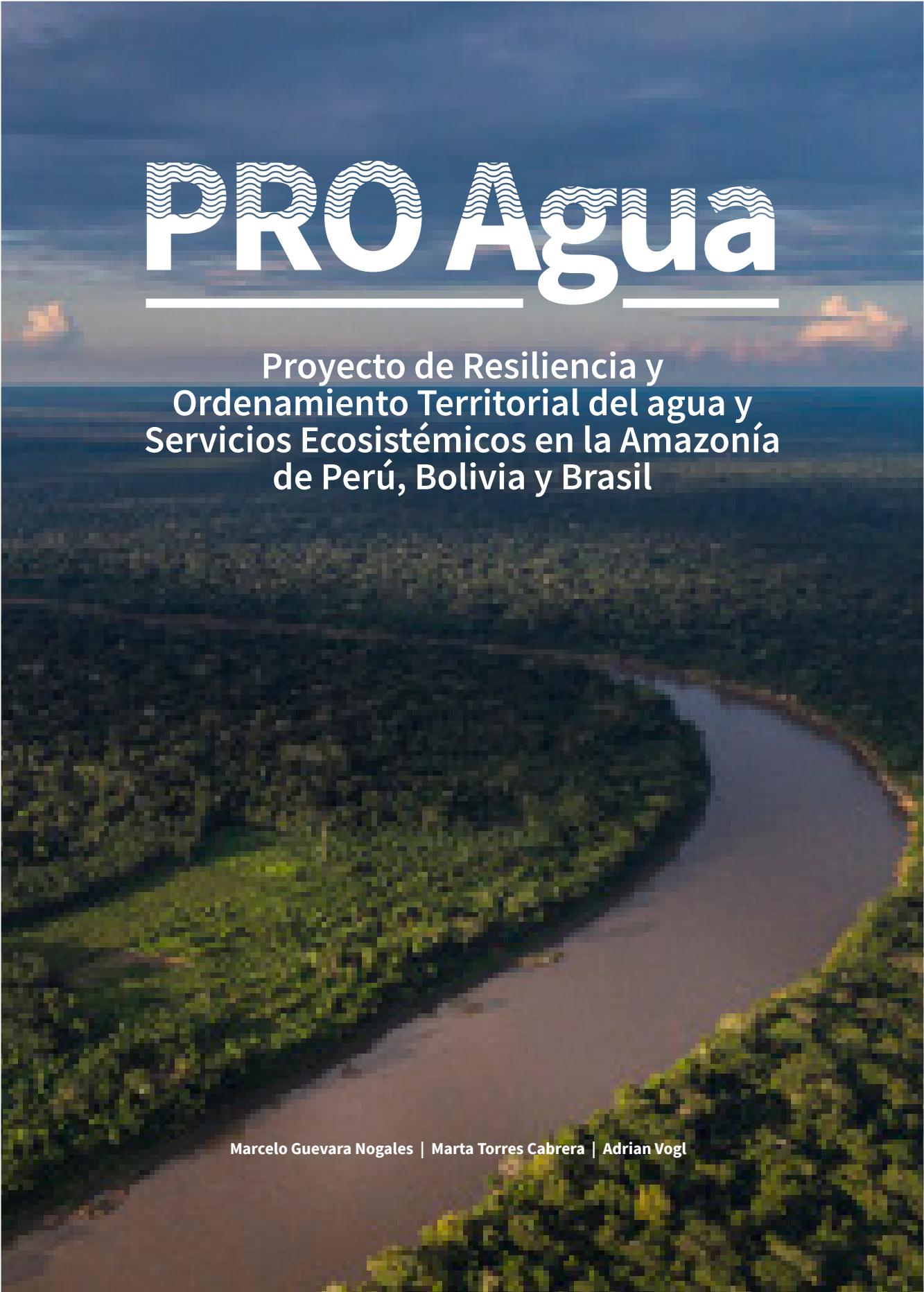


# PRO Agua



Proyecto de Resiliencia y  
Ordenamiento Territorial del agua y  
Servicios Ecosistémicos en la Amazonía  
de Perú, Bolivia y Brasil

Marcelo Guevara Nogales | Marta Torres Cabrera | Adrian Vogl



Stanford  
University



CENTRO DE INNOVACIÓN  
CIENTÍFICA AMAZÓNICA

Herencia



## Stanford University

Natural Capital Project es pionero en la ciencia, la tecnología y las asociaciones que permiten a las personas y a la naturaleza prosperar.

Trabajamos para integrar el valor que la naturaleza proporciona a la sociedad en todas las decisiones importantes. Nuestro objetivo final es mejorar el bienestar de todas las personas y la naturaleza motivando mayores y más específicas inversiones de capital natural.

