



# Contribución de las Áreas Protegidas Nacionales de Bolivia en la Provisión de Funciones Ambientales: Descripción Metodológica y Materiales Complementarios



Julio 2021



DOCUMENTO DE TRABAJO

Julio 2021

# Contribución de las Áreas Protegidas Nacionales de Bolivia en la Provisión de Funciones Ambientales: Descripción Metodológica y Materiales Complementarios

Alfonso Malky  
Juan Carlos Ledezma  
Thaís Vilela  
Carla Mendizábal

Foto de portada: Canva

Las opiniones expresadas en el documento son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de Conservación Estratégica o de los financiadores.

Este proyecto fue desarrollado por Conservation Strategy Fund (CSF), en coordinación con el Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP) y con el apoyo de Andes Amazon Fund (AAF).



## **CONTENIDO**

ANTECEDENTES	3
CONTEXTO DE LA IMPORTANCIA DE VEGETACIÓN Y LA AMAZONIA	3
DATOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN	8
Información de base	9
Información sobre recursos hídricos	10
Información sobre carbono	12
Información sobre cambio de cobertura vegetal	13
MÉTODOS DE CÁLCULO	14
Contribución de Funciones Ambientales hídricas de APB a los sectores de Riego, Energía y Agua Potable	14
Contribución de las APB en el almacenamiento y captura de carbono	16
Cobertura de bosque y deforestación	17
RESULTADOS	18
Cuantificación de la contribución de las Áreas Protegidas respecto a la oferta de Funciones Ambientales Hídricas	18
Cuantificación de la contribución de las Áreas Protegidas Respecto al Almacenamiento de Carbono	25
Deforestación y Potencial de Secuestro de Carbono en Áreas Protegidas	27
REFERENCIAS	32

## TABLAS

Tabla 1 Adicionalidad de los parques nacionales .....	24
Tabla 2 Contribución económica de la cantidad adicional de agua generada por las áreas protegidas. ....	24
Tabla 3 Descripción de escenarios según fuente de información. ....	29

## FIGURAS

Figura 1 Transporte de la humedad dentro y fuera de la Amazonia. ....	5
Figura 2 Promedio del reciclaje de precipitación continental 1999-2008. ....	6
Figura 3 Cambio del potencial de distribución del bosque Amazónico en el siglo 21. ....	7
Figura 4 Mecanismo de teleconexión Tropical-Extratropical de la Amazonia. ....	7
Figura 5 Contribución de Áreas Protegidas a la producción de Energía Hidroeléctrica. ....	18
Figura 6 Contribución de Áreas Protegidas en proyectos de Riego. ....	19
Figura 7 Contribución de Áreas Protegidas en la Producción de Agua Potable. ....	20
Figura 8 Aporte de evapotranspiración de las Áreas Protegidas de Bolivia en el contexto del país y la Amazonia. ....	22
Figura 9 Stock de carbono en biomas de países amazónicos. ....	25
Figura 10 Stock de carbono por tipo de Área Protegida. ....	26
Figura 11 Contribución de las 22 áreas protegidas nacionales al almacenamiento de CO <sub>2</sub> . ....	27
Figura 12 Deforestación por tipo de área protegida y bioma. ....	27
Figura 13 Tasa de secuestro de carbono por bioma (toneladas de carbono en 30 años por hectárea). ....	28
Figura 14 Comparativo entre el servicio de captura de las áreas protegidas nacionales y sub-nacionales y las emisiones de CO <sub>2</sub> en Bolivia ....	30
Figura 15 Capacidad total de remoción de CO <sub>2</sub> . ....	30
Figura 16 Porcentaje capturado de emisiones de CO <sub>2</sub> en Bolivia por áreas protegidas nacionales y sub-nacionales. ....	31

## MAPAS

Mapa 1 Áreas Protegidas que aportan a la Producción Hidroeléctrica. ....	19
Mapa 2 Áreas Protegidas que aportan a Proyectos de Riego. ....	20
Mapa 3 Áreas Protegidas que aportan en la producción de Agua Potable. ....	21
Mapa 4 Evapotranspiración de las Áreas Protegidas de Bolivia. ....	22
Mapa 5 Stocks de Carbono de las Áreas Protegidas de Bolivia. ....	26

## ANTECEDENTES

El presente documento es producto del contrato de consultoría a favor del proyecto “*Environmental Function Economic Valuation Studies of Bolivia’s Protected Areas*”, a cargo de Conservation Strategy Fund.

El objetivo general del estudio es el cálculo de la contribución de las Áreas Protegidas (APB) de Bolivia en la provisión de funciones ambientales de captura y almacenamiento de carbono, y de provisión del recurso hídrico.

Los objetivos específicos son:

- Cuantificación de la contribución de las APB respecto a la oferta de Funciones Ambientales Hídricas para consumo humano, producción agrícola (riego) y generación eléctrica. Cuantificados en base a información existen sobre los sectores mencionados.
- Cuantificación de la contribución de las APB a la captura y almacenamiento de carbono.

Es así, que se presenta un conjunto de datos sobre recursos hídricos y carbono en las áreas protegidas de Bolivia, además del contexto del país. Además, se incluye una breve recopilación sobre la importancia de la amazonia en la regulación del clima local y global, como antecedente para la mejor comprensión de la aplicación de los datos presentados en la subsecuente valoración económica para los sectores usuarios de agua: Riego, Energía y Agua Potable.

## CONTEXTO DE LA IMPORTANCIA DE VEGETACIÓN Y LA AMAZONIA

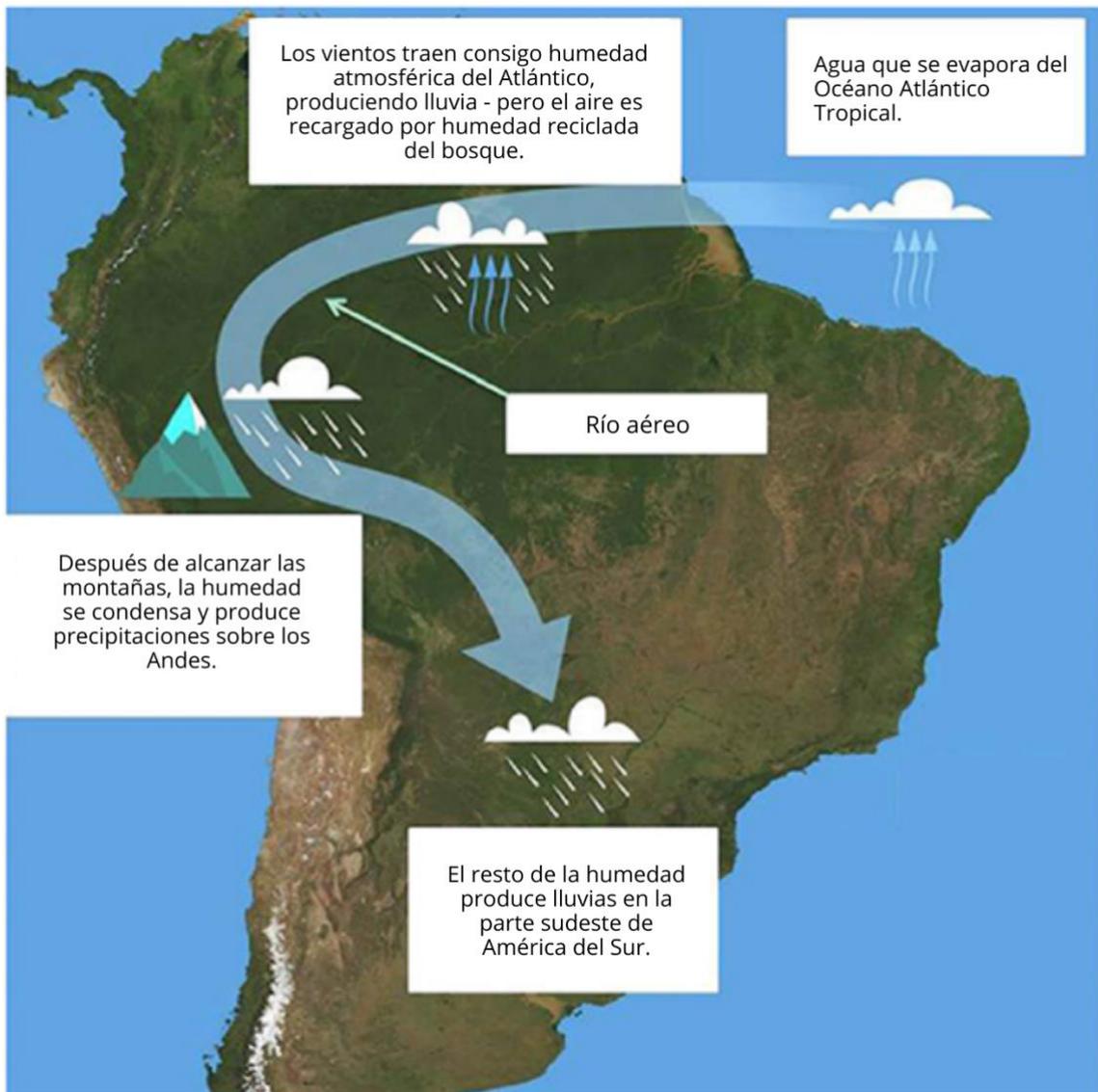
Debido a la importancia de la vegetación respecto a las funciones ambientales de provisión de agua y almacenamiento y secuestro de carbono, la Amazonia juega un rol muy importante. Por ello, a continuación, se presenta una reseña sobre el contexto de la Amazonia y las condiciones climáticas que permiten que Bolivia, la región y el mundo cuenten con las funciones que presta la vegetación de la Amazonia y especialmente el bosque. Esta información es de mucha relevancia para poder atribuir adecuadamente la importancia de las diferentes regiones, países y biomas en el funcionamiento de los ecosistemas, así como su contribución al bienestar humano.

La Amazonía es la selva tropical más grande del mundo y desempeña un papel importante en el clima global y regional, incluyendo el intercambio de agua entre la selva tropical y la atmósfera. Los extremos del clima, como las sequías o inundaciones pueden ser peligrosos tanto para los seres humanos como para los sistemas naturales. Sequías e inundaciones pueden alterar el intercambio de humedad entre los bosques y la atmósfera y pueden poner en riesgo la supervivencia de la selva amazónica (Marengo, 2020).

La cuenca del Amazonas cubre un área de unos 7 millones de km<sup>2</sup>. Los bosques amazónicos cubren unos 5,3 millones de km<sup>2</sup>, lo que representa 40% de la superficie forestal tropical mundial (Laurance *et al.*, 2001; Aragão *et al.*, 2014; Nobre, 2014; Weng *et al.*, 2018). Sus abundantes lluvias de unos 2.200 mm al año hacen que la cuenca del Amazonas sea una importante fuente de calor latente para la atmósfera, generando una estimado 210.000 m<sup>3</sup> a 220.000 m<sup>3</sup> de descarga fluvial del río Amazonas, que representa alrededor del 15% de la entrada de agua dulce en los océanos (Call-de *et al.*, 2012; Marengo y Espinoza, 2016; Nobre *et al.*, 2016). Los ecosistemas de Amazonia también alojan alrededor de 10–15% de la biodiversidad de la tierra (Lewinshohn y Prado, 2002; Hubbell *et al.*, 2008) y almacenan entre 150 mil millones y 200 mil millones de toneladas de carbono (Malhi *et al.*, 2006; Cerri *et al.*, 2007; Saatchi *et al.*, 2011).

Sin embargo, lo que hace que esta vegetación sea de una importancia aún mayor y que tenga la capacidad de mantener las condiciones que permiten la vida y el funcionamiento del ecosistema como lo conocemos es su capacidad de autorregulación hídrica. La selva tropical interactúa con la atmósfera de varias maneras, lo que afecta el clima local y mundial. El bosque interactúa con la atmósfera para proporcionar humedad dentro de la cuenca del Amazonas. Los vientos cerca de la superficie del océano traen la humedad del Océano Atlántico tropical en el Amazonas. Parte de esta humedad cae como lluvia, y una parte puede ser rápidamente devuelta a la atmósfera por la evaporación del suelo, la superficie del bosque y la evapotranspiración a través de las hojas de la vegetación. Es así que parte de este vapor de agua volverá como lluvia y una parte se desviará a las regiones vecinas. Entre el 30 y el 70% de las lluvias dentro de la cuenca amazónica consiste en agua que se evaporó de la selva (Marengo *et al.*, 2011, Salati *et al.*, 1979).

Un conjunto de factores geográficos, geomorfológicos y climáticos hacen de la cuenca amazónica un área con alta precipitación. La precipitación media anual en toda la cuenca es del orden de 2.200 mm, que van desde 3.000 mm en el oeste, debido a la influencia de Los Andes, a valores de alrededor de 1.700 mm sobre el sureste de la cuenca. Las altas tasas de precipitación se mantienen tanto por los flujos de humedad de la evaporación en el Océano Atlántico tropical como por el reciclaje de la evapotranspiración forestal (Nobre *et al.*, 2017). La Figura 1 muestra un esquema del transporte de agua en la atmósfera en la región amazónica. La humedad evaporada del Océano Atlántico es transportada por los vientos superficiales hacia la región. Los vientos reciben aún más humedad del reciclaje de humedad proporcionado por el bosque. El aire húmedo inicialmente se mueve hacia el oeste, pero a medida que se acerca hacia las montañas de Los Andes, se desvía hacia el sureste de América del Sur. Este transporte es como un río en el aire que trae humedad y lluvia al sur y a las regiones centrales de Brasil y parte de Argentina (Marengo, 2020).

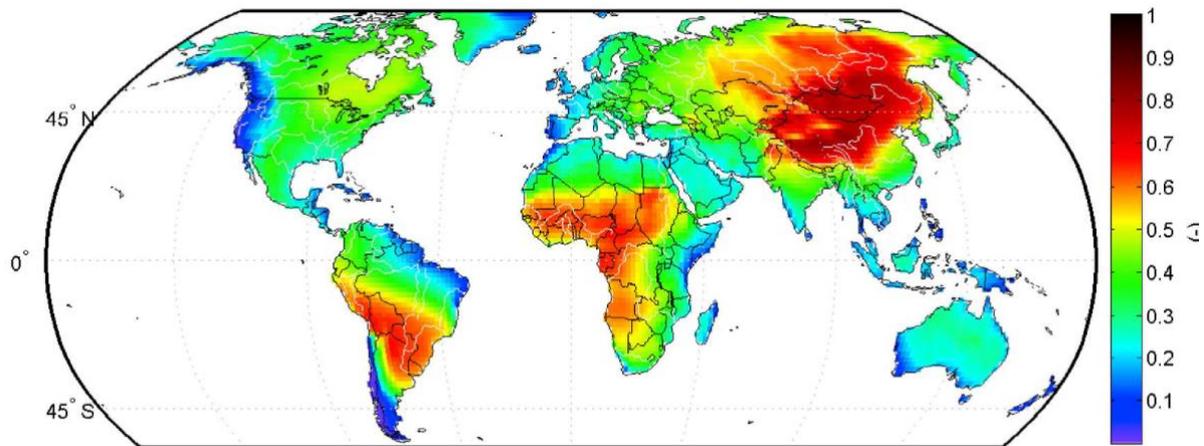


**Figura 1 Transporte de la humedad dentro y fuera de la Amazonia.**

**Fuente: Proyecto Rios Voadores [www.riosvoadores.com.br](http://www.riosvoadores.com.br)**

En el año 2012, Josefina Arraut ha refinado del concepto de ríos voladores, los cuales son corrientes de aire que llevan el vapor de agua desde el Atlántico tropical y la Amazonia hacia el sur del continente tan lejos como el sur de Brasil y el Norte de Argentina, inclusive se estima que la precipitación en la cuenca del río de la Plata depende hasta en un 70% de la evaporación de la Amazonia (van der Ent et. al., 2010), proceso en el cual los bosques de Bolivia juegan un rol muy importante al ser un área de reciclaje de humedad intermedia cuyo cambio tendría un efecto local importante ante la ausencia de vegetación, pero también podría reducir la disponibilidad de agua de los escasos recursos hídricos en la cuenca del río de La Plata. Como se muestra en la Figura 2, el reciclaje de la precipitación es muy alto entre el sur de Perú, Bolivia y El Norte de Argentina y Sur de Brasil, lo cual indica que esta región es altamente dependiente de las condiciones que permiten la recirculación de la precipitación, es decir, es altamente dependiente de la vegetación en buenas condiciones y especialmente

de los árboles grandes que son quienes devuelven a la atmósfera la mayor parte de la humedad que permite las lluvias y la circulación del agua.



**Figura 2 Promedio del reciclaje de precipitación continental 1999-2008.**

**Fuente: van der Ent *et al.* (2010).**

Este proceso está garantizado mientras la Amazonia mantenga su cobertura boscosa, sin embargo, hasta la fecha se ha perdido entre 15 y 17% de esta vegetación. La deforestación es una gran amenaza para que este proceso continúe, reduce el reciclaje de humedad de la vegetación a la atmósfera, y también reduce el volumen de agua transportada en el río aéreo. Si el Amazonas fuera total o parcialmente deforestado, los problemas climáticos que esto causaría se sentirían tan lejos como los Estados Unidos o incluso China. En América del Sur, reducir incluso partes de la selva amazónica puede afectar la calidad de la temporada de lluvias en el sur de Brasil y el norte de Argentina. A medida que los bosques comienzan a desaparecer, habría menos agua en la atmósfera, lo que significaría menos lluvia, perjudicando a los agricultores, entre otros usuarios del agua. Esto podría reducir la cantidad de alimentos disponibles, además de causar problemas, como sequías prolongadas o tormentas (Marengo, 2020). Por ello, la posible desaparición del bosque Amazónico ha sido identificada como uno de los puntos de inflexión globales del sistema climático (Lenton *et al.*, 2019). Según Lovejoy y Nobre (2018), este punto de inflexión en la Amazonia podría suceder cuando 20 a 25% del bosque haya desaparecido, en estas condiciones la humedad que recircula dentro de la Amazonia no permitiría mantener las condiciones de humedad que requiere el sistema, el cual cambiaría por otro más seco y sin bosques, ocasionando de esta manera un efecto de retroalimentación positiva, que inclusive podría ocasionar que al final del siglo 21 el área de distribución posible del bosque se vea reducida a la cordillera de los Andes (Figura 3) (Staal *et al.*, 2020).

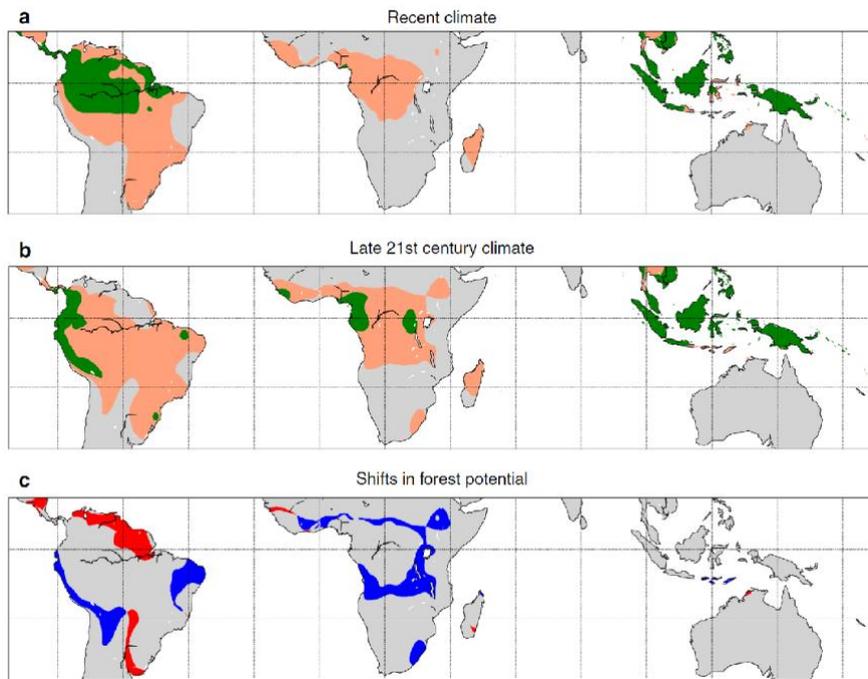


Figura 3 Cambio del potencial de distribución del bosque Amazónico en el siglo 21.  
Fuente: Staal et al. (2020).

Por otro lado, como se ha indicado anteriormente, las consecuencias de no contar con este bosque amazónico podrían ocasionar cambios en el sistema climático global (Figura 4), es así que al perder un centro de convección profunda de la humedad, el flujo de agua de la Amazonia hacia el atlántico reduciría, ocasionando el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical hacia el norte, con lo cual se intensificarían las lluvias en Europa y se podría ocasionar la disminución de la precipitación en el sur-este de Asia, haciendo que toda la región tropical reciba menos humedad. Estos efectos han sido modelados por Snyder et. al. (2004), observándose que ante la ausencia de vegetación de bosques tropicales se daría un cambio de las regiones de intercambio de temperaturas fuera de los trópicos, inclusive afectando las regiones polares.

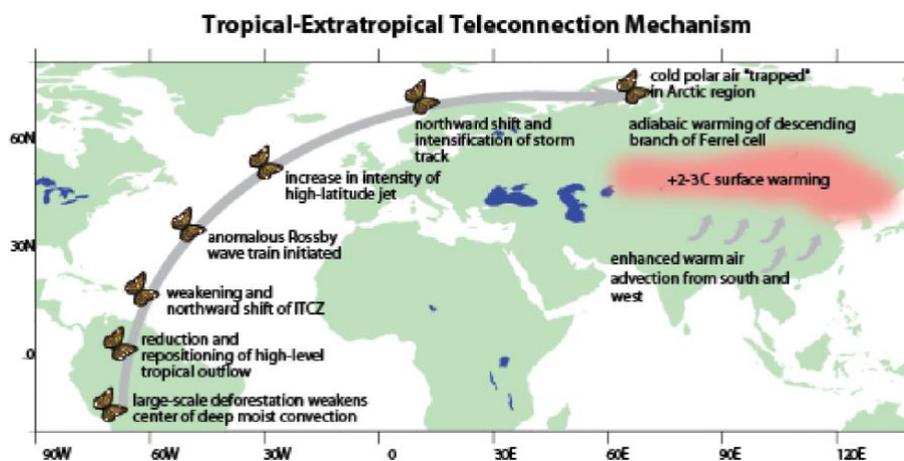


Figura 4 Mecanismo de teleconexión Tropical-Extratropical de la Amazonia.  
Fuente: Rockstrom et al. (2009).

Por lo mencionado, la evaluación del aporte de un área en términos de las funciones de provisión hídrica especialmente, están relacionados a la dinámica global en el caso de la Amazonia y biomas relacionados. Por otro lado, en términos del aporte del agua superficial (escorrentía), un área específica es vital para la regulación del flujo de agua a corto plazo, además, el servicio de almacenamiento de carbono también estará sujeto a la posibilidad de un ecosistema de contar con las condiciones para mantener un bosque, es así que, en este caso, la estimación del aporte de un área es más directa en función al stock relativo de carbono almacenado, aunque este dependerá de las condiciones climáticas futuras.

## DATOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Considerando los objetivos del estudio, la información fue recopilada a partir de información geográfica obtenida de bases de datos globales recientes. Es así, que se clasificó la información en:

1. Información de base. Esta se refiere a las coberturas geográficas vectoriales de áreas protegidas y biomas.
2. Información sobre recursos hídricos. Aquí se incluyen como información geográfica vectorial: unidades hidrográficas, inventario de represas y proyectos de riego; y como información continua en formato raster: evapotranspiración, precipitación, escorrentía y balance hídrico, todas ellas para el año 2010 a 2019.
3. Información sobre el carbono. Se consideraron los datos en formato ráster de biomasa aérea y subterránea; del flujo del carbono; y el potencial de secuestro de carbono.
4. Información sobre cambio de cobertura vegetal. En ella se incluye la información sobre cambio de cobertura de áreas con vegetación arbórea y cobertura de bosque desde 2001 hasta 2019.

**Biomás de Países Amazónicos**

**Año: 2020**

Descripción: Mapa generalizado en base a los límites de Biomás de acuerdo con Dinnerstein *et al.* 2017, para la amazonia se utilizó como base los límites biogeográficos de RAISG exceptuando Brasil, donde se utilizaron los límites biogeográficos a escala 1:250.000.



Fuente: Conservation International, 2020.

Acceso: <https://www.conservation.org/projects/amazonia-fires-dashboard>

**Áreas Protegidas Nacionales**

**Año: 2015**

Descripción: El mapa muestra la distribución geográfica del conjunto de áreas protegidas a nivel nacional administradas por el Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP), delimitando áreas naturales sin o con poca intervención humana, dedicadas a la protección y mantenimiento de la biodiversidad, recursos naturales y rasgos culturales, declaradas bajo protección del Estado por norma.



Fuente: Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP) , 2015.

Acceso: <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/ad00d5b9-abab-4169-8a0f-12d6fc06ad6f>

**Áreas Protegidas Departamentales**

**Año: 2015**

Descripción: Este mapa muestra la distribución geográfica del conjunto de áreas protegidas a nivel departamental, que constituyen áreas naturales sin o con poca intervención humana, dedicadas a la protección y mantenimiento de la biodiversidad, recursos naturales y rasgos culturales, declaradas bajo protección del Estado por norma, que a su vez forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas y son administradas por los gobiernos departamentales.



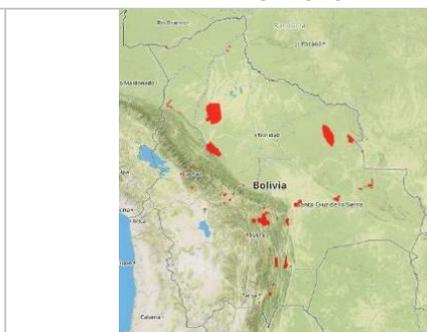
Fuente: Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP), 2015.

Acceso: <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/6ad04e0d-9e69-446a-a8ee-47387893db41>

**Áreas Protegidas Municipales**

**Año: 2020**

Descripción: Este mapa identifica zonas geográficas con valores de diversidad biológica y recursos culturales asociados, ubicados dentro de la jurisdicción territorial municipal y declaradas bajo protección mediante Ordenanza Municipal o Leyes Municipales. El mapa de 2015 existente fue actualizado añadiendo las recientes áreas protegidas municipales, creadas entre los años 2016 a 2019.



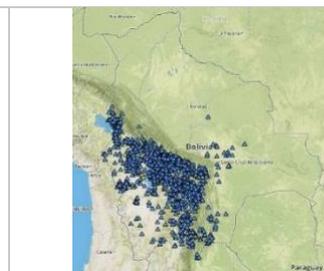
Fuente: Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP), 2015, actualizado con áreas protegidas recientes (2015-2019).

Acceso: <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/46037bcf-6bb5-4eb8-9830-9631ddfdb4af>

**Proyectos de Riego (Inversión y pre-inversión)**

**Año: 2019**

Descripción: El mapa muestra la distribución de los proyectos de riego en el territorio nacional, actualizados hasta 2019, elaborados por el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR), escala 1:250.000.

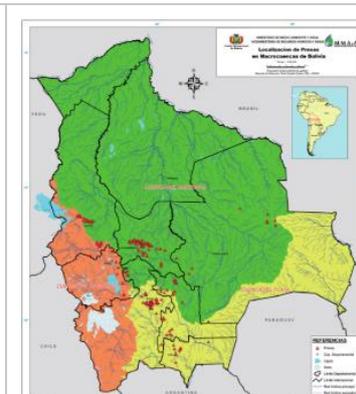


Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2019.  
 Acceso: [http://geo.siarh.gob.bo/maps/926/metadata\\_detail](http://geo.siarh.gob.bo/maps/926/metadata_detail)

**Inventario de Presas**

**Año: 2010**

Descripción: El mapa muestra la distribución y ubicación de presas, barreras fabricadas de piedra u hormigón destinados a embalsar el agua de los principales cauces de macrocuencas del territorio boliviano, cuya importancia es decisiva en la agricultura bajo riego, servicios de agua potable, generación de energía hidroeléctrica, etc. Elaborado por el Viceministerio de recursos hídricos y riego (ARHR) y el Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable (PROAGRO) en el año 2010 a escala 1:250000.

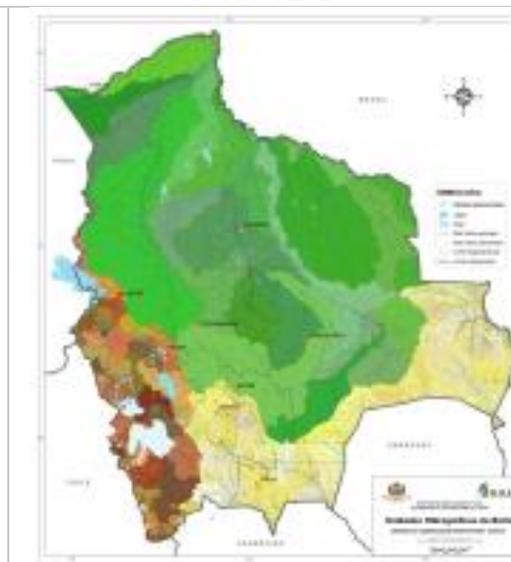


Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2010.  
 Acceso: <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/180d6984-730d-4c81-a175-34df4277d09f>

**Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 5**

**Año: 2010**

Descripción: Este mapa muestra la delimitación de unidades hidrográficas de Bolivia, tipo cuenca en un sistema jerárquico de nivel 5. En este trabajo se utilizaron técnicas de análisis espacial raster para la delimitación de acuerdo con el método Pfafstetter para la división y codificación de unidades hidrográficas. Las mismas que se generaron con el uso de sistemas de información geográfica (SIG), modelos digitales de elevación (DEM) y redes de drenaje para la obtención de los watersheds o cuencas. Este proceso comienza con la determinación del río principal, selección de cuatro redes de drenaje de mayor tamaño para la generación de dichas cuencas en formato raster para posteriormente ser convertida en vector.

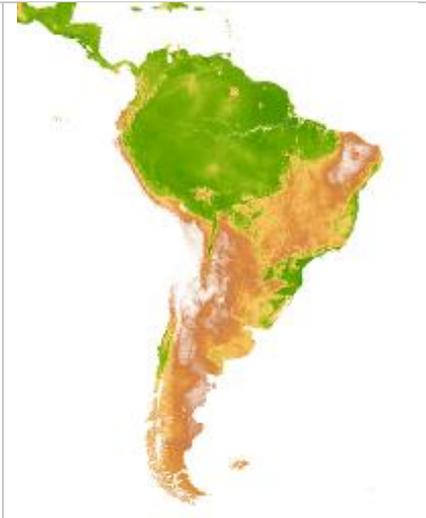


Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2010.  
 Acceso: <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/94fadeff-bb70-46b3-9418-78ccd7a787db>

### Evapotranspiración Anual MODIS16A3GF

Años: 2010-2019

Descripción: El producto MOD16A3GF proporciona información sobre la evapotranspiración anual terrestre a una resolución de 500 m. La evapotranspiración (ET) es la suma de la evaporación y la transpiración vegetal desde la superficie de la Tierra hasta la atmósfera. Con los datos ET a largo plazo, los efectos de los cambios en el clima, el uso de la tierra y las perturbaciones de los ecosistemas pueden cuantificarse. Es un producto del Grupo de Simulación Termodinámica Numérica NTSG, Universidad de Montana (UMT) en conjunto con el Sistema de Observación de la Tierra de la NASA. Los datos de los píxeles se expresan en kg/m<sup>2</sup>/año. Dependiendo del tamaño de píxel utilizado en los cálculos, el mismo puede ajustarse a otras unidades de volumen, en el presente trabajo, todos los valores se han convertido a m<sup>3</sup>/ha/año.



Fuente: Running, S., Mu, Q., Zhao, M., Moreno, A. (2019). MOD16A3GF MODIS/Terra Net Evapotranspiration Gap-Filled Yearly L4 Global 500 m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2020-11-11 from Acceso: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A3GF.006>

### TERRACLIMATE - Precipitación, Evapotranspiración, Escorrentía y Balance Hídrico

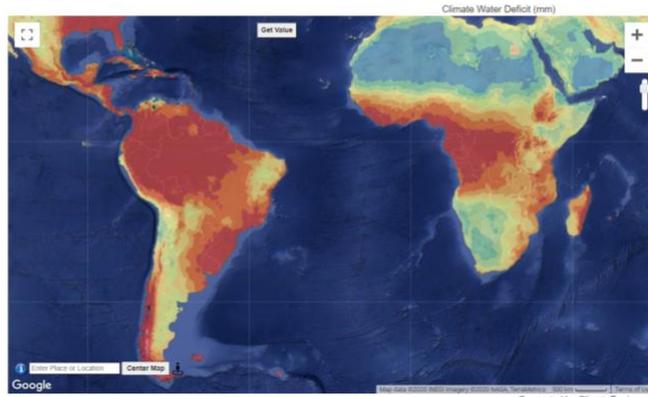
Años: 2010-2019

Descripción: TerraClimate es un conjunto de datos mensuales de clima y el balance hídrico de superficies terrestres de 1958-2019. Estos datos proporcionan importantes insumos para estudios ecológicos e hidrológicos a escala global que requieren una alta resolución espacial y datos que varían en el tiempo. Todos los datos tienen una resolución temporal mensual y una resolución espacial de 4 km. Los datos abarcan el período comprendido entre 1958 y 2019.

TerraClimate utiliza la interpolación asistida climáticamente, combinando normales climatológicas de alta resolución espacial de WorldClim, con una resolución espacial más gruesa, pero de datos variables en el tiempo de CRU Ts4.0 y el Reanálisis japonés de 55 años (JRA55). Conceptualmente, el procedimiento aplica anomalías interpoladas de variación del tiempo desde CRU Ts4.0/JRA55 a la climatología de alta resolución espacial de WorldClim para crear un set de datos de alta resolución espacial que cubra un registro temporal más amplio. TerraClimate, también ofrece datos del balance hídrico superficial mediante un modelo de balance hídrico que incorpora la evapotranspiración, precipitación, temperatura, y una interpolación de la capacidad de las plantas de extraer agua del suelo.

TerraClimate mostró una fuerte validación con una serie de observaciones basadas en estaciones de una variedad de redes, incluyendo la Global Historical Climate Network, SNOTEL y RAWS. Asimismo, la evapotranspiración de referencia anual tiene una alta correlación con la evapotranspiración de referencia basada en estaciones de las estaciones FLUXNET. Por último, la escorrentía interanual modelada por TerraClimate se correlaciona bien con el flujo medido de una serie de cuencas hidrográficas a nivel mundial.

Los datos mensuales de TerraClimate, con la finalidad de permitir un análisis más generalizado, se agruparon para obtener un dato promedio anual en base a 2010-2019, procedimiento que fue llevado a cabo con la ayuda de Earth Engine.

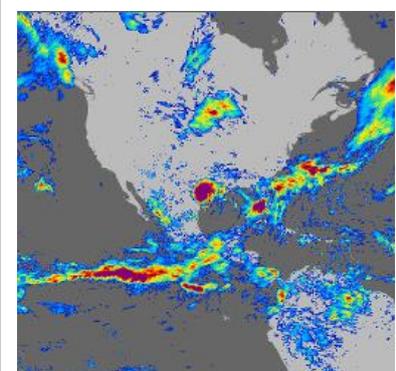


Fuente: Abatzoglou, J.T., S.Z. Dobrowski, S.A. Parks, K.C. Hegewisch, 2018, Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015, Scientific Data, Acceso: <http://www.climatologylab.org/terraclimate.html>

**Precipitación Anual de GPM**

**Años: 2010-2019**

Descripción: Global Precipitation Measurement (GPM) es una misión satelital internacional que proporciona observaciones de última generación sobre lluvia y nieve en todo el mundo cada tres horas y a una resolución estimada de 10 Km. El producto IMERG (Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM) utilizado en el presente trabajo, es el algoritmo unificado que proporciona estimaciones de lluvia que combinan datos de todos los instrumentos de microondas pasivos en la constelación de GPM. Los datos de observaciones mensuales se han agregado en observaciones anuales con Earth Engine.



Fuente: Huffman, G.J., E.F. Stocker, D.T. Bolvin, E.J. Nelkin, Jackson Tan (2019), GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [2020/10/20] Acceso: doi:10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/06

**INFORMACIÓN SOBRE CARBONO**

**Carbono en la Biomasa Aérea y Subterránea**

**Año: 2010**

Descripción: Estos datos proporcionan mapas globales armonizados temporalmente de densidad de carbono de biomasa aérea y subterránea para el año 2010 con una resolución espacial de 300 m. El mapa de biomasa aérea integra mapas de la cubierta terrestre de biomasa leñosa, pastizales y tundra. El mapa de biomasa subterránea integra de forma similar mapas coincidentes derivados de cada mapa de biomasa aérea y modelos empíricos específicos de la cubierta terrestre.

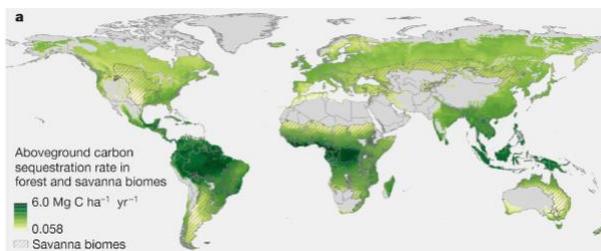


Fuente: Spawn, S.A., and H.K. Gibbs. 2020. Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density Maps for the Year 2010. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. Acceso: [https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds\\_id=1763](https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds_id=1763)

## Secuestro de carbono

Año: 2020

Descripción: Este mapa muestra la tasa en la que los bosques podrían capturar el carbono de la atmósfera y almacenarlo en la biomasa durante sus primeros 30 años de crecimiento de bosques naturales. Fue creado combinando mediciones en miles de lugares de todo el mundo con 66 capas de covariable ambientales incluidas en un modelo de aprendizaje automático (machine-learning) para producir un mapa global.



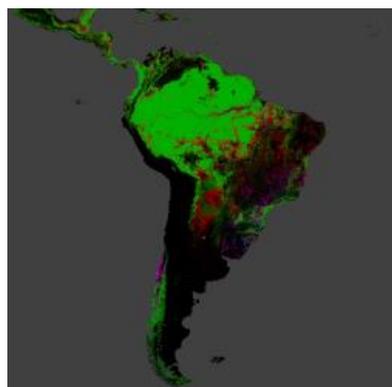
Cook-Patton, S.C., Leavitt, S.M., Gibbs, D. et al. Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth. *Nature* 585, 545–550 (2020)  
Acceso: <https://github.com/forc-db/GROA>

## INFORMACIÓN SOBRE CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL

### Cobertura de Bosques y Deforestación

Años: 2001-2019

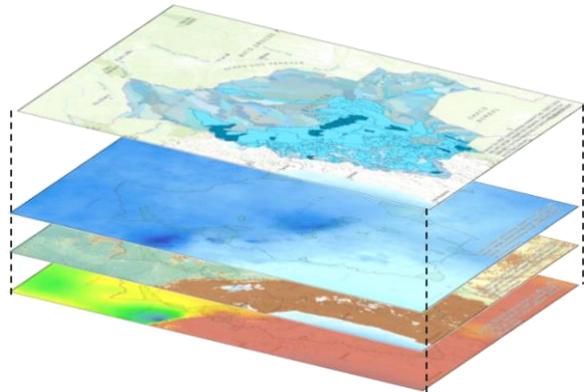
Descripción: Este mapa fue elaborado en base al análisis de series temporales de imágenes de Landsat que permiten la caracterización de la extensión y el cambio forestal global de 2000 a 2019. Se seleccionaron las capas de cobertura de árboles y pérdida de cobertura arbórea. Solamente a las áreas con porcentaje de cobertura de árboles en el año 2000 mayor a 30%, a ellas se le ha atribuido la pérdida de bosque por deforestación.



Fuente: Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." *Science* 342 (15 November): 850–53  
Acceso: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>



Paso 3. Las coberturas de unidades hidrográficas que intersectan los sectores analizados se han sobrepuesto con los mapas de datos de precipitación, evapotranspiración, escorrentía y balance hídrico indicados en la sección de datos. Luego, mediante la herramienta de análisis zonal “*Zonal Statistics as Table*”, se calcularon los valores promedio y totales de precipitación, evapotranspiración, escorrentía y balance hídrico para cada año desde 2010 a 2019.



Paso 4. Como resultado del paso 3, se han obtenido valores promedio y totales de precipitación, evapotranspiración, escorrentía y balance hídrico para cada año individual desde 2010 hasta 2019, de esta manera se han extraído 60 tablas de datos. Estas tablas se unieron con la herramienta “*Join*”, y de esta manera se cuenta con una sola tabla consolidada que contiene los datos requeridos.

Paso 5. Para poder analizar los valores para las diferentes áreas de interés y para los diferentes sectores económicos para los cuales se pretende realizar un análisis de la contribución económica de las áreas protegidas, se ha extraído la información del paso 4 en una tabla dinámica mediante el uso de Excel y la herramienta “*Pivot Table*”. Esta tabla permite realizar un sin número de consultas para poder analizar el contexto de los recursos hídricos y las áreas protegidas de Bolivia que aportan a los sectores de Agua Potable, Energía y Riego.

Paso 6. El análisis económico de la contribución del servicio hidrológico se centra en la provisión hídrica. Para hacer esta estimación seguimos inicialmente la metodología considerada por Parques Nacionales Naturales de Colombia (2018), para estimar la cantidad de agua adicional atribuida a las áreas protegidas nacionales. La metodología está dividida en tres etapas. Primero, calculamos la oferta hídrica superficial en cada unidad de análisis (por ejemplo, unidades hidrográficas de nivel 5). Segundo, establecimos una regresión lineal simple para estimar el aporte por  $\text{km}^2$  de áreas protegidas. La variable dependiente es la oferta hídrica superficial y la variable independiente es el tamaño del área protegida. Para la regresión se usan todas las unidades de análisis. El coeficiente de esta regresión se puede interpretar como la cantidad de agua adicional (en metros cúbicos) asociada a un  $\text{km}^2$  de área protegida nacional. Tercero, calculamos la cantidad de agua adicional para cada unidad de análisis a través de la multiplicación del tamaño del área protegida por el coeficiente de la regresión lineal.

Una vez estimado el aporte de agua adicional derivado de las áreas protegidas nacionales pasamos a la etapa de analizar la contribución económica de la función ambiental de provisión hídrica. En esta etapa, seguimos una metodología propia. En esta etapa, lo ideal sería asociar la oferta con la demanda hídrica de los diferentes sectores de la economía

boliviana (Parques Nacionales Naturales de Colombia (2018)), pero no hay datos disponibles de demanda hídrica por unidad hidrográfica en Bolivia. Para superar este problema, primero identificamos las unidades de análisis propensas a utilizar el recurso hídrico para consumo doméstico, generación de energía y/o riego. Segundo, creamos tres escenarios hipotéticos de demanda hídrica. En el primer escenario asumimos que toda el agua adicional es utilizada para consumo. En el segundo escenario, asumimos que toda el agua adicional es utilizada para la producción de energía eléctrica. En este caso, asumimos dos hipótesis: (i) que la oferta disponible para la producción de energía es de 30% de la oferta adicional; y (ii) el consumo de agua para la producción de la energía hidroeléctrica es de 209 m<sup>3</sup>/MWh (lo que equivale a 4,8 kWh/m<sup>3</sup>) (IPCC 2012). Finalmente, en el tercer escenario, toda el agua adicional es utilizada para riego.

La contribución económica de la provisión hídrica es calculada en cada uno de los tres escenarios. Multiplicamos la oferta hídrica adicional (que dependerá del uso potencial en cada unidad de análisis) por el valor del agua correspondiente a cada uno de los diferentes usos del recurso, y según los supuestos establecidos en los escenarios.

## CONTRIBUCIÓN DE LAS APB EN EL ALMACENAMIENTO Y CAPTURA DE CARBONO

Paso 1. Utilizando el archivo compilado en el paso 2 para funciones ambientales hídricas, se han calculado los valores promedio y totales de carbono en la biomasa aérea y subterránea, y en la biomasa total en conjunto, además del potencial de secuestro de carbono en áreas de bosque. Los cálculos se realizaron para cada uno de los polígonos representados en el archivo, ya sean áreas protegidas, unidades hidrográficas, biomas, etc. Esto permitirá poder establecer relaciones entre las funciones ambientales y el carbono. Para ello se ha utilizado la herramienta de análisis zonal “*Zonal Statistics as Table*”, que permite obtener datos estadísticos zonales entre una cobertura que define las áreas de análisis y la capa que proporciona los datos.

Paso 2. Como resultado del paso 1, se han obtenido valores promedio y totales de carbono total en la biomasa, biomasa aérea y subterránea, además del potencial de secuestro de carbono. De esta manera se han extraído 4 tablas de datos. Estas tablas se han unido con la herramienta “*Join*”, de esta manera se cuenta con una sola tabla consolidada que contiene los datos requeridos de carbono.

Paso 3. Para poder analizar los valores para las diferentes áreas de interés en la valoración del aporte de las áreas protegidas con el almacenamiento de carbono, se ha extraído la información del paso 2 en una tabla dinámica mediante el uso de Excel y la herramienta “*Pivot Table*”. Esta tabla permite realizar variadas consultas para poder analizar el contexto del carbono y el potencial de secuestro desde las áreas protegidas de Bolivia.

Paso 4. Siguiendo la metodología del IPCC, calculamos la cantidad de CO<sub>2</sub> que las áreas protegidas nacionales mantienen a través de la siguiente fórmula:

$$(1) CO_2 = \text{Carbono} \cdot \left(\frac{44}{12}\right)$$

El cálculo de la capacidad de captura de CO<sub>2</sub> de las 22 áreas protegidas nacionales de Bolivia se divide en tres etapas. Primero, calculamos la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> en las 22 áreas protegidas nacionales. Segundo, calculamos las emisiones que ocurrieron dentro de estas áreas. Tercero, restamos las emisiones de la absorción total. La diferencia entre ambas variables es igual al flujo de CO<sub>2</sub> o la capacidad neta de captura de CO<sub>2</sub> (Harris *et al.* 2020).

$$(2) \text{Captura de } CO_2 = \text{Absorción anual}_{CO_2} - \text{Emisión anual}_{CO_2}$$

## COBERTURA DE BOSQUE Y DEFORESTACIÓN

Con la finalidad de poder analizar las posibles variaciones en la provisión de funciones ambientales por la pérdida de vegetación boscosa, también se ha complementado el conjunto de datos con los datos sobre cambio de cobertura y deforestación de acuerdo con la versión 1.7 de Hansen *et. al.* (2020). Para ello se han seguido los siguientes pasos:

Paso 1. Utilizando el archivo compilado en el paso 2 para funciones ambientales hídricas, se han calculado las áreas de bosque y deforestación anual desde 2001 hasta 2019 para cada uno de los polígonos representados en el archivo, ya sean áreas protegidas, unidades hidrográficas, biomas, etc. Esto permitirá establecer relaciones entre las funciones ambientales y los cambios de cobertura de bosque. Para ello se ha utilizado la herramienta de análisis zonal “*Tabulate Area*”, la cual permite obtener tablas cruzadas en las cuales se calcula el área de las diferentes clases de un archivo raster o vector para áreas definidas de análisis.

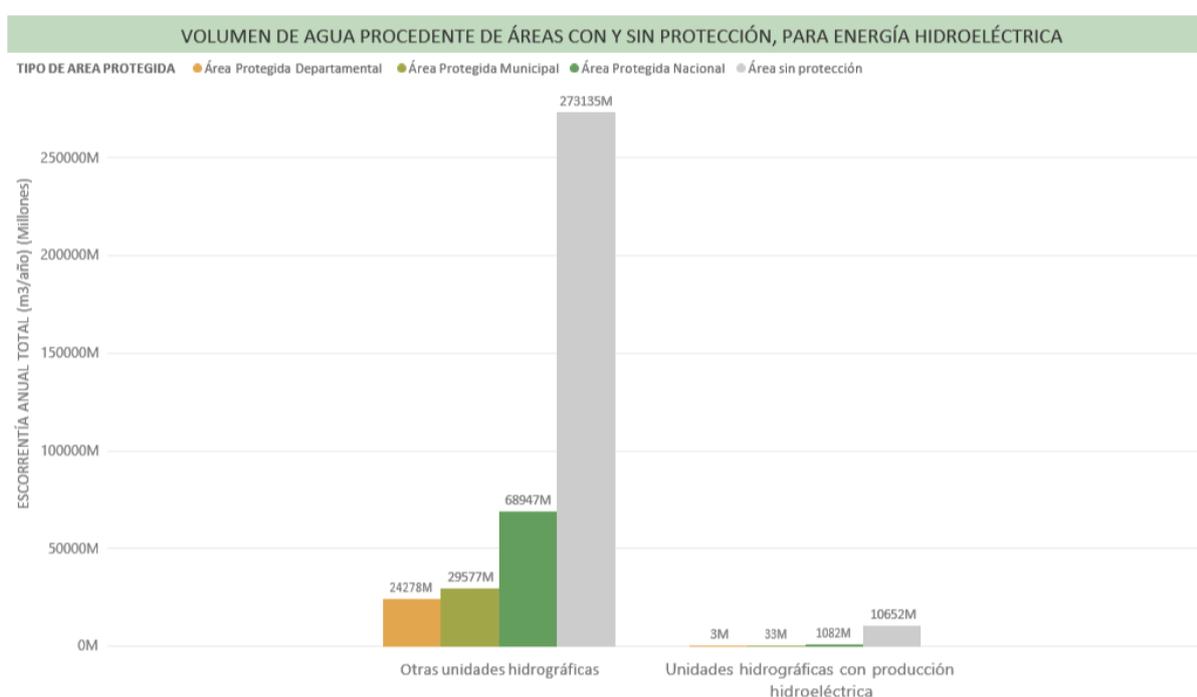
Paso 2. Para poder analizar el cambio de la cobertura de bosque en las diferentes áreas de interés, el cual podría tener impacto en la provisión de funciones ambientales hídricas y flujos de carbono, estos datos también se han extraído en una tabla dinámica mediante el uso de Excel y la herramienta “*Pivot Table*”. Esta tabla permite realizar variadas consultas para poder analizar la cobertura de bosque y los cambios anuales desde 2001 a 2019.

## RESULTADOS

### CUANTIFICACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS RESPECTO A LA OFERTA DE FUNCIONES AMBIENTALES HÍDRICAS

Las Áreas Protegidas de Bolivia contribuyen con Funciones de Provisión de Agua en los sectores de Energía, Agua Potable y Riego. Para cuantificar el aporte relativo de las Áreas Protegidas, se utiliza la escorrentía, que corresponde al volumen de agua en m<sup>3</sup>, que fluye por la superficie y que puede ser efectivamente utilizada.

Respecto a la energía, de toda la escorrentía observada en Bolivia, equivalente a 408 millones de m<sup>3</sup>, el 3% fluye en cuencas que brindan servicios al sector de energía hidroeléctrica; y de esta cantidad, 9,5% proviene de Áreas Protegidas, principalmente de carácter nacional (Figura 5).



**Figura 5 Contribución de Áreas Protegidas a la producción de Energía Hidroeléctrica.**

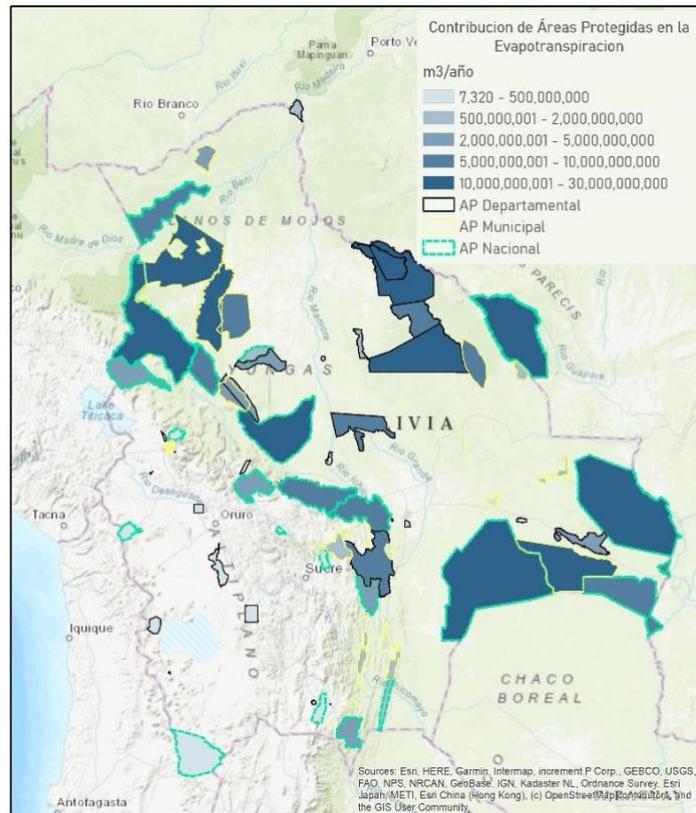
En total, 31 Áreas Protegidas están relacionadas a cuencas que aportan en la producción de energía hidroeléctrica. Las más importantes para la provisión de Agua para Energía son Apolobamba y Carrasco, a través de las cuales fluye el 70% del agua de cuencas relacionada a energía (Mapa 1).

Respecto al sector de Riego, de toda la escorrentía observada en Bolivia, el 20% (81.757 Millones de m<sup>3</sup>) fluye en cuencas que brindan servicios para el riego; y de esta cantidad, el 27% proviene de Áreas Protegidas, 22% de Áreas Protegidas de Nacionales, 3% de Áreas Protegidas Municipales y, 2% de Áreas Protegidas departamentales (Figura 6).









Mapa 4 Evapotranspiración de las Áreas Protegidas de Bolivia.

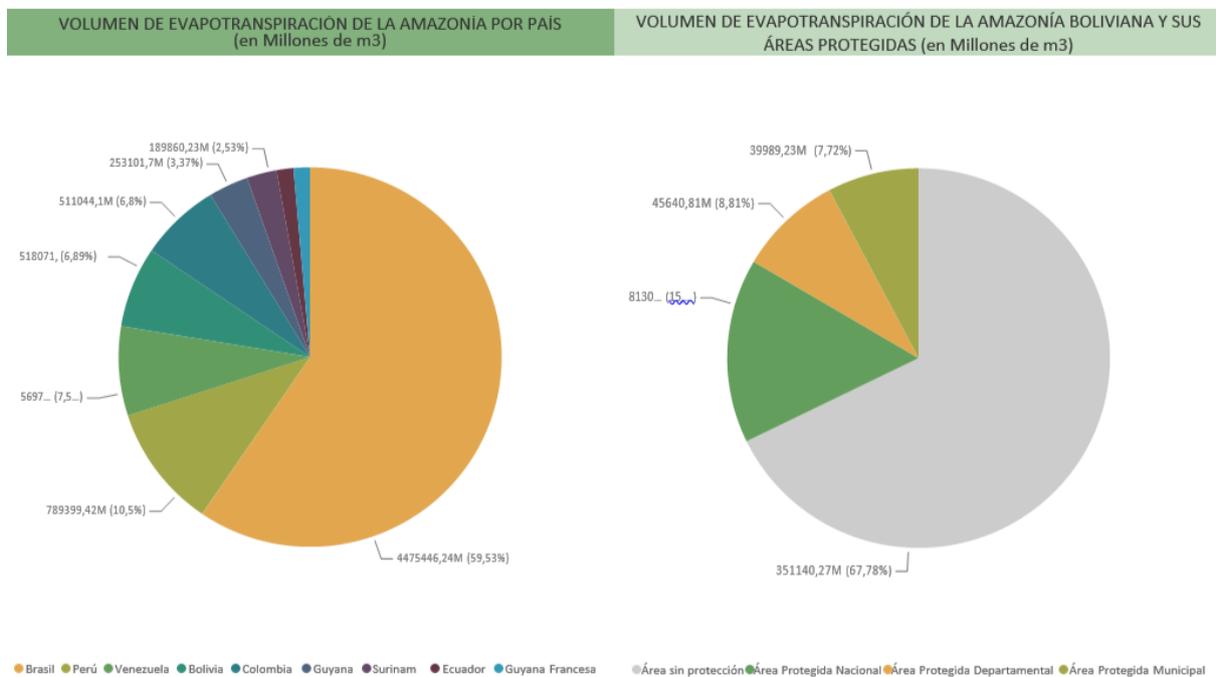
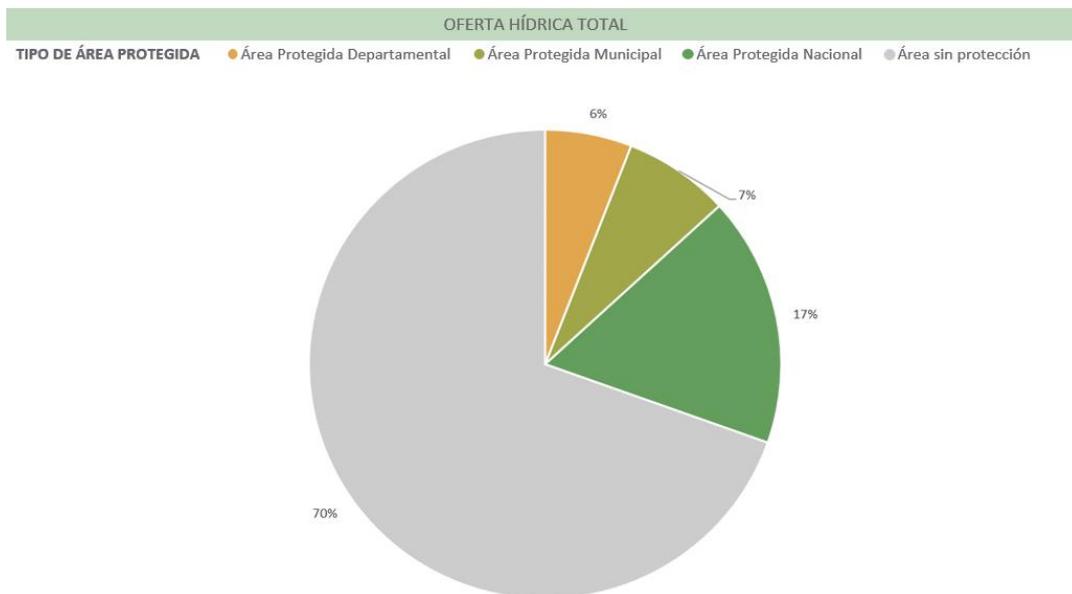


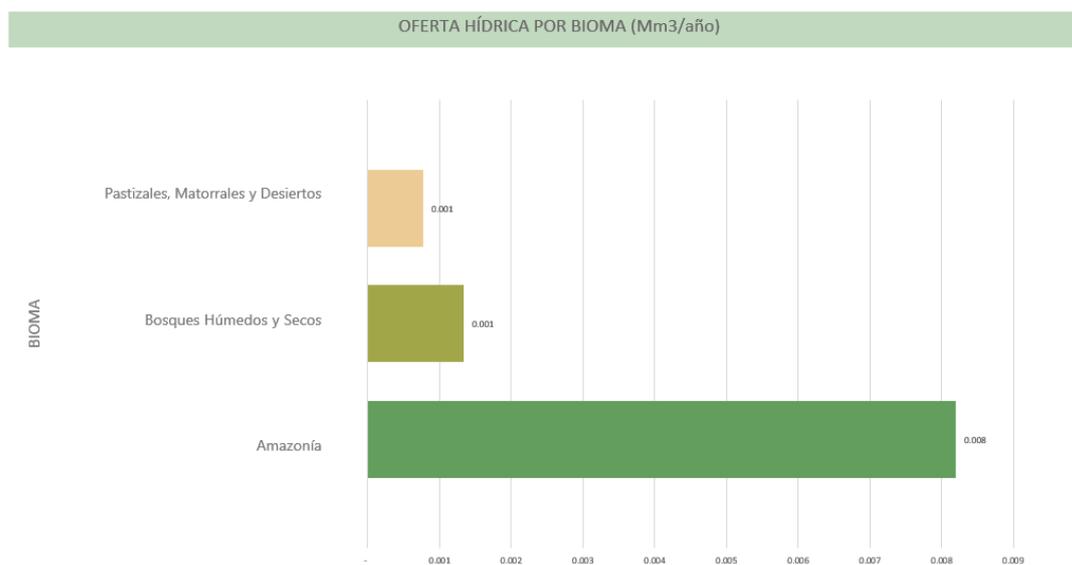
Figura 8 Aporte de evapotranspiración de las Áreas Protegidas de Bolivia en el contexto del país y la Amazonía.

A partir del cálculo del balance hídrico se identificó que las áreas protegidas nacionales contribuyen con el 17% de la oferta hídrica nacional (Figura 8a), aportando con 70.299 millones de m<sup>3</sup> de los 408.335 millones de m<sup>3</sup> que son producidos cada año. El bioma más

importante por su aporte hídrico es el bioma Amazónico. Las áreas protegidas nacionales localizadas en este bioma aportan cerca de 0,008 millones de metros cúbicos por hectárea por año - un valor casi siete veces mayor que los demás biomas<sup>1</sup> (Figura 8b).



**Figura 8a - Contribución de las áreas protegidas a oferta hídrica nacional.**



**Figura 8b - Aporte hídrico de las áreas protegidas por bioma.**

A través del cálculo de la oferta hídrica superficial adicional - contribución atribuida a las áreas protegidas- identificamos que en las unidades de análisis con áreas protegidas nacionales hay 19% adicional de agua respecto a aquellas unidades que no corresponden a áreas protegidas nacionales. Este porcentaje se denomina adicionalidad, haciendo referencia al agua “adicional” que proveen estas áreas protegidas. En términos estadísticos calculamos que, en

<sup>1</sup> La Tabla 1 en ANEXOS contiene información sobre las áreas protegidas nacionales y sus biomas.

promedio, en cada km<sup>2</sup> de área protegida nacional existen 1,01 millones de m<sup>3</sup> adicionales de agua. Estos difieren si los clasificamos según los diferentes biomas (Tabla 1).

	Adicionalidad	Agua adicional (Mm <sup>3</sup> ) por km <sup>2</sup> de área nacional protegido
General	19%	1,01
Amazonía	17%	1,11
Bosques húmedos y secos	1%	0,87
Pastizales, matorrales y desiertos	55%	0,18

**Tabla 1 Adicionalidad de los parques nacionales.**

Basado en el análisis espacial, identificamos la contribución potencial -para consumo, energía y riego- de cada unidad de análisis. Luego calculamos la oferta hídrica adicional para cada uno de los escenarios establecidos previamente (Tabla 1).

Para cada escenario, estimamos la contribución económica de la cantidad de agua superficial adicional generada por las áreas protegidas nacionales, y para cada uno de los tres usos que fueron considerados en el análisis. En la Tabla 2, presentamos los resultados. Como se puede ver, los valores presentan gran variabilidad dependiendo del uso.

	Descripción del escenario	Valor ajustado (2020 USD)	Contribución económica (millones de USD)	Análisis de sensibilidad Contribución económica (millones de USD)	
Escenario 1 <sup>2</sup>	Si toda el agua se usa para consumo doméstico	0,29 USD / m <sup>3</sup>	1.517	942 a	34.873 b
Escenario 2 <sup>3</sup>	Si toda el agua se usa para producción de energía	0,13 USD/kWh	613	490c	699d
Escenario 3 <sup>4</sup>	Si toda el agua se usa para riego	0,08 USD/m <sup>3</sup>	2.992		

**Tabla 2 Contribución económica de la cantidad adicional de agua generada por las áreas protegidas.**

Nota 1: Considerando los siguientes precios: a. tarifa mínima de agua; b. precio del turril (150 litros) de agua; c. tarifa mínima de energía eléctrica; d. tarifa máxima de energía eléctrica.

Nota 2: Se usó la tasa de cambio de 31 de diciembre de 2020, 1 USD = 6.9 Bs (fuente: xe.com).

<sup>2</sup> Turril de agua (150 litros) <https://www.opinion.com.bo/articulo/cochabamba/vecinos-zona-sur-denuncian-cisternas-subieron-precio-agua/20200401121022759573.html>

<sup>3</sup> Tarifa media de electricidad (<https://economy.com.bo/portada-economy/2-uncategorised/2954-beni-recibe-la-mayor-reduccion-de-tarifas-de-electricidad-pero-la-paz-paga-el-costo-mas-barato-por-kilovatio-hora>)

<sup>4</sup> Mattos R, Roger & Crespo, Alberto. Informe nacional sobre la gestión del agua en Bolivia. In: Agua para el siglo XXI para América del Sur: De la Visión a la Acción. Global Water Partnership. p. 109. (2000).

## CUANTIFICACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS RESPECTO AL ALMACENAMIENTO DE CARBONO

Con relación al almacenamiento de carbono en la vegetación, el 79% del stock de los 9 países amazónicos se encuentra en el Bioma de la Amazonia, 12% en otros bosques húmedos y secos tropicales y subtropicales y 9% en la vegetación de pastizales y matorrales. Por su gran tamaño, Brasil es el país con el mayor stock de Carbono (62 Gt), mientras que Bolivia cuenta con 6,2 Gt (Figura 9).

Respecto a las Áreas Protegidas de Bolivia, aproximadamente el 35% del carbono de la vegetación se halla protegido, principalmente en las áreas protegidas nacionales (23%), mientras que el 7% se halla en áreas protegidas municipales y 5% en áreas protegidas departamentales (Figura 10).

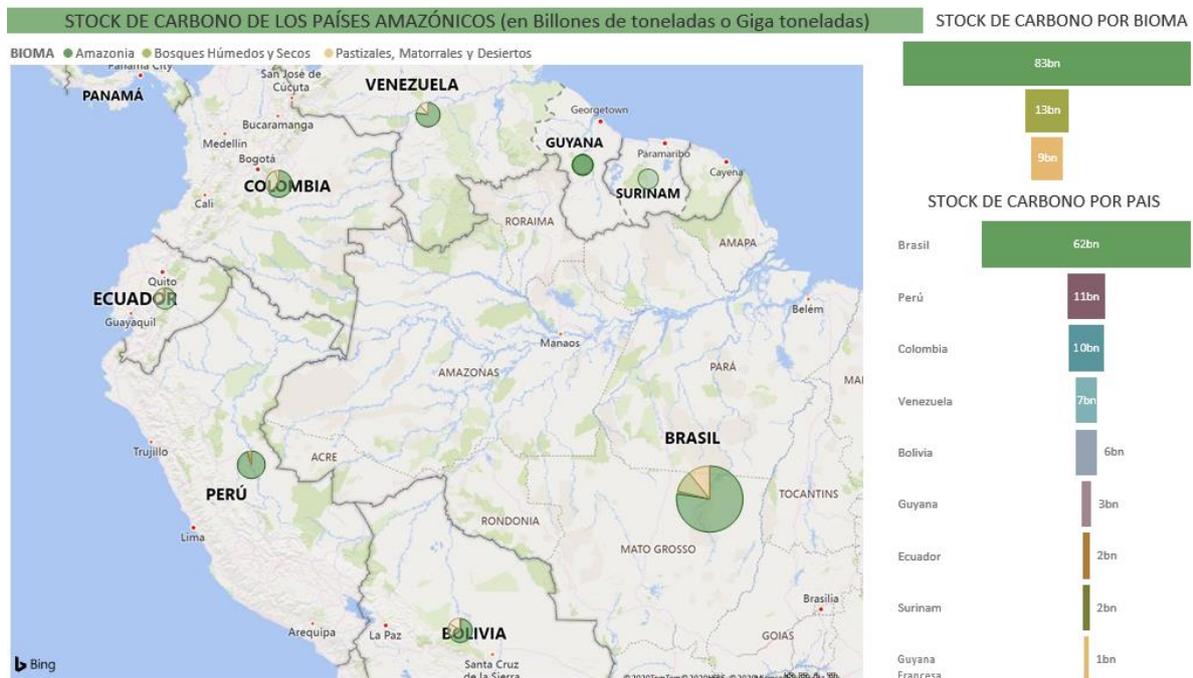


Figura 9 Stock de carbono en biomas de países amazónicos.

La distribución espacial del carbono de las áreas protegidas muestra que las áreas de bosque y en especial la Amazonia, es el área con mayor capacidad de almacenamiento de Carbono. Las Áreas que destacan con stocks mayores a 100 Millones de Toneladas de carbono en la biomasa son: son Kaa-Iya, Madidi, Bajo Madidi, San Matias, Itenez y Ríos Blanco y Negro (Mapa 5).

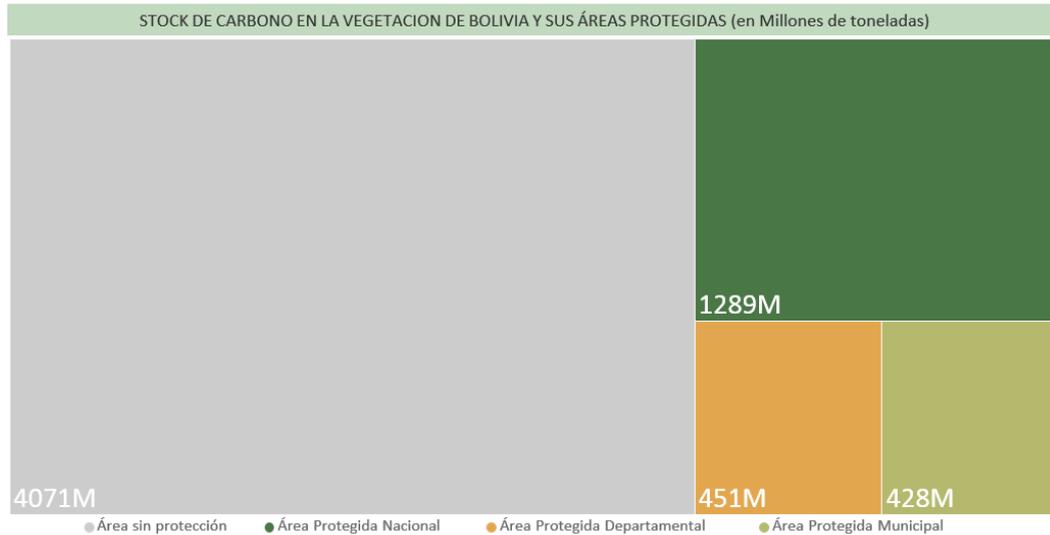
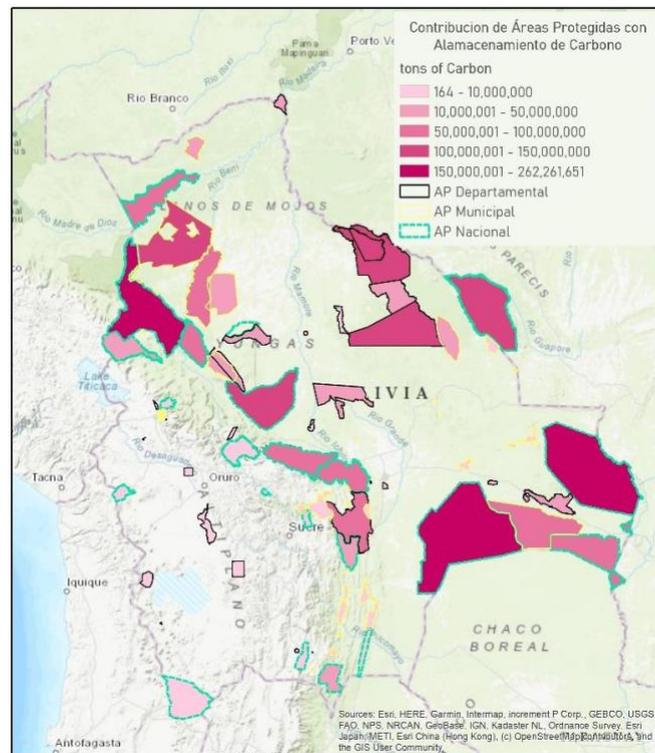


Figura 10 Stock de carbono por tipo de Área Protegida.



Mapa 5 Stocks de Carbono de las Áreas Protegidas de Bolivia.

Específicamente sobre las 22 áreas protegidas nacionales en Bolivia, se estimó que las APB almacenan 4.727 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Esto representa el 21% del CO<sub>2</sub> total almacenado por los bosques del país (22.878 millones). El 60% del carbono de las áreas protegidas se encuentra en el bioma Amazónico, mientras que los de bosques húmedos y secos solamente albergan el 12% (Figura 11). Esto confirma la importancia de la Amazonía para la regulación climática a nivel regional y global.

## STOCK DE BIOMASA EN ÁREAS PROTEGIDAS POR BIOMA

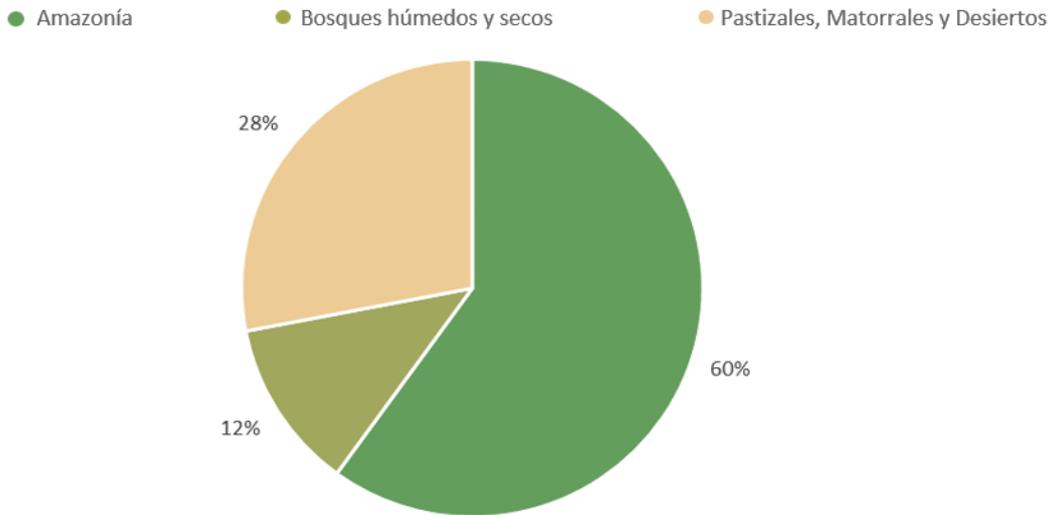


Figura 11 Contribución de las 22 áreas protegidas nacionales al almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

## DEFORESTACIÓN Y POTENCIAL DE SECUESTRO DE CARBONO EN ÁREAS PROTEGIDAS

La deforestación, como indicador de la efectividad de las áreas protegidas, muestra que son áreas que cumplen un rol de protección y conservación respecto a otras áreas externas. La tasa de deforestación dentro de áreas protegidas durante el período 2011-2019 fue de 0.32%, la mitad del promedio nacional (0,62%). A este ritmo, en los 9 años de análisis se han deforestado 636.000 ha, de las cuales las más afectadas fueron las áreas protegidas municipales (296.000 ha), las áreas protegidas nacionales perdieron 265.000 ha de bosque, mientras que las departamentales 75.000 ha (Figura 12).

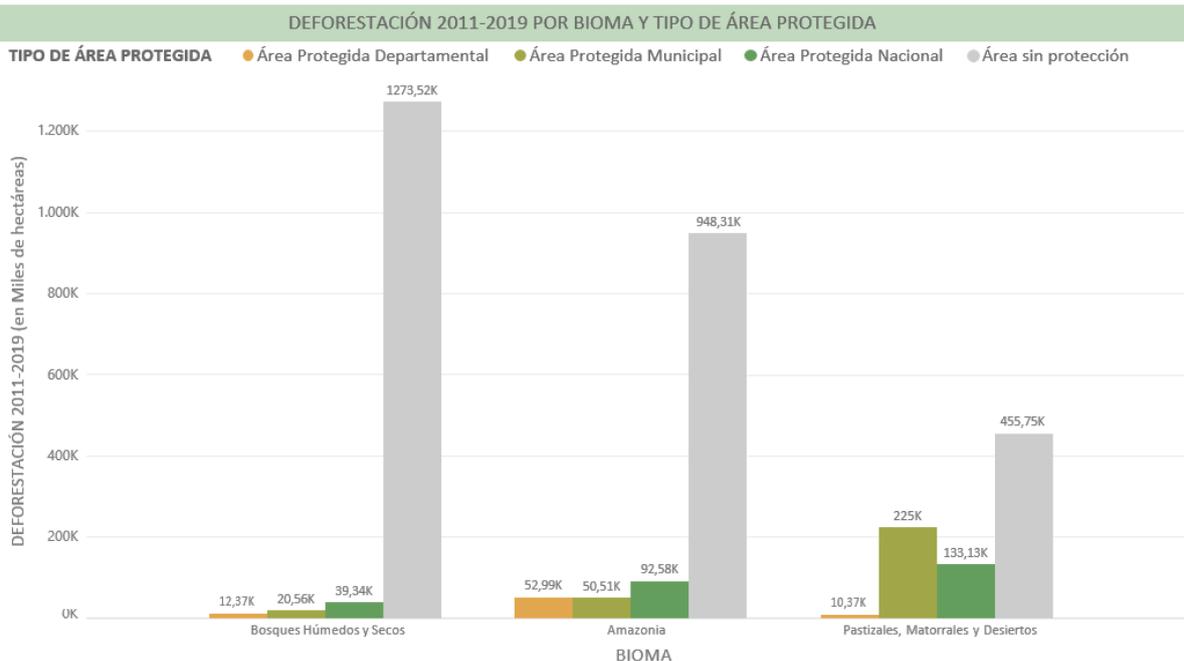
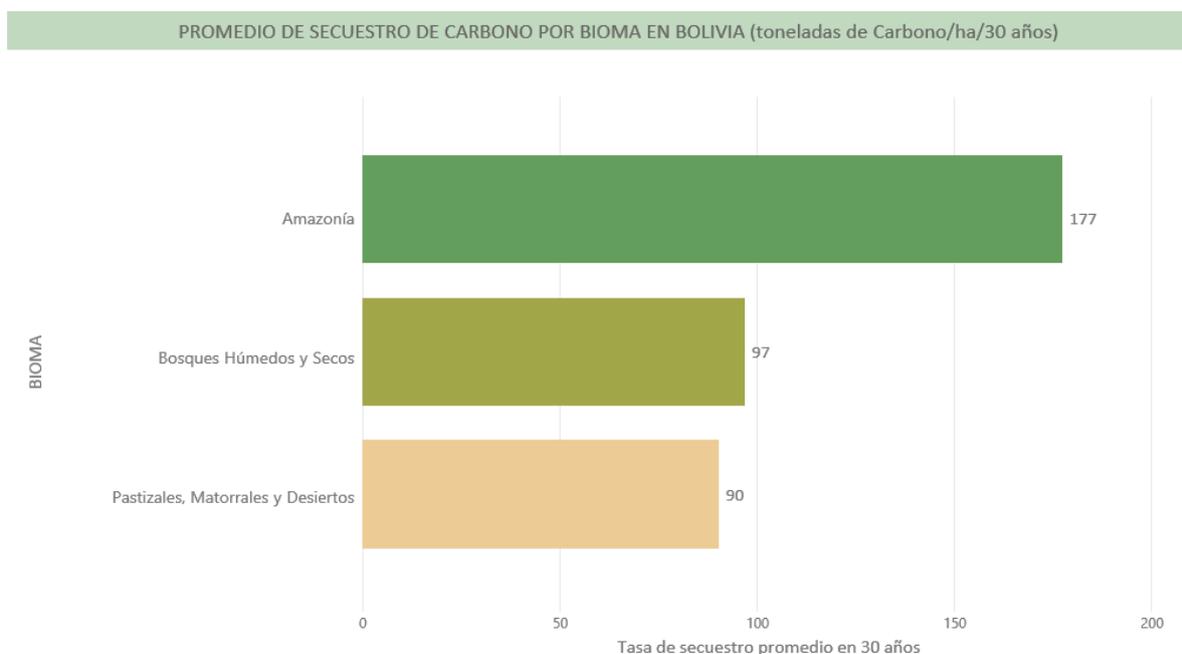


Figura 12 Deforestación por tipo de área protegida y bioma.

Dada la función de las áreas protegidas, principalmente por las funciones ambientales que brindan y por su objetivo de conservación, se sugiere restaurar por lo menos una parte de las áreas deforestadas, previa evaluación de la factibilidad social y biofísica. Es así que, tomando en cuenta las tasas de secuestro de carbono según Cook-Patton et al. (2020), las cuales muestran que, en promedio, las áreas protegidas de la amazonia podrían recuperar 177 toneladas de carbono en 30 años (Figura 13), y asumiendo que se restaura el 50% de estas áreas deforestadas (98.000 ha), se llegaría a capturar 64 Millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 30 años, cerca de 2 millones de toneladas por año.



**Figura 13 Tasa de secuestro de carbono por bioma (toneladas de carbono en 30 años por hectárea).**

Un esfuerzo de restauración de magnitud en las áreas protegidas, si bien cubriría un 3% de las áreas deforestadas en el periodo mencionado, podría dar estabilidad al sistema de áreas protegidas nacionales y a otras áreas sub-nacionales. También se podría realizar un esfuerzo más grande de restauración en áreas deforestadas antes de 2011, es así que, si pensamos en el 50% de la deforestación entre 2001 y 2019, se podrían generar más de 25 Millones de dólares por año para las áreas protegidas existentes. De hacerse realidad un esfuerzo de esta magnitud podría despertar un mayor interés por la conservación y protección de nuestros ecosistemas naturales y así contribuir a la mitigación del cambio climático y conservación de la biodiversidad.

Por otro lado, en base a datos de Harris *et al.* (2021) sobre el flujo de CO<sub>2</sub> entre 2001 y 2019, se ha determinado que las 22 áreas protegidas nacionales tienen un flujo positivo equivalente a un promedio anual de 28 millones de toneladas de CO<sub>2</sub><sup>5</sup>. Este valor resulta de la capacidad

<sup>5</sup> Los datos de emisión y remoción de Harris *et al.* (2021) tiene un grado de incertidumbre que en el caso de bosques tropicales puede ser de 38% para emisiones y 88% para remociones, eso quiere decir que las emisiones podrían ser 38% menores o mayores al promedio, y las remociones podrían ser el 12% o casi el doble. A pesar

anual total de remoción de CO<sub>2</sub> igual a 37 millones de toneladas menos el promedio anual de las emisiones de CO<sub>2</sub> en áreas protegidas nacionales, 9 millones de toneladas. Del mismo modo, las áreas protegidas sub-nacionales tienen un flujo de CO<sub>2</sub> positivo equivalente a 13 millones de toneladas. Por otro lado, las áreas con cobertura boscosa que no están protegidas presentan un flujo negativo, es decir, la capacidad de remoción de estas áreas es menor a las emisiones.

Respecto al rol de las áreas protegidas, fue posible hacer un análisis geográfico comparativo entre las áreas protegidas y el resto de áreas sin protección, en base a los datos de *Climate Watch* (2020) y Harris *et al.* (2021). Los datos de Harris son específicos para LUCF<sup>6</sup>, mientras que los de *Climate Watch* están desagregados para todos los sectores, incluyendo LUCF. En ese sentido, fue posible construir dos posibles escenarios, los cuales se describen en la Tabla 3.

	Escenario A	Escenario B
Emisiones otros sectores	<i>Climate Watch</i> (2020).	<i>Climate Watch</i> (2020).
Emisiones LUCF	<i>Climate Watch</i> (2020).	Harris <i>et al.</i> (2021).
Remociones totales	Harris <i>et al.</i> (2021)	Harris <i>et al.</i> (2021).
Flujo Neto	Total Emisiones – Remociones	

**Tabla 3 Descripción de escenarios según fuente de información.**

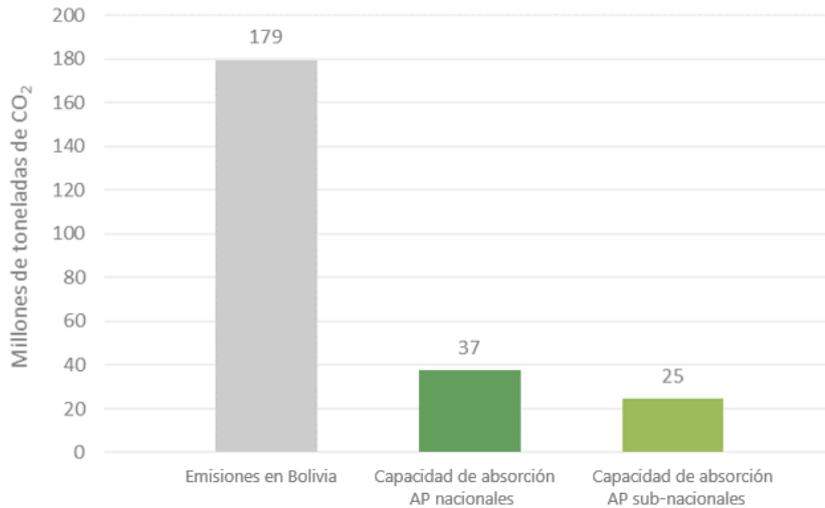
Si se considera el escenario B, se estimó que entre 2001 y 2019, las áreas protegidas nacionales y subnacionales habrían capturado el 35% del total de las emisiones del país, con una capacidad total de remoción de 62 millones de toneladas al año (Figura 14). Si sólo se consideran los datos de *Climate Watch* (2020) (escenario A), la contribución de las áreas protegidas aumentaría de 35% a 57%.

También fue posible establecer que la capacidad de remoción de CO<sub>2</sub> de los ecosistemas naturales que reporta el país, corresponde principalmente a las áreas protegidas, donde las áreas protegidas de carácter nacional concentran el 60% de la capacidad total de remoción total, mientras que las áreas protegidas departamentales y municipales concentran el 23% y 17% de esa capacidad respectivamente (Figura 15).

de la alta incertidumbre en ambos casos, los datos de Harris *et al.* (2021) son los únicos datos de remoción disponibles y que nos permiten calcular el flujo de carbono por áreas protegidas.

<sup>6</sup> Nota: LUCF es la abreviación para cambio de uso del suelo y silvicultura

## SERVICIO DE CAPTURA DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS Y LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN BOLIVIA

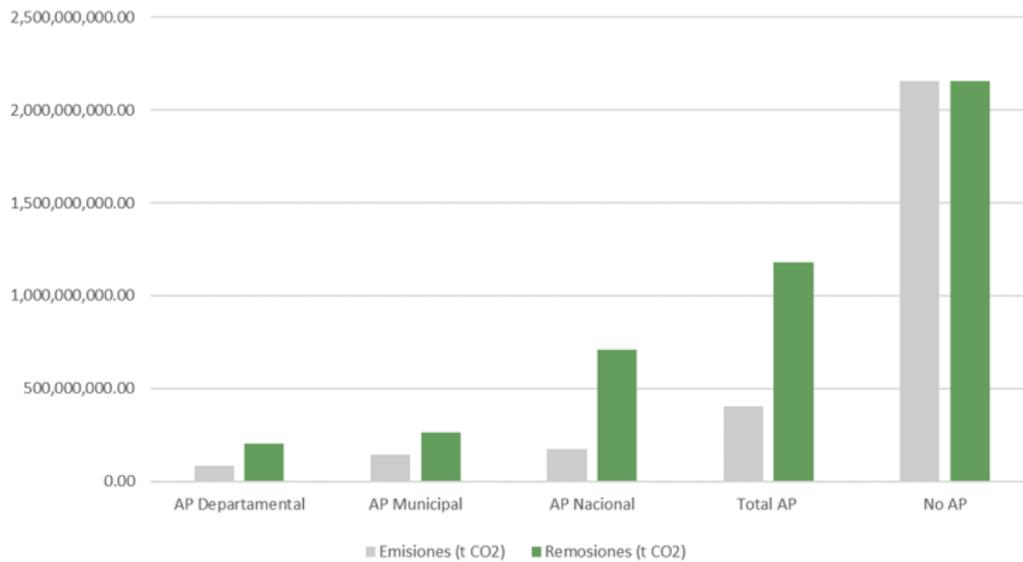


**Figura 14 Comparativo entre el servicio de captura de las áreas protegidas nacionales y sub-nacionales y las emisiones de CO<sub>2</sub> en Bolivia**

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de Climate Watch (2020) y Harris *et al.* (2021).

Nota: Capacidad de absorción corresponde a capacidad total de remoción de CO<sub>2</sub>.

## EMISIONES Y REMOCIONES DE CO<sub>2</sub>



**Figura 15 Capacidad total de remoción de CO<sub>2</sub> de las áreas protegidas nacionales y sub-nacionales**

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de Harris *et al.* (2021).

La información presentada muestra que, dependiendo de la fuente de datos, Bolivia puede presentar un flujo de CO<sub>2</sub> negativo o positivo. Sin embargo, queda evidente que las áreas protegidas nacionales y sub-nacionales estarían capturando gran parte de las emisiones totales en el país.

## STOCK DE BIOMASA EN ÁREAS PROTEGIDAS POR BIOMA



**Figura 16 Porcentaje capturado de emisiones de CO<sub>2</sub> en Bolivia por áreas protegidas nacionales y sub-nacionales.**

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de Climate Watch (2020) y Harris *et al.* (2021).

En la Figura 16 se muestra la capacidad de remoción de las áreas protegidas entre 2001 y 2018 en relación a las emisiones anuales en Bolivia. Se nota que la capacidad de las áreas protegidas nacionales y sub-nacionales de capturar las emisiones de CO<sub>2</sub> está reduciendo significativamente. Esta reducción se debe, sobre todo, al aumento de las emisiones totales, las cuales se incrementaron principalmente por el aumento de las tasas de deforestación durante los últimos años.

## REFERENCIAS

Abatzoglou, J.T., S.Z. Dobrowski, S.A. Parks, K.C. Hegewisch, 2018, Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015, Scientific Data. <http://www.climatologylab.org/terraclimate.html>

AAPS. Tarifas. 29 de diciembre de 2016. Disponible en [http://www.aaps.gob.bo/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25&Itemid=165](http://www.aaps.gob.bo/index.php?option=com_content&view=article&id=25&Itemid=165). Accedido en: 28 de enero de 2021.

Arraut, J. M., & Satyamurty, P. (2009). Precipitation and Water Vapor Transport in the Southern Hemisphere with Emphasis on the South American Region. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(9), 1902–1912. doi:10.1175/2009jamc2030.1

Conservation International 2020. Biomás de países Amazónicos. <https://www.conservation.org/projects/amazonia-fires-dashboard>.

Cook-Patton, S.C., Leavitt, S.M., Gibbs, D. *et al.* Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth. *Nature* 585, 545–550 (2020) <https://github.com/forc-db/GROA>

Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. “High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change.” *Science* 342 (15 November): 850–53. <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>

Harris, N.L., Gibbs, D.A., Baccini, A. *et al.* 2021. Global maps of twenty-first-century forest carbon fluxes. *Nat. Clim. Chang.* 11, 234–240. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6>.

Huffman, G.J., E.F. Stocker, D.T. Bolvin, E.J. Nelkin, Jackson Tan (2019), GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [2020-10-20] doi:10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/06

IPCC. 2012. Renewable energy sources and climate change mitigation: summary for policymakers and technical summary. P. 246. [https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf). Accedido en: 27 de f.

Josefina Marín, Maurizio Forno, Eduardo Franco. 2010. Agua para cobija: análisis de compensación por servicios ambientales en la cuenca del arroyo bahía.

Lenton, T. M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W., & Schellnhuber, H. J. (2019). Climate tipping points — too risky to bet against. *Nature*, 575(7784), 592–595. doi:10.1038/d41586-019-03595-0

Marengo, J. A., Souza, C. M., Thonicke, K., Burton, C., Halladay, K., Betts, R. A., ... Soares, W. R. (2018). Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. *Frontiers in Earth Science*, 6. doi:10.3389/feart.2018.00228

Nashira, Carlos. La economía del cambio climático en Bolivia: Cambios en la demanda hídrica. Cepal BID. Enero 2014.

Nobre, C. A., Sampaio, G., Borma, L. S., Castilla-Rubio, J. C., Silva, J. S., & Cardoso, M. (2016). Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(39), 10759–10768. doi:10.1073/pnas.1605516113

Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2018. Estrategia de Sostenibilidad Financiera del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Subdirección de Sostenibilidad y Negocios Ambientales. Bogotá D. C.

Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP). 2015. Áreas Protegidas Nacionales de Bolivia. <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/ad00d5b9-abab-4169-8a0f-12d6fc06ad6f>

Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP). 2015. Áreas Protegidas Municipales de Bolivia. <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/46037bcf-6bb5-4eb8-9830-9631ddfdb4af>

Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP). 2015. Áreas Protegidas Departamentales de Bolivia. <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/6ad04e0d-9e69-446a-a8ee-47387893db41>

Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2): 32. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

Reyes B., M. A. 2013. Importancia económica de la provisión y regulación hídrica de los parques nacionales naturales de Colombia para los sectores productivos de país. VI Jornada de la Asociación Argentino Uruguaya de Economía Ecológica.

Running, S., Mu, Q., Zhao, M., Moreno, A. (2019). MOD16A3GF MODIS/Terra Net Evapotranspiration Gap-Filled Yearly L4 Global 500 m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2020-11-11 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A3GF.006>.

Snyder, P. K., Delire, C., & Foley, J. A. (2004). Evaluating the influence of different vegetation biomes on the global climate. *Climate Dynamics*, 23(3-4), 279–302. doi:10.1007/s00382-004-0430-0

Spawn, S.A., and H.K. Gibbs. 2020. Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density Maps for the Year 2010. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. [https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsviewer.pl?ds\\_id=1763](https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsviewer.pl?ds_id=1763)

Staal, A., Fetzer, I., Wang-Erlandsson, L. *et al.* Hysteresis of tropical forests in the 21st century. *Nat Commun* 11, 4978 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18728-7>

T. E. Lovejoy, C. Nobre, Amazon Tipping Point. *Sci. Adv.* 4, eaat2340 (2018).

van der Ent, R. J., Savenije, H. H. G., Schaefli, B., & Steele-Dunne, S. C. (2010). Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research*, 46(9). doi:10.1029/2010wr009127

Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2010. Inventario de presas. <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/180d6984-730d-4c81-a175-34df4277d09f>

Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2019. Proyectos de Riego (Inversión y pre-inversión) hasta 2019. [http://geo.siarh.gob.bo/maps/926/metadata\\_detail](http://geo.siarh.gob.bo/maps/926/metadata_detail)

Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2010. Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 5. <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/94fadeff-bb70-46b3-9418-78ccd7a787db>

Wildlife Conservation Society (WCS) y Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP). 2020. El Aporte de las Áreas Protegidas Nacionales en el Marco de las Contribuciones Determinadas Nacionalmente (CDN). La Paz, Bolivia.