

# Regeneración de funciones ambientales en cuencas de la región andina

*para adaptación-mitigación al cambio climático*





**Regeneración de funciones  
ambientales en cuencas de  
la región andina**  
*para adaptación-mitigación  
al cambio climático*

## Créditos

Carlos Ortuño Yáñez  
Ministro de Medio Ambiente y Agua

Braulio Huaylla Cáceres  
Viceministro de Recursos Hídricos y Riego

### Desarrollo conducción y revisión técnica del estudio:

Armando Rodríguez / Fundación Amigos de la Naturaleza  
Verónica Ibarnegaray / Fundación Amigos de la Naturaleza  
Natalia Calderón / Fundación Amigos de la Naturaleza  
Daniel Villarroel / Fundación Amigos de la Naturaleza

### Especialistas que contribuyeron en diferentes partes del estudio:

Carlos Pinto  
Marlene Quintanilla  
Saúl Altamirano  
Sara Espinoza  
Saúl Cuéllar  
Wolfgang Knorr  
Fabio Cotrina  
Nelly Guerra

### Supervisión:

Neftalí Chapi Siñani / Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego  
Freddy Tenorio / Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego  
Javier Gonzales Iwanciw / HELVETAS Swiss Intercooperation

### Edición:

Rigliana Portugal

### Fotografías:

Proyecto Gestión integral del agua de la Cooperación Suiza en Bolivia/Mauricio Panozo

### Portada:

Proyecto Gestión integral del agua de la Cooperación Suiza en Bolivia/Mauricio Panozo

### Impresión:

Editorial Don Bosco

Esta publicación ha sido producida con apoyo técnico y financiero del Proyecto Gestión integral del agua de la Cooperación Suiza en Bolivia, implementado por HELVETAS Swiss Intercooperation, y del Programa de Bosques Andinos (PBA).

**Nº de Depósito Legal:** 4-1-549-18 P.O.

La Paz, noviembre de 2018

### Disponible en:

Embajada de Suiza en Bolivia  
Cooperación Suiza en Bolivia  
La Paz, Bolivia

Teléfono: +591 2 2751001

[www.edaadmin.ch/lapaz](http://www.edaadmin.ch/lapaz)

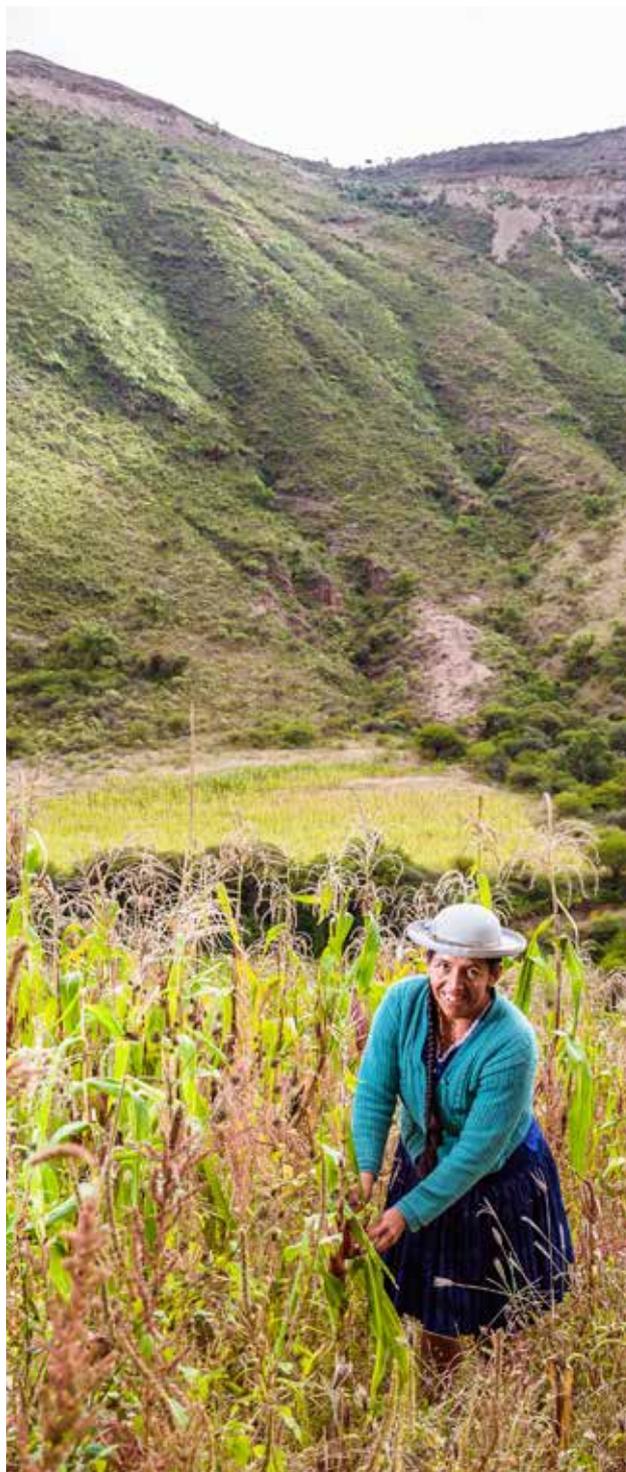
 Embajada de suiza en Bolivia

 Cooperación Suiza en Bolivia



# Contenido

<b>Presentación .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Objetivos y resultados del estudio .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Dinámica espacio - temporal del bosque andino .....</b>	<b>9</b>
<b>4. Evaluación de la vulnerabilidad de los bosques andinos al cambio climático.....</b>	<b>15</b>
4.1. Escenarios de cambio climático.....	15
4.2. Impactos del cambio climático en bosques.....	15
<b>5. Funciones ambientales claves del bosque andino para la mitigación-adaptación al cambio climático .....</b>	<b>23</b>
<b>6. Conclusiones y recomendaciones para la restauración de funciones ambientales como medidas de mitigación-adaptación al cambio climático .....</b>	<b>29</b>
<b>7. Referencias bibliográficas .....</b>	<b>31</b>
<b>ANEXO I</b>	
Descripción de los tipos de bosques andinos de Bolivia.....	33
<b>ANEXO II</b>	
Protocolos de medición .....	47
<b>Índice de siglas y acrónimos.....</b>	<b>51</b>





# Presentación

La regeneración de funciones ambientales del bosque andino entona con objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático.

La protección y restauración de los bosques nativos en las cabeceras de cuenca juega un rol importante para el ciclo y la economía del agua, la protección de la biodiversidad en paisajes andinos y también para el almacenamiento de importantes reservas de Carbono en la vegetación y en los suelos contribuyendo de esta manera a la resiliencia de los ecosistemas y de las comunidades en estos territorios andinos, pero también a la mitigación del cambio climático de una manera integral.

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) ha iniciado una serie de medidas orientadas a aumentar la cobertura forestal de cuencas priorizadas a través de su plan sectorial, planes de inversión pública en acciones de forestación y reforestación, orientados a aumentar la cobertura de bosques tanto nativos para fines de protección de cuencas y “siembra de agua” como a través de plantaciones forestales orientadas a mejorar la economía de las comunidades. La experiencia nos muestra que las cuencas que tienen una buena cobertura forestal, son menos proclives a sufrir situaciones de sequía y también los bosques permiten frenar el agua y aumentar los niveles de infiltración, de esta manera se reduce la probabilidad de enfrentar inundaciones.

Este estudio integra los resultados de escenarios climáticos CMIP 3 y CMIP 5 con un modelo de sensibilidad de bosques LPJ-GUESS para entender de mejor manera los escenarios climáticos en bosques andinos y orientar acciones y políticas de mitigación y adaptación.

Presentamos este documento como una contribución significativa a la discusión de cambio climático en bosques andinos.

**Luis Javier Zubieta Herrera**  
**Director Proyecto**  
**Gestión integral del agua**



# 1. Introducción

La Ley 300 enfatiza el desarrollo integral en armonía y equilibrio con la Madre Tierra, garantizando la continuidad de la capacidad de regeneración de los componentes y sistemas de vida, entre otros, mediante la planificación y regulación de la ocupación territorial y el uso de los componentes de la Madre Tierra, de acuerdo a las vocaciones ecológicas y productivas de las zonas de vida, las tendencias del cambio climático y los escenarios deseados por la población en el marco del Vivir Bien.

Así mismo define un **Mecanismo Conjunto de Mitigación y Adaptación para el Manejo Integral y Sustentable de los Bosques y la Madre Tierra**, de aquí en adelante "**Mecanismo Conjunto**" que busca de manera integral la regeneración de las funciones ambientales del bosque en cuanto a la mantención del equilibrio del ciclo hidrológico, la estabilidad del suelo, la vitalidad de la biodiversidad y, por ende, la robustez del ecosistema para permitir un desarrollo digno y armónico de las comunidades.

Los impactos del cambio climático sobre la vegetación y, en particular, referido a los bosques en la región Andina de Bolivia, han sido poco estudiados. Existe un gran vacío de información detectado para entender de mejor manera la contribución de los bosques como reguladores del ciclo hidrológico y del clima en la región andina de Bolivia, aunque se conoce la contribución de los mismos a los procesos de infiltración, la reducción de la escorrentía en cuencas revegetadas y sobre todo su contribución al aumento de la oferta de agua en las cuencas de otros estudios en la región Andina, en particular Ecuador (p.e. Fleischbein et al.2006; Farley 2007).

Los bosques montanos, también denominados bosques andinos, son considerados ecosistemas terrestres prioritarios para la conservación a nivel mundial, dado que, concentran los niveles de biodiversidad y endemismo más altos del mundo (*hotspots*), encontrándose en peligro debido a la degradación de hábitats naturales, pero también por las alteraciones ambientales, producto del cambio climático.

De forma general, los bosques andinos representan alrededor del 11% del total de áreas boscosas encontradas en los siete países por donde atraviesa la cordillera de los Andes. Así también, se ha estimado que aproximadamente el 21% de la población de estos siete países depende de manera directa del agua y de otros beneficios ecosistémicos que proveen los bosques montanos (Programa de Bosques Andinos 2014).

Altitudinalmente en Bolivia, los bosques andinos se distribuyen a partir de los 600 m, en la zona denominada como preandino, hasta aproximadamente 4.000 m, en la ceja de monte Yungueña (Navarro & Ferreira 2004). A lo largo de este gradiente altitudinal, las condiciones ambientales van cambiando gradual y drásticamente, lo que lleva a la formación de diferentes pisos ecológicos (Navarro & Ferreira 2007).

Dentro de estos pisos ecológicos, los bosques andinos manifiestan cambios, a medida que ascienden altitudinalmente y pasan de uno a otro piso ecológico. Estos cambios se manifiestan en sus atributos de diversidad y riqueza de especies, su estructura y composición, y sus características fisionómicas y fenológicas, todo, como resultado de las variaciones climáticas que ocurren como efecto directo del ascenso de la altitud.



*En la región andina, donde se asienta la cuenca de Sorocachi, los cultivos crecen, Oruro.*

Las variaciones climáticas existentes en los bosques andinos, en función del incremento altitudinal (mayor altitud, menor temperatura) y la humedad y precipitación (mayor rendimiento hídrico en las elevaciones superiores), nos conduce a identificar la importancia de conservación de los bosques andinos que va más allá de simplemente salvaguardar su biodiversidad de especies, lo cual es clave desde una perspectiva de adaptación al cambio climático en el largo plazo, pero también la conservación y restauración de estos ecosistemas tiene una relevancia central para aumentar la oferta de agua en las cuencas, protegiendo el suelo de los procesos erosivos variables que van a ser afectadas por el cambio climático.

Este estudio responde al desafío planteado por la Ley 300 y su Mecanismo Conjunto de ver a los bosques de manera integral. Así mismo, Bolivia ha establecido en su Compromiso Nacional de Cambio Climático (NDC's) una meta global de aumentar las áreas de bosque a través de procesos de forestación, reforestación y regeneración natural en 4.5 millones de Has. hasta el 2030.

El presente estudio apunta a cuantificar y evaluar el impacto del cambio climático sobre los bosques andinos de Bolivia para entender mejor lo que se debe hacer desde una perspectiva de adaptación al cambio climático, pero también para entender la contribución

de estos ecosistemas boscosos para la conservación de importantes sumideros de carbono y para la mitigación del cambio climático.

El estudio ha sido conducido por el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR) y llevado a cabo por la Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN) con el apoyo técnico del Proyecto de Gestión Integral del Agua (GIA) y del Programa de Bosques Andinos (PBA) de la Cooperación Suiza (COSUDE).

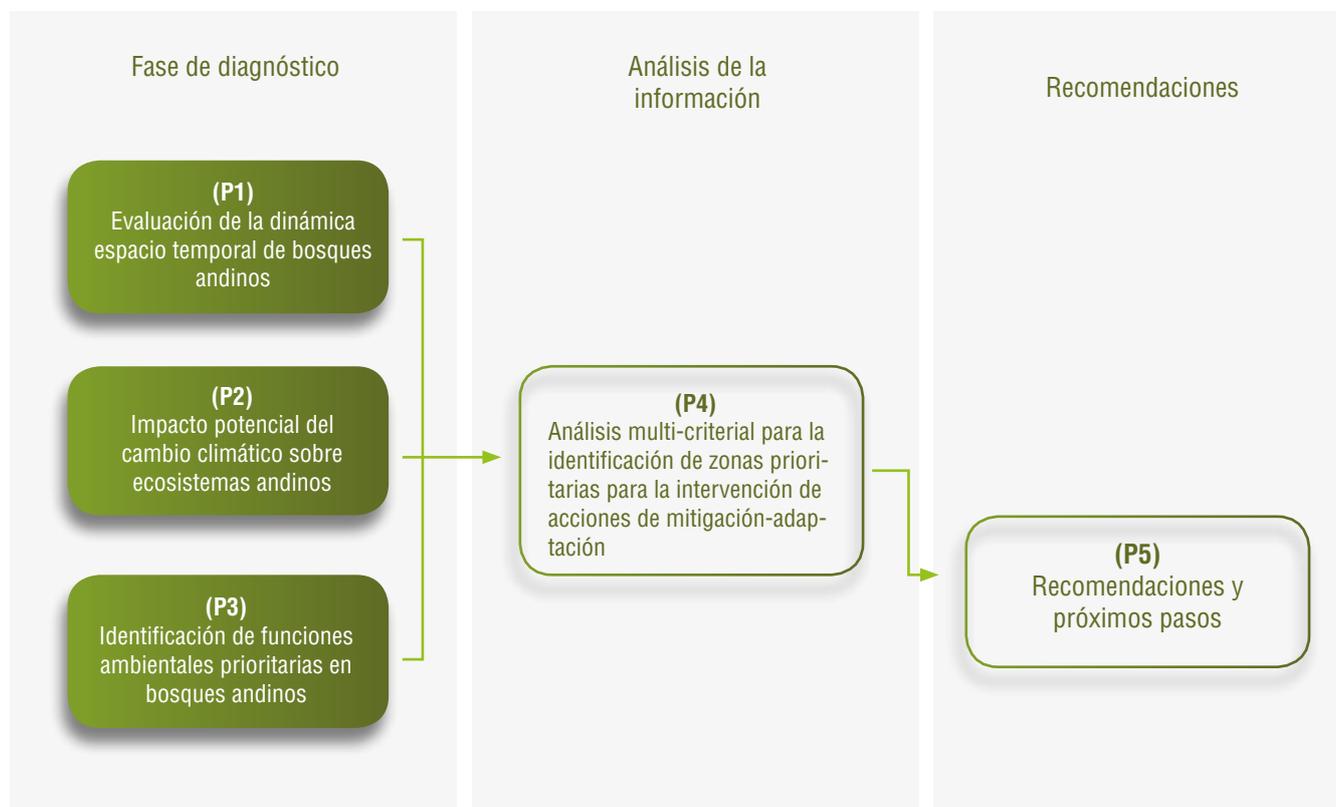
El estudio profundiza el análisis en las cuencas priorizadas por el VRHR, que comprende la cuenca del río Arque, río Azero, río Grande, río Mizque, río Piraí, río Rocha y río Yapacani. En el capítulo 2 se muestra brevemente el esquema metodológico del presente estudio; en el capítulo 3 resumimos los hallazgos relevantes de la dinámica espacio-temporal de bosques andinos, conducentes a definir una línea de base nacional de adaptación-mitigación; en el capítulo 4 resumimos los hallazgos del estudio en cuanto a los impactos potenciales del cambio climático sobre estos ecosistemas andinos; en el capítulo 5 definimos elementos claves de la evaluación de funciones ambientales y en el capítulo 6 integramos los elementos del análisis multi-criterial y de la priorización de medidas. En el capítulo 7 establecemos recomendaciones y próximos pasos.



*Tihuanaku*

## 2. Objetivos y resultados del estudio

Figura 1 Pasos metodológicos del estudio



Este estudio incluye 5 elementos claves para orientar el trabajo de adaptación-mitigación al cambio climático en bosques andinos:

- (P1) Evalúa la dinámica espacio-temporal de los bosques andinos, cuánto bosque se pierde por procesos de deforestación y degradación y cuánto bosque se gana a través de procesos de forestación y reforestación, pero también mediante procesos de regeneración natural;
- (P2) Aplica un modelo de sensibilidad de bosques LPJ-GUESS (Lund-Potsdam-Jena General Ecosystem Simulator) para simular los efectos del cambio climático sobre los bosques andinos;
- (P3) Evalúa el valor de estos bosques desde el punto de vista de funciones ambientales priorizadas: (1) balance hídrico, (2) biodiversidad y (3) balance de carbono (CO<sub>2</sub>);
- (P4) Establece zonas prioritarias para mitigación-adaptación del cambio climático, a través de un análisis multicriterial;
- (P5) Establece recomendaciones y próximos pasos.

**Tabla 1 Métodos y parámetros técnicos de cada uno de los componentes del estudio**

<b>(P1) Evaluación de la dinámica espacio-temporal de bosques andinos</b>	<b>(P2) Impactos potenciales del cambio climático sobre ecosistemas andinos</b>	<b>(P3) Identificación de funciones ambientales prioritarias en bosques andinos</b>
<p><b>Métodos:</b>                      Clasificación multitemporal del NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) para los periodos 2000-2005-2010-2015.                      La validación de áreas de regeneración natural mediante evaluación o medición de campo.                      Asignación a tipos de bosque como resultado de la sub-estratificación del mapa de vegetación y el mapa de zonas de vida basada en la interpretación de un experto botánico.</p>	<p><b>Métodos:</b>                      Análisis de 35 modelos de circulación general (MCG) y escenarios de cambio climático para Bolivia. 12 modelos correspondientes al proyecto CMIP5 y 23 modelos a CMIP3, incluidos en (AR4) y (AR5) del IPCC.                      Dos escenarios RCP (RCP4.5 y RCP8.5)<sup>1</sup> y tres escenarios SRES (B1, A1B y A2)<sup>2</sup>                      La aplicación de un modelo dinámico de vegetación LPJ-GUESS para evaluar la sensibilidad de los bosques andinos al cambio climático.</p>	<p><b>Métodos:</b>                      Cálculo del balance hídrico a partir de la diferencia de la evapotranspiración y la precipitación (Allen et al., 1998);                      La cartografía del almacenamiento de carbono en los bosques andinos fue trabajada en base al mapa de biomasa generado por el Woods Hole Research Center<sup>1</sup>                      El mapeo de los patrones de biodiversidad se realizó a través del Mapa de Riqueza Potencial de Especies generado por FAN (2011).</p>
<p><b>Datos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.450 escenas Imágenes Landsat 5 (2000 - 2012); Landsat 7 (2000 - 2016) y Landsat 8 (2013 - 2016). Procesadas en Google Earth Engine</li> <li>• (<a href="https://explorer.earthengine.google.com/#search/landsat%20toa%20fmask">https://explorer.earthengine.google.com/#search/landsat%20toa%20fmask</a>);</li> <li>• Unidades de vegetación / Mapa de vegetación de Bolivia, 2007 (<a href="http://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/bc43dd48-76a5-44a383c3-9814bff3b6cd">http://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/bc43dd48-76a5-44a383c3-9814bff3b6cd</a>);</li> <li>• Mapa de Zonas de Vida de Bolivia, 2016 (<a href="http://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/f379acf3-c13d-4f749dd2-73327b541b18">http://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/f379acf3-c13d-4f749dd2-73327b541b18</a>);</li> <li>• Información anual de cambio de cobertura forestal del 2000 al 2014 (<a href="http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download_v1.2.html">http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download_v1.2.html</a>);</li> <li>• Mapa de incendios forestales 2000 hasta el 2015 (<a href="http://incendios.fanbo.org/Satrito/mapa-interactivo">http://incendios.fanbo.org/Satrito/mapa-interactivo</a>).</li> </ul>	<p><b>Datos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos de temperatura, precipitación (SENAMHI);</li> <li>• Datos de radiación de onda corta (MERRA-NASA) (<a href="http://disc.sci.gsfc.nasa.gov">http://disc.sci.gsfc.nasa.gov</a>);</li> <li>• Datos de CO<sub>2</sub> (<a href="http://www.iiasa.ac.at">http://www.iiasa.ac.at</a>) y (<a href="http://www.esrl.noaa.gov/gmd/">http://www.esrl.noaa.gov/gmd/</a>);</li> <li>• Base de Datos armonizada de los Suelos del Mundo de la FAO (2012).</li> </ul>	<p><b>Datos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo de Elevación Digital (SRTM), (<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>), mapa de cobertura de uso actual (<a href="http://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/29b65b56-e5a1-4e58b954-bd52d043a55c">http://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/29b65b56-e5a1-4e58b954-bd52d043a55c</a>); radiación solar a partir del mapa de elevación digital; base de datos climáticos Worldclim; Tropical Rain Measurement Mission (TRMM, NASA 2015) (<a href="https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm">https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm</a>),</li> <li>• Capa de biomasa, resolución espacial de 500m de Woods Hole Research Center (WHRC) (<a href="http://whrc.org/publications-data/datasets/pantropical-national-levelcarbon-stock/">http://whrc.org/publications-data/datasets/pantropical-national-levelcarbon-stock/</a>).</li> <li>• Bases de datos y registros de biodiversidad</li> <li>• El mapa de riqueza de especies (FAN, 2011), actualizados a partir de las colectas de estudios recientes en la región.</li> </ul>

1 Los escenarios RCP son trayectorias de concentración representativas y se refieren al posible aumento global de energía radiativa en W/m, donde RCP8.5 es el escenario más extremo que supone un aumento de 8.5 W/m para el año 2100. Los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 resultan en concentraciones de 650 ppm y 1370 ppm, respectivamente.

2 Los escenarios de emisiones SRES están basados en trayectorias socioeconómicas y difieren en las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> equivalente. Los escenarios SRES B1, A1B y A2 comprenden concentraciones de CO<sub>2</sub> equivalente de 600 ppm, 850 ppm y 1250 ppm para el año 2100

## Protocolos de medición

Para llevar a cabo mediciones de biomasa, biodiversidad y disponibilidad de agua en áreas seleccionadas se ha diseñado y validado protocolos de medición de

datos, los mismos que fueron validados en 6 puntos de muestreo distribuidos dentro de cuatro cuencas seleccionadas (Tabla 2). Los instrumentos sugeridos se encuentran en los anexos II y III.

**Tabla 2 Ubicación de puntos de muestreo dentro**

Punto de muestreo	Cuenca/sub cuenca	Municipio	Comunidad	Latitud S	Longitud O	Altitud (m)
P1	Río Piráí	Samaipata	Chorolque	18°10'65"	63°87'54"	2220-2390
P2	Río Yapacaní	Mairana	Piedra Meza	17°86'78'	64°04'59'	1170-1240
P3	Río Grande	Vallegrande	Palmarito	18°60'57"	64°10'29"	2104-2130
P4	Río Grande	Vallegrande	Guadalupe	18°55'43"	64°10'14"	1985-2020
P5	Río Mizque	Comarapa	Laguna Verde	17°87'65"	64°51'46"	2300
P6	Río Mizque	Pasorapa	Yaju Pampa	18°71'67"	64°59'16"	1340-1360

El diseño incluye:

- Diseño y ubicación de parcelas para realizar mediciones de línea base y de monitoreo de los efectos de medias integrales de mitigación – adaptación en bosques.
- Diseño de protocolos de medición en base a estándares metodológicos.
- La validación de estos protocolos en el trabajo de campo, incluyendo la factibilidad de instalación de las parcelas de muestreo, campaña de socialización sobre el alcance y propósito del estudio en los sitios priorizados, además de gestionar los correspondientes permisos de ingreso a los sitios de instalación con dueños o representantes de los terrenos de instalación.
- Y el análisis y almacenamiento de datos que incluye fotografías, puntos GPS y tablas de datos se organizarán por número de parcela, dentro de cada carpeta para cada variable analizada.



*A los pies de la imponente cuenca, comunarios de Esquencachi agradecen asentados en sus cultivos. Potosí.*



### 3. Dinámica espacio - temporal del bosque andino

La delimitación de bosques andinos determinó que la superficie total para el año 2000 es de 10.110.820 de Has., un 25% más de bosque (casi 3 millones de hectáreas) que las consideradas en el mapa forestal de la DGGDF (2013).

De las 36 unidades de bosque definidas, 13 corresponden a la zona Boliviano - Tucumano (norte, centro y sud), 12 tipos de bosques pertenecen a la zona de los Yungas, 7 tipos de bosques a la zona puneña y 4 tipos de bosques a la zona prepuneña (Ver figura 2), en el Anexo I se describen estas unidades.

La superficie de bosques andinos se extiende principalmente en el departamento de La Paz, con más de 3.3 millones de hectáreas, que representan un 33.4% del total de la superficie de bosques andinos del país. Los departamentos de Chuquisaca, Santa Cruz, Cochabamba y Tarija concentran el 20% (más de 2 millones de Has.), 19.3% (1.9 millones de Has.), 16.0% (1.5 millones de Has.) y 10.4% (1 millón de Has.) de bosques andinos, respectivamente. Beni y Potosí llegan a tener 0.8 y 0.4% (75 mil y 41 mil Has.).

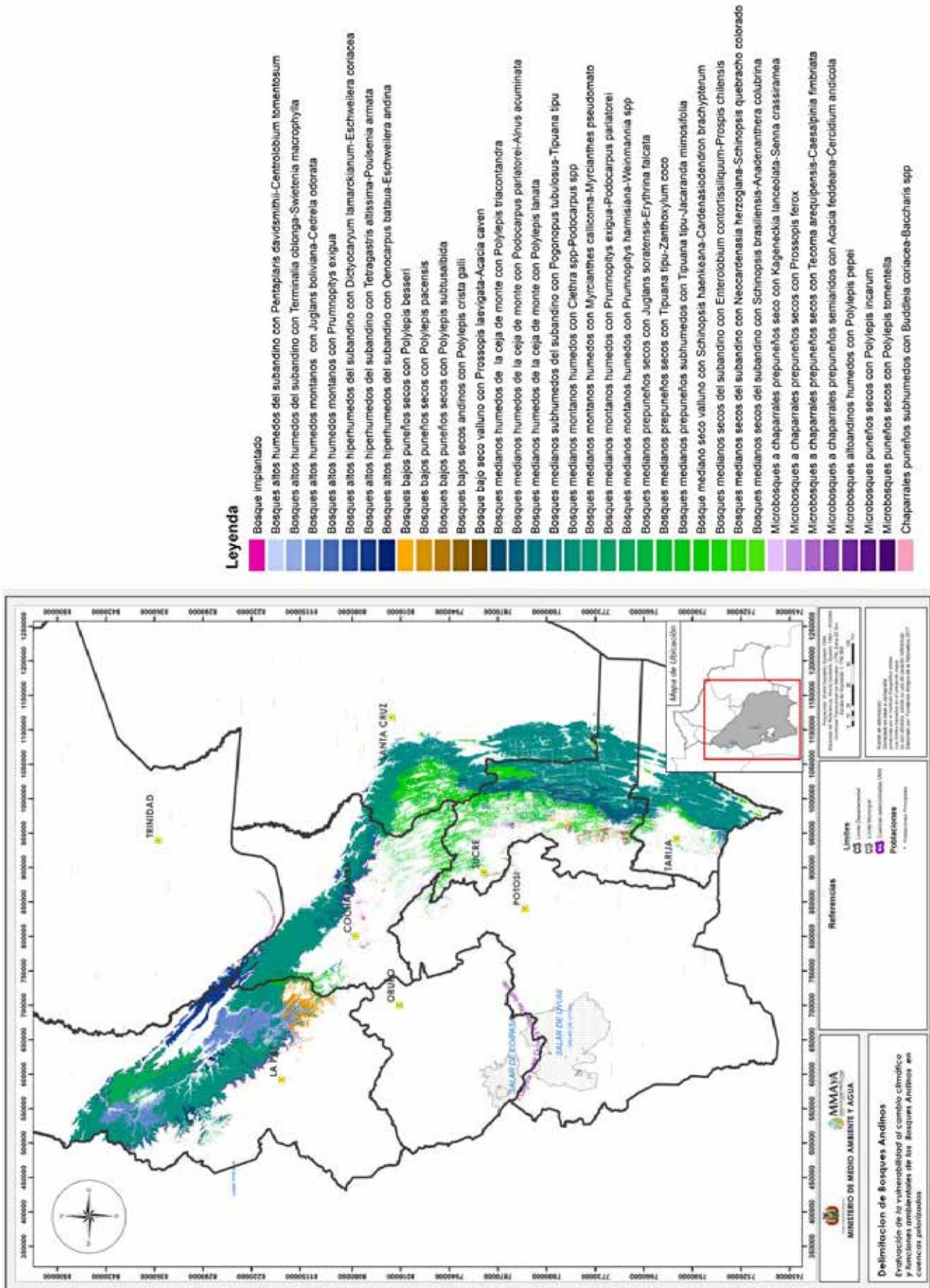
De las 7 cuencas priorizadas por el VRHR (río Arque, río Azero, río Grande, río Mizque, Río Piraí, río Rocha y río Yapacani), la cuenca del río Grande reportó la mayor superficie de bosques andinos, abarcando más de 2.3 millones de Has., que representan el 23% del total de la cuenca. La cuenca de Yapacani comprende 426 mil Has. de bosque andino, que abarcan casi la mitad de la superficie total de la cuenca (49%). La cuenca del río Azero cuenta con 322 mil Has., que representan el 57% del total de su superficie. Las demás cuencas tienen una superficie menor a 150 mil hectáreas, que no supera el 10% de la superficie total de las cuencas.

Los bosques medianos subhúmedos del subandino con *Pogonopus tubulosus*-*Tipuana tipu* y bosques medianos montanos húmedos con *Clethra spp*-*Podocarpus spp* tienen la mayor representación dentro de la región andina, con el 30% y 27%, respectivamente seguidos del bosque mediano seco valluno con *Schinopsis haenkeana*-*Cardenasiodendron brachypterum*, que representa el 10%.



*Los plantines de pino son celosamente cuidados por las mujeres de Tarvita, Chuquisaca.*

Figura 2 Mapa propuesto de bosques andinos de Bolivia





*El río Azero, ubicado en Chuquisaca, es un caudal importante de aguas claras. Foto: Grover Linares, 2011*

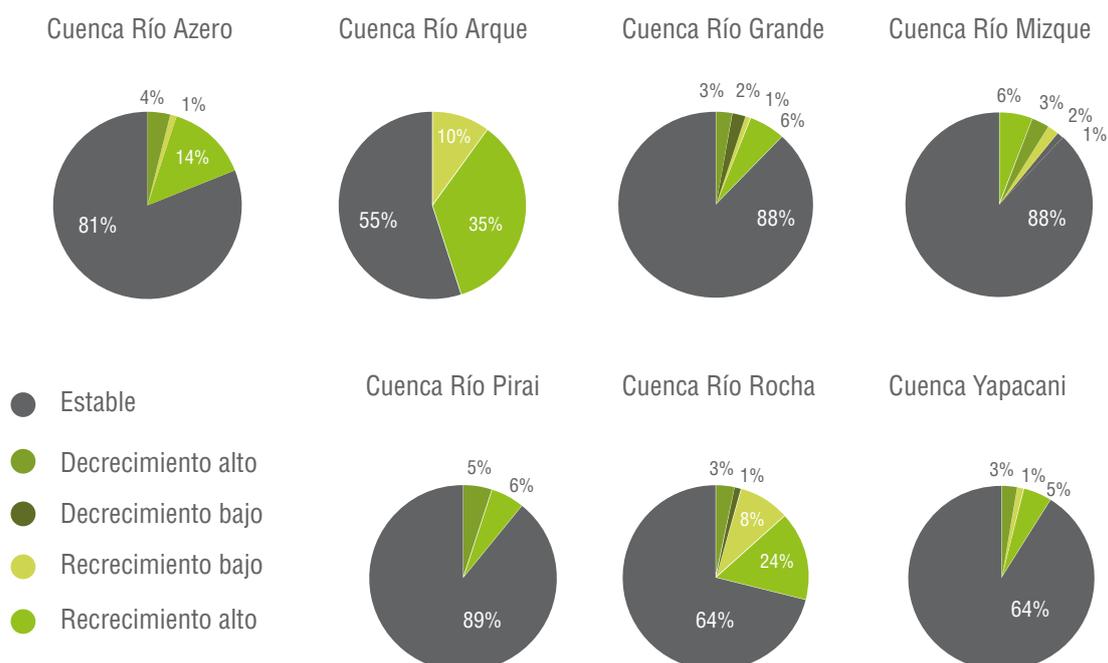
### **Cambios observados en los bosques (periodo 2000 – 2016)**

Del total de bosques andinos, un 80% de los bosques muestra estabilidad en la condición de crecimiento natural de la vegetación. Es decir, gran parte del área de bosque andino no presenta afectaciones por condiciones climáticas o por actividades antrópicas. Esta vegetación sigue un comportamiento natural respecto a los ciclos fenológicos analizados en la serie temporal de NDVI para cada tipo de vegetación. El restante 20% de los bosques muestra cambios en las tendencias de las series temporales; es decir, que estos cambios pueden ser tanto en el decrecimiento de su productividad, como en incremento en la productividad de la vegetación. Estos cambios se dan a diferentes magnitudes; pueden ser drásticos con pendiente pronunciada en cuanto a los valores del NDVI o paulatino, con poca pendiente en cuanto a los cambios en los valores del NDVI. De esta porción, un 68% de la vegetación, equivalente a 1 millón de hectáreas, muestra una tendencia de decaimiento de su productividad, esto puede deberse, entre otros a variaciones en las condiciones climáticas (precipitación, humedad). El otro 3% muestra cambios

más abruptos, lo cual responde principalmente a las acciones antrópicas como la deforestación y degradación por incendios forestales. Por otro lado, existen procesos de regeneración de la vegetación que llegan a ser de un 29% de la superficie de cambio, es decir, a unas 420.000 Has.

Dentro de las cuencas priorizadas, en general se observa que gran parte de la superficie de bosques están en condiciones estables; es decir, sin cambios significativos en el comportamiento fenológico de la vegetación. Un incremento importante en la productividad de la vegetación se observa en las cuencas Arque (35%), Azero (14%) y Rocha (24%). Las cuencas que muestran un proceso de pérdida o ruptura de los ciclos fenológicos de la vegetación en al menos 4% son las cuencas del río Piraí, Rocha, río Grande, Mizque y Yapacaní (figura 3).

**Figura 3. Dinámica del bosque en las cuencas estudiadas (2000 – 2016)**

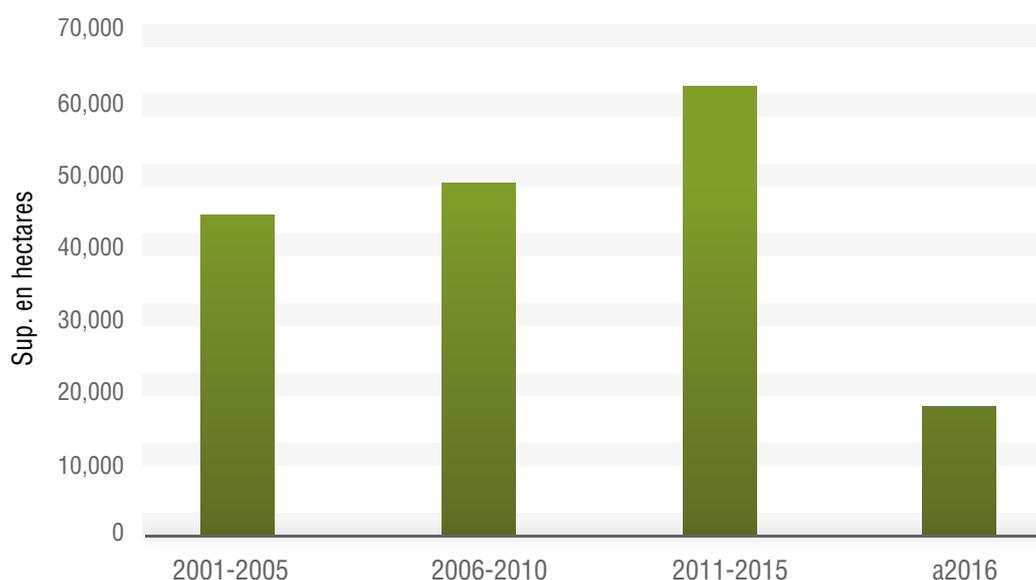


**Pérdida de bosques andinos por deforestación.**

Durante los 16 años de análisis se detectó una pérdida de 4% del total de los bosques andinos, hasta el 2016. El periodo de mayor pérdida de bosque sucedió de 2011-2015, con un total de más de 63 mil hectáreas. Sólo para el 2016 se perdieron más de 17 mil hectá-

reas de bosque andino. A nivel departamental, La Paz concentra el 32% (más de 55 mil hectáreas) de la deforestación registrada en los bosques andinos. Le siguen Santa Cruz y Chuquisaca con 25% (43 mil hectáreas) y 22% (38 mil hectáreas) respectivamente.

**Figura 4. Pérdida de superficie boscosa (2000 – 2016)**



El tipo de bosque que se vio más afectado fue el “bosque mediano subhúmedo del subandino con Pogonopus tubulosus-Tipuana tipu”, con una pérdida del 40% del total de pérdida bosques andinos, hasta el 2016.

La mayor pérdida de bosques andinos dentro de las cuencas priorizadas se detectó en la cuenca del río Grande (47mil hectáreas), representando el 2% del total de bosques andinos dentro de la cuenca. La

cuenca que perdió más área del remanente de bosque andino es la cuenca del río Piraí con 4 mil hectáreas de bosque andino, siendo el 3% del total de bosques de la cuenca.

A continuación, se presenta una lista de los 5 tipos de bosque más afectados por la deforestación dentro del periodo de análisis. Estas cinco clases concentran un 82% del total de pérdida de bosques hasta el 2016.

**Tabla 3 Pérdida de bosque por tipo de vegetación (superficie en Has.)**

N°	Denominación	2001 2005	2006 2010	2011 2015	2016	Sup. total	%
1	Bosques medianos subhúmedos del subandino con Pogonopus tubulosus Tipuana tipu	18,234	17,936	28,061	5,689	69,920	40.33
2	Bosques medianos montanos húmedos con Clethra spp-Podocarpus spp	6,619	11,404	12,374	3,651	34,048	19.64
3	Bosques altos húmedos montanos con Junglans boliviana - Cedrela odorata	4,990	5,285	4,617	1,889	16,781	9.68
4	Bosques medianos húmedos de la ceja de monte con Podocarpus parlatorei-Alnus acuminata	3,498	2,002	4,722	1,082	11,304	6.52
5	Bosque mediano seco valluno con Schinopsis haenkeana-Cardenasiodendron brachypterum	2,155	1,814	3,767	1,638	9,374	5.41



*La plantación de trigo crece imponente en Tajzara, Tarija.*



# 4. Evaluación de la vulnerabilidad de los bosques andinos al cambio climático

## 4.1. Escenarios de cambio climático

El primer tema a encarar cuando se evalúa el impacto de los futuros cambios climáticos para Bolivia (ej. Seiler et al. 2015) es la gran dispersión entre modelos y la incertidumbre general que rodea las simulaciones del cambio climático p.e. los MCG aún no reproducen de manera satisfactoria procesos atmosféricos vinculados a oscilaciones oceánicas (ENSO y ODP); sin embargo, existen ciertas tendencias confluyentes.

### Temperatura

Los cambios simulados de temperatura generalmente concuerdan entre las simulaciones MCG y MCR. Si las actuales emisiones de gases de efecto invernadero no empiezan a disminuir de manera notoria, la temperatura a lo largo de Bolivia probablemente aumentará en 2°C o más hacia mitades de siglo. Algunos MCG y MCR simulan que el calentamiento va a ser el máximo a mayores altitudes de la región andina, pero también los modelos muestran una tendencia a un mayor calentamiento en las tierras bajas del norte, si se da un desecamiento sustancial de la cuenca del Amazonas.

No obstante, si usamos una tasa local de caída de 4.4°C de disminución de calor por un aumento de 1.000 m en la altitud (Seiler et al. 2014), entonces un desplazamiento ascendente del nivel de congelamiento de 500 m hasta mediados de siglo y 1.000 m hasta finales de siglo, es una posibilidad realista. Esto tendrá importantes consecuencias en el derretimiento de los glaciares y el suministro de agua en el Altiplano, pero también conduce a un desplazamiento altitudinal positivo de los bosques andinos.

### Precipitaciones:

El resultado más probable para la precipitación, de acuerdo con las proyecciones disponibles, indica que no existe o existe muy poco cambio. No obstante, son más los modelos que muestran un desecamiento de la cuenca del Amazonas que un aumento en la humedad. Para la región Andina, también existe algún riesgo de disminución de las precipitaciones como se muestra en la mitad de las proyecciones CMIP5, pero que también está simulado en la mayoría de los MCR. Esto le da un peso extra a la posibilidad de desecamiento de la

región Andina. Se ha simulado mayor sequedad en la temporada de lluvias con muchos modelos regionales, pero los modelos CMIP5 que aquí se analizan (y aquellos incluidos anteriormente por (Seiler et al., 2013) mostraron en promedio un aumento de la humedad hacia el final de la temporada de lluvias y un desecamiento hacia el final de la temporada seca, aunque en menor medida. (Seiler, 2009) simuló también una intensificación de las variaciones estacionales de la precipitación usando PRECIS. Para las tierras bajas las proyecciones tienden más hacia un desecamiento durante la temporada de lluvias. Y, finalmente, existe la posibilidad de que la deforestación en la Amazonía continúe causando un calentamiento adicional en las tierras bajas del norte de Bolivia, con una disminución de la humedad principalmente durante la temporada lluviosa. Esto revitalizaría y reforzaría una tendencia general hacia el desecamiento. El presente análisis no confirma el aumento en la precipitación proyectada por el conjunto CMIP5 de (Seiler et al., 2013b) para la región de los Andes, sino que más bien muestra un mayor riesgo de declinaciones que de incrementos, aunque por un margen muy pequeño. Existe un pequeño, pero no despreciable riesgo de desecamiento para los Yungas Peruano Boliviano hacia mitades de siglo, el cual puede impactar la ecología de la región. Esto, no obstante, varía bastante dependiendo en los detalles topográficos, ya que algunas partes del área reciben altos volúmenes de lluvia (Seiler et al. 2014). Para el bosque Boliviano - Tucumano, existe también una mayor probabilidad estimada de disminuciones de la precipitación y siendo que el área ya es comparativamente seca, esto puede presentar un riesgo para este ecosistema.

## 4.2. Impactos del cambio climático en bosques

La evaluación se basa en simulaciones de modelos climáticos CMIP5 (Tabla 4) y un análisis de impactos climáticos proyectados bajo los dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero RCP4.5 y RCP8.5, vinculados al modelo dinámico de vegetación LPJ-GUESS (Lund Potsdam Jena General Ecosystem Simulator).

**Tabla 4 Conjunto de CMIP5 GCM utilizados en este estudio para la generación de los modelos dinámicos de vegetación (LPJ-GUESS)**

1	D	CNRM Coupled Global Climate Model versión 5 (CNRM-CM5)
2	E	CSIRO Mark 3-6-0 model (CSIRO-MK360)
3	F	EC Earth Consortium Climate Model (EC-EARTH)
4	H	GFDL Earth System Model CM3 (GFDL-ESM-CM3)
5	J	GISS Model E2 with Russel ocean model ( GISS-E2-R)
6	L	HADGEM2 (Earth System)(HadGEM2-ES)
7	N	IPSL Coupled Model version 5, coupled with NEMO ocean model, low resolution (IPSL-CM5A-LR)
8	S	Max Planck Institute Earth System Model at base resolution (MPI-ESM-LR)
9	T	MRI version 3 (MRI-CGCM3)

El objetivo es evaluar cómo el cambio climático podría afectar la composición de los bosques andinos, sus límites geográficos y sus flujos de carbono, nitrógeno y agua, así como también el efecto sobre los ecosistemas con los que entra en contacto en sus límites superiores e inferiores.

El modelo LPJ-GUESS (Smith et al., 2001) permite la simulación de ecosistemas hasta el nivel de especies individuales, siempre que haya suficientes observaciones. LPJ-GUESS se ha utilizado para simular especies únicas, así como grupos funcionales de especies para ecosistemas templados y boreales (Badeck et al., 2001, Hickler et al., 2004, Gritti et al., 2006). La diversidad mucho más alta de ecosistemas tropicales hace que actualmente sea imposible resolver una sola especie para Bolivia, por lo tanto, el presente estudio utiliza tipos funcionales de plantas (PFT) para repre-

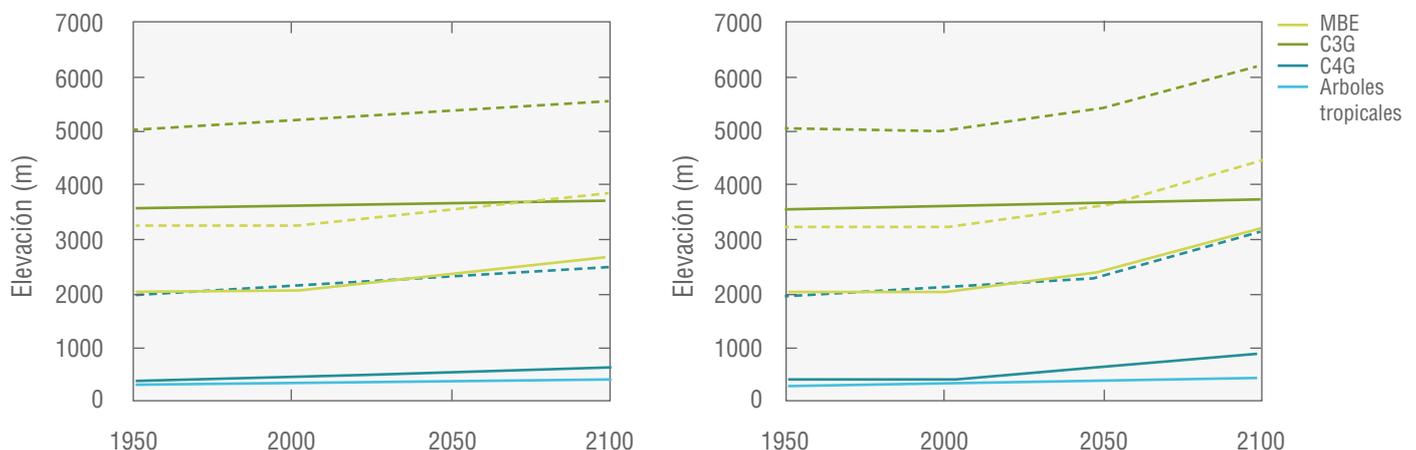
sentar amplias gamas de especies, implementadas en la última versión global de LPJ-GUESS que incluye ciclos de carbono y nitrógeno (Smith et al. 2014).

**A. Variaciones altitudinales:**

La variación altitudinal es el factor más importante para la delimitación de los tipos potenciales de vegetación en Bolivia (Seiler et al. 2014).

Para el escenario extremo de cambio climático (RCP8.5) las simulaciones muestran un movimiento ascendente claramente acelerado de todos los tipos de vegetación (Figura 5). Entre 2000 y 2050, este cambio ascendente es similar entre RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha), pero entre 2050 y 2100 hay marcadas diferencias entre los escenarios, y se proyecta un movimiento ascendente mucho más acelerado para el escenario RCP8.5.

**Figura 5 Rango altitudinal proyectado (líneas continuas) y máximas (líneas discontinuas) para bosques montanos latifoliados siempre verdes (MBE), herbáceas (C3G) y (C4G) y tipos funcionales restantes de plantas (p.e. árboles tropicales de las tierras bajas)**



Igualmente importante que la elevación promedio sea del rango de altitud a la cual los árboles montanos se proyectan como el tipo de planta dominante. A medida que la línea de árboles se mueve hacia arriba, causando invasión de leñosas en las praderas sobre el bosque montano, los árboles tropicales invaden el ecosistema desde abajo. La mayoría de los GCM proyectan que la elevación mínima del ecosistema dominado por los árboles montanos se desplaza hacia arriba en 300 m, moviéndose de 620m (2000) a 890 m (RCP4.5), o 940m (RCP8.5) para 2050. Pero también hay una gran dispersión que incluye un cambio de alrededor de 0 (2/9 modelos para RCP4.5, 1/9 para RCP8.5) y aumenta en 500 m (1/9 modelos). Las proyecciones del límite superior de elevación del bosque montano también muestran una gran extensión, que va de 100 a 700m. El promedio del conjunto aumenta de 3.180m en 2.000m a 3.430m para ambos escenarios RCP. Las proyecciones de la elevación máxima absoluta donde ocurren los árboles de montaña muestran el rango más alto, desde 0 y 700m para RCP4.5 y 100 y 700m para RCP8.5. El desplazamiento proyectado hacia arriba del bosque montano es, por supuesto, una abstracción y en realidad se espera que los diferentes tipos de bosques montanos (bosque nuboso montano bajo y alto, bosque nuboso subalpino para el caso de los Yungas, (Gerold et al, 2008)) cada uno se desplazará hacia arriba en la elevación.

## **B. Cambios en la distribución de tipos funcionales de plantas:**

De los tres ecosistemas identificados para las tierras altas, la Puna tiene el menor cambio proyectado, estando cubierta casi en un 100% por herbáceas. Sólo bajo el escenario RCP8.5 y hasta el año 2100 será desplazada considerablemente por la vegetación leñosa, principalmente debido a los aumentos de temperatura y al avance correspondiente de la línea de árboles.

Las proyecciones obtenidas para el Boliviano - Tucumano muestran una disminución en los tipos fríos adaptados de siempre verdes y herbáceos y una invasión ascendente de la vegetación tropical, tanto perenne como decidua. Entre 2050 y 2100, la ocurrencia de herbáceos sigue siendo la misma para el escenario RCP4.5, pero disminuye bajo el escenario RCP8.5. El mecanismo subyacente que causa una disminución de plantas herbáceas adaptadas a la sequía bajo altas concentraciones de CO<sub>2</sub> ha sido bastante documentado para las sabanas africanas (Buitenwerf et al. 2012), donde se determinó que, una mayor concentración de CO<sub>2</sub> aumenta la eficiencia del uso del agua de las plantas, por lo que las herbáceas perderían su ventaja comparativa sobre las otras especies y, por lo tanto, disminuirá su superficie en 2100 bajo el escenario RCP8.5 (con niveles atmosféricos de CO<sub>2</sub> que alcanzarán valores muy por encima de 900 partes por millón). Por el contrario, según el escenario RCP4.5, hasta el 2100 la superficie ocupada por herbáceas aumentará, principalmente debido a la disminución de la precipitación. Este escenario indicaría

una expansión de la vegetación xerofítica adaptada a la sequía de la región Boliviana - Tucumana. Con respecto a los Yungas Peruano Boliviano, éstos estarían conformados por una mezcla de árboles montanos latifoliados y siempre verdes y árboles tropicales latifoliados siempre verdes, con algunas inclusiones de herbáceas, la cual correspondería realmente a bosques nubosos subalpinos, que contienen tanto árboles como arbustos escleromórficos conjuntamente con pastos (Gerold et al. 2008). Las proyecciones para 2000 y 2050 muestran que, los árboles tropicales siempre verdes aumentarán su superficie aproximadamente de 44 a 50%, y las herbáceas disminuirán de aproximadamente 25% hasta un 15%. Así también, los árboles perennes tropicales intolerantes a la sombra aumentarán su superficie actual de aproximadamente 30 a 34% (RCP4.5) o 36% (RCP8.5) hasta el 2100.

## **C. Cambios en el balance hídrico y en la eficiencia en el uso del agua:**

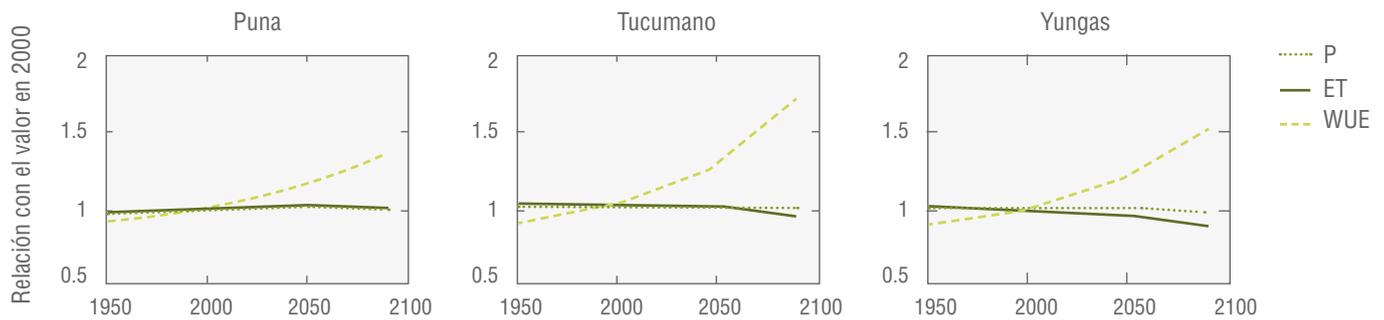
Se espera que esta eficiencia del uso del agua aumente teóricamente a través del aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico y el aumento de la sequía. El agua que no se transfiere a la atmósfera por evapotranspiración, eventualmente se convierte en escorrentía.

La eficiencia en el uso del agua aumenta en casi un 70% entre 2.000 y 2.090 para el bosque Boliviano - Tucumano y alrededor del 50% en los Yungas Peruano Boliviano, bajo el escenario RCP8.5 (Figura 6).



*¡Gran cosecha de zapallo en Jatún Mayu! Cochabamba*

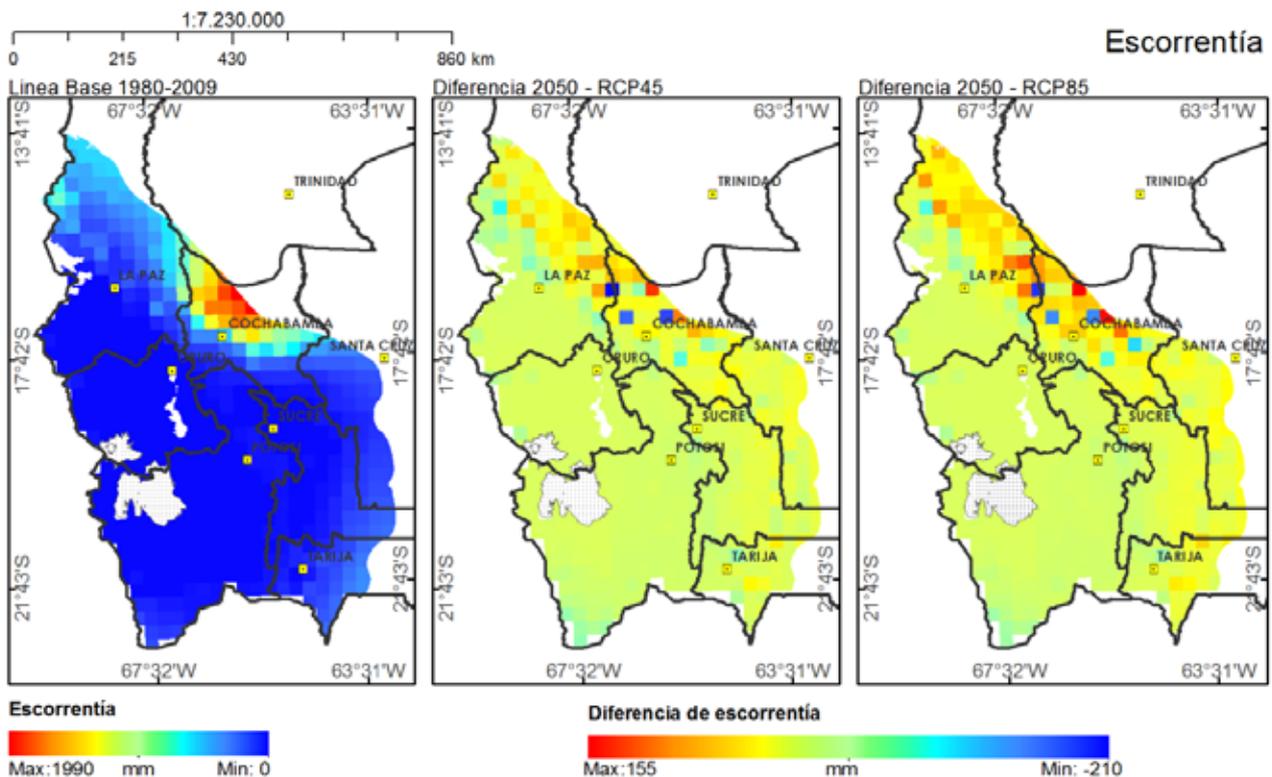
**Figura 6. Precipitación (P), evapotranspiración (ET) y eficiencia en el uso del agua (WUE) en relación con el valor en 2000, para RCP8.5 promedios del conjunto MCG**



Los aumentos en el promedio climatológico de la escorrentía, de hasta un 40%, están por lo tanto dentro del rango plausible de proyecciones futuras, especialmente para RCP8.5. Al mismo tiempo, aunque la mayoría de las proyecciones muestran aumentos en

la escorrentía, no puede excluirse que la escorrentía disminuya sustancialmente en un 20% o incluso un 40%, lo que impactaría gravemente el suministro de agua en las zonas pobladas aguas abajo y provocaría sequías más frecuentes.

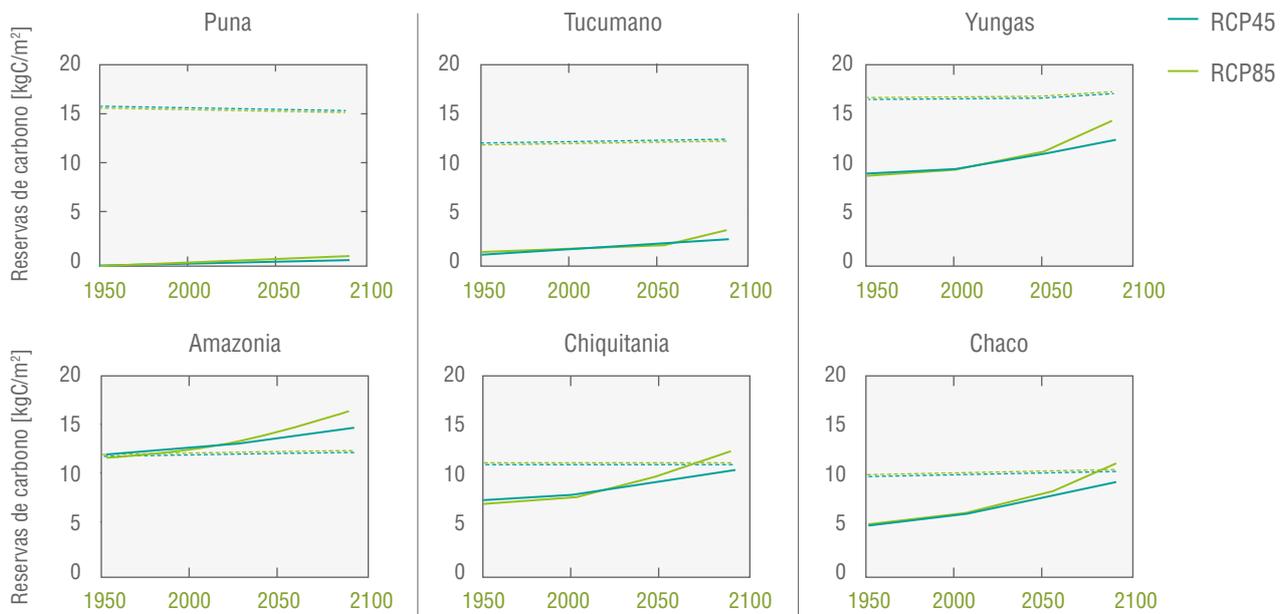
**Figura 7. Media de la escorrentía anual simulada del conjunto en mm 1980-2009 (izquierda) y cambio en la escorrentía anual 2050 (centro: RCP4.5; derecha: RCP8.5) para la región de bosques andinos**



#### D. Cambios en las existencias de carbono y nitrógeno

La vegetación viva y los suelos son depósitos importantes de C, por lo que, con su incremento actúan como sumideros del CO<sub>2</sub>.

**Figura 8 Reservas de carbono de seis ecosistemas bolivianos en suelos que incluyen material de plantas muertas (líneas punteadas) y vegetación viva (líneas continuas). Se muestran medias de los conjuntos de MCG más de 21 años centrados alrededor de 1950, 2000, 2050 y 2090**

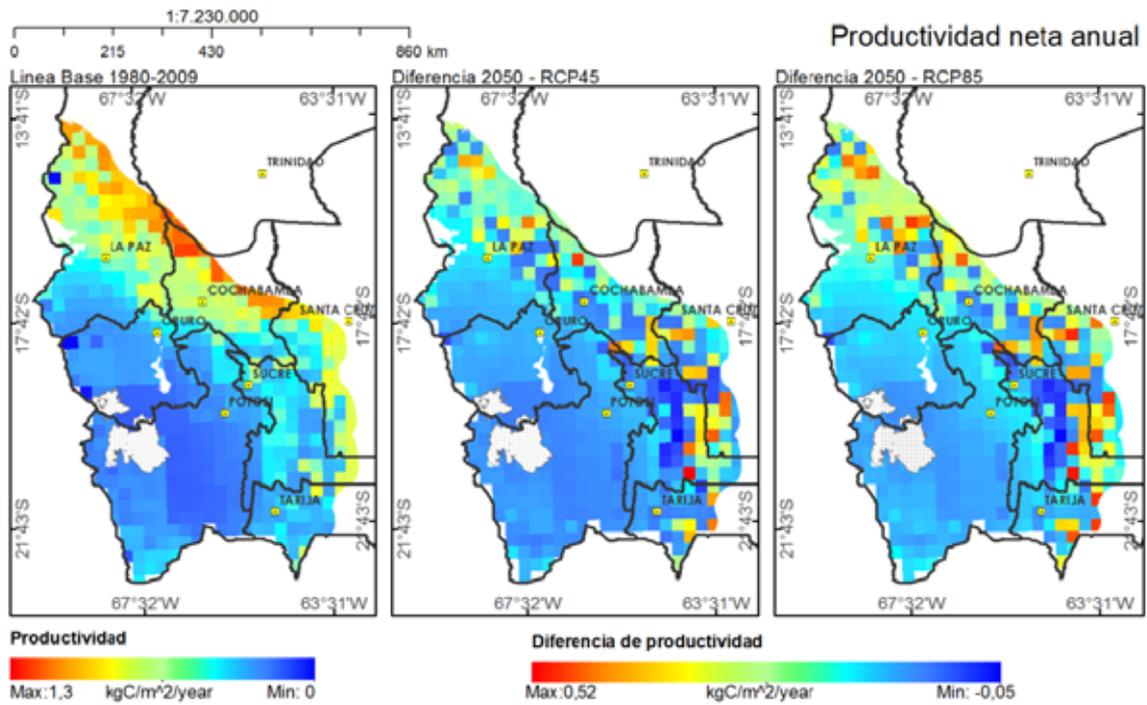


Todos los ecosistemas muestran un marcado aumento en las existencias de C vivo a través del tiempo (Figura 9), impulsado principalmente por la fertilización con CO<sub>2</sub>, pero hay pocos cambios en C del suelo (Figura 8).



*Jatún Mayu viene del vocablo quechua que significa río grande. Las aguas de su cuenca dan vida a la población. Cochabamba.*

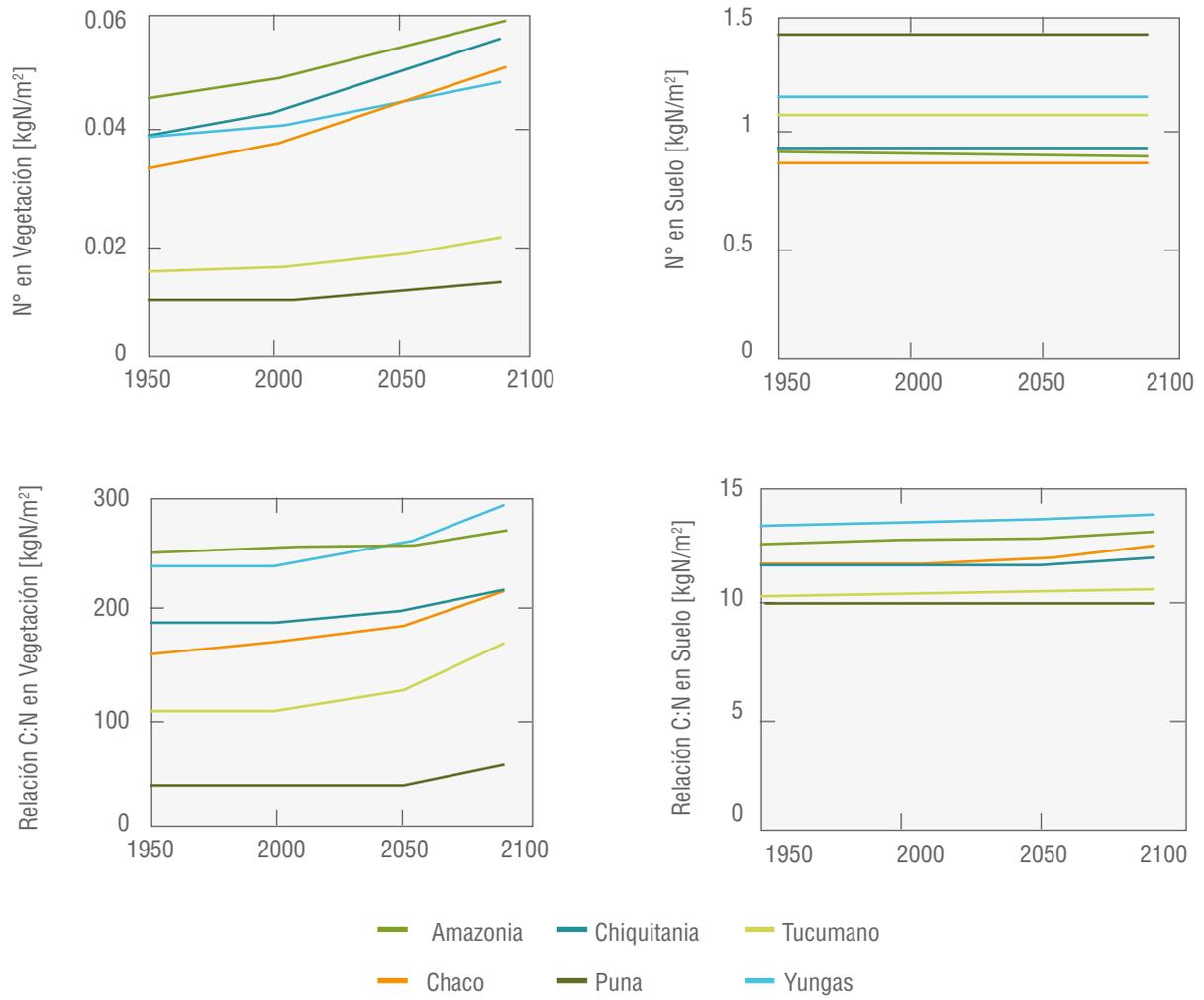
Figura 9 Media de la productividad primaria anual del conjunto [kgC/m<sup>2</sup>] para 2000 (arriba) y 2050 (fila inferior, izquierda: RCP4.5, derecha: RCP8.5)



Mojocoya

Los cambios proyectados muestran que en el contenido de N de la vegetación siguen los cambios en las existencias de C, indicando que, en la vegetación viva el N aumentará en todos los ecosistemas, pero en muy baja proporción en la Puna, ésto debido a la limitación de este elemento en altitudes elevadas además del lento crecimiento de las plantas en climas fríos. Las concentraciones de N aumentarán más en los Yungas y el Tucumano, al igual que las reservas de C. Sin embargo, este aumento en las reservas de N de la vegetación no significa que haya una entrada neta de dicho elemento al ecosistema, ya que el N del suelo tiende a disminuir ligeramente con el tiempo. La transferencia de N, desde el suelo a la vegetación viva en todos los ecosistemas se incrementará en menos de 1% entre 2.000 y 2.050 según los escenarios utilizados. Las existencias de N de vegetación también aumentan menos en términos relativos a las reservas de C de la vegetación; en cambio, hay un pronunciado aumento en la relación C:N de la vegetación viva, especialmente para los bosques Andinos Tucumanos y los Yungas, así como para el bosque seco del Chaco. La relación C:N de un bosque generalmente aumenta si se almacena más C en la madera; por ejemplo, cuando la altura del dosel aumenta y se forman tallos más largos. Las simulaciones muestran de hecho tal incremento en la altura del dosel para la parte sur y más seca de Bolivia, en partes particulares del bosque seco del Chaco, y partes de los bosques Tucumano y de la Chiquitania (Figura 10).

Figura 10 Cambios relativos en el N y C de la vegetación y del suelo: relación para RCP8.5



Sistema de cosecha de aguas por estanques en Jatún Mayu. Cochabamba.



# 5. Funciones ambientales claves del bosque andino para la mitigación-adaptación al cambio climático

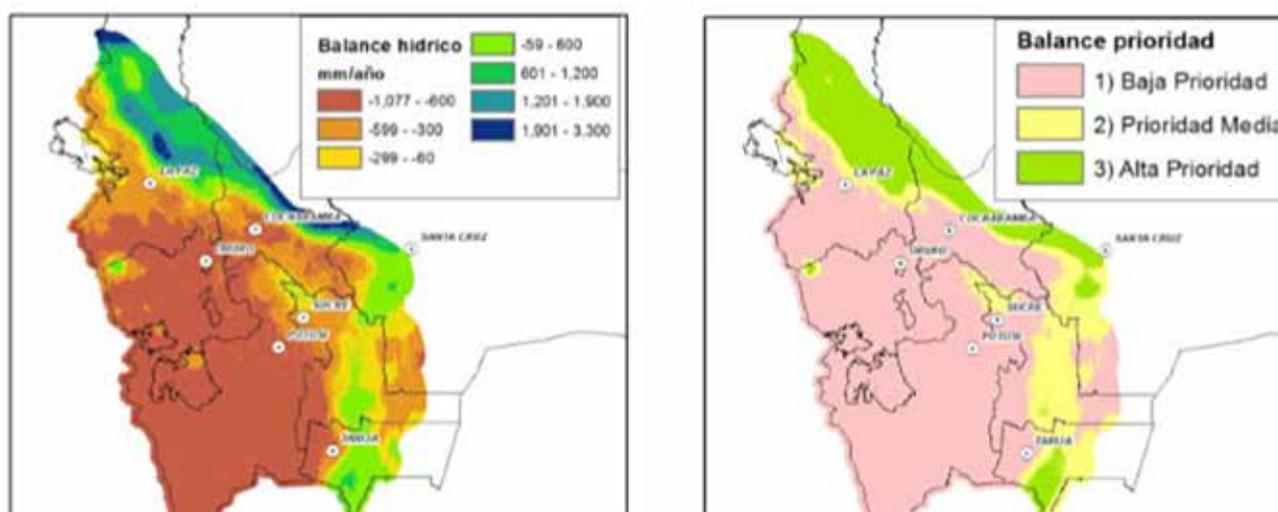
## A. Disponibilidad de agua:

Según el balance hídrico climático, uno de los factores que determinan la disponibilidad hídrica, en términos de volumen de agua excedente y déficit hídrico, es la cantidad de precipitación que reciben los diferentes ecosistemas; a este resultado también influye la pérdida de agua por evapotranspiración, según la estructura y

composición florística de las diferentes unidades de vegetación de los bosques andinos.

Las principales fuentes, zonas de producción y recarga de agua, se encuentran en las zonas altas de las serranías y montañas, las cabeceras de cuencas.

Figura 11 Balance hídrico climático y su reclasificación según prioridad



El trabajo de campo muestra que los valores más altos de infiltración fueron encontrados en las cuencas del río Yapacaní y río Grande, donde los 10 litros de agua ocupados en la prueba fueron absorbidos en un lapso de tiempo de 2.5 y 5 minutos respectivamente. Sin embargo, según la trayectoria de infiltración en relación al tiempo, los suelos de la cuenca del río Yapacaní parecen tener mayor capacidad de absorción, la infiltración adoptó una distribución lineal negativa, indicando que los suelos en esta región tienen una mayor capacidad de carga de agua. Por otro lado, en la cuenca del río Grande, la relación de infiltración y tiempo muestra una distribución exponencial negativa, indicando una rápida absorción de agua, para después disminuir gradualmente, aminorando su capacidad de carga de agua.

En la cuenca del río Mizque, la tasa de infiltración es bastante heterogénea. En zonas altas (Laguna Verde, entorno de 2.300 m) 10 litros de agua se absorbe en 9

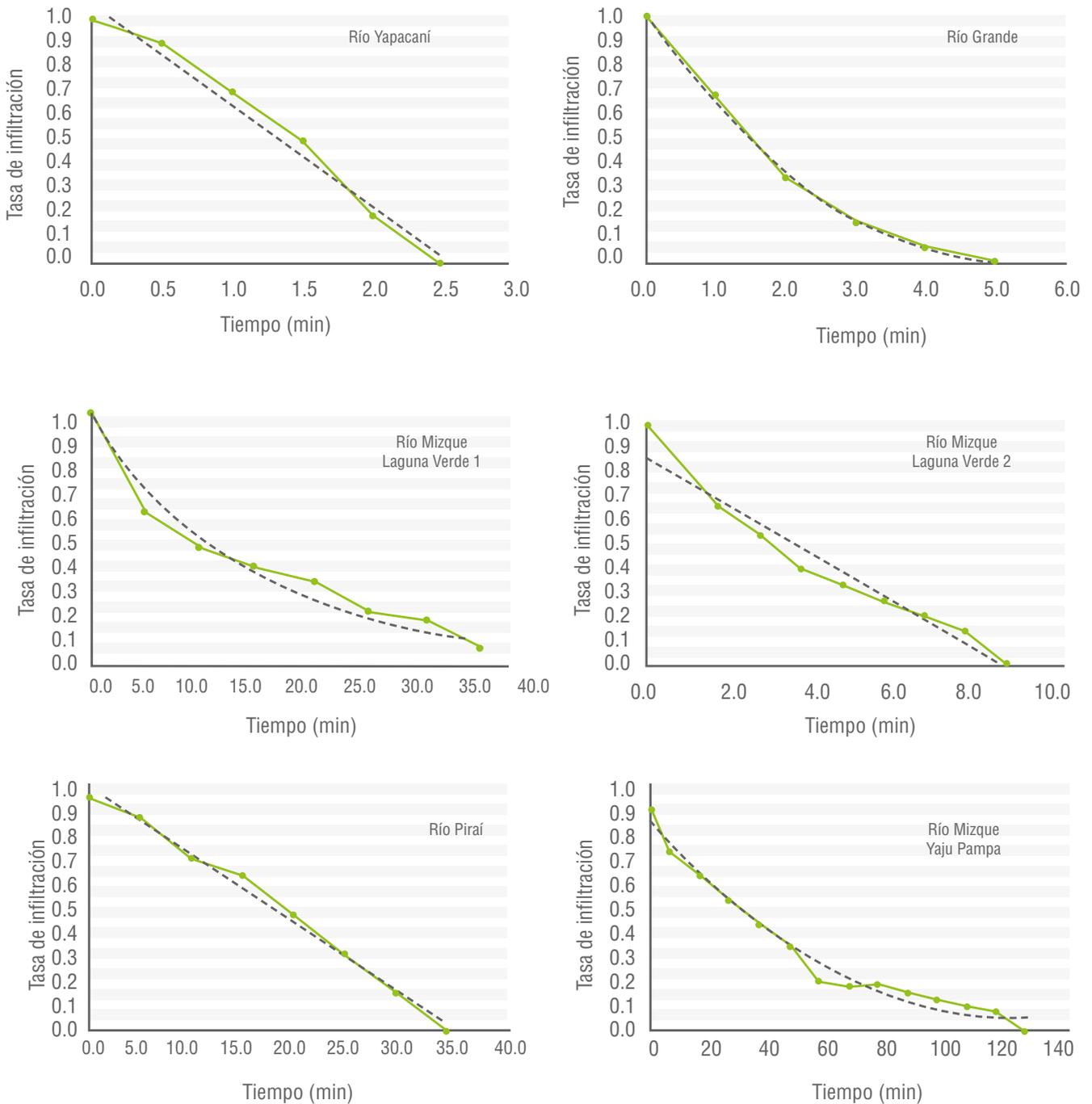
y 35 minutos. Las diferencias de infiltración en las zonas altas no solo se reflejaron en el tiempo, sino también en la capacidad de carga, dado que, en la zona de Laguna Verde 1 (tiempo de infiltración de 35 min), el proceso de infiltración adoptó una distribución exponencial negativa en relación a Laguna Verde 2 (tiempo de infiltración de 9 min), donde la infiltración fue lineal. Estas diferencias encontradas en escasos 800 m de distancia, pueden ser atribuidas a la compactación del suelo producto de la evidente presencia de ganado en los alrededores de la laguna.

Por otro lado, las zonas bajas de la cuenca del río Mizque (Yaju Pampa, entorno de 1.340 m) presentaron los valores más bajos de infiltración, los 10 litros de agua fueron absorbidos en 130 minutos, lo cual representa una velocidad de infiltración de 6.9 cm/hr. Esta situación convierte a Yaju Pampa en una zona altamente susceptible a procesos de erosión edáfica, ya que los bajos valores de infiltración incrementan la escorrentía.

Finalmente, la cuenca del río Pirai presentó valores de infiltración similares a los registrados en Laguna Verde 1 de la zona alta de la cuenca del río Mizque. Sin embargo, éstas se diferencian debido al comportamiento del proceso de infiltración en relación al tiempo, la cual indica que si bien el tiempo de infiltración es

similar en ambas cuencas, la capacidad de carga de los suelos del río Pirai parece ser mayor, dado que el proceso de infiltración en relación al tiempo adoptó una distribución de tipo lineal y la del río Mizque fue de tipo exponencial negativo.

**Figura 12 Tasa de infiltración en bosques andinos Min= minutos**

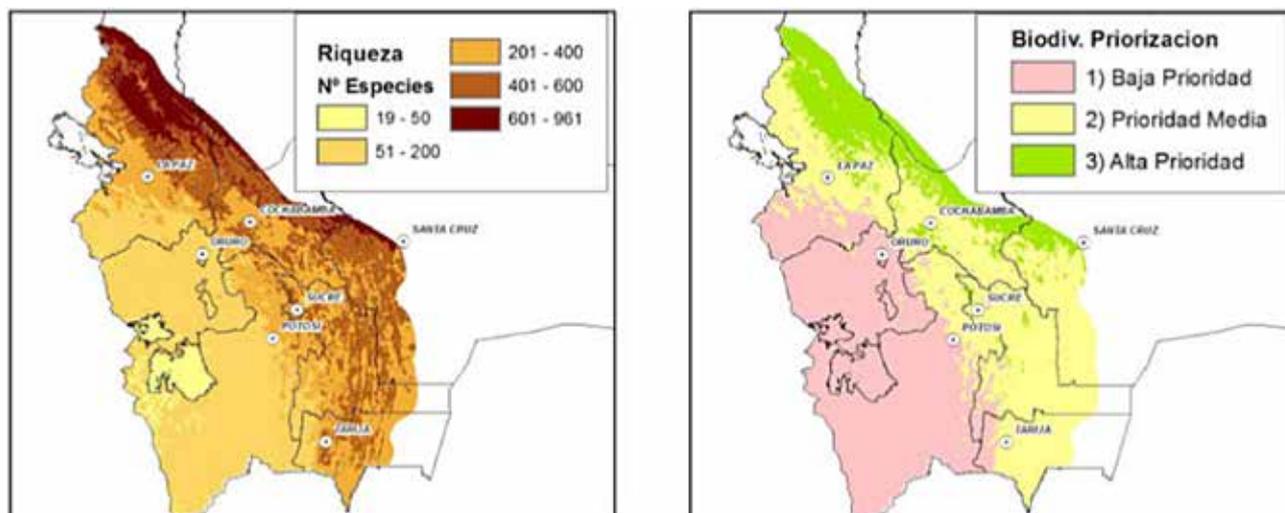


## B. Zonas relevantes para garantizar la funcionalidad ecológica:

Las características fisiográficas en los bosques andinos propician una diversidad de microclimas formando hábitats y refugios de vida silvestre muy especiales.

Según registros realizados por expertos de diferentes universidades e instituciones, en las tres últimas décadas la base de datos organizada por grupos taxonómicos (FAN, 2011) refleja la importante riqueza albergada principalmente serranías transnacionales de los Andes a los Llanos Orientales.

**Figura 13 Sitios clave para el hábitat y refugio de especies de flora y fauna**



La región de los bosques andinos coincide con centros de riqueza de especies de flora y fauna que a la vez conforman corredores biológicos. La diversidad de especies se concentra en áreas claves para mantener la funcionalidad de los ecosistemas. Esta gran diversidad de unidades de vegetación forma un mosaico de hábitats que concentran especies de flora y fauna y centros de alta riqueza de especies.

En base a las mediciones de campo, la cuenca con mayor diversidad de especies leñosas (árboles y arbustos) corresponde a los bosques andinos de la región del río

Yapacaní ( $2.98 \pm 0.23$ ), así como también, fue donde se encontró la mayor riqueza de especies ( $25 \pm 4$ ) (Tabla 5).

Por otro lado, los bosques andinos de la cuenca del río Pirai ( $2.42 \pm 0.04$ ;  $17 \pm 1$ ), río Grande (P4, entre 1985 – 2020 m;  $2.56 \pm 0.32$ ;  $16 \pm 5$ ) y río Mizque (P5, a 2300 m;  $2.50 \pm 0.14$ ;  $11 \pm 3$ ) presentaron valores intermedios de diversidad, pero con tendencias diferentes en cuanto la riqueza de especies. Los valores más bajos de diversidad fueron encontrados en los bosques andinos de la cuenca del río Grande (P3, entre 2104 – 2130 m;  $2.18 \pm 0.34$ ;  $14 \pm 3$ ) y zona baja del río Mizque (P6, entre 1340 – 1360 m;  $2.21 \pm 0.17$ ;  $14 \pm 2$ ).

**Tabla 5 Riqueza y diversidad de especies leñosas por puntos de muestreo**

Puntos	Unidades de muestreo	Tipo de bosque	Cuenca / sub cuenca	Codificación cuenca	Riqueza		Diversidad	
					Media	DE	Media	DE
P1	3	BH	Pirai	CRP	17	1	2.42	0.04
P2	3	BS	Yapacaní	CRY	25	4	2.98	0.23
P3	3	BH	Grande	CRG	14	3	2.18	0.34
P4	3	BH	Grande	CRG	16	5	2.56	0.32
P5	3	BH	Mizque	CRM	11	3	2.50	0.14
P6		BS	Mizque	CRM	14	2	2.21	0.17

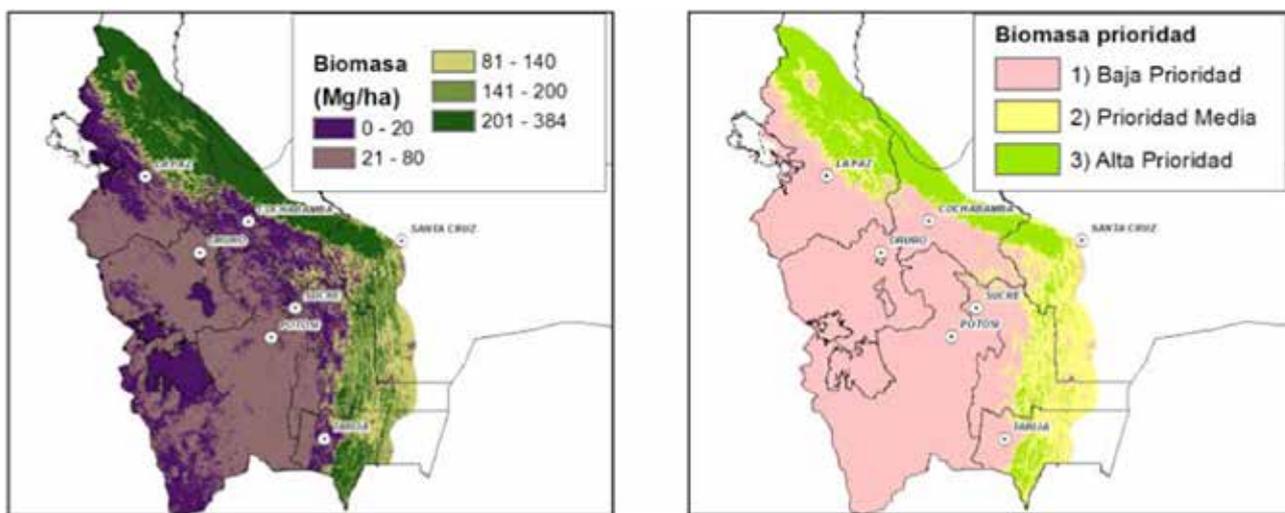
BH=Bosque húmedo; BS=Bosque seco; DE- Desviación estándar; CRP=Cuenca Río Pirai; CRY=Cuenca Río Yapacaní; CRG=Cuenca Río Grande; CRM=Cuenca Río Mizque.

Este contraste de valores de riqueza y diversidad encontrados entre una cuenca y otra (ej. río Pirai con Shannon de  $2.42 \pm 0.04$  y  $17 \pm 1$  especies vs. río Mizque con Shannon de  $2.50 \pm 0.14$  y  $11 \pm 3$  especies) se debe principalmente a que los valores de diversidad son obtenidos a partir de las estructuras poblacionales de las especies dentro de una comunidad vegetal, por lo cual, mientras más homogénea sea la cantidad de individuos de una especie en relación a las otras, la diversidad será más alta, por lo contrario, si el tamaño poblacional de una especie contrasta drásticamente en relación a las otras, la diversidad disminuirá.

### C. Biomasa y almacenamiento de carbono:

La densidad de vegetación determinada a través del NDVI, muestra una muy alta concentración de biomasa en las áreas de altitud intermedia a las serranías. Asimismo, sobresale notoriamente la alta biomasa concentrada en los bosques concentrados en áreas transicionales a los Andes en el 25% de del área de estudio. El potencial de los bosques para secuestrar y acumular carbono en el área de estudio alcanza hasta  $192 \text{ tC/ha}$ . En las regiones con menor cobertura de bosque, el carbono almacenado es inferior a las  $10 \text{ tC/ha}$ .

**Figura 14 Sitios con mayor concentración de biomasa en los bosques andinos**



Diferentes cantidades de biomasa y carbono fueron estimadas para los bosques andinos presentes en las cuatro cuencas analizadas (Tabla 6). En todos los bosques andinos la mayor cantidad de biomasa estuvo concentrada en el estrato leñoso (árboles y arbustos), tanto

en la parte aérea (BMS) como subterránea (BMS). Otro componente importante de biomasa en los bosques andinos fue la necromasa (NM), la cual resultó superior a la biomasa herbácea (MBH).

**Tabla 6 Estimación de la biomasa para cada componente en toneladas por hectárea y cálculo de Carbono almacenado en base a la biomasa total por puntos de muestreo**

Puntos por cuenca	Muestras	Altitud	Ind/ha		Biomasa (tn/ha)								Biomasa total (tn/ha)		Carbono almacenado (tC/ha)	
					aerea (BMA)		raíces (BMA)		herbácea (BMH)		necromasa (NM)					
			Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	MEDIA	DE
P1-CRP	3	2220-2390	2587	196	199.8	7.4	97.9	3.6	1.6	0.9	3.7	2.2	303.0	14.2	151.5	7.1
P2-CRY	3	1170-1240	1330	407	107.5	13.3	52.7	6.5	1.4	0.7	3.1	1.3	164.6	21.9	82.3	11.0
P3-CRG	3	2140-2130	2303	84	110.3	32.8	54.0	16.1	0.9	1.1	3.2	2.0	168.3	51.9	84.2	26.0
P4-CRG	3	1985-2020	1780	975	36.8	9.7	18.0	4.8	1.2	1.0	4.0	2.0	60.0	17.6	30.0	8.8
P5-CRM	3	2300	980	95	259.7	47.3	127.2	23.2	1.2	0.7	3.7	1.4	391.8	72.7	195.9	36.3
P6-CRM	3	1340-1360	2832	1562	26.2	4.8	12.8	2.4	0.4	0.4	1.7	1.9	41.1	9.6	20.5	4.8

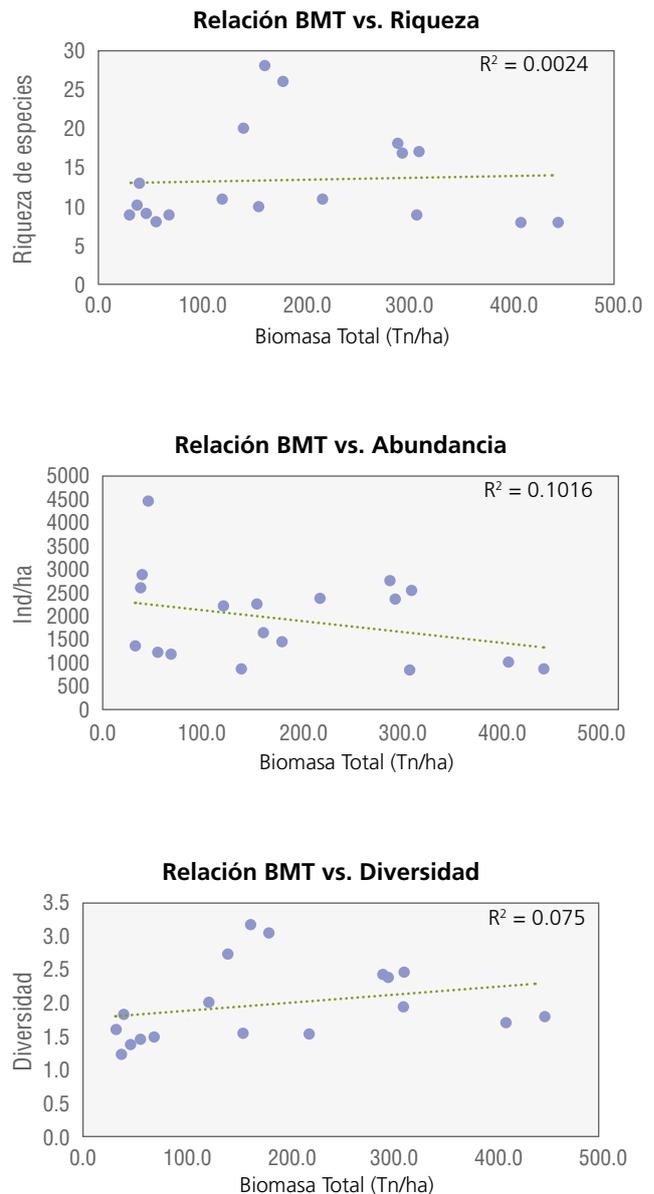
El punto de muestreo con mayor concentración de biomasa total fue el P5, localizada en la cuenca del río Mizque a 2300 m de altitud, donde la estimación fue de 391 tn/ha, valor que resulta poco constante ( $\pm 72.7$ ), ya que, su coeficiente de variación es de 18.5%. El segundo punto de muestreo con altas concentraciones de biomasa fue el P1, localizada en la cuenca del río Piraí entre 2220 - 2390 m de altitud, donde la estimación fue de 303 tn/ha y un coeficiente de variación de 4.7% ( $\pm 14.2$ ), lo cual indica que este valor es mucho más constante que los valores estimados para los bosques andinos del P5.

Los bosques andinos de las cuencas del río Yapacaní (1170 – 1240 m) y la parte alta del río Grande (P3; 2104 – 2130 m) presentaron concentraciones similares de biomasa, con valores de 164.6 ( $\pm 21.9$ ) y 168.3 ( $\pm 51.9$ ) respectivamente, los cuales resulta intermedios en relación a los valores estimados en los otros puntos de muestreo.

Las concentraciones más bajas de biomasa fueron estimadas para los bosques andinos encontrados en la zona baja de la cuenca del río Mizque (P6; 1340 – 1360 m; 41.1 tn/ha) y el P4, localizado en la cuenca del río Grande (1985 – 2020 m; 60 tn/ha), pero a menor altitud que el P3 instalado en la misma cuenca.

Las concentraciones de biomasa estimada para los bosques andinos resultan completamente independientes de la riqueza y diversidad de especies, así como también de la abundancia de árboles y arbustos (Figura 15). Por lo que, la existencia de una alta cantidad de árboles y arbustos, o una alta riqueza y diversidad de especies, no significará que también exista una mayor concentración de biomasa o almacenamiento de carbono. Esta situación lo podemos constatar claramente cuando comparamos los valores de biomasa y abundancia obtenidos para los dos puntos de muestreo instalados en la cuenca del río Mizque (Tabla 6; P5 vs. P6).

**Figura 15 Distribución de la biomasa en relación de la diversidad, riqueza y abundancia de leñosas**



*El agua de la cuenca de Escaleras garantiza el riego en los sembradíos. Chuquisaca.*

De acuerdo con las estimaciones del crecimiento anual de árboles para la región andina sur de Bolivia (Villarroel et al. en revisión), se determinó que los bosques andinos de las cuencas estudiadas podrían incrementar su biomasa anualmente entre un 3 y 7%, lo cual significa una fijación anual de CO<sub>2</sub> atmosférico de entre 3.4 hasta 19.4 tCO<sub>2</sub>/ha (Tabla 7), siendo los bosques andinos de las cuencas P1, P3 y P5 donde ocurría la mayor absorción.

Finalmente, ante un escenario del incremento de la deforestación de los bosques andinos en las cuencas estudiadas, estimamos que, por cada hectárea de bosque deforestado se podrían liberar a la atmósfera entre 48 y 476 tn de CO<sub>2</sub> (Tabla 7), siendo los bosques de la zona alta de la cuenca del río Mizque (P5; 2300 m; 476 tCO<sub>2</sub>/ha) y los bosques de la cuenca del río Pirai (P1; 2220 – 2390 m; 366.2 tCO<sub>2</sub>/ha) los que generarían las mayores emisiones.

**Tabla 7 Estimaciones del contenido de CO<sub>2</sub>, incremento anual de la biomasa y absorción de CO<sub>2</sub> de los bosques andinos**

Punto de muestreo	Biomasa Aérea Almacenada	CO <sub>2</sub> Almacenado	Incremento Anual de Biomasa Aérea	Absorción Anual de CO <sub>2</sub>
P1-CRP	199.8	366.2	10.6	19.4
P2-CRY	107.5	197.0	3.7	6.8
P3-CRG	110.3	202.1	6.5	11.9
P4-CRG	36.8	67.5	2.7	5.0
P5-CRM	259.7	476.0	8.3	15.1
P6-CRM	26.2	48.0	1.9	3.4

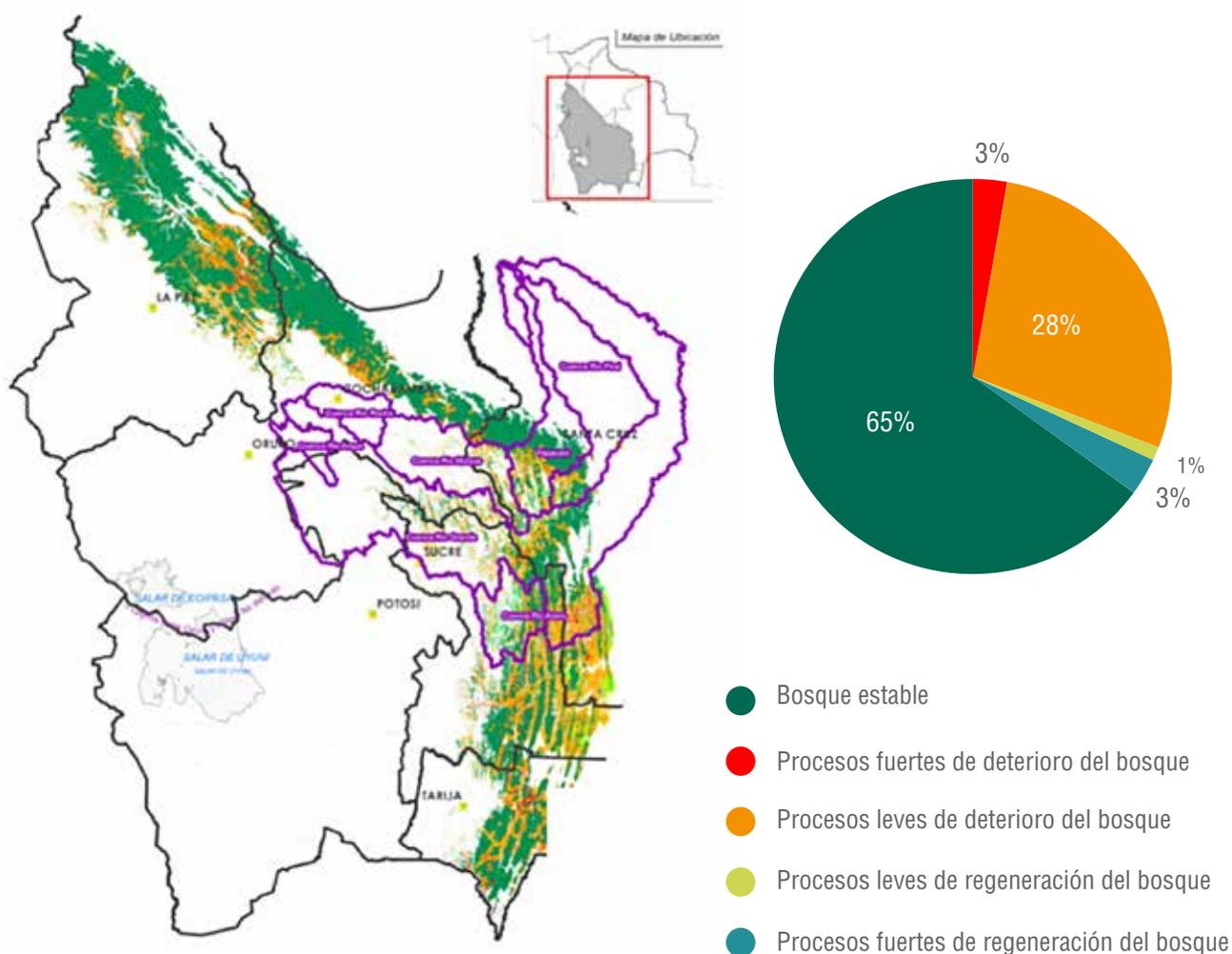
## 6. Conclusiones y recomendaciones para la restauración de funciones ambientales como medidas de mitigación-adaptación al cambio climático

Un 65% de la superficie total de bosques andinos (6.3 millones hectáreas) se mantienen de manera estable, mientras que el restante 35% (3.5 millones hectáreas) muestra tendencias de cambio, es decir, estas funciones se han incrementado y disminuido en función de las presiones antrópicas y procesos de regeneración natural. (Figura 16, Tabla 8).

Un 4% (414 mil hectáreas) de la superficie total muestra tendencias de regeneración, aumento de la productividad y consiguiente consolidación del hábitat,

que contribuye al buen estado y mantenimiento de las funciones ambientales de estos bosques. Estas áreas además se encuentran distantes de presiones antrópicas por lo que no se espera un cambio negativo a corto plazo. El 31% del área de bosques andinos (3.2 millones hectáreas) tiene altas probabilidades de deterioro de sus funciones ambientales, debido a procesos de degradación y deforestación en estas áreas. El 3% presenta un deterioro alto, tratándose de áreas próximas a presiones antrópicas directas.

**Figura 16 Dinámica espacio – temporal del bosque andino para la regeneración de funciones ambientales**



**Tabla 8 Estado de conservación del bosque y sus funciones ambientales (superficie en Has.)**

	Beneficio estable	Deterioro de beneficios		Incremento de beneficios		Sup. Total	%
		Alto	Bajo	Alto	Bajo		
Cuencas priorizadas							
Cuenca Río Arque	24		220	147	47	438	0.004%
Cuenca Río Azero	153,509	6,819	101,674	43,530	2,296	307,828	2.972%
Cuenca Río Grande	1,137,587	67,020	898,941	134,130	32,917	2,270,594	21.921%
Cuenca Río Mizque	64,238	4,233	114,953	12,349	4,214	199,988	1.931%
Cuenca Río Pirai	83,918	3,395	54,901	8,642	727	151,584	1.463%
Cuenca Río Rocha	1,285	261	4,380	2,013	770	8,708	0.084%
Yapacaní	267,742	6,655	118,630	19,646	5,643	418,316	4.039%
<b>Total (dentro de cuencas priorizadas)</b>	<b>1,708,303</b>	<b>88,384</b>	<b>1,293,698</b>	<b>220,457</b>	<b>46,614</b>	<b>3,357,455</b>	<b>32.414%</b>
<b>Sup. BA fuera de cuencas priorizadas</b>	<b>5,024,519</b>	<b>222,362</b>	<b>1,606,594</b>	<b>90,289</b>	<b>56,968</b>	<b>7,000,731</b>	<b>67.586%</b>
<b>Sup. Total Bosques Andinos</b>	<b>6,732,821</b>	<b>310,746</b>	<b>2,900,292</b>	<b>310,746</b>	<b>103,582</b>	<b>10,358,187</b>	<b>100.000%</b>
<b>% (dentro de cuencas priorizadas)</b>	25%	28%	45%	71%	45%		
<b>% BA fuera de cuencas priorizadas</b>	75%	72%	55%	29%	55%		
<b>% Total Bosques Andinos</b>	65%	3%	28%	3%	1%		

En base a este análisis y tomando en cuenta los procesos de cambio en ecosistemas boscosos por efecto del cambio climático (Capítulo 5) y funciones ambientales principales del bosque andino (Capítulo 6), se recomiendan las siguientes acciones para apoyar a la regeneración de funciones ambientales en bosques andinos:

- Con algo más de 10 millones de Has. (1/5 de la cobertura forestal de Bolivia), los bosques andinos son un eslabón central de las estrategias de mitigación-adaptación al cambio climático, bajo el Mecanismo Conjunto de Bolivia;
- Los bosques andinos juegan un rol importante en cuanto a la regulación de variables hidrológicas claves como la infiltración de agua, la evapotranspiración y la escorrentía, pero también como importantes reservas de biodiversidad, elementos claves para mantener la robustez y resiliencia de estos ecosistemas y de los medios de vida de la gente al cambio climático;
- Con valores entre 48 y más de 400 tCO<sub>2</sub>/ha (Tabla 7) los bosques andinos se constituyen en importantes reservas de carbono y, por lo tanto, claves para la mitigación del cambio climático;
- Para contribuir significativamente a los Compromisos de Cambio Climático de Bolivia (NDC's) se recomienda concentrar los esfuerzos en apoyar a los procesos de 414 mil Has (Tabla 8) de regeneración natural del bosque, a través de procesos de forestación y reforestaciones concentradas en ciertas cuencas, con el fin de aumentar la oferta de agua,

restaurar el bosque nativo y generar corredores biológicos para permitir la adaptación natural de flora y fauna al cambio climático.

- Se recomienda usar los cauces naturales de agua y las quebradas en las microcuencas en toda la región andina, a través de procesos de concertación con las comunidades, para apoyar a los procesos de regeneración natural del bosque y, de esta manera, aumentar significativamente el área con cobertura boscosa, si estos procesos de revegetación son conducidos a través de estrategias biológicas de restauración de los ecosistemas, aumentar en 20% la cobertura forestal (1 – 2 millones de Has) lo cual no es un objetivo irrealizable.

## 7. Referencias bibliográficas

- Badeck, F.-W., Lischke, H., Bugmann, H., Hickler, T., Hönninger, K., Lasch, P., Lexer, M.J., Mouillot, F., Schaber, J. et Smith, B.: Tree species composition in European pristine forests. Comparison of stand data to model predictions, *Climatic Change* 51, 307-347, 2001.
- Fleischbein, K., Wilcke, W., Valarezo, C., Zech, W., & Knoblich, K. (2006). Water budgets of three small catchments under montane forest in Ecuador: experimental and modelling approach. *Hydrological Processes*, 20(12), 2491-2507.
- Farley, K. A. (2007). Grasslands to tree plantations: forest transition in the Andes of Ecuador. *Annals of the Association of American Geographers*, 97(4), 755-771.
- Gerold, G, Schawe, M. y Bach, K.: Hydrometeorologic, pedologic and vegetation patterns along an elevation transect in the montane forest of the Bolivian Yungas. *Die Erde* , 139, 141-168, 2008.
- Gritti, E.S., Smith, B. et Sykes, M.T." Vulnerability of Mediterranean basin ecosystems to climate change and invasion by exotic plant species, *J. Biogeogr.* 33, 145-157, 2006.
- Hickler, T., Smith, B., Sykes, M.T., Davis, M.B., Sugita, S. et Walker, K.: Using a generalized vegetation model to simulate vegetation dynamics in the western Great Lakes region, USA, under alternative disturbance regimes, *Ecology* 85, 519-530, 2004.
- Navarro, G. & W. Ferreira. (2004). Zonas de vegetación potencial de Bolivia: Una base para el análisis de vacíos de conservación. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 15: 1-40. Sub-Programa Aprovechamiento forestal (PIAF-El Ceibo). 2000. Guía de especies forestales del Alto Beni. Herbario Nacional de Bolivia, Instituto de Ecología, CARE, DED. La Paz, Bolivia
- Smith, B., Prentice, I.C. & Sykes, M.T. 2001. Representation of vegetation dynamics in the modelling of terrestrial ecosystems: comparing two contrasting approaches within European climate space. *Global Ecology & Biogeography* 10: 621-637.
- Smith, B., Wårlind, D., Arneth, A., Hickler, T., Leadley, P., Siltberg, J. & Zaehle, S. 2014. Implications of incorporating N cycling and N limitations on primary production in an individual-based dynamic vegetation model. *Biogeosciences* 11: 2027-2054.
- Seiler, C., Hutjes, R. W. A., Kruijt, B., & Hickler, T. (2015). The sensitivity of wet and dry tropical forests to climate change in Bolivia. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120(3), 399-413.
- Seiler, C., R. W. A. Hutjes, and P. Kabat, 2013b: Likely Ranges of Climate Change in Bolivia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52 (6), 1303-1317.
- Seiler, C., R.W.A. Hutjes, y P. Kabat. 2013. Variabilidad y Tendencias Climáticas en Bolivia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52 (1), 130-146.



# ANEXO I: Descripción de los tipos de bosques andinos de Bolivia

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Boliviano - Tucumano	Bosques altos húmedos montanos con <i>Prumnopitys exigua</i>	<p><b>Distribución:</b> Al norte del departamento de Cochabamba sobre los márgenes orientales de la Cordillera del Tunari, sobre una franja que baja hasta el límite con el Dpto. de Santa Cruz al noroeste de la localidad de Comarapa.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques siempreverdes altos, que ocupan laderas y colinas transicionales entre los bosques húmedos de la vertiente oriental, la puna subhúmeda y los bosques deciduos de los valles interandinos. El bosque es de porte medio a alto, de fenología siempreverde, presenta varios estratos, florísticamente está dominado por varias especies de la ceja de monte como <i>Weinmannia microphylla</i>, <i>W. Fagaroides</i>, <i>Freziera lanata</i>, <i>Roupala steinbachii</i>, <i>Oreopanax kuntzei</i>, <i>Oreopanax herzogii</i>, <i>Podocarpus oleifolius</i>, sin embargo, el elemento distintivo de este tipo de bosque es <i>Prumnopitys exigua</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro et al. 2003</p>
Boliviano - Tucumano Norte.	Bosques medianos montanos húmedos con <i>Prumnopitys exigua</i> - <i>Podocarpus parlatorei</i>	<p><b>Distribución:</b> En el departamento de Santa Cruz en la parte sureña del PN Amboró, entre 1900 – 3000 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques siempreverdes medianos a altos, ocupan las laderas y filos de serranías altas, se diferencia de la anterior unidad por la presencia de elementos florísticos acompañantes con mayor afinidad a los bosques húmedos de la región Boliviano - Tucumano, como <i>Prumnopitys exigua</i>, <i>Podocarpus parlatorei</i>, <i>Blepharocalyx salicifolius</i>, <i>Crinodendron tucumanum</i>, <i>Duranta serratifolia</i>, <i>Ternstroemia asymmetrica</i>, <i>Tabebuia lapacho</i> y se destaca la presencia de <i>Ceroxylum vogelianum</i> en laderas sobre parches de bosques nublados. En franjas boscosas no alteradas existen los llamativos bosques de helechos gigantes representados por <i>Dicksonia sellowiana</i> y varias especies del genero <i>Cyathea</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro et al. 2003; Vargas et al. 2000; Moraes 2004</p>
Boliviano - Tucumano Norte y Centro	Bosques medianos húmedos de la ceja de monte con <i>Podocarpus parlatorei</i>	<p><b>Distribución:</b> En los departamentos de Santa Cruz , Chuquisaca, Cochabamba y Tarija, entre los 1800-2500 m en el sur de esta ecorregión (Reserva Nacional de Flora y Fauna Tariquía – Tarija y Cerro Buffete-Chuquisaca) (Bruce, 1997 ; Gonzales et al. 1999; Instituto de Ecología-FUNDECO 1999), entre los 2200 hasta 3200 m de altitud en el centro-norte del Bosque Tucumano-Boliviano (Serranía del Ñao y Kaska Ork’o- Chuquisaca) (PROMETA 2001), y entre los 2400 – 3100 m en el extremo norte (Parque Amboró-Santa Cruz y Parque Carrasco-Cochabamba) (Navarro et al. 1996).</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques de porte mediano a bajo que se desarrolla en ambientes húmedos, con fenologías siempreverdes, ocupa laderas y quebradas de fuertes pendientes, sobre suelos poco desarrollados y mayormente rocosos. En su límite superior llega a contactar con matorrales densos y por sectores se combina con <i>Polylepis hieronymi</i>, <i>Polylepis neglecta</i>, <i>Polylepis cristagalli</i>, además de formar bosques densos con <i>Alnus acuminata</i>, <i>Prunus tucumanensis</i>, <i>Vallea stipularis</i>. En sus niveles inferiores se entremezclan con elementos más montanos y húmedos como <i>Myrcianthes pseudomato</i>, <i>Myrcianthes osteomeloides</i> <i>Myrsine coriacea</i>, <i>Juglans australis</i> y <i>Prunus tucumanensis</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Bruce, 1997; Gonzales et al. 1999; Instituto de Ecología-FUNDECO</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Boliviano - Tucumano Central	Bosques altos montanos húmedos con <i>Myrcianthes callicoma</i>	<p><b>Distribución:</b> Piso inferior del Bosque Tucumano-Boliviano con un rango altitudinal que varía de acuerdo a la región, así en el sur (Reserva Nacional de Flora y Fauna Tariquía – Tarija, Cerro Bufete-Chuquisaca) se encuentra entre los 800-1800 m de altitud (Bruce 1997, Gonzales et al. 1999, Instituto de Ecología-FUNDECO 1999), mientras en el centro-norte (Serranía del Ñaño, Yahuañanca y Kaska Orkho – Chuquisaca) se encuentra entre los 900-2200 m de altitud (PROMETA 2001) y en el extremo sur (Parque Amboró-Santa Cruz) se distribuye en un rango de 1900-2400 m de altitud (Navarro et al. 1996).</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques húmedos montanos de fisonomías siempreverdes con doseles superiores que suelen alcanzar los 15-25 m de altura. Ocupa las laderas de fuertes pendientes, pequeños valles y colinas inter-montanos, donde suelen desarrollar mayores alturas en los árboles dominantes. Los suelos pueden variar desde muy profundos en áreas de baja pendiente hasta muy superficiales y pedregosos en laderas montanas de fuerte pendiente. Estos bosques desarrollan franjas continuas entre los 800-2500 msnm, donde se entremezclan con elementos de las unidades de vegetación colindantes tanto en su límite inferior como superior, sin embargo, son distintivos y abundantes algunos elementos florísticos que caracterizan esta unidad como el Pino de cerro (<i>Podocarpus parlatorei</i>), el sahuinto (<i>Myrcianthes callicoma</i>) y el Nogal (<i>Juglans australis</i>), el cedro (<i>Cedrela lilloi</i>), además de muchas especies típicas de bosques montano húmedos como: <i>Siphoneugena occidentalis</i>, <i>Myrcianthes pseudomato</i>, <i>Crinodendron tucumanum</i>, <i>Xylosma pubescens</i>, <i>Ilex argentina</i>, <i>Eugenia pungens</i>, <i>Cinammomum porphyria</i>, <i>Ternstroemia congestiflora</i>, <i>Roupala meisneri</i>, <i>Tabebuia lapacho</i>, <i>Oreopanax steinbachianus</i>, <i>Oreopanax kuntzei</i>, <i>Nectandra</i> sp, <i>Clethra scabra</i>. El sotobosque es muy denso menor, conformado especies como: <i>Randia spinosa</i>, <i>Viburnum seemenii</i>, <i>Rubus bogotensis</i>, <i>Dunalia brachycantha</i>, <i>Lochroma australe</i>, <i>Cestrum strigillatum</i>, <i>Abutilon grandiflorum</i>. En los doseles, fustes y ramas son comunes comunidades de plantas epifitas que caracterizan la fisonomía interna del bosque donde la bromeliacea <i>Tillandsia usneoides</i> asemeja un manto colgante en gran parte de los árboles, acompañada de cactáceas colgantes como <i>Rhipsalis lorentziana</i>, <i>Acanthorhopsalis monacantha</i> y la piperaceae <i>Peperomia arifolia</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> J.C. Montero y R. Müller, obs.pers., Navarro y Ferreira 2004, M. Serrano com.pers.</p>
Boliviano - Tucumano Norte	Bosques medianos secos del subandino con <i>Enterolobium contortissiliquum</i>	<p><b>Distribución:</b> Desde el Sur del departamento de Santa Cruz hasta la frontera con Argentina, en alturas que oscilan entre 600 – 1200 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosque de porte mediano seco deciduo, con dosel irregular o semia-bierto, ocupa áreas depresionadas de suelos profundos terrazas altas a medias del subandino. Se caracteriza por elementos andinos, asociados con elementos chaqueños y chiquitanos. El timboy (<i>Enterolobium contorsiliquum</i>) es un elemento característico y abundante de la zona, formando bosques junto con <i>Pterogyne nitens</i>, <i>Prosopis chilensis</i>, <i>Zizyphus mistol</i>, <i>Phitecellobium scalare</i>, <i>Parapiptadenia excelsa</i> <i>Phyllostylon rhamnoides</i>, <i>Schinopsis quebracho colorado</i> y <i>Acacia polyphylla</i>. Por sectores existe una amplia dominancia de la tusca (<i>Acacia aroma</i>), que forma arbustales casi homogéneos de uno a tres metros de alto, es un monte espeso y presenta troncos de árboles secos a causa de las inundaciones.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> J.C. Montero, R. Müller &amp; I. Montero obs.pers., Navarro &amp; Maldonado 2002; M. Serrano com.pers</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Boliviano - Tucumano Norte	Bosques medianos secos del subandino con Neocardenasia herzogiana	<p><b>Distribución:</b> Departamentos de Tarija y Chuquisaca, en las provincias O' Connor y el oeste de la provincia Gran Chaco en alturas entre 700 y 1000 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques secos de porte mediano. Esta formación está fuertemente influenciada por elementos de la llanura chaqueña que ascienden desde el este en el límite oriental de los BNA. La principal particularidad de esta unidad radica en que presenta elementos típicos de la región biogeográfica del chaco boreal, los cuales, en su máximo límite altitudinal, se combinan con elementos andinos y de esta manera forman una vegetación con diferencias bien marcadas. Entre las especies características se encuentran: Schinopsis quebracho colorado, S. Haenkeana, Neocardenasia herzogiana, Ruprechtia laxiflora, Mimozyganthus carinatus, Pereskia sacharosa, Caesalpinia paraguariensis, Capparis tweediana y Ziziphus</p> <p><b>Fuente de información: Navarro &amp; Maldonado 2002.</b></p>
Boliviano - Tucumano norte.	Bosques medianos prepuneños secos con Tipuana tipu Jacaranda mimosifolia	<p><b>Distribución:</b> Cabeceras de valles interandinos entre los departamentos de Cochabamba, Santa Cruz, Sucre y Tarija.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosque medianos subhúmedos con doseles semidecídúo, estos bosques cubrieron gran parte de las laderas por encima de 2400 – 2800 m (Navarro &amp; Maldonado, 2002). En la actualidad solo se pueden observar pequeñas manchas refugiadas en quebradas de difícil acceso o relictos aislados en medio de fases secundarias que cubren grandes extensiones. En su estado óptimo o potencial, correspondería a un bosque bajo semidecídúo abierto, fragmentado, con árboles emergentes de Tipuana tipu y Jacaranda mimosifolia, acompañados por pequeños árboles como Kageneckia lanceolata, Zanthoxylum coco, Lithraea ternifolia, Schinus molle, Escallonia millegrana, Berberis bumeliifolia. Con epífitos muy característico como Tillandsia usneoides, T. Bryoides y T. Tenuifolia. Las variaciones que pudieran darse en esta zona estarían condicionadas por la altitud, mayor o menor humedad y profundidad de los suelos en función de la topografía. Así que en laderas adyacentes a quebradas bastante húmedas, pueden ingresar plantas como Myroxylon peruiferum o Myrcianthes pseudomato, propias de la Formación Boliviano – Tucumano (Navarro &amp; Maldonado, 2002). Debido a la casi total deforestación que ha sufrido este piso (ya que representó siempre las mejores condiciones para el asentamiento humano), el resultado es un paisaje actual conformado básicamente por un mosaico de fases secundarias, donde solo quedan relictos boscosos aislados.</p> <p><b>Fuentes de información: Beck et al 1993, S. Beck com.pers.; R. Lopez com.pers.</b></p>
Boliviano - Tucumano norte-centro	Bosque mediano seco valluno con Schinopsis haenkeana	<p><b>Distribución:</b> Bosques Secos Interandinos de los departamentos de Santa Cruz, Chuquisaca, Cochabamba, Potosí y Tarija, entre 1300 – 2500 msnm.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques secos deciduo de porte medio, ocupa intervalos altitudinales entre los 1300 – 2500 m, en zonas de glacis de pie de monte, laderas inferiores y fondo de valle, siendo ralos en ambientes muy perturbados y densos e inaccesibles en áreas de poca perturbación. Esta unidad se caracteriza por la presencia repetitiva y constancia de dos especies; la primera es Schinopsis haenkeana que tienen su óptimo de distribución en los valles secos de Bolivia (López, 2003; Navarro, 2002). La segunda es un endemismo notable de los valles secos de Cochabamba (Wood 2005), Cardenasiodendron brachypterum que está acompañado de varias especies de formas microfoliadas espinosas y suculentas entre ellas Athyana weinmanniifolia, Neoraimondia herzogiana, Aspidosperma quebracho-blanco, Acacia furcatispina, Prosopis kuntzei, Jatropha papyrifera, Browningia caeana y Harrisia tetracanta. El sotobosque presenta una gran proporción de arbustos espinosos, la composición florística de este estrato es muy típica y se diferencia por la presencia de Bougainvillea stipitata, Cnidoscolus tubulosos, Cleistocactus parviflorus, Cordia chacoensis, Piptadenia boliviana y Vernonia saltensis. La comunidad de epífitas asociadas al bosque está representada por Tillandsia sphaerocephala y T. Tenuifolia. En su límite inferior se pueden encontrar especies de mayor amplitud ecológica en tierras bajas como Anadenanthera colubrina, acompañado de Loxopterygium grisebachii, Libidibia paraguariensis, Ruprechtia triflora, Gochnatia palo santo, y Pseudobombax andicola.</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Boliviano - Tucumano norte	Bosque bajo seco valluno con <i>Prosopis laevigata</i>	<p><b>Distribución:</b> Departamento de Chuquisaca, Cochabamba, Norte de Potosí.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques bajos a chaparrales secos a xerofíticos sobre suelos altamente degradados y rocosos, ocupan las laderas bajas de las serranías de los valles secos interandinos: Presenta una cobertura abierta con árboles dispersos y matorrales densos conformados por especies espinosas y cactáceas suculentas. Destacan en el estrato arbóreo las siguientes especies: <i>Schinus molle</i>, <i>Prosopis laevigata</i>, <i>Jacaranda mimosifolia</i>, <i>Aspidosperma quebracho blanco</i>, <i>Carica quercifolia</i>, <i>Acacia visco</i>, <i>A. Caven</i>. Entre los arbustos dominantes están: <i>Harrisia tetraantha</i>, <i>Cleistocactus parviflorus</i>, <i>Opuntia sulfurata</i>, <i>Acacia aroma</i>, <i>Jatropha gossypifolia</i>, <i>Sigüiera tucumanensis</i>, <i>Puya mirabilis</i>, <i>Ephedra americana</i>, <i>Talium triangulare</i>, <i>Ayenia schumanniana</i>, <i>Kageneckia lanceolata</i>, <i>Kentrothamnus weddellianus</i> y <i>Gochnatia glutinosa</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> J.C. Montero, R. Müller &amp; I. Montero obs.pers.; Navarro &amp; Ferreira 2004.</p>
Boliviano - Tucumano norte	Bosques medianos prepuneños secos con <i>Tipuana tipu</i> <i>Zanthoxylon coco</i>	<p><b>Distribución:</b> Cabeceras de valles interandinos entre los departamentos de Cochabamba, Santa Cruz, Sucre y Tarija.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosque medianos subhúmedos con doseles semidecídúo, estos bosques cubrieron gran parte de las laderas por encima de 2400 – 2800 m (Navarro &amp; Maldonado, 2002). En la actualidad solo se pueden observar pequeñas manchas refugiadas en quebradas de difícil acceso o relictos aislados en medio de fases secundarias que cubren grandes extensiones. En su estado óptimo o potencial, correspondería a un bosque bajo semidecídúo abierto, fragmentado, con árboles emergentes de <i>Tipuana tipu</i> y <i>Jacaranda mimosifolia</i>, acompañados por pequeños árboles como <i>Kageneckia lanceolata</i>, <i>Zanthoxylum coco</i>, <i>Lithraea ternifolia</i>, <i>Schinus molle</i>, <i>Escallonia millegrana</i>, <i>Berberis bumeliifolia</i>. Con epífitos muy característico como <i>Tillandsia usneoides</i>, <i>T. Bryoides</i> y <i>T. Tenuifolia</i>. Las variaciones que pudieran darse en esta zona estarían condicionadas por la altitud, mayor o menor humedad y profundidad de los suelos en función de la topografía. Así que en laderas adyacentes a quebradas bastante húmedas, pueden ingresar plantas como <i>Myroxylon peruiferum</i> o <i>Myrcianthes pseudomato</i>, propias de la Formación Boliviano – Tucumano (Navarro &amp; Maldonado, 2002). Debido a la casi total deforestación que ha sufrido este piso (ya que representó siempre las mejores condiciones para el asentamiento humano), el resultado es un paisaje actual conformado básicamente por un mosaico de fases secundarias, donde solo quedan relictos boscosos aislados.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> J.C. Montero, R. Mueller &amp; I. Montero obs.pers.; Navarro &amp; Maldonado 2002; J. Blacazar pers.com; I. Vargas pers.com; R. López pers.com</p>
Boliviano - Tucumano norte	Bosques medianos prepuneños secos con <i>Juglans soratensis</i>	<p><b>Distribución:</b> Departamento de La Paz, cuenca del río Consata.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosque seco de porte mediano a bajo, ocupa tanto, cabeceras como fondo de valle de la cuenca del río Consata, está conformado mayoritariamente por especies de carácter deciduo como, sin embargo pueden incluirse algunas otras especies menos deciduas, de forma general las especies que caracterizan a esta unidad de bosque son: <i>Lithraea ternifolia</i>, <i>Astronium urundeuva</i>, <i>Juglans soratensis</i>, <i>Erythrina falcata</i>, <i>Anadenanthera colubrina</i>. Este tipo de vegetación ha sido transformado en gran parte de su área de ocupación, por lo que es común encontrar zonas degradadas con amplia dominancia de <i>Dodonea viscosa</i>. En partes más altas, se encuentran relictos de bosque de chilijchi (<i>Erythrina falcata</i>) y una especie de nogal que es endémica para la zona (<i>Juglans soratensis</i>).</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro et al. 2003; J.C. Montero &amp; R. Müller, obs.pers.</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Boliviano - Tucumano Norte	Bosques medianos subhúmedos del subandino con Pogonopus tubulosus	<p><b>Distribución:</b> Desde el Sur del Departamento de Santa Cruz hasta la frontera con Argentina, en alturas que oscilan entre 1200 – 1600 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques subhúmedos semidecíduos de porte mediano, ocupan laderas de serranías altas y medias del subandino, donde transicionan en su límite inferior con bosques más secos de la región chaqueña denominada por Cabrera y Willink (1973) Chaco Serrano. Los bosques pueden llegar a medir entre 10-15 m de altura según el estado de conservación. Florística y estructuralmente esta dominada por especies de carácter semidecídulo como el cebil (<i>Anadenanthera colubrina</i>), el chari (<i>Parapiptadenia excelsa</i>), la Tipa (<i>Tipuana tipu</i>) y la Quina (<i>Pogonopus tubulosus</i>), como elementos característicos de este tipo de bosque, sin embargo también son comunes especies afines a la región chiquitana como: <i>Machaerium scleroxylon</i>, <i>Tabebuia ochracea</i>, <i>Caesalpinia pluviosa</i>, <i>Cariniana estrellensis</i>, <i>Cedrela fissilis</i>, <i>Cordia Trichotoma</i>, <i>Zeyheria tuberculosa</i>, <i>Diatenopterix sorbifolia</i>, <i>Juglans australis</i>, <i>Lonchocarpus lilloi</i>, <i>Tabebuia lapacho</i>, <i>Myroxylon peruiferum</i>, <i>Chrysophyllum gonocarpum</i>, <i>Coccoloba tiliácea</i>. En los límites norteños de la unidad, <i>Cariniana estrellensis</i> se encuentra en forma abundante, junto con <i>Alvaradoa subovata</i> y <i>Lafoensia pecari</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> J.C. Montero, R. Mueller &amp; I. Montero obs.per.; I. Vargas, pers.com; R. López com.pers.; Navarro &amp; Maldonado 2002; Balcazar 2002.</p>
Boliviano - Tucumano Norte	Bosques bajos secos andinos con <i>Polylepis crista galli</i>	<p><b>Distribución:</b> En los departamentos de Santa Cruz, Chuquisaca y Tarija, entre 2300 – 3900 m</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques bajos a microbosques andinos secos, ocupan áreas de crestas, picos, laderas de fuerte pendiente y excepcionalmente planicies de alta montaña, sobre sustratos mayormente rocosos. Conformada por <i>Polylepis crista-galli</i> que es una especie endémica para Bolivia, donde se entremezclan con <i>P. tomentella</i> ssp. <i>tomentella</i> en las laderas secas. En el sur de Chuquisaca y este de Tarija, alrededor de los 2500 m de altitud, esta especie entra en contacto con <i>Podocarpus parlatorei</i> y <i>Alnus acuminata</i>, formando un mosaico de especies donde <i>P. crista-galli</i> se distribuiría en las laderas más secas (Kessler 1995, Kessler com. Pers.). Arriba de los 3200 m es la especie dominante, por debajo de esta altura forma parte de lugares secos junto con <i>Schinus meyeri</i> y <i>Myrica pubescens</i>. Otras especies asociadas son <i>Polylepis neglecta</i>, <i>P. hieronymi</i>, <i>Escallonia hypoglaucula</i> y <i>Schinus andinus</i>. <i>Baccharis papillosa</i>, <i>Deyeuxia calderillensis</i>, <i>Puya humilis</i>, <i>Deyeuxia fiebrigii</i>, <i>Deyeuxia hieronymi</i>, <i>Baccharis dracunculifolia</i>, <i>Baccharis leptostachia</i>, <i>Festuca dolichophylla</i>, <i>Festuca fiebrigii</i>, <i>Festuca hieronymi</i> y <i>Berberis wettsteiniana</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Kessler 1995; Navarro &amp; Ferreira 2003 Fjeldsa &amp; Kessler 2004; M. Serrano com.pers</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Yungas Boliviano Peruano (Valles xericos interandinos)	Bosques medianos secos del subandino con <i>Schinopsis brasiliensis</i>	<p><b>Distribución:</b> Cuencas de los ríos Tuichi, Machariapo, Caranavi, La Paz, Boopi.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques deciduos del subandino, ocupa los valles y laderas internas de las cuencas del Boopi, Kaka y Machariapo. La vegetación y su flora tiene fuertes afinidades con los de la región Chiquitana, donde elementos comunes de bosques secos chiquitanos, son ampliamente dominantes en estos valles: De forma general las siguientes especies caracterizan estos bosques: <i>Schinopsis brasiliensis</i>, <i>Anadenanthera macrocarpa</i>, <i>Astronium urundueva</i> y <i>Galesia integrifolia</i>. Sin embargo se pueden diferenciar los bosques de la cuenca de los ríos Tuichi y Machariapo por la presencia de las siguientes especies: <i>Phyllostylum rhamnoides</i>, <i>Zanthoxylum fagara</i>, <i>Chrysophyllum gonocarpum</i>, <i>Randia armata</i>, <i>Ruprechtia apetala</i>, <i>Pereskia weberiana</i>, <i>Trichilia catigua</i>, <i>Capparis polyantha</i> (según Fuentes et al 2004). Los bosques de la cuenca del río Caranavi por las siguientes especies: <i>Maclura tinctoria</i>, <i>Peltophorum vogelianum</i>, <i>Machaerium acutifolium</i>, <i>Caesalpinia pluviosa</i> (según obs. Pers. J.C. Montero &amp; R. Müller). Los Bosques de la cuenca del río La Paz y de la cuenca alta del río Boopi: <i>Jacaranda mimosifolia</i>, <i>Pseudobombax longiflorum</i>, <i>Tabebuia aurea</i>, <i>Luehea paniculata</i>, <i>Samaipatacereus inquisivensis</i> (alrededores de Irupana) (según obs. Pers. J.C. Montero &amp; R. Müller).</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro et al. 2003; Fuentes et al. 2004; J.C. Montero &amp; R. Müller obs.pers. ; A. Araujo com.pers.; A. Fuentes com.pers.</p>
Yungas Boliviano Peruano	Bosques altos hiperhúmedos del subandino con <i>Oenocarpus bataua</i>	<p><b>Distribución:</b> Norte y noreste del departamento de La Paz (principalmente prov. Larecaja, noroeste de la provincia Caranavi y este de la provincia Franz Tamayo), en alturas entre 800- 1500 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques siempreverdes hiperhúmedos, ocupan las laderas montañas transicionales al subandino, donde tanto, floras amazónicas y yungueñas se entremezclan. El bosque es alto con varios estratos, altamente diverso y complejo, de manera general es caracterizado por la presencia abundante de palmares de <i>Oenocarpus bataua</i> e <i>Iriartea deltoidea</i>, además de formar comunidades mixtas conjuntamente <i>Eschweilera andina</i>, <i>Ficus boliviana</i>, <i>Hevea brasilensis</i>, <i>Ladenbergia riveroana</i>, <i>Cinchona calisaya</i>, <i>Podocarpus magnifolius</i>, <i>Cespedezia spathulata</i>, <i>Vochysia boliviana</i> y <i>Ormosia larecajana</i>. En áreas transicionales entre las sabanas de Apolo, se pueden encontrar palmares aislados de <i>Euterpe luminosa</i>, <i>Mollia lepidota</i> ssp. Boliviana, <i>Isertia laevis</i> y <i>Miconia</i> sp. Esta amplia franja de bosques se encuentra en buen estado de conservación, pero se caracteriza también por ser muy frágil y puede transformarse fácilmente en pajonales degradados, ejemplo concreto son los grandes pajonales entre Tipuani-Guanay y Mapiri. Por otro lado los inventarios florísticos en estos bosques han sido muy pobres, a pesar de haberse encontrado varios elementos endémicos. Históricamente estos bosques fueron muy importantes ya que en el siglo pasado se explotaba intensamente la goma y la quina, dos recursos forestales no maderables que marcaron su punto máximo para la economía del país.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro et al. 2003; J.C. Montero &amp; R. Müller obs.pers.; Moraes 2004.</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Yungas Boliviano Peruano	Bosques altos hiperhúmedos del subandino con <i>Tetragastris altissima</i>	<p><b>Distribución:</b> Norte del departamento de La Paz entre 700 – 1700 m hasta su intercepción con los bosques de la llanura amazónica.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques siempreverdes del subandino, ocupa las laderas bajas de las serranías del subandino. Fisonómicamente el bosque es alto mayoritariamente de follaje siempreverde con algunos elementos semidecíduos, presenta varios estratos, muy diversos y complejos. Entre las especies que caracterizan estos bosques, de manera general podemos mencionar <i>Tetragastris altissima</i>, <i>Cavanillesia hylogeiton</i>, <i>Swietenia macrophylla</i>, <i>Alchornea glandulosa</i>, <i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>, <i>Croton draconoides</i>, <i>Caliandra trinervia</i>, <i>Pouteria</i> sp. Y <i>Cabralea canjerana</i>. Dentro de los BNA, esta unidad se constituye en la que ejerce mayor influencia amazónica como por ejemplo los géneros <i>Tetragastris</i> y <i>Pouteria</i>, elementos con amplia distribución amazónica.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro et al. 2003; J.C. Montero &amp; R. Müller pers. Obs.; Moraes 2004; S. Beck com.pers.; PIAF-EL CEIBO 2000</p>
Yungas Boliviano Peruano	Bosques altos hiperhúmedos del subandino con <i>Dictyocaryum lamarckianum</i>	<p><b>Distribución:</b> Norte de Cochabamba hasta el oeste de Santa Cruz, entre 1800 y 800 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques siempreverdes, ocupan laderas intermedias de las serranías medias del subandino, entre los 800 y 1200 msnm. El bosque es alto ampliamente dominado por palmares de <i>Dictyocarium lamarckianum</i> e <i>Iriartea deltoidea</i>, acampan especies como <i>Eschweilera coriacea</i>, <i>Terminalia amazonica</i>, <i>Dipteryx odorata</i>, <i>Clarisia biflora</i>, <i>Guarea macrophylla</i>, <i>Sloanea fragans</i>, <i>Alchornea latifolia</i>, <i>Nectandra laurel</i>, <i>Persea peruviana</i>, <i>Ceroxylum parvifrons</i> y <i>Cinchona humboldtiana</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro et al. 2003; J.C. Montero com.pers.; Moraes 2004.</p>
Yungas Boliviano Peruano transicional amazonia del pie de monte andino	Bosques altos húmedos del subandino con <i>Pentaplaris davidsmithii</i>	<p><b>Distribución:</b> Norte del departamento de La Paz (Guanay, Caranavi) entre 700 – 1100 m</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques húmedos a subhúmedos del subandino, ocupa las terrazas antiguas bien drenadas exentas de inundaciones o procesos de encharcamiento, así como laderas de mediana pendiente. El bosque es alto multi-estratos y muy complejo, presentan especies de amplia distribución en tierras bajas, pero también algunas restringidas a estos ecosistemas como: <i>Pentaplaris davidsmithii</i>, <i>Centrolobium tomentosum</i>, <i>Myroxylum balsamum</i>, <i>Calophyllum brasiliense</i>, <i>Virola sebifera</i>, <i>Apuleia</i> cf. <i>Mollaris</i>, <i>Sloanea eichleri</i>, <i>Jacarandá copaia</i>, <i>Spondias mombin</i>, <i>Oxandra polyantha</i>. Estos bosques pueden variar en sus estructura y composición en función a la topografía local, siendo más húmedos en condición de umbría (Laderas de exposición sur) y más secos en condición de solana (laderas de exposición norte).</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro et al. 2003; J.C. Montero &amp; R. Müller obs.pers.</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Yungas Boliviano Peruano  transicional amazonia del pie de monte andino	Bosques altos húmedos del subandino con Terminalia oblonga	<p><b>Distribución:</b> Departamento Santa Cruz al norte de la carretera que une Santa Cruz.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques semidecíduos a siempreverdes del subandino, ocupa las terrazas más recientes de los cauces fluviales, presenta niveles de drenaje regular a malo por lo que someramente sufre periodos cortos de anegamiento estacional, los suelos son relativamente profundos arcillosos. Fisonómicamente son bosques altos pluri-estratificados con muchas especies de lianas y una elevada abundancia y diversidad de palmeras. Entre las especies más importantes en los estratos superiores tenemos Poulsonia armata, Dipteryx odorata, Terminalia oblonga, T. Amazónica. En el sotobosque se puede apreciar un notable desarrollo de muchas especies arbustivas y arbóreas dominadas por especies de las familias Rubiaceae, Acanthaceae y varias del grupo de las pteridófitas. Es notable la abundancia que alcanzan las palmeras arbóreas como Oenocarpus bataua), Iriartea deltoidea, Astrocaryum murumuru, Socraetea exhorryza, Brosimum acutifolium, Cedrela odorata, Centrolobium ochroxylum, Erythrina poeppigiana y Ormosia nobilis que en conjunto pueden hacer manchas casi homogéneas.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro et al. 2003; J.C.Montero obs.per.; I. Vargas com.pers.</p>
Yungas Boliviano Peruano	Bosques medianos montanos húmedos con Clethra spp Podocarpus spp	<p><b>Distribución:</b> Yungas de los departamentos de La Paz y Cochabamba, entre 2300 – 3200 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques medianos húmedos siempre verdes, muy densos pluriestratificados, con abundantes epifitas, musgos y notablemente diversos. Ocupa el intervalo altitudinal entre los 2300 – 3200 msnm. Geomorfológicamente ocupa laderas de fuertes a medianas pendientes, estrechos valles y colinas inter-montanas, donde los suelos son netamente rocosos, posee gran cantidad de materia orgánica, proveniente del aporte de la biomasa vegetal (suelos húmicos). Presentan abundantes epifitos principalmente de orquídeas y bromelias, así como también frecuentes helechos arborescentes de los géneros Cyathea, Alsophila y Dicksonia. Los bosques bien conservados están generalmente dominados en el dosel por especies del genero Podocarpus, Weinmannia, Ocotea, Blepharocalyx, Alchornea, además de numerosas especies de Lauraceas, sin embargo, y debido a la dinámica sucesional, en la actualidad son comunes aspectos de estos bosques menos estructurados, los cuales esta dominados por las siguientes especies arbóreas: Hedyosmun racemosum, H. Angustifolium, Weinmannia bangui, W. Multifuga, Schefflera allacotantha, Oreopanax kuntzei, Morus insignis, Clusia flaviflora, Siparuna boliviana, Clusia multiflora, Alchornea latifolia, Alchornea pearcei, Hieronyma andina, Ocotea jelskii, Nectandra reticulata, Cyathea caracasana, Alsophila incana, Dicksonia sellowiana, Ruagea glabra, Ruagea ovalis, Prunus spp., Ceroxylon pityrophyllum, Geonoma undata, Elaeagia ovata, Clethra scabra.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro et al 2003; observación personal</p>
Yungas Boliviano Peruano	Bosques medianos montanos húmedos con Prumnopitys harmisiana	<p><b>Distribución:</b> En el departamento de La Paz, cuenca alta del río Boopi y el río Coroico, entre 1900- 2300 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques húmedos siempreverdes, que ocupan franjas discontinuas con un dosel complejo y alto. Presentan ciertos elementos emergentes aislados, característicos de los bosques amazónicos como Cedrela, Ficus, Conceveiva, Pouruma y Sapium, lo cual los hace distinto a otras formaciones. Entre las especies características se pueden mencionar a Prumnopitys harmisiana, Weinmannia spp, Cedrela odorata, Brunellia coroicoana, Myrsine coriacea, Conceveiva sp., Pouruma sp., Croton peruifero, Ficus sp, Sapium sp. Y Alchornea sp.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> J.C. Montero &amp; R. Müller obs.pers.; Navarro &amp; Ferreira 2004</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Yungas Boliviano Peruano	Bosques altos húmedos montanos con Juglans boliviana	<p><b>Distribución:</b> Norte de La Paz, alrededores de Caranavi, Coroico y las sabanas de Apolo, en alturas entre 1100-1200 y 1900-2100 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques montanos húmedos a subhúmedos, con doseles altos de carácter siempreverde a semidecíduos. Ocupa laderas montanas en condiciones de menor humedad, presentan áreas discontinuas por el impacto que han sufrido por efecto del cambio de uso de suelos. En su límite superior forman bosques más húmedos, con especies típicas de los yungas como aquellas que pertenecen a los generos Alchornea, Brunellia, Cinchona, Clethra y Clusia. En su límite inferior entre 1100 y 1200 m, se entremezclan con especies de bosques más secos como Schinopsis brasiliensis, Astronium urundeuva y Anadenanthera colubrina.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> J.C. Montero &amp; R. Müller obs.pers.; Navarro et al. 2003</p>
Yungas Boliviano Peruano	Bosques medianos húmedos de la ceja de monte con Polylepis lanata	<p><b>Distribución:</b> En el departamento de Cochabamba, al este del valle del río Cotacajes entre 3500- 4000 mm</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques húmedos siempreverdes de la ceja de monte yungueña ocupa intervalo que varía entre los 3000-3.500 (4000) msnm. A manera de manchas dispersas en laderas de fuertes pendientes, con crestas irregulares fuertemente disectadas y pequeñas terrazas de origen tectónico. Las especies que la componen tienen carácter siempreverde, y están conformadas en su estrato superior por: Polylepis lanata, Hesperomeles lanuginosa, Oreopanax macrocephalon, Vallea stipularis, Citharexylum punctatum, Miconia mandonii, Myrsine coriacea, Symplocos nana. En su estrato inferior y sotobosque están Myrteola phyllicoides, H. Pernettyoides, Gunnera scabra, Berberis paucidentata. Ribes brachybotrys, Oxalis corniculata, Pernettya prostrata, Puya herzogii, Satureja boliviana, Fuchsia nana, como elementos distintivos de este tipo de bosque.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> M.Kessler pers.com; Fjeldsa &amp; Kessler 2004</p>
Yungas Boliviano Peruano	Bosques medianos húmedos de la ceja de monte con Polylepis triacontandra	<p><b>Distribución:</b> Se distribuye entre los 3200-4000 m de altitud (Kessler 1995), abarcando la Ceja de Monte de los Yungas de las regiones de Apolobamba, Boopi y Coroico (Navarro et al. 2003).</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques húmedos siempreverdes de la ceja de monte, ocupa franjas semicontínuas entre el bosque montano húmedo y la puna subhúmeda, puede formar bosques mixtos en sectores con Polylepis lanata y en menor frecuencia con Polylepis pepeii. El bosque es de porte mediano dominado por Polylepis triacontandra, sin embargo, son comunes y hasta dominantes en estos bosques especies más amplias de la ceja de monte como: Styloceras columnare, Buddleja montana, Vallea stipularis, Hesperomeles ferruginea, Alnus acuminata, Oreopanax rusbyi, Berberis rariflora.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Kessler 1995; Kessler 2006.</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Yungas Boliviano Peruano	Microbosques altoandinos húmedos con <i>Polylepis pepeii</i>	<p><b>Distribución:</b> En los departamentos de Cochabamba y La Paz entre los 3800-4400 msnm</p> <p><b>Descripción:</b> Microbosques altoandinos húmedos siempreverdes, ocupa lugares altos por encima de los 3800 msnm, justo al límite con los pajonales altimontanos, en laderas fuertemente empinadas y pequeños valles en V de origen glaciar. La distribución de estos microbosques es dispersa y se desarrolla sobre suelos poco profundos con abundantes rocas angulosas resultado de procesos de gelificación provocadas por las heladas invernales. Florísticamente dominados por <i>Polylepis pepeii</i> que es una especie de porte bajo acompañada por arbustos como <i>Gynoxis cochabambensis</i>, <i>Gynoxis glabriuscula</i>, <i>Luzula excelsa</i>, <i>Berberis rariflora</i>, <i>Baccharis glomerata</i>, <i>Baccharis pentlandii</i>; finalmente un estrato inferior o herbazal caracterizado por: <i>Oxalis flagellata</i>, <i>Gentiana sedifolia</i>, <i>Senecio epiphyticus</i> y <i>Vaccinium floribundum</i> entre otros. En las partes más altas (4200 msnm) el bosque es más denso, menos accesible y de menor tamaño, en los roquedales se puede observar comunidades saxícolas dominadas por <i>Puya herzogii</i> con algunos individuos de <i>Puya tristis</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Kessler 1995; Fjeldsa &amp; Kessler 2004; Kessler 2006; Navarro 1997; Navarro et al. 2003.</p>
Prepuna Sur	Microbosques a chaparrales prepuneños secos con <i>Prosopis ferox</i>	<p><b>Distribución:</b> En el extremo suroeste de Chuquisaca, este de Potosí y oeste de Tarija entre 2600 – 3300 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Microbosques a chaparrales xerofíticos espinosos y deciduos. Se ubican en las laderas prepuneñas y al pie de las altiplanicies sobre suelos arenosos, salinos, ocupando un intervalo altitudinal entre los 2600-3300 msnm. La vegetación está conformada básicamente por la dominancia de <i>Prosopis ferox</i> que le da la fisonomía de un bosque bajo y espinoso, acompañado de especies restringidas a estos ecosistemas como <i>Cercidium andicola</i>, <i>Caesalpinia pumilo</i> y cactáceas columnares (cardonales) de <i>Trichocereus tacaquirensis</i> y <i>Trichocereus werdermannianus</i>, además de varias especies de cactus pequeños de los generos <i>Oreocereus</i>, <i>Cleistocactus</i>, <i>Rebutia</i>. En el estrato arbustivo-herbáceo se nota la presencia de arbustos amacollados conformado por <i>Tetraglochin cristatum</i> y <i>Adesmia kieslingii</i>, <i>Kallstroemia boliviana</i>, <i>Proustia cuneifolia</i>, <i>Porliera microphylla</i> y <i>Aristida adscensionis</i>.</p> <p>Fuentes de información: López 2000; R. López com.pers.</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Prepuna Sur	Microbosques a chaparrales prepuneños	<p><b>Distribución:</b> Se encuentra distribuida en las mismas regiones geográficas que el chaparral de churqui, la única diferencia es que esta alcanza una mayor altitud en relación a los chaparrales de khari y palqui. La vegetación se encuentra en el extremo suroeste de Chuquisaca, este de Potosí y oeste de Tarija, entre 2300 – 2800 m. semiáridos con <i>Acacia feddeana</i></p> <p><b>Descripción:</b> Microbosques a chaparrales semi-aridos deciduos. Se ubica entre los 2300 a 2800 m de altitud, en serranías altamente disectadas hasta laderas altas con relieves ondulados, el bioclima es xerico-seco, los suelos son rocosos bastante afectados por procesos de erosión hídrica, lo que provoca la formación de cárcavas profundas y el deslizamiento de suelos. La vegetación se presenta como microbosques y arbustadas xeromórficas que dependiendo del grado de intervención pueden variar hasta matorrales y herbazales. Las especies que la componen tienen en general un carácter microfilo y espinoso con alturas que no superan los 2,5 m. Esta unidad está fuertemente expuesta a condiciones de extrema sequía, contando las especies que la componen adaptaciones estrictas a tan extremas condiciones, entre ellas el Palqui (<i>Acacia feddeana</i>) y el Breo (<i>Cercidium andicola</i>), cuyas cortezas tiene la capacidad de realizar la fotosíntesis. Entre las especies que componen esta comunidad están: <i>Gochnatia cardenasii</i>, <i>Flourensia fiebrigii</i>, <i>Opuntia spinibarbis</i>, <i>Bulnesia rivas-martinezii</i>, <i>Cleistocactus tupizensis</i>, <i>Hyaloseris camataquiensis</i>, <i>Eschinopsis camarguensis</i>, <i>Prosopis alba</i>, <i>Capparis atamisquea</i> y elementos biogeográficamente muy importantes como <i>Larrea divaricata</i>, <i>Bougainvillea spinosa</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> López 1998; Navarro 1997; Beck et al. 2001; R. López com. pers.</p>
Prepuna Norte	Microbosques a chaparrales prepuneños seco con <i>Tecoma arequipensis</i>	<p><b>Distribución:</b> Centro del departamento de La Paz, entre 2300-3200 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Chaparrales secos bajos, que ocupa laderas de serranías degradadas, florísticamente está conformada por especies de porte bajo deciduos como: <i>Caesalpinia fimbriata</i>, <i>Tecoma arequipensis</i>, <i>Acacia macracantha</i>, <i>Prosopis laevigata</i> var. <i>Andicola</i>, <i>Trichocereus lageniformis</i> y <i>Carica quercifolia</i>. Esta unidad de vegetación es un homologo a aquellos bosques bajos con <i>P. Laevigata</i> var. <i>Andicola</i> de los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca y Potosí.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro &amp; Ferreira 2004; Navarro &amp; Maldonado 2002</p>
Prepuna Centro	Microbosques a chaparrales prepuneños seco con <i>Kageneckia lanceolata</i>	<p><b>Distribución:</b> Centro y sureste de Cochabamba, noreste de Potosí y noroeste de Sucre. Entre 2400 y 3100 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Chaparrales hasta bosques muy bajos (microbosques) secos y deciduos, que cubrían gran parte de las laderas montañosas de los valles interandinos entre unos 2500 y 3200 m. En la actualidad ha sido completamente transformada y solamente se encuentran pequeños relictos a manera de árboles dispersos con <i>Kageneckia lanceolata</i>, <i>Carica quercifolia</i>, <i>Schinus molle</i> y <i>Escallonia millegrana</i> en medio de matorrales y pajonales sucesionales que se instala en zonas aclaradas como consecuencia de una degradación mayor del bosque. Predominan arbustos leñosos y subfruticosos: <i>Allionia incarnata</i>, <i>Senna crassiramea</i>, <i>Aloysia gratisima</i>, <i>Ayenia schumanniana</i>, <i>Baccharis ulicina</i>, <i>Boerhavia coccinea</i>, <i>Bouteloa curtipendula</i>, <i>Bulbostylis juncooides</i>, <i>Croton baillonianus</i>, <i>Eupatorium hookerianum</i>, <i>Evolvulus sericeus</i>, <i>Jatropha gossypifolia</i>, <i>Lantana reptans</i>, <i>Microchloa indica</i>, <i>Opuntia tayapayensis</i>, <i>Pappophorum caespitosum</i>, <i>Selaginella sellowi</i>, <i>Sida callimorpha</i>, <i>Tragus berteronianus</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Navarro &amp; Ferreira 2004</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Puna Subhúmeda	Microbosques puneños subhúmedos con <i>Buddleia coriacea</i>	<p><b>Distribución:</b> Alturas entre 4300 – 4600 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Matorrales bajos subhúmedos a secos que ocupan las áreas transicionales entre la ceja de monte y los pastizales de altura de la región puneña, conformada por especies de porte bajo, semidecuidos a siempreverdes. Esta unidad puede combinarse con especies típicas de bosques de <i>Polylepis</i>, formando límites poco perceptibles entre ambas unidades. A nivel florístico está dominado por varias especies del género <i>Baccharis</i>, además de <i>Buddleja coriacea</i>, <i>Brachyotum microdon</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> M.Kessler pers.com.</p>
Puna subhúmeda	Bosques bajos puneños secos con <i>Polylepis pacensis</i>	<p><b>Descripción:</b> Cuencas altas de los ríos La Paz, Luribay y Cotacajes (departamento de La Paz y extremo oeste del de Cochabamba), los Yungas del sur del departamento de La Paz (Inquisivi/Quime) y en la cordillera Oriental de La Paz en la Puna meso tica.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques semidecuidos puneños, ocupan áreas de la ceja de monte entre 3400 – 4000 m. El bosque en mediano a bajo con superficies pequeñas y fragmentadas, ubicadas exclusivamente en laderas rocosas de cerros, con pendientes empinadas. Ocasionalmente se encuentran árboles aislados cerca de terrazas de cultivos. <i>Polylepis pacensis</i> incluye varias especies arbustivas y herbáceas, entre ellas destacan arbustos de <i>Baccharis tola</i> var. <i>Incarum</i>, <i>B. La folia</i>, <i>B. Papillosa</i>, <i>B. Pentlandii</i>, <i>Schinus microphylla</i> (sin. <i>S. Andinus</i>), <i>Clinopodium bolivianum</i>, <i>Pluchea fasciata</i>, <i>Calceolaria buch eniana</i>, <i>C. Lobata</i>, <i>C. Bartsiiifolia</i>, <i>C. Engleriana</i>, <i>Berberis commutata</i>, <i>B. Boliviana</i>, <i>Brachyotum microdon</i> y <i>Agalinis lanceolata</i>; hierbas como <i>Plantago lanceolata</i>, <i>Achyrocline alata</i>, <i>Lupinus al montanus</i>, <i>Gnaphalium cheiranthifolium</i>, <i>Castilleja virgata</i>, <i>Quinchamalium chilense</i>, <i>Bomarea</i> cf. <i>Dulcis</i> y gramíneas.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> M.Kessler pers.com; Navarro et al. 2003.</p>
Puna subhúmeda	Bosques bajos puneños secos con <i>Polylepis besseri</i>	<p><b>Distribución:</b> se distribuye en el departamento de Cochabamba entre los 3000-4100 m y en partes de las cuencas altas de los ríos Grande y Pilcomayo del departamento de Chuquisaca.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques secos a subhúmedos puneños, ocupan las cabeceras superiores de los valles secos. Ocupa laderas amplias, quebradas y pequeñas colinas altoandinas. Bosques siempreverdes a semidecuidos, de porte medio a bajo, según la condición ecológica, altamente fragmentados y restringidos a sitios poco accesibles. Las especies que componen estos bosques son: <i>Cytharexylum punctatum</i>, <i>Mutisia cochabambensis</i>, <i>Brachyotum microdon</i>, <i>Escallonia myrtilloides</i>, <i>Pernettya prostrata</i>, <i>Puya herzogii</i>, <i>Puya humilis</i>.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Kessler 1995; M.Kessler pers.com.; Fjeldsa &amp; Kessler 2004.</p>

Zonas de vegetación (Navarro y Ferreira 2004)	Denominación actual	Detalle del tipo de bosque
Puna subhúmeda	Bosques bajos puneños secos con <i>Polylepis subtusalbida</i>	<p><b>Distribución:</b> 3000-4100 m, después del piso superior de los Bosques Secos Interandinos hacia el norte del departamento de Potosí y el sur del departamento de Cochabamba en la zona central del País.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques semidecuidos de montaña. Ocupa áreas de laderas en forma de fragmentos, así como quebradas de difícil acceso. El bosque es bajo conformada por arboles no mayores a 5 mt., donde la especie dominante es <i>Polylepis subtusalbida</i>, que representa un endemismo de las cabeceras de valles altos del centro de Bolivia. Además de esta especie se pueden asociar según el sitio varias especies arbustivas como: <i>Senna weddelliana</i>, <i>Schinus microphyllus</i>, <i>Escallonia resinosa</i> y <i>Berberis cf. Commutata</i>, <i>Brachyotum microdon</i>, <i>Vallea stipularis</i>, <i>Saracha punctata</i>, <i>Citharexylum punctatum</i>, como elementos diferenciales de este tipo de bosque.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Fjeldsa &amp; Kessler 2004; M. Kessler pers.com; Kessler 1995; Beck &amp; García 1991.</p>
Puna subhúmeda	Microbosques puneños secos con <i>Polylepis tomentella</i>	<p><b>Distribución:</b> Entre los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca y Potosí entre 3200-4500 msnm en el sur de la Puna Semihúmeda.</p> <p><b>Descripción:</b> Bosques subhúmedos a secos de la puna, ocupa las partes altas y medias de las montañas secas. El bosque es de porte bajo a mediano, dependiendo las subespecies y el grado de intervención, Por ejm. <i>P. Tomentella</i> subsp nana y <i>P. Tomentella</i> subsp tomentella no supera el 1,5-3 m de altura, en cambio <i>P. Tomentella</i> subsp incanoides puede llegar a medir hasta 4-5 m. De forma general estas unidades de vegetación están conformadas por especies de amplia distribución en este piso como <i>Baccharis dracunculifolia</i>, <i>Tetraglochin cristatum</i>, <i>Adesmia miraflorensis</i>, <i>Plazia daphnites</i>, <i>Mutisia</i> spp.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Kessler 1995; M. Kessler pers.com.; Fjeldsa &amp; Kessler 2004; Navarro 1997.</p>
Puna subhúmeda	Microbosques puneños subhúmedos con <i>Polylepis incarum</i>	<p><b>Distribución:</b> Colinas próximas al lago Titicaca entre los 3800-4100 m.</p> <p><b>Descripción:</b> Chaparrales secos a subhúmedos, que ocupan colinas y pequeñas serranías en las partes altas y medias cercanas al lago Titicaca (3800-4100 msnm), actualmente solo se las puede encontrar de forma natural como pequeñas manchas abiertas con individuos dispersos o pequeños grupos aislados en situaciones rocosas abruptas de la Cuenca del Lago Titicaca, este tipo de vegetación representa los únicos remanentes de los bosques puneños originales de esta región, casi destruidos por acción humana. Puna xerofítica Microbosques subnival decuidos con <i>Polylepis tarapacana</i> Distribución: Manchas en el desierto puneño con precipitaciones entre 80 y 400 mm. Sus rangos de altura oscilan entre 4000-5200 m Se encuentra solo en la cordillera volcánica occidental en las regiones fronterizas de Bolivia, Perú y Chile donde es el único árbol existente. Descripción: La queñua o kewiña (<i>Polylepis tarapacana</i>) forma fajas o manchas continuas de microbosques perennifolios en las laderas con disposición a los frentes húmedos principalmente. <i>Polylepis tarapacana</i> se encuentra asociada a tholares y pajonales compuestos por <i>Parastrephia quadrangularis</i>, <i>P. Lepidophylla</i>, <i>P. Phylicaeformis</i>, <i>Festuca orthophylla</i> y <i>Stipa frigida</i>. En muchos casos se encuentra formando cinturones a lo largo de volcanes. Justo en estos lugares como es el caso del nevado de Sajama, se desarrolla el crecimiento arbóreo más alto del mundo con una altura de hasta 5200 m.</p> <p><b>Fuentes de información:</b> Beck et al. 1993, Kessler 2006, Navarro 1997</p>



# ANEXO II: Protocolos de medición

## Tasa de infiltración

### 1. Concepto:

La tasa de infiltración permite calcular la capacidad del suelo para absorber el agua proveniente de la precipitación. Si la tasa de infiltración es menor que la intensidad de precipitación, entonces se produce un incremento en la escorrentía superficial.

### 2. Método para la medición en campo:

Método del cilindro infiltrómetro, el cual simula el traspaso del agua desde la superficie hacia el suelo. Un

mínimo de dos repeticiones fue aplicado en cada punto de muestreo.

Para la realización de la prueba de infiltración, se identifican zonas con características homogéneas, tanto paisajística como fisiográficamente. El método de muestreo consiste en enterrar el infiltrómetro a una profundidad de entre 5 y 10 cm, para luego proceder a su llenado con aguas procedentes de los cuerpos hídricos más cercanos (Figura 1).

Figura 1: Instalación del cilindro infiltrómetro y medición de la infiltración



Para hacer el cálculo de la tasa de infiltración se utiliza la siguiente fórmula:

$$R = \frac{N_1 - N_2}{\Delta t}$$

Donde:

R = tasa de infiltración

N1 = nivel de agua X

N2 = nivel de agua Y

$\Delta t$  = tiempo transcurrido entre el nivel X y Y

ción tiempo (intervalos expresados en minutos) vs. el promedio de la cantidad de agua infiltrada. Así también, para estimar los patrones de infiltración del agua y abordar aspectos sobre la capacidad de carga hídrica de los suelos, se realizó una serie de análisis de regresiones.

### Referencias bibliográficas

Gurovich, L. A., & Jaramillo, G. R. (1977). Modelos matemáticos y mediciones experimentales en la determinación de infiltración de agua en el suelo. *Ciencia e Investigación Agraria*, 4(3), 197-208.

Vásquez, A., & Tapia, M. (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana. *Revista Ingeniería UC*, 18(3).

Una vez habiendo realizado el cálculo de las tasas de infiltración, éstos fueron gráficos mediante la rela-

# Biomasa y biodiversidad

## 1. Concepto

Las características de la riqueza y diversidad de especies de bosque andino se analizan por cada uno de los puntos de muestreo implementados. La riqueza específica de especies se obtiene mediante el cálculo del promedio de especies registradas en las PPMs establecidas por cada punto de muestreo. La diversidad de

especies se calcula de forma similar a la riqueza específica, pero utilizando los valores del índice de Shannon.

La estimación de la biomasa aérea (BMA) se calcula mediante la utilización de dos ecuaciones alométricas (Chave et al. 2005), siendo una para bosque seco o subhúmedos, y otra para bosques húmedos (Tabla 1).

**Tabla 1. Ecuaciones alométricas utilizadas para el cálculo de la biomasa aérea tipo de bosque (Chave et al. 2005)**

$$\begin{aligned} \text{Bosque seco} \quad (AGB)_{est} &= \exp(-2.977 + \ln(pD^2H)) \quad 0.0509 \times pD^2H \\ \text{Bosque húmedo} \quad (AGB)_{est} &= \exp(-2.187 + 0.916 \times \ln(pD^2H)) \end{aligned}$$

Dónde:

AGB = biomasa aérea

p = densidad de la madera

D = diámetro a la altura del pecho

H = altura total del árbol

La biomasa de raíces (BMS, biomasa subterránea) se calcula utilizando el factor de conversión de 0.49, lo cual representa el 49% del valor promedio de las tn/ha de la BMA (BMS raíces = BMA\*0.49). Por otro lado, los valores de la biomasa herbácea (BMH) y necromasa (NM) se calcula a partir de la extrapolación del peso seco obtenido de los cuadrantes (kg/m<sup>2</sup>) a tn/ha. Así también, con el uso de todos los valores de biomasa previamente mencionados se estima la concentración de carbono almacenado (CA) mediante el factor de conversión de 0.5 propuesto por (Brown, 1997) (CA = biomasa\*0.5).

Finalmente, basados en el crecimiento promedio anual del diámetro de los árboles (IPAD = incremento periódico anual diamétrico) estimadas para los bosques secos (0.37 cm/año) y húmedos (0.55 cm/año) de la región Boliviana Tucumana (Villarroel et al. en revisión), se realiza una estimación piloto de la productividad de biomasa de los bosques, la cual consiste en calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> atmosférico que podría ser absorbido por los bosques andinos anualmente, así como también la cantidad de CO<sub>2</sub> que podría liberar ante el incremento de la deforestación. Estos valores fueron calculados en tCO<sub>2</sub>/ha.

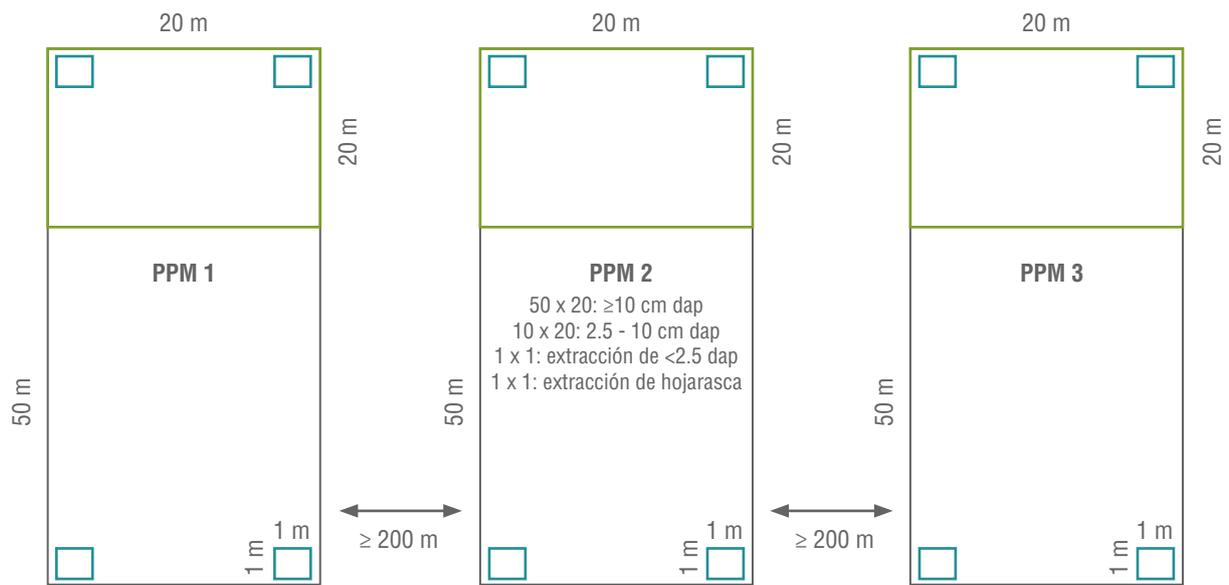
## 2. Método para la medición en campo:

Instalación de 3 parcelas permanentes de monitoreo (PPM) separadas por una distancia mínima de 200 m (Figura 1).

El tamaño de cada PPM es de 50 x 20 m, dentro de la cual se miden e inventarían todos los individuos  $\geq 10$  cm de diámetro altura pecho (DAP a una altura de 1.30 m desde la base), registrando su diámetro (Figura 3), identidad taxonómica, altura total estimada y estado fitosanitario. Todos los individuos registrados en las PPMs se numeran, plaquetean y georeferencian (posición x - y dentro de la parcela).

Así también, para el inventario de la biomasa leñosa correspondiente al sotobosque, dentro de cada PPM se implementó un cuadrante de 20 x 20 m (Figura 1), en la cual se inventarió a todos los individuos  $\geq 2.5$  pero  $< 10$  cm de DAP, registrando sus respectivos diámetros, identidad taxonómica, altura total estimada y estado fitosanitario.

**Figura 1. Diseño de parcela de permanente de monitoreo y sus subunidades de muestreo**



**Figura 2. Parcela permanente de monitoreo y toma de datos. Izquierda: Delimitación de la PPM; Centro: medición de DAP; Derecha arriba: Cuadrante para la toma de datos de hierbas y hojarasca; Derecha abajo: Árboles plaqueteados y numerados**



Para la cuantificación de la biomasa del estrato herbáceo y hojarasca (necromasa o biomasa muerta), se implementan cuatro cuadrantes de 1 x 1 m (Figura 1), dentro de los cuales se extrajo inicialmente a todos

los individuos  $\leq 2.5$  cm de DAP (estrato herbáceo), para después hacer la colecta de la hojarasca presente (Figura 3, derecha). La biomasa y necromasa extraída fue pesada en estado húmedo y seco.

**Figura 3. Diseño de cuadrante de 1 x 1 m, y colecta de biomasa del estrato herbáceo y hojarasca**



### 3. Referencias bibliográficas

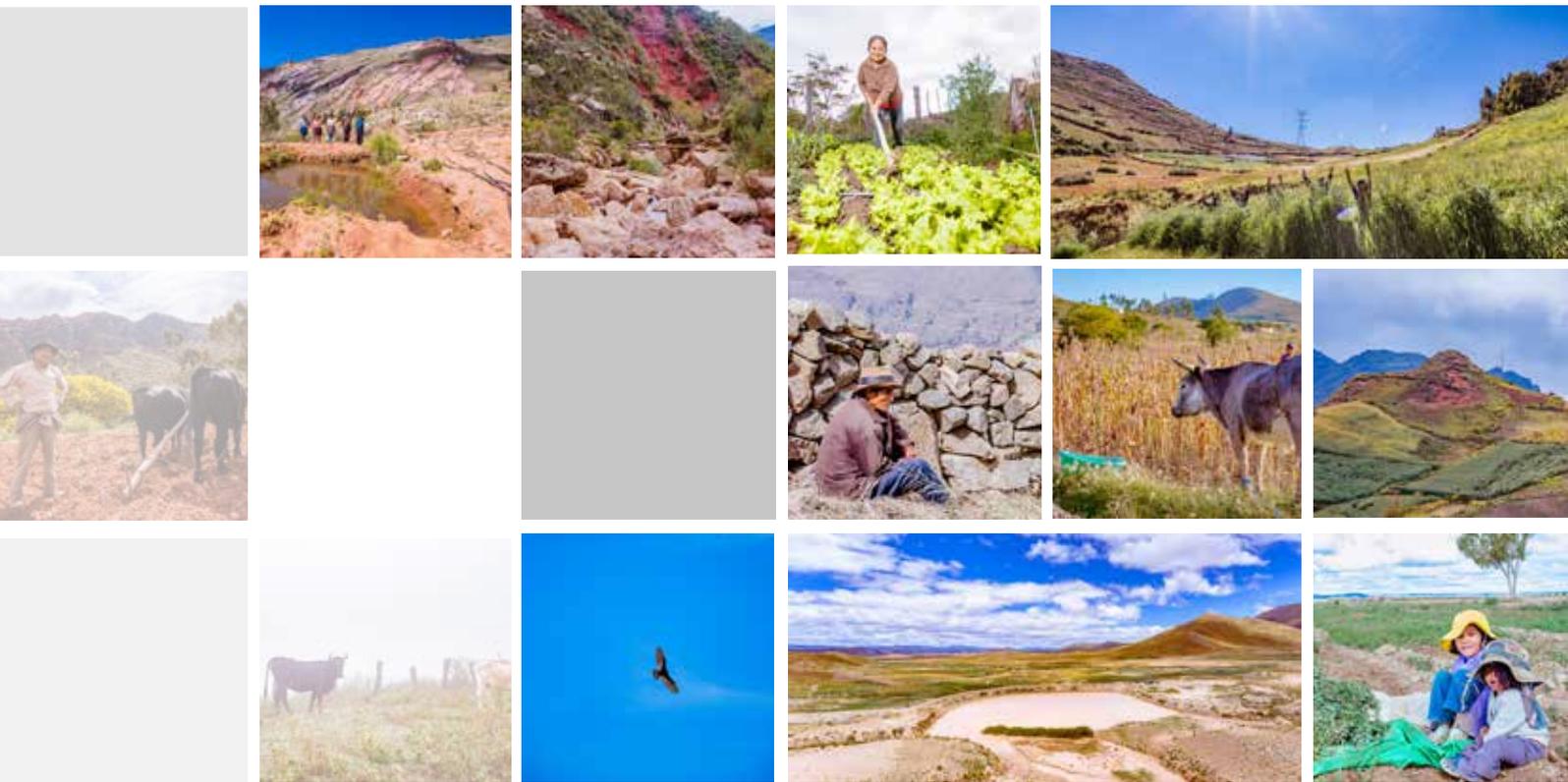
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. Forestry paper 134. FAO.
- Chave, J.; C. Andalo; S. Brown; M. Cairns; J. Chambers; D. Eamus; H. Fölster; F. Fromard; N. Higuchi; T. Kira; J.P. Lescure; B.W. Nelson; H. Ogawa; H. Puig; B. Riera & T. Yamakura. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*: 145: 87-99.

# Índice de siglas y acrónimos

COSUDE	Cooperación Suiza para el Desarrollo
CMIP 3	Coupled Model Intercomparison Project 3
CMIP 5	Coupled Model Intercomparison Project 5
DGGDF	Dirección General de Gestión y Desarrollo Forestal
ENSO	El Niño
FAN	Fundación Amigos de la Naturaleza
GIA	Proyecto Gestión Integral del Agua – COSUDE
LPJ-GUESS	Lund Potsdam Jena General Ecosystem Simulator
MCG	Modelo de Circulación Global
MCR	Modelo de Circulación Regional
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
NDCs	Compromisos Determinados Nacionalmente
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
ODP	Oscilación Decadal del Pacífico
PBA	Programa de Bosques Andinos – COSUDE
PNC	Plan Nacional de Cuencas
RCP	Representative Concentration Pathway
VRHR	Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego







**Ministerio de Medio Ambiente y Agua**

Dirección: Casa Grande del Pueblo – piso 18,  
Calle Bolívar 438, La Paz - Zona 2

Teléfonos: +591 2 2154427 - +591 2 2156437

[www.mmaya.gob.bo](http://www.mmaya.gob.bo)

[bibliotecadelagua.sirh.gob.bo](http://bibliotecadelagua.sirh.gob.bo)

 Ministerio de Medio Ambiente y Agua

 @AmbienteyAgua