Con sede en la Universidad de Stanford, operamos como una asociación entre la Academia China de Ciencias, la Universidad de Minnesota, el Centro de Resiliencia de Estocolmo, The Nature Conservancy y WWF. Somos un equipo interdisciplinario de académicos, ingenieros de software y profesionales, todos trabajando para hacer que la valoración del capital natural sea más fácil y accesible para todos.

# **PRO Agua**

**Proyecto de Resiliencia y Ordenamiento  
Territorial del agua y Servicios Ecosistémicos  
en la Amazonía de Perú, Bolivia y Brasil**

## **AUTORES**

**Marcelo Guevara Nogales | Marta Torres Cabrera | Adrian Vogl**

# PRO-Agua

Proyecto de Resiliencia y Ordenamiento Territorial del agua y Servicios Ecosistémicos en la Amazonía de Perú, Bolivia y Brasil

---

## AUTORES

**Autores principales:**

- Marcelo Guevara Nogales, Investigador, Experto en Ordenamiento Territorial y Conservación para Latinoamérica, Natural Capital Project / Stanford University
- Marta Torres Cabrera, Coordinadora de Difusión y Comunicación, Centro de Innovación Científica Amazónica
- Adrian Vogl, Científica Principal, Natural Capital Project / Stanford University

**Autores contribuyentes:**

- Anna Fredriksson Häägg
- César Ascorra Guanira
- Charlotte Weil
- Christopher Anderson
- Guillermo Rioja
- Iván de Oliveira
- Jesus A. Fidhel Sánchez
- Jorge A. Caballero Espejo
- Jorge M. Pillaca Ortiz
- Juan Fernando Reyes
- Lisa Mandle
- Luis Fernández
- Luis Gallegos Chacón
- Mary Ruckelshaus
- Morgan Kain
- Rafael Schmitt
- Sarah Cafasso
- Stacie Wolny
- Sydney Moss

**Editor:**

Giannina Da Roit Bao

**Diagramación:**

Mario Panduro Rosas

**Fotografías:**

Diego Pérez Romero, Pavel Martiarena Huamán, Jason Houston

---

Primera Edición, Enero de 2021

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional de Perú

No. 2021-00281

**Impresión:**

Idea Gráfica Impresiones SAC. Jr Inca 188 Surquillo Lima-Perú. Telf.: 2423932

---

Guevara M, Torres M, Vogl A, Fernández L, Moss S, Fredriksson Häägg, A. (2020). Proyecto de Resiliencia y Ordenamiento Territorial del agua y Servicios Ecosistémicos en la Amazonía de Perú, Bolivia y Brasil. Proyecto PROAgua - Centro de Innovación Científica Amazónica, Natural Capital Project - Stanford University. <https://purl.stanford.edu/mx682ny6097>

---

**Código (DOI):** 10.25740/mx682ny6097. Universidad de Stanford

**EXONERACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo de la Fundación Gordon y Betty Moore, Natural Capital Project de la Universidad de Stanford, Herencia, Wake Forest University y el Centro de Innovación Científica Amazónica. Las opiniones aquí expresadas son las de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de la Fundación Gordon y Betty Moore, ni del resto de instituciones que contribuyeron con esta publicación.

# Presentación

---

La Amazonía es y seguirá siendo un territorio fundamental para el equilibrio ecológico de nuestro planeta, tratándose de uno de los *hotspots* de biodiversidad global y proveedor de bienes y servicios ambientales fundamentales. Enfrenta, sin embargo, amenazas diversas y constantes que nos alertan sobre su fragilidad a pesar de lo majestuoso de su presencia. Además, se trata de un espacio ampliamente estudiado y sin embargo, aún desconocido, del que se requiere mayor conocimiento y análisis con el fin de tomar decisiones que permitan su protección adecuada y preservar de esta manera los beneficios que nos brinda a nivel local, regional y global.

Conocedores del respeto soberano a los territorios nacionales, la mirada hacia la Amazonía debe hacerse de manera integral, considerando el necesario trabajo conjunto de los nueve países amazónicos. Este tratamiento trasnacional es el que se plasma a través de plataformas como el Tratado de Cooperación Amazónica, el recientemente suscrito Pacto de Leticia, o planes de trabajo trinacionales o binacionales.

Aún cuando el bioma amazónico recibe atención de los gobiernos para su protección, este ecosistema se enfrenta a dinámicas económicas y sociales poco sostenibles, procesos constantes de migración (y otros coyunturales como los que está generando el COVID 19) que conllevan a un acelerado cambio de uso de suelo, además de políticas públicas contradictorias y una creciente economía ilegal que se cierne amenazante.

La complejidad que implica afrontar esta situación que amenaza con reformular los paisajes amazónicos, se profundiza ante (i) la falta de conocimiento respecto del valor de este ecosistema y los servicios que brinda, (ii) la ausencia de información sistematizada y analizada que genere conocimiento, (iii) la carencia de sistemas de monitoreo, y (iv) la ausencia de un diálogo entre ciencia y política que permita una mejor toma de decisiones por parte de las autoridades competentes.

Es con esta mirada integral y buscando apoyar en los procesos de construcción de puentes entre ciencia y política, que se plantea y desarrolla una iniciativa como la del Proyecto de Resiliencia y Ordenamiento Territorial del agua y Servicios Ecosistémicos en la Amazonía de Perú, Bolivia y Brasil (PRO-Agua) de The Natural Capital Project (NatCap) de la Universidad de Stanford, con los socios locales Centro de Innovación Científica Amazónica – CINCIA en Perú y Herencia en Bolivia.

Establecer el paisaje amazónico trinacional de Madre de Dios (Perú), Acre (Brasil) y Pando (Bolivia) como ámbito de estudio, así como identificar los servicios ecosistémicos hidrológicos como el eje del mismo, ofrece la oportunidad de llevar adelante un análisis con enfoque multidisciplinario y territorial de gestión integrada de cuenca. Este paisaje amazónico conocido como MAP por las iniciales de los ámbitos subnacionales que lo componen, permite visibilizar un mismo ecosistema bajo tres miradas de gestión y gobierno, dependiendo de las estructuras institucionales y legales de cada país; ofreciendo además la oportunidad de armonizar la toma de decisiones con una visión de cuenca transfronteriza, basada en ciencia.

Está pendiente desarrollar una agenda concreta de la mano de autoridades y población que permita conocer y reconocer el valor de los ecosistemas en la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, identificando los bienes y servicios que estos brindan, uno de los cuales constituye un eje fundamental para el desarrollo sostenible que merecemos: la seguridad

ídrica que además de permitir la permanencia de los ecosistemas propiamente, nos permite contar con una seguridad alimentaria, energética y productiva en general. Como todo enfoque ecosistémico es multidimensional, estos aspectos son los que nos permiten identificar además, las amenazas del cambio de uso de suelo y la gestión de riesgos asociados.

El aporte del trabajo realizado en el marco del proyecto PRO-Agua permite avanzar en la agenda del conocimiento, proveyendo de data e información analizada de manera multidisciplinaria respecto de los servicios ecosistémicos y su importancia. Se exploran los ciclos hidrológicos del ámbito de estudio (las cuencas de los ríos Madre de Dios, Acre y Purús), así como la gestión del territorio y las presiones antrópicas que los alteran poniendo en peligro no solo su continuidad, sino la vida y bienes de las poblaciones que enfrentan, entre otros riesgos, inundaciones atípicas por el cambio de uso de suelo (con un enfoque específico pero no excluyente, en los sectores de Puerto Maldonado – Mazuko y Tahuamanu – Cobija).

El rediseño de los paisajes amazónicos se enfrenta a un crecimiento poblacional reflejado en nuevos asentamientos urbanos y el crecimiento de ciudades que deberían hacerlo en armonía con el entorno; así como a presiones antrópicas producto de una ocupación no planificada del suelo o producto de actividades ilegales e informales que priorizan el retorno económico del cambio de uso de suelo, sobre la sostenibilidad de la actividad planteada o del entorno.

Otro aspecto clave del presente trabajo está dado por la mirada prospectiva del mismo, al plantear una gama de escenarios a futuro que reflejan la vulnerabilidad de los ecosistemas estudiados, trabajar en el desarrollo de un Índice integral de Servicios Hidrológicos (ISH), ofrecer acceso a la información obtenida y organizada a través de un portal web que permite visualizarla y de ser el caso monitorear su evolución, además de identificar oportunidades de mejora a través de modelamientos que permitirían la recuperación y regeneración de ámbitos altamente intervenidos, poniendo como ejemplo uno de los más deteriorados e internacionalmente conocidos como es el caso de La Pampa en Madre de Dios (Perú).

Una mirada integral de la información y escenarios presentados, así como el análisis de estos, permite diseñar estrategias de corto, mediano y largo plazo a ser plasmadas en políticas públicas de diverso nivel de decisión, desde lo local a lo nacional e incluso como insumo para coordinaciones binacionales o trinacionales en el caso del MAP.

Un aspecto final y fundamental del proyecto, es que se haya realizado entre investigadores de la Universidad de Stanford e investigadores locales permitiendo así, compartir capacidades y conocimientos mutuos, que se materializarán en beneficio de la consolidación y fortalecimiento de la toma de decisiones local. Incidir en la generación de conocimiento, su difusión y apropiación a nivel local, así como su canalización como sustento en la toma de decisiones para el diseño de políticas públicas, es un aspecto clave en el que debería visibilizarse el esfuerzo de cada trabajo de investigación.

**Lucía Ruiz Ostoic**  
Ex Ministra del Ambiente del Perú

# Índice

Índice .....	7
Acrónimos .....	8
Agradecimientos .....	9
<b>Capítulo 1.</b> .....	10
Naturaleza viva para una vida plena: Ciencia para la conservación de los bosques y los servicios ecosistémicos en el ámbito trinacional	
<b>Capítulo 2.</b> .....	16
Visiones compartidas al 2035: Posibles escenarios y gestión del territorio para Madre de Dios, Acre y Pando	
<b>Capítulo 3.</b> .....	28
Índice integral de servicios hidrológicos: Agua y gestión del paisaje en las subcuencas del ámbito trinacional	
<b>Capítulo 4.</b> .....	40
Vulnerabilidad ante inundaciones en la cuenca alta del Río Acre: Niveles históricos y análisis cronológicos de impactos	
<b>Capítulo 5.</b> .....	48
Mapeo y cuantificación de inundaciones en la frontera trinacional: Proyecciones a 10, 50 y 100 años en las cuencas de los ríos Madre de Dios, Acre y Purús	
<b>Capítulo 6.</b> .....	58
Recuperación y regeneración de bosques en La Pampa: Modelamiento de exportación de sedimentos, stock de carbono y escorrentía superficial	
<b>Capítulo 7.</b> .....	68
Visualizador del Proyecto PRO-Agua: La ciencia al alcance de todos	
Referencias .....	75
Acerca de los investigadores .....	76

## Acrónimos

---

<b>AAA</b>	Autoridad Administrativa del Agua XIII Puerto Maldonado
<b>ACCA</b>	Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica
<b>ANA BRASIL</b>	Agencia Nacional de Aguas de Brasil
<b>ANA PERÚ</b>	Autoridad Nacional del Agua del Perú
<b>CINCIA</b>	Centro de Innovación Científica Amazónica
<b>COER</b>	Centro de Operaciones de Emergencia Regional de Madre de Dios, Perú
<b>DC</b>	Defensa Civil de Madre de Dios, Perú
<b>DIRESA</b>	Dirección Regional de Salud de Madre de Dios
<b>EMAPAT</b>	Empresa Municipal de Agua Potable de Tambopata
<b>GRNMA</b>	Gerencia Regional de Recursos Naturales y Manejo del Medio Ambiente
<b>IDE</b>	Infraestructura de Datos Espaciales. Madre del Dios, Perú
<b>INDECI</b>	Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú
<b>INVEST</b>	Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs
<b>MAP</b>	Iniciativa Madre de Dios, Acre y Pando
<b>MDT</b>	Modelo Digital del Terreno
<b>MINAM</b>	Ministerio del Ambiente del Perú
<b>MPTH</b>	Municipalidad Provincial de Tahuamanu, Perú
<b>NatCap</b>	Natural Capital Project
<b>SENAMHI</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>SENAMHI</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia
<b>SERNANP</b>	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas del Perú
<b>SERFOR</b>	Servicio Forestal, Perú
<b>SPDA</b>	Sociedad Peruana de Derecho Ambiental
<b>SUNASS</b>	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
<b>RNTAMB</b>	Reserva Nacional Tambopata
<b>WWF</b>	World Wildlife Fund

# Agradecimientos

---

Natural Capital Project quiere agradecer especialmente a todos y todas, los profesionales, líderes locales y representantes políticos que participaron en este importante proceso de investigación para la toma de decisiones en la Amazonía. Gracias a Gretchen Daily, Mary Ruckelshaus, Lisa Mandle, Sarah Cafasso, Christopher Anderson, Morgan Kain y a todo el equipo de NatCap-Stanford University, a Avecita Chicchón y Marion Adeney de la Fundación Moore por su valioso aporte, a la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) de Madre de Dios – Perú, por su apoyo y consejos a lo largo del proyecto. Agradecer a la Autoridad Nacional del Agua de Perú (ANA), a la Reserva Nacional Tambopata - SERNANP, al Centro de Operaciones de Emergencia Regional de Madre de Dios - Perú (COER MDD), al Centro Operativo de Emergencias de la Gobernación de Pando-Bolivia, al Instituto Nacional de Defensa Civil en Perú (INDECI), a Defensa Civil de Pando - Bolivia, a Defensa Civil de Acre - Brasil, a la Dirección Regional de Salud de Madre de Dios - Perú (DIRESA), a Infraestructura de Datos Espaciales de Madre de Dios – Perú (IDE), Servicio Nacional de Metereología e Hidrología (SENAMHI) de Perú y Bolivia, Unidad de Gestión de Riesgos del Gobierno Autónomo de Pando - Bolivia, Cuerpo de Bomberos de Acre - Brasil, a los miembros del Mini MAP Gestión de Riesgos, al Gobierno Regional de Madre de Dios - Perú, al Gobierno Autónomo de Pando, a las Municipalidades Distritales de Assis Brasil, Epitaciolândia y Brasiléia en Brasil, a las Municipalidades Distritales del Gobierno Autónomo Municipal de Cobija en Bolivia, a los Gobiernos locales de Madre de Dios en Perú y a todas aquellas instituciones y funcionarios que participaron con nosotros. Juntos formamos parte del capital humano que ha hecho posible este proyecto cuyos resultados están plasmados en este libro.

La colaboración, participación y diálogo horizontal es el espíritu que se reflejó en nuestros talleres y reuniones técnicas en Puerto Maldonado (Perú), Acre (Brasil) y Pando (Bolivia).

## Capítulo 1

# Naturaleza viva para una vida plena

**Ciencia para la conservación de los  
bosques y los servicios ecosistémicos en  
el ámbito trinacional**

**Adrian L. Vogl**  
Científica Principal,  
Natural Capital Project /  
Stanford University

**Mary Ruckelshaus**  
Directora, Natural  
Capital Project /  
Stanford University

**Marcelo Guevara Nogales**  
Investigador, Experto en Ordenamiento  
Territorial y Conservación para  
Latinoamérica, Natural Capital Project  
/ Stanford University

Los bosques de Madre de Dios, Acre y Pando representan una de las regiones con mayor biodiversidad en el mundo, que proporciona servicios ambientales de vital importancia a nivel local; pero también regional y global. Sin embargo; estos bosques están constantemente amenazados por actividades ilegales como la tala y la minería, así como por el avance de un desarrollo desordenado, que al no priorizar estos ecosistemas pone en riesgo el funcionamiento saludable de los ríos, así como los ciclos hidrológicos del planeta.

Las fronteras de Perú, Brasil y Bolivia se encuentran en lo profundo de la Amazonía. Sus límites se extienden a través de las cuencas de los ríos Madre de Dios,

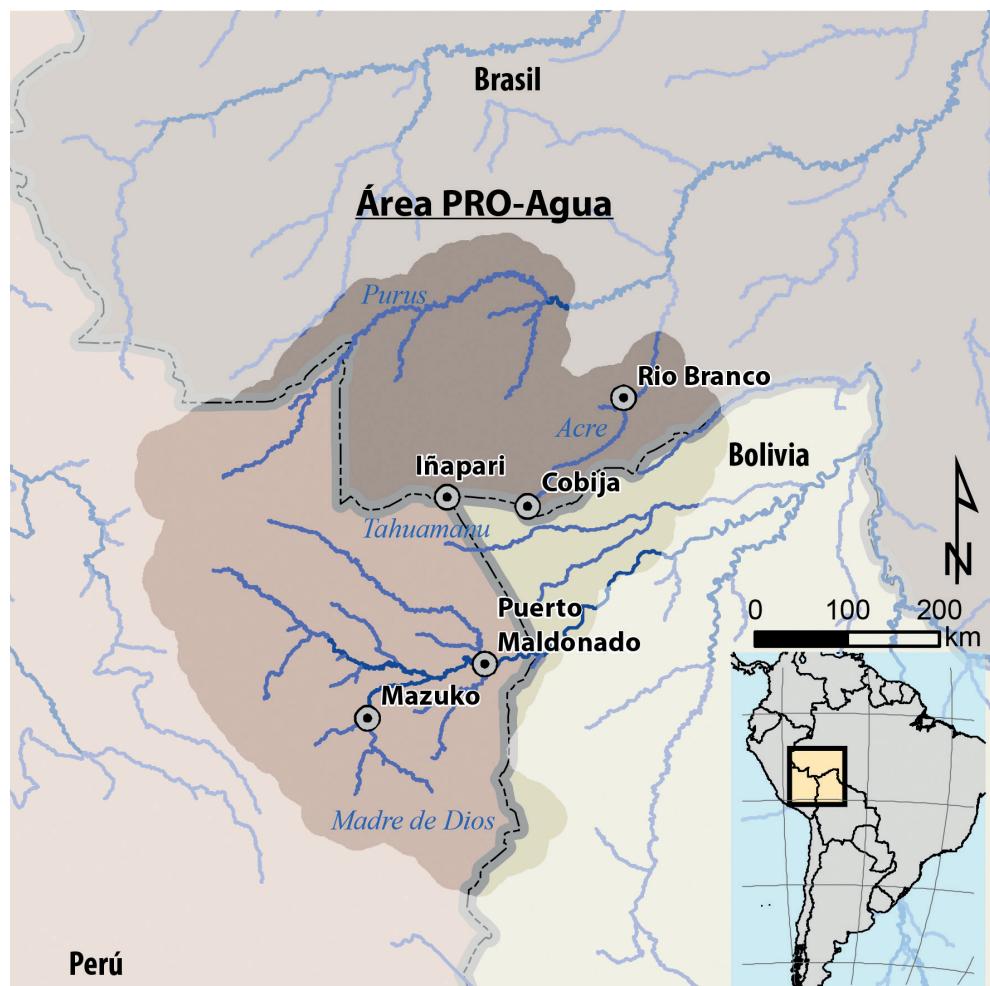
Acre y Purús. La región se conoce como MAP (Madre de Dios, Acre y Pando), un punto de encuentro de tres países y culturas diferentes; cada uno con sus propios gobiernos y desafíos de desarrollo.

En los últimos diez años, han ido en aumento los eventos naturales como las sequías e inundaciones, así como sus graves impactos de alcance local y regional. El crecimiento poblacional en la Amazonía y la falta de planeamiento urbano, así como la pérdida y degradación de bosques nativos, son el principal detonante para esta grave crisis. Centros urbanos en constante expansión como Puerto Maldonado e Iñapari en Perú; Epitaciolândia, Brasileia y Río Branco en Brasil; así como Cobija en Bolivia no cuentan con un



Los sistemas naturales ayudan a las comunidades a aumentar su resiliencia al cambio climático asegurándoles agua limpia, biodiversidad y bienestar humano.

### Área de intervención del proyecto PRO-Agua



análisis apropiado para el ordenamiento territorial que contemple un estudio integral de cuencas hidrográficas. Ello se ve reflejado en la falta de prevención ante inundaciones, una calidad de agua deficiente y el aumento sin precedentes de enfermedades como el dengue, el chikungunya y el zika. En este contexto, la salud pública y actividades económicas, como el turismo, son los sectores más afectados.

## Ciencia para la vida

La comunidad científica internacional tiene un compromiso con la naturaleza y con los pueblos. Por ello, representantes de las tres naciones se han unido para tomar un nuevo rumbo en la gestión de sus

recursos y planeación de su territorio. Este compromiso con los bosques y el agua se transformó en un llamado a la comunidad científica no sólo para actuar frente a los desastres naturales, sino para juntos identificar los escenarios que potencien un desarrollo efectivo y responsable.

En ese contexto el Proyecto Resiliencia y Ordenamiento Territorial del Agua (PRO-Agua) de The Natural Capital Project (NatCap) de la Universidad de Stanford, a través de sus socios estratégicos CINCIA en Perú y Herencia en Bolivia, ha reunido en los últimos dos años a científicos de diversas especialidades para consolidar -junto a importantes líderes locales- la creación de redes para el conocimiento y la práctica científica, cuyo fin sea la toma de decisio-

nes sobre la seguridad hídrica y la resiliencia frente al cambio climático, desde un enfoque de gestión integrada de cuencas.

Dicho enfoque aborda tanto la infraestructura verde como los servicios ecosistémicos de un espacio o región determinada. Es decir, identifica tanto la vegetación nativa y sus hábitats naturales, como el estado de los beneficios que los ecosistemas aportan a la sociedad en la salud, la economía y la calidad de vida de las personas. Representa el cambio de un desarrollo no planificado a un futuro sostenible y viable para la gente y la naturaleza.

Actores sociales y políticos del ámbito trinacional en la Amazonía suroeste han participado activamente en el diagnóstico integrado de sus cuencas, tanto para la prevención como para tomar acción en el desarrollo de sus pueblos. Estas redes para el conocimiento y la práctica científica evalúan cómo y cuándo los humedales, bosques y vegetación ribereña reducen los riesgos a inundaciones y sequías. Asimismo, identifican cómo los diferentes usos del agua y del suelo pueden transformar el futuro para la gente en centros urbanos y áreas colindantes.

**“ Los sistemas naturales ayudan a las comunidades a aumentar su resiliencia al cambio climático asegurándoles agua limpia, biodiversidad y bienestar humano.”**

## Modelando un seguro de vida

El Proyecto PRO-Agua ha elaborado mapas que muestran cómo los humedales, los bosques y la vegetación ribereña reducen los riesgos a inundaciones y sequías. Además, confirma que su conservación representa beneficios concretos al desarrollo local a través de actividades económicas como el turismo. Asimismo, este importante trabajo cartográfico logra representar la relación entre el bosque y su aporte a la salud en diferentes escenarios a futuro, al reducir el hábitat para la proliferación de

zancudos que portan enfermedades. Finalmente, el modelamiento espacial y mapeo demostraron cómo los diferentes escenarios pueden transformar los centros urbanos y áreas colindantes. Cabe mencionar que las lecciones aprendidas, herramientas de software, nueva ciencia y material de comunicación fueron compartidos con actores clave a nivel local y regional. Este importante proyecto de investigación, los modelamientos, escenarios, metodología y resultados; a su vez fueron ingresados a un programa denominado Visualizador<sup>1</sup> del Proyecto PRO-Agua, al alcance del público interesado.

## Proyecto PRO-Agua, metas en común

- Construir comunidades conscientes con su entorno.
- Poner el conocimiento científico y sus herramientas a disposición de las comunidades.
- Modelar escenarios de la gestión integrada de cuencas en casos concretos.
- Reconocer y empoderar a actores clave para la toma de decisiones en la planificación del territorio.

## Al alcance de la ciencia

El presente informe recoge los resultados de cuatro extensas investigaciones acerca de la seguridad hídrica, la vulnerabilidad ante inundaciones y las políticas de prevención; para finalizar con un importante análisis acerca de los beneficios en la recuperación de suelos degradados por la actividad minera. Cada uno de los resultados, además, ha logrado una valiosa aproximación a escenarios futuros en los que los especialistas analizan el impacto de la toma de decisiones y el enfoque basado en la sostenibilidad.

Este importante esfuerzo se sostiene en las visiones compartidas de autoridades, líderes y especialistas locales, constituyéndose en la base sobre la que se construye la investigación. Una vez más la ciencia se pone al servicio de la sociedad para encontrar los mecanismos apropiados e inmediatos de una vida de calidad para todos, con un enfoque sostenible y respetuoso con los bosques y el agua.

1 <http://viz.naturalcapitalproject.org/pro-agua/>

## Nuevos escenarios

- Planificación trinacional para el uso adecuado del suelo.
- Sector salud informado, consciente y empoderado sobre la relación entre el aumento de enfermedades tropicales y el uso del suelo.
- Localidades en riesgo por inundaciones utilizan la modelación científica para desarrollar proyecciones frente al cambio climático y proyectos de desarrollo.
- Autoridades regionales y locales cuentan con un plan de acción para reducir los impactos del cambio de uso de del suelo.
- Sociedad civil informada y organizada para participar y recibir los beneficios del manejo integrado de cuencas hidrográficas.

“ Científicos y población clave formaron parte de un proceso de investigación participativo sobre los diferentes escenarios futuros acerca del desarrollo del ámbito MAP.

Las visiones y proyecciones que los actores clave brindaron, permitió al proyecto reafirmar el gran potencial biodiverso y humano de estas regiones, así como reconocer las expectativas y deseos de estos actores frente a su futuro. De esta forma, nos propusimos ampliar nuestras investigaciones en diversos temas críticos o clave, cuyo resultado fuese un aporte para la planificación.

## Acciones eficientes ante situaciones concretas

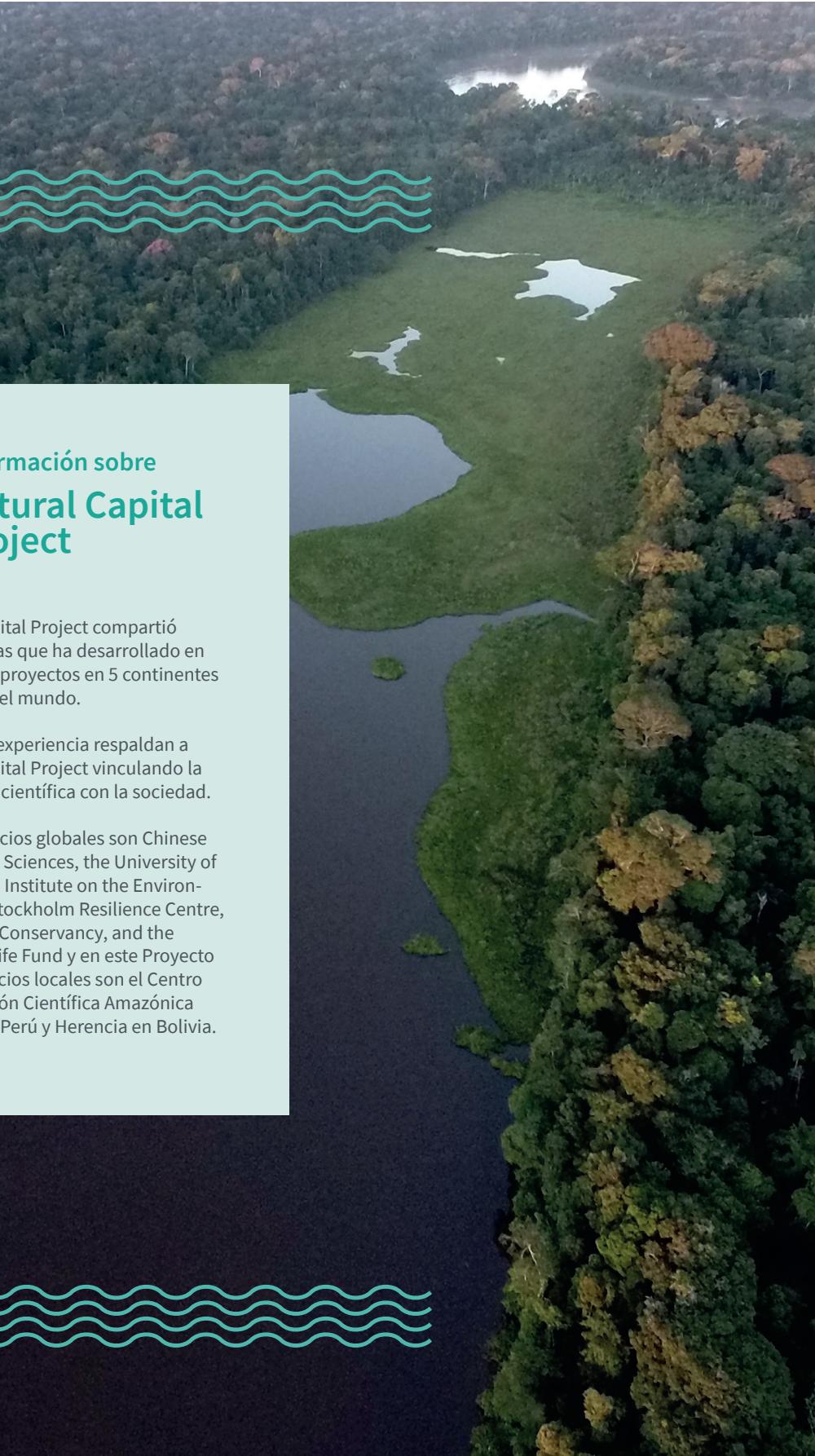
The Natural Capital Project / Stanford University es una institución que trabaja para integrar el valor que la naturaleza proporciona a la sociedad en todas las decisiones importantes. Nuestro objetivo final es mejorar el bienestar de todas las personas y la naturaleza motivando mayores y más específicas inversiones de capital natural.

- A través de la ciencia de vanguardia de los servicios de los ecosistemas, mapeamos, medimos

y valoramos los beneficios de la naturaleza para las personas. Hemos creado una cartera diversa de ejemplos en los que la ciencia del capital natural está fomentando la inversión estratégica a largo plazo en la naturaleza.

- A través de una tecnología innovadora como nuestra plataforma de software InVEST, aprovechamos los datos ambientales mundiales para proporcionar a los responsables de la toma de decisiones información procesable para las decisiones políticas, financieras y de gestión.
- A través de nuestras asociaciones con instituciones globales, y locales, producimos resultados a medida, informados por el conocimiento local. Innovamos y creamos capacidad con las comunidades de todo el mundo, involucramos a los líderes clave y colaboramos en la reforma de las instituciones para que los objetivos privados a corto plazo se ajusten más a los objetivos a largo plazo de la sociedad

Más allá de la ciencia, The Natural Capital Project mantiene un compromiso demostrado con el desarrollo de procesos participativos que aseguran la relevancia y aplicabilidad inmediata de nuestro trabajo con las decisiones en la vida real, junto con datos abiertos y herramientas de software y un poder de convocar para elevar la visibilidad de los temas en el ámbito global.



**natural capital  
PROJECT**

## Información sobre **Natural Capital Project**

- Natural Capital Project compartió herramientas que ha desarrollado en más de 100 proyectos en 5 continentes alrededor del mundo.
- 12 años de experiencia respaldan a Natural Capital Project vinculando la comunidad científica con la sociedad.
- Nuestros socios globales son Chinese Academy of Sciences, the University of Minnesota's Institute on the Environment, the Stockholm Resilience Centre, The Nature Conservancy, and the World Wildlife Fund y en este Proyecto nuestros socios locales son el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA) en Perú y Herencia en Bolivia.

## Capítulo 2

# Visiones compartidas al 2035

## Posibles escenarios y gestión del territorio para Madre de Dios, Acre y Pando

**Jorge M. Pillaca Ortiz**  
Especialista SIG/Centro de Innovación Científica Amazónica – CINCIA

**Charlotte Weil**  
Científica de Datos, Natural Capital Project / Stanