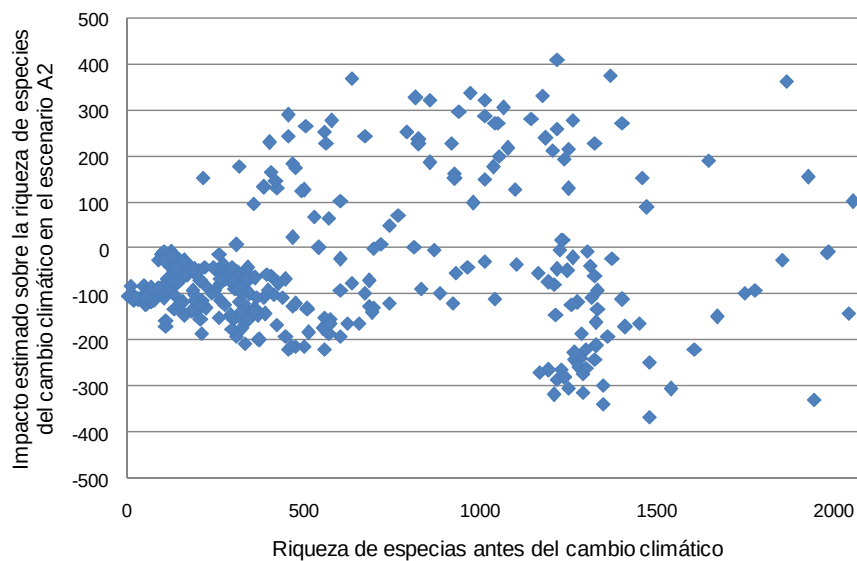
Fuente: Estimación propia.



Nota: Promedios ponderados por el área de cada municipio.

El Gráfico No. 13 muestra los mismos impactos a nivel municipal. Se puede notar una concentración de municipios que ahora tienen bajos niveles de biodiversidad y que perderían gran parte de ello debido a los cambios climáticos previstos en el escenario A2. Estos son los municipios en el altiplano, que experimentarían reducciones en su precipitación, si los escenarios climáticos del modelo PRECIS resultan ser correctos.

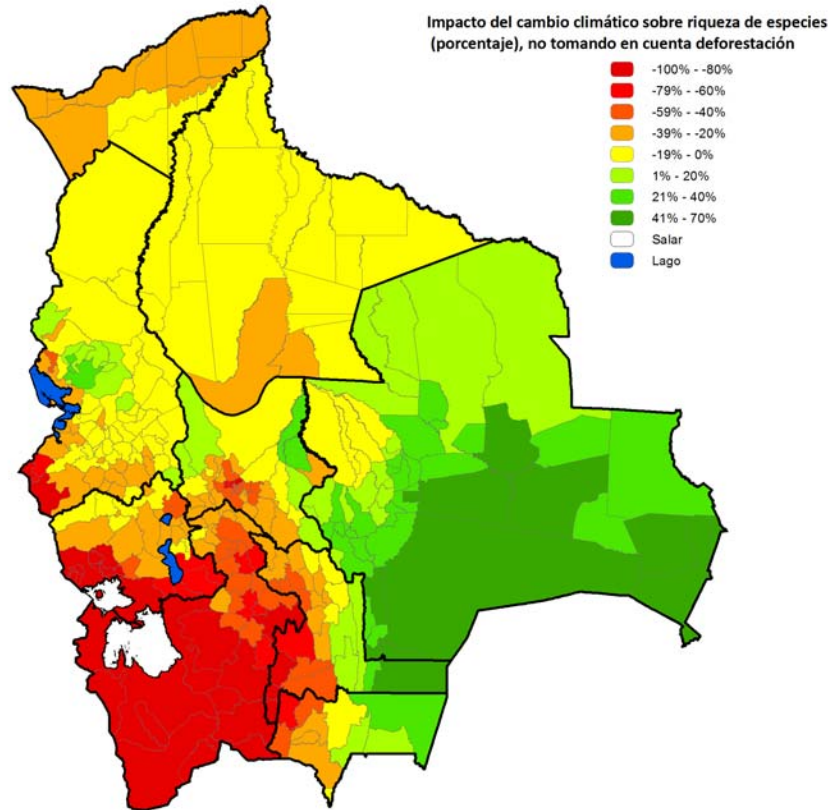
Gráfico No. 13: Impacto estimado del cambio climático previsto en el escenario A2 sobre los niveles de riqueza de especies, por municipio (sin tomar en cuenta deforestación)



Fuente: Elaboración propia.

El Mapa No. 7 muestra el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad en términos de cambio porcentuales en vez de cambios en el número de especies. Esto resalta el fuerte impacto del cambio climático en el Altiplano, que empieza con un muy bajo nivel de biodiversidad y pierda casi todo.

Mapa No. 7: Impacto del cambio climático en el escenario A2 sobre la riqueza absoluta de especies en Bolivia (cambio porcentual) (sin tomar en cuenta la deforestación)



Fuente: Elaboración propia.

También existen muchos municipios donde los cambios climáticos previstos podrían favorecer un aumento en la biodiversidad. Muchos de ellos, sin embargo, son municipios donde se espera deforestación masiva hasta el 2100, por lo que será difícil que se realice este posible incremento en biodiversidad por cambios climáticos.

Finalmente existe un grupo de municipios con altos niveles de biodiversidad, donde los cambios climáticos podrían tener un efecto bastante adverso (sobre todo los municipios con bosque amazónico en el norte del país). Sin embargo, en muchos de ellos también se espera altos niveles

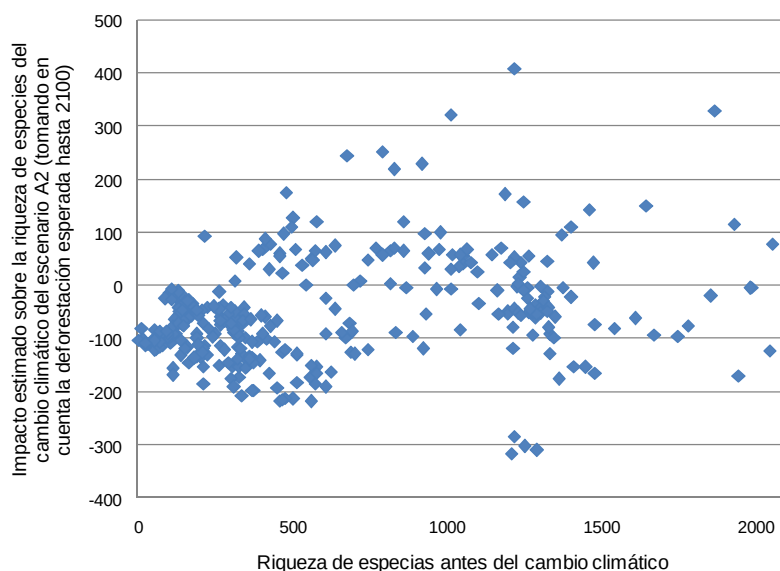
de deforestación, lo que significa que la biodiversidad ya se habrá reducido sustancialmente antes que el cambio climático pueda tener su impacto.

Es necesario tomar en cuenta la deforestación prevista en el escenario base antes de calcular el impacto del cambio climático, ya que el impacto de deforestación vendría con anterioridad y con mucho más fuerza que los cambios climáticos graduales previstos por el modelo PRECIS.

4.3 Simulación de impactos directos de cambio climático sobre biodiversidad en el largo plazo (tomando en cuenta la deforestación)

El procedimiento para estimar el impacto del cambio climático, tomando en cuenta la deforestación, es el siguiente. Primero se calcula el porcentaje de biodiversidad que queda en cada municipio después de haber deforestado lo previsto hasta 2100, de acuerdo con las estimaciones en la sección 4.1 arriba. Después se multiplica este porcentaje por el impacto del cambio climático estimado en la sección 4.2. Los resultados a nivel municipal se muestran en el Gráfico No. 14. Tomando en cuenta la deforestación, habrá menos impactos muy positivos y menos impactos muy negativos del cambio climático, pero se nota que en general hay mucho más impactos negativos que positivos.

Gráfico No. 14: Impacto estimado del cambio climático previsto en el escenario A2 sobre los niveles de riqueza de especies, por municipio (tomando en cuenta la deforestación)



Fuente: Elaboración propia.



El Cuadro No. 6 muestra los mismos impactos agregados a nivel departamental y nacional. Después de un siglo de deforestación y cambio climático el nivel de biodiversidad en el país se habría reducido con 60%. La deforestación sería culpable de la gran mayoría (95%) de esta reducción a nivel nacional.

Sin embargo, en los departamentos altiplánicos de Potosí y Oruro, el cambio climático sería responsable de 100% de la reducción en biodiversidad. Potosí, con su bajo nivel de biodiversidad es particularmente vulnerable al cambio climático, y de acuerdo con las simulaciones hechas, podría perder prácticamente toda su biodiversidad debido al aumento en la variabilidad de temperaturas y la reducción en precipitación prevista por el PRECIS.

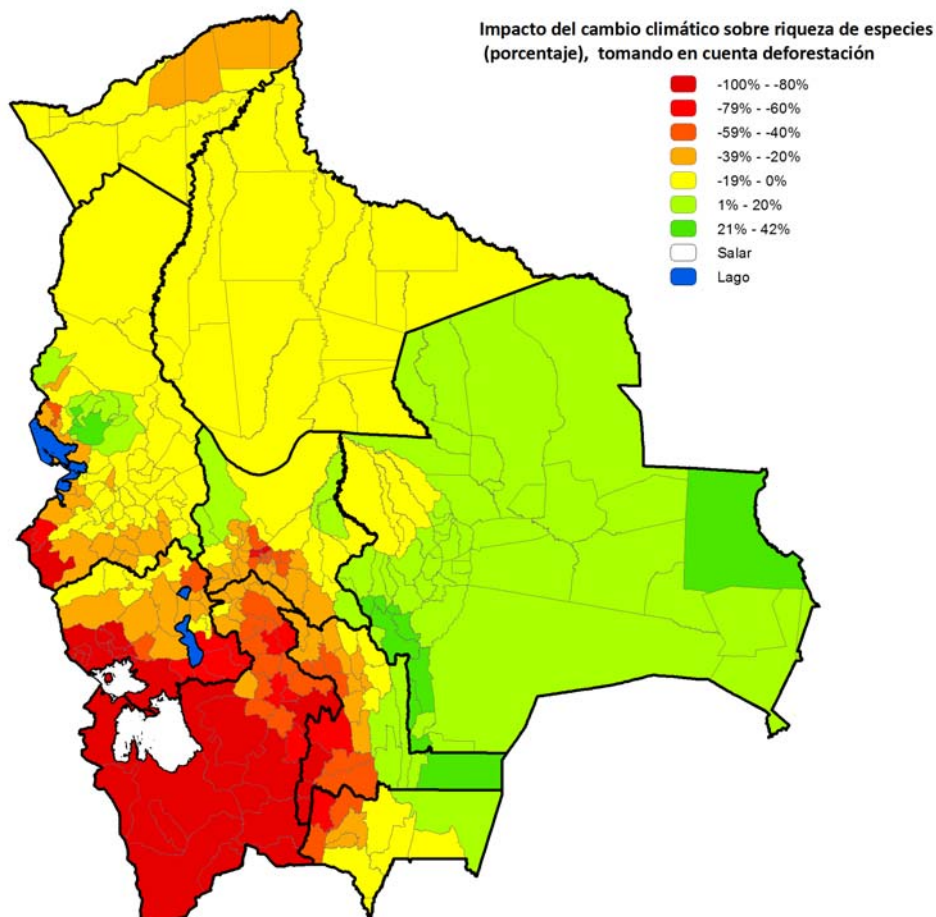
Cuadro Nº 6: Impactos sobre la riqueza de especies, por departamento

Departamento	Riqueza de Especies Inicial	Impacto de la deforestación prevista hasta 2100	Impacto total del cambio climático previsto en el escenario A2 (tomando en cuenta la deforestación previa)	Riqueza de Especies en 2100 en comparación con 2000 (%) (después del impacto de deforestación y cambio climático)
Beni	1252	-819	-34	32%
Chuquisaca	460	-50	-78	72%
Cochabamba	943	-356	-51	57%
La Paz	1110	-469	-54	53%
Oruro	113	0	-58	49%
Pando	1290	-561	-150	45%
Potosí	93	0	-106	0%
Santa Cruz	751	-538	55	36%
Tarija	473	-197	-30	52%
Bolivia	814	-461	-24	40%

Fuente: Estimación propia.

Nota: Promedios ponderados por el área de cada municipio.

Mapa No. 8: Impacto del cambio climático en el escenario A2 sobre la riqueza absoluta de especies en Bolivia (cambio porcentual) (tomando en cuenta la deforestación)



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el Cuadro No. 7 muestra los impactos atribuibles al cambio climático previsto hasta el 2100 por eco-región. Se puede notar que las áreas con puna y vegetación alto andina son las más vulnerables, mientras que los otros tipos de ecosistemas son más resistentes al cambio climático. Incluso, el Chaco, el Cerrado Chaqueño y el Bosque Seco Chiquitano podrían ver aumentos significativos en la biodiversidad por los aumentos previstos en precipitación en estas áreas.



Cuadro N° 7: Impactos del cambio climático del Escenario A2 sobre la riqueza de especies (tomando en cuenta deforestación), por eco-región

Ecosistema dominante	Riqueza de Especies Inicial	Impacto del cambio climático previsto hasta 2100 (Escenario A2)
Puna y vegetación alto andina	209	-89
Bosque montañoso	1194	-42
Chaco y Chiquitano	513	66
Sabanas	1178	-22
Bosque inundable	1229	-26
Bosque amazónico	1112	-33
Bolivia	814	-24

Fuente: Estimación propia.

Nota: Promedios ponderados por el área de cada municipio.

Antes de empezar con el análisis de impactos económicos, vale la pena notar la considerable incertidumbre que rodean estas estimaciones. Hay cuatro principales fuentes de incertidumbre.

Primero, existe bastante incertidumbre en los escenarios de cambios climáticos, especialmente en relación con la precipitación, donde hay poca concordancia entre los diferentes modelos climáticos. Aquí solamente se usa uno de los muchos modelos disponibles, lo que da una impresión irrealista del nivel de confianza que se puede tener en estos escenarios.

Segundo, también existe incertidumbre sobre la distribución actual de especies en las diferentes partes del país, ya que la medida simplificada de biodiversidad fue estimada (no observada) en base de un número limitado de las especies más fáciles de identificar, excluyendo todo tipo de insectos, hongos y bacterias, que también tienen funciones ecológicas muy importantes.

Tercero, existe incertidumbre en las relaciones entre factores climáticos y riqueza de especies. Cómo se puede ver en los Gráficos No. 10 y 11, las relaciones no son muy fuertes, especialmente con la variabilidad de temperaturas, que resulta muy importante en las simulaciones. Con respecto a la precipitación existe una relación más fuerte y confiable, pero justamente los cambios en precipitación son los más inciertos.

Cuarto, puede ser que la biodiversidad no responda de manera tan simple a cambios climáticos. Si una especie clave se pierde en un área, puede tener repercusiones para muchas otras especies. Si hay mucha interdependencia entre especies, la pérdida de una especie central puede causar la pérdida de 10 otras especies, pero si hay competencia entre especies, el vacío que se crea por la pérdida de una especie, podría llenarse con 10 otras especies.

Finalmente, el presente estudio no toma en cuenta los posibles efectos de la fertilización de CO₂ sobre la biodiversidad. Aunque se sabe que la fertilización de CO₂ tiene un efecto beneficioso



sobre la fotosíntesis y la producción primaria de las plantas verdes, no es obvio si tiene un efecto sobre el nivel de biodiversidad. Adams (2007) revisa la poca evidencia que existe acerca de los impactos sobre los insectos que viven en plantas fertilizadas con extra CO₂. Hay evidencia de que los insectos comen más cantidad de hojas, tal vez porque las hojas contienen menos proteína cuando crezcan a mayores niveles de CO₂. Sin embargo, las plantas también son más grandes, y resulta que la pérdida porcentual por insectos es menor. De hecho, parece que en general las plantas ganan la carrera mientras que los insectos demuestran crecimiento más lento y mortalidad mayor (posiblemente por el cambio en composición de su comida hacia más carbohidratos y menos proteína). Esto significa que la diversidad de insectos podría sufrir, y dado que el mayor número de especies del mundo son insectos herbívoros, esto posiblemente podría reducir la biodiversidad total a pesar del efecto positivo sobre el crecimiento de casi todos tipos de plantas.

5. Implicaciones económicas de la pérdida de bosques y biodiversidad

Aunque es difícil poner un valor económico en algo tan complejo como nuestros bosques y nuestra biodiversidad, esta sección hace un intento de estimar las pérdidas económicas que sufriríamos por las pérdidas de biodiversidad que el cambio climático podría ocasionar durante el resto de este siglo.

5.1 Valuación de la biodiversidad

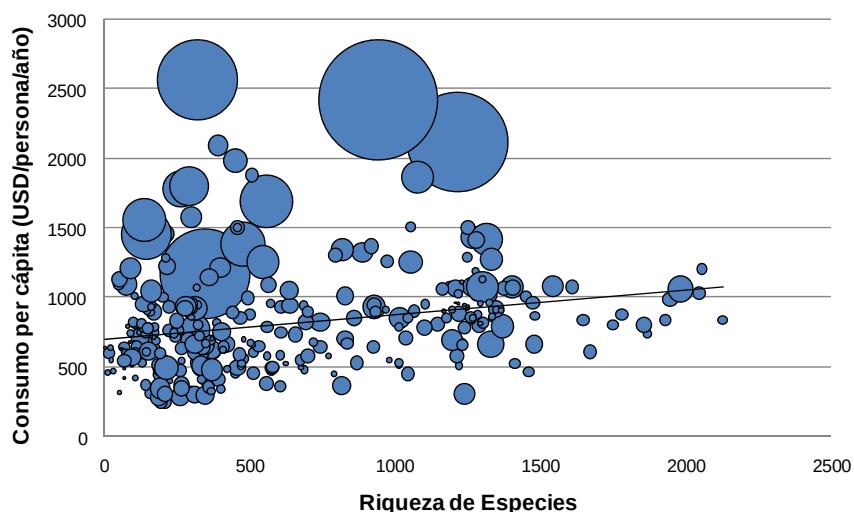
En esta sección se procede a hacer un análisis económico de los efectos del cambio climático sobre nuestra biodiversidad. El análisis será necesariamente crudo, ya que solamente se cuenta con información sobre el número de especies, y no información específica sobre la composición de la biodiversidad. Es decir, una paloma y un nogal de 100 años son tratados de manera igual, aunque claramente el nogal podría crear ingresos mucho más altos que la paloma. Aún así se puede identificar relaciones generales que se puede usar para hacer una evaluación económica.

Primero observamos (ver el Gráfico No. 15) que existe una relación positiva entre riqueza de especies y nivel de ingresos (medido a través del consumo per cápita) a nivel municipal ($\rho = 0.26$), y que esta relación positiva es particularmente fuerte en municipios rurales ($\rho = 0.38$).

Hay varias posibles explicaciones de esta relación positiva. Primero, en muchas áreas rurales, la caza y pesca contribuye de manera importante al consumo de alimentos, y la población usa la vegetación local para materiales de construcción, medicina, alimentos, ceremonias, etcétera (Boom, 1987). Por eso una reducción en la biodiversidad podría tener un efecto adverso muy directo en el consumo de los habitantes. Segundo, la biodiversidad juega un rol importante en la agricultura a través de los servicios de polinización y control natural de plagas y por la contribución a la variación genética en los cultivos, aunque también puede tener efectos negativos sobre los cultivos (plagas y enfermedades). Además, la biodiversidad puede ser

importante para actividades económicas, como ecoturismo, recolección de castañas y otros. Finalmente, la biodiversidad brinda servicios ambientales importantes, como regulación del suministro de agua, control de erosión, revitalización de suelos, y otros, que puede tener un efecto indirecto sobre el nivel de ingresos y consumo de los habitantes.

**Gráfico No. 15: Relación entre Riqueza de Especies y Ingresos
(Consumo per cápita)**



Fuente: Elaboración propia.

Nota: El tamaño de las burbujas indica el tamaño de la población en cada municipio.

Un análisis econométrico muestra que la relación es la misma a nivel nacional y a nivel rural, así que podemos usar la misma elasticidad para toda Bolivia: En promedio, un aumento en la riqueza de especies de 10% estaría relacionada con un aumento en el consumo per cápita de 1.15% (ver el Cuadro No. 8).

**Cuadro N° 8: Estimación de la elasticidad entre riqueza de
especies y consumo per cápita en el largo plazo**

Variable explicativo	Coefficiente estimado
Constante	5.918 (45.54) ***
Ln (Riqueza de Especies)	0.115 (5.41) ***
# obs = 327	R ² = 0.080

Fuente: Estimación propia.

Notas: El variable dependiente es el logaritmo del consumo per cápita en 2001.

Los números en paréntesis son estadísticas t.

* Significativo a nivel 10%,

** Significativo a nivel 5%,

*** Significativo al nivel 1%.



5.2 Costo económico de la pérdida de biodiversidad

Ahora se utiliza los impactos estimados del cambio climático (del Gráfico No. 14) para calcular el cambio porcentual en la riqueza de especies, y se utiliza la elasticidad estimado en el Cuadro No. 7 para calcular cómo estos cambios en riqueza de especies podrían traducirse a cambios en los niveles de consumo per cápita en cada municipio.

El Cuadro No. 9 muestra que a nivel nacional se podría perder 20% de la biodiversidad como consecuencia de los cambios climáticos previsto por el PRECIS hasta 2100, y esta reducción podría reducir el nivel de consumo per cápita con unos 2.3% (todos otros factores constantes). Los departamentos más afectados serían Potosí y Oruro, ya que experimentarían pérdidas mucho más grandes en su biodiversidad. Especialmente el departamento de Potosí está a riesgo de experimentar un proceso de desertificación muy acelerado debido a los cambios climáticos previstos por el PRECIS.

Cuadro N° 9: Costo económico de la pérdida de biodiversidad causado por los cambios climáticos esperados hasta 2100 en el escenario A2, por departamento

Departamento	Cambio porcentual en Riqueza de Especies entre 2000 y 2100	Impacto sobre consumo per cápita de los cambios en Riqueza de Especies atribuido al cambio climático esperado hasta 2100
Beni	-1%	-0.1%
Chuquisaca	-36%	-4.1%
Cochabamba	-27%	-3.1%
La Paz	-17%	-1.9%
Oruro	-47%	-5.4%
Pando	-3%	-0.4%
Potosí	-65%	-7.4%
Santa Cruz	+1%	+0.2%
Tarija	-17%	-2.0%
Bolivia	-20%	-2.3%

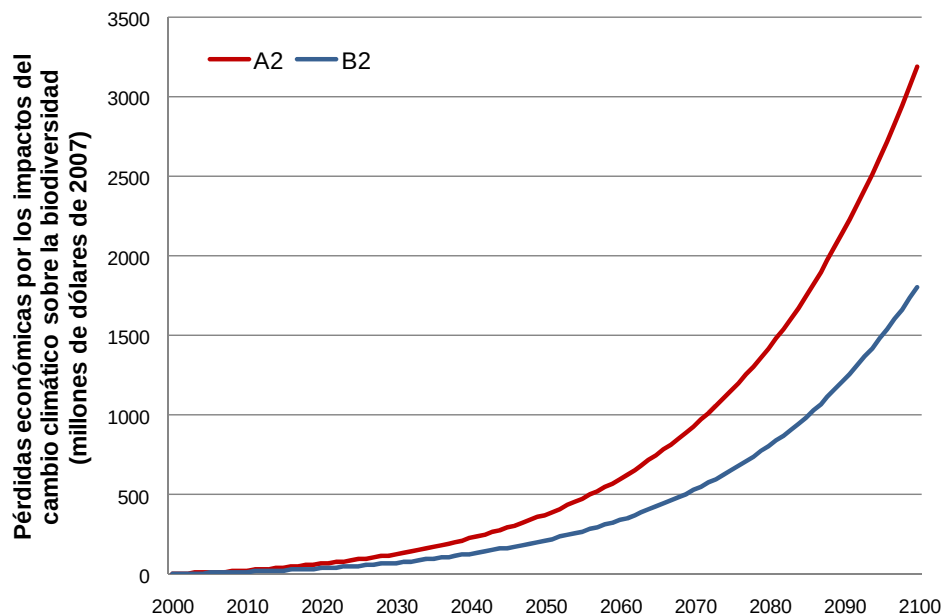
Fuente: Estimación propia.

Nota: Promedios ponderados por la población en cada municipio en 2001.

Para traducir estos porcentajes en números monetarios, se asume que las pérdidas se aumentan linealmente desde 2000 hasta 2100. Esto es una simplificación, que supone que aún pequeños cambios climáticos pueden tener impactos sobre la biodiversidad, porque existen especies que son mucho más sensibles a cambios climáticos que otras. Por ejemplo, especies inusuales que se han adaptado a un nicho ecológico muy particular son más vulnerables a cambios climáticos que especies abundantes y flexibles en sus requerimientos. Especies poco móviles, como árboles, también son más vulnerables que especies más móviles, como aves (Gitay *et al*, 2002).

El escenario base (sin cambio climático) muestra que el consumo total de Bolivia aumentaría exponencialmente de 7.211 millones de dólares el año 2000 a 138.628 millones de dólares en 2100 (ambos medidos en dólares de 2007)¹¹. Aplicando pérdidas de cero por ciento en 2000, aumentando linealmente hasta 2.3% en 2100, se llega a las pérdidas anuales graficados en el Gráfico No. 16. Este gráfico también incluyen las pérdidas calculadas de manera idéntica para el escenario B2, donde las pérdidas en 2100 fueron estimadas a 1.3% del consumo total.

Gráfico No. 16: Costos anuales de la pérdida de biodiversidad por cambio climático (Escenarios A2 y B2)



Fuente: Elaboración propia.

En el escenario A2, las pérdidas económicas que Bolivia sufriría por las pérdidas en biodiversidad causadas por el cambio climático aumentarían exponencialmente hasta llegar a 3188 millones de dólares en 2100, correspondiendo a 2.3% del consumo total del país. En el escenario climático menos drástico, el B2, las pérdidas llegarían a 1802 millones de dólares en 2100, correspondiendo a 1.3% del consumo total del país. Vale la pena notar que las pérdidas no se distribuirían de manera igual en todo el país, sino que serían mucho más fuertes en el altiplano, que experimentaría un proceso muy fuerte de desertificación.

¹¹ Ver Jemio & Andersen (2009).



Las pérdidas acumuladas se pueden representar como un valor neto presente, bajo diferentes supuestos acerca de la tasa descuento (ver el Cuadro No. 10). La suma simple de las pérdidas durante el siglo sería cerca de 75 mil millones de dólares (medido en valores reales de 2007) para el escenario A2 y cerca de 43 mil millones de dólares en el escenario B2. Sin embargo, dado que se espera que la población sea más rica en el futuro y dado que la utilidad marginal del dinero es decreciente, se debe descontar valores futuros con una tasa de descuento positiva¹². Si se aplicaría una tasa de descuento de 2% (lo que corresponde más o menos a la tasa de crecimiento del PIB real per cápita en el largo plazo), se llegaría a un valor neto presente de las pérdidas de 16 mil millones de dólares para el escenario A2 y 9 mil millones de dólares para el escenario B2. Esto correspondería a 125% y 71% del PIB de Bolivia en 2007, respectivamente. Aún con una tasa de descuento muy alta de 12%, se llegaría a un valor neto presente de las pérdidas de 215 millones y 121 millones, respectivamente, en los dos escenarios de cambio climático, en comparación con el escenario sin cambio climático.

Cuadro N° 10: Valor neto presente de las pérdidas económicas que Bolivia podría sufrir por los efectos directos de los cambios climáticos previstos en los escenarios A2 y B2 sobre la biodiversidad, para diferentes tasas de descuento (millones de dólares de 2007)

Escenario climático	0.5%	2%	4%	6%	12%
A2	50.578	16.366	4.398	1.515	215
B2	28.587	9.251	2.486	857	121

Fuente: Estimación propia.

6. Oportunidades para reducir los impactos sobre bosques y biodiversidad

Durante el siglo XXI se prevé la deforestación de alrededor de 33 millones hectáreas de bosque Boliviana alta, que tiene un contenido de CO₂ promedio de 367 toneladas por hectárea (FAO, 2003). Esto significa la emisión de 12 mil millones toneladas de CO₂ del sector de cambio de uso de suelo, lo que corresponde a 200 años de las emisiones actuales totales de Dinamarca o 35 años de las emisiones actuales de España.

La deforestación está vinculada con la expansión de la frontera agropecuaria que tiene impactos positivos en términos de producción de alimentos, generación de empleo, ingresos y exportaciones y reducción de pobreza. Estos aspectos positivos tienen que ser balanceadas contra los efectos negativos sobre la biodiversidad y los servicios ambientales locales y globales brindados por los bosques.

¹² No es obvio cual es la tasa de descuento más apropiada para el propósito, por lo que presentamos resultados en un rango amplio para que el lector pueda escoger.



En general, si no se toma en cuenta los servicios ambientales locales y globales (las externalidades), los beneficios del bosque no pueden competir con los beneficios de las actividades agropecuarias, por lo que los dueños de tierra boscosa prefieren convertirlo a tierra agropecuaria (si tienen los recursos necesarios para convertirlo y cultivarlo).

Sin embargo, se está actualmente negociando mecanismos que podrían ayudar a equilibrar los incentivos, a través de pagos por servicios ambientales. Uno de los componentes más grande de los servicios globales de los bosques es el secuestro de carbono (ver, por ejemplo, Andersen *et al*, 2002), por lo que el mecanismo REDD (Compensación por la Reducción de Emisiones de CO₂ por Deforestación y Degradación) podría volver un mecanismo muy importante para la reducción de deforestación en Bolivia.

En promedio, cada hectárea deforestada aumenta el PIB del país con aproximadamente \$1000 (en valor neto presente con una tasa de descuento de 12.67%¹³), pero unos hectáreas con mucho menos que otros. De acuerdo con una encuesta de establecimientos en la frontera agrícola de Bolivia, más de 80% del área deforestada brinda beneficios mucho menores que el promedio, lo que significa que se podría reducir la deforestación sustancialmente con un costo relativamente moderada en términos de reducción de la producción agropecuaria y reducción en ingresos de los hogares rurales (Andersen, Escobar & Ledezma, 2009). El truco es convencer a los menos productivos a cambiar actividades, pero dejar que los más productivos sigan produciendo productos agropecuarios, o incluso que aumentan sus actividades muy productivas.

Para maximizar los beneficios de las actividades agropecuarios y al mismo tiempo los beneficios de conservación, sería recomendable elaborar (de manera consensuada) un mapa de prioridades de conservación (que toma en cuenta todos los beneficios de conservación – no solamente el secuestro de carbono) y un mapa de prioridades de desarrollo humano (que toma en cuenta el potencial agropecuario de los suelos y el acceso a mercados) y sobreponer los dos para identificar tres tipos de áreas: 1) áreas que debería ser protegidas, 2) áreas que merecen inversión pública para facilitar el desarrollo humano, y 3) áreas dónde existe un conflicto entre los dos objetivos y que por eso necesitan incentivos especiales para resolver este conflicto. Un ejemplo de este tipo de análisis se encuentra en Andersen, Ledezma y Vargas (2006).

Entonces, los fondos que el país podría recaudar a través de mecanismos como REDD, se debería destinar a: 1) inversión pública en áreas que son prioritarias para el desarrollo humano, 2) protección legal y real de las áreas que brindan los mayores beneficios de conservación y 3) incentivos especiales en áreas de conflicto entre los dos objetivos. Estos incentivos especiales pueden incluir inversión en actividades que aprovechan el ecosistema intacto, pero al mismo tiempo generen ingresos (como por ejemplo eco-turismo).

Con esta combinación de políticas se podría llegar a una situación win-win que beneficiaría a todos, incluyendo:

¹³ La tasa de descuento oficial para proyectos públicos de inversión.



- los agricultores menos productivos (que recibirían ayuda para hacer algo que generaría más ingresos para ellos que la agricultura)
- los agricultores más productivos (que recibirían inversión pública – e.g. infraestructura de exportación – que les ayudaría a mejorar aún más su productividad)
- la biodiversidad (por menos deforestación y más protección)
- las poblaciones locales (por menor frecuencia de inundaciones e deslizamientos causados por la deforestación y más acceso a productos y servicios de los bosques)
- el clima global (por menores emisiones de CO₂), y
- las finanzas públicas, porque el país recibiría pagos importantes por los servicios ambientales globales que ahora brindan de manera gratuita.

7. Conclusiones y recomendaciones

En este estudio se ha mostrado que los cambios climáticos previstos por el modelo PRECIS hasta el año 2100 podrían tener impactos muy fuertes para la biodiversidad en Bolivia. Especialmente en el Altiplano donde se prevé un acelerado proceso de desertificación debido a la reducción de precipitación y el aumento en variabilidad de temperaturas sugerido por el modelo PRECIS.

En las tierras bajas, el cambio climático no es la mayor amenaza para la biodiversidad, sino el avance de la frontera agrícola. En el escenario base (sin cambio climático) se puede prever la deforestación de 33 millones hectáreas durante el siglo XXI, lo que deja solamente una cuarta parte de nuestro bosque original.

En total, entre los procesos de deforestación y cambio climático, el nivel promedio de biodiversidad se reduciría a solamente 40% del nivel original, de acuerdo con nuestras estimaciones. Esto no significa que el 60% de los especies vuelvan extintos, ya que muchos especies probablemente sobrevivirán en áreas protegidas, pero significa que, en promedio, habrá sustancialmente menos diversidad de especies en un área dada. A nivel nacional, los procesos de deforestación son responsables de 95% de la reducción en el nivel de biodiversidad, mientras que el cambio climático solamente es responsable de 5%. Sin embargo, en las tierras altas, donde no hay deforestación significativa, el cambio climático sería responsable del 100% de las fuertes reducciones en biodiversidad previstas.

Dado que existe una relación positiva entre el nivel de biodiversidad y el nivel de ingreso/consumo a nivel municipal, se puede estimar las pérdidas económicas que las poblaciones locales sufrirían por la reducción en biodiversidad atribuible al cambio climático (excluyendo las reducciones atribuibles a deforestación). Los cálculos indican pérdidas en el orden de 1.9% del PIB en 2100 a nivel nacional, pero hasta 6% en el departamento de Potosí. Santa Cruz es el único departamento que podría verse beneficiado por un aumento en



biodiversidad atribuible al cambio climático (el modelo PRECIS prevé más precipitación en las áreas secas de Santa Cruz), pero solamente en el orden de 0.2% del PIB.

Referencias

- Adams, J. (2007) **Vegetation Climate Interaction: How Vegetation Makes the Global Environment**. Springer-Praxis Books.
- Almeida, O. T. & C. Uhl (1995) "Developing a quantitative framework for sustainable resource-use planning in the Brazilian Amazon." *World Development* **23**: 1745-1764.
- Andersen, L. E., C. W. J. Granger, E. J. Reis, D. Weinhold & S. Wunder (2002) **The Dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon**. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Andersen, L. E. & C. W. J. Granger (2007) "Modeling Amazon deforestation for policy purposes: reconciling conservation priorities and human development." *Environmental Economics and Policy Studies*, **8**: 201-210.
- Andersen, L. E. (2006) "El Impacto de los Cambios en el Uso de Suelo Sobre la Economía en el Departamento de Santa Cruz." Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 11/2006. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Septiembre.
- Andersen, L. E., J. Escobar & J. C. Ledezma (2009) "Escenarios de Deforestación en Bolivia en Base a Escenarios Socioeconómicos." Documento elaborado para la Oficina de Desarrollo Limpio, La Paz, Bolivia, Enero.
- Andersen, L. E., J. C. Ledezma & M. Vargas (2006) "Un Mosaico de Conservación, Desarrollo Humano y Tensiones en el Corredor Amboró-Madidi." Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 04/2006. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Junio.
- Andersen, L. E., M. Ocampo & M. Vargas (2006) "Conservación y Desarrollo Humano: Un Análisis Dinámico-Cuantitativo del Corredor Amboró-Madidi." Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 03/2006. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Abril.
- Andrade, M. (2009) "Cambios Climáticos en Bolivia hasta 2100: Análisis de los escenarios previstos por el Modelo PRECIS." Documento de Trabajo, UMSA, Laboratorio de Física de la Atmósfera, Diciembre.
- Bolivia (2005) **Bolivia: Atlas estadístico de Municipios 2005**. INE/PNUD, La Paz, Bolivia.
- Boom, B. M. (1987) "Ethnobotany of the Chácobo Indians, Beni, Bolivia." *Advances in Economic Botany* **4**: 1-68.
- Brown, S., M. Hall, K. Andrasko, F. Ruiz, W. Marzoli, G. Guerrero, O. Masera, A. Dushku, B. DeJong & J. Cornell (2007) "Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects" *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **12**(6): 1001-1026.
- Campari, J. S. (2005) **The Economics of Deforestation in the Amazon: Dispelling the Myths**. Cheltenham, UK & Northampton, MA: Edward Elgar Publishing.



- Bradshaw, C. J. A., N. S. Sodhi, K. S.-H. Peh & B.W. Brook (2007) "Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world." *Global Change Biology*, 13: 1—17.
- Cox, P. M., R. A. Betts, C. D. Jones, S. A. Spall & I. J. Totterdell (2000) "Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model." *Nature*, 408: 184–187. (doi:10.1038/35041539).
- Cox, P. M., R. A. Betts, M. Collins, P. P. Harris, C. Huntingford & C. D. Jones (2004) "Amazonian forest die-back under climate-carbon cycle projections for the 21st century." *Theor. Appl. Climatol.* **78**: 137–156. (doi:10.1007/s00704-004-0049-4).
- Dauber, E., J. Terán & R. Guzmán (2002) "Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia." *Revista Forestal Iberoamericana*, **1**(1): 13-23.
- FAN (2005) **Visión de Conservación de la Biodiversidad en el Corredor Amboró-Madidi**. Fundación Amigos de la Naturaleza.
- FAO (2003) **The State of the World's Forests 2003**. UN's Food and Agriculture Organization.
- FRA (2005) **Global Forest Resources Assessment 2005**. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gitay, H., A. Suárez, R. Watson & D. J. Dokken (2002) "Cambio climático y biodiversidad." Documento técnico V del IPCC. Abril.
- Harris, P. P., C. Huntingford & P. M. Cox (2008) "Amazon basin climate under global warming: the role of the seasurface temperature." *Phil. Trans. R. Soc. B*, **363**: 1753–1759. (doi:10.1098/rstb.2007.0037)
- Huntingford, C., R. A. Fisher, L. Mercado, B. B. Booth, S. Sitch, P. P. Harris, P. M. Cox, C. D. Jones, R. A. Betts, Y. Malhi, G. R. Harris, M. Collins & P. Moorcroft (2008) "Towards quantifying uncertainty in predictions of Amazon 'dieback'." *Phil. Trans. R. Soc. B*, **363**: 1857–1864. (doi:10.1098/rstb.2007.0028).
- INE (2005) **BOLIVIA: Proyecciones de Población Urbana y Rural por Departamentos, Sexo y Grupos de Edad, 2000-2030**. Instituto Nacional de Estadísticas, La Paz, January.
- Jemio, L. C & L. E. Andersen (2009) "La Economía Boliviana en el Siglo XXI: Un escenario base elaborado con la ayuda de un Modelo de Equilibrio General Computable (BOLIXXI)." Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 10/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Diciembre.
- Killeen, T. J., V. Calderon, L. Soria, B. Quezada, M. K. Steininger, G. Harper, L. A. Solórzano, & C. J. Tucker (2007) "Thirty Years of Land-cover Change in Bolivia." *Ambio*, **36**(7): 600-606.
- Nowicki, C., A. Ley, R. Caballero, J.H. Sommer, W. Barthlott & P.L. Ibsch (2004) "Extrapolating distribution ranges - BIOM 1.1., a computerized bio-climatic model for the extrapolation of species ranges and diversity patterns." Pág. 39-68. In: R. Vásquez Ch. & P.L. Ibsch (Eds.): **Orchids of Bolivia. Diversity and conservation status**. Vol. 2. Laeliinae, Polystachinae, Sobraliinae with update and complementation of the Pleurothallidinae. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Ozorio de Almeida, A. L. and J. S. Campari (1996) **Sustainable Settlement in the Amazon**. New York: Oxford University Press.



- Ozorio de Almeida, A. L. (1992) **The Colonization of the Amazon**. Austin: University of Texas Press.
- Sommer, J.H., C. Nowicki, L. Rios, W. Barthlott & P.L. Ibisch (2003) "Extrapolating species ranges and biodiversity in data-poor countries: The computerized model BIOM." *Revista de la Sociedad Boliviana de Botánica* 4(1): 171-190.
- USAID (2008) **Bolivia Tropical Forestry and Biodiversity Assessment**. United States Agency for International Development. October 2008.
- Valencia, H. & L. E. Andersen (2009) "Cambios Climáticos en Bolivia hasta 2100: Análisis de los Impactos sobre el Sector Agropecuario." Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 13/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Diciembre.
- Vásquez Ch. & P.L. Ibisch (2004): **Orchids of Bolivia. Diversity and conservation status**. Vol. 2. Laeliinae, Polystachinae, Sobraliinae with update and complementation of the Pleurothallidinae. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra, Boliva.
- Wachholtz, R., J. L. Artola, R. Camargo & D. Yucra (2006) **Avance de la mecanizada en Bolivia**. Superintendencia Forestal, Santa Cruz de la Sierra.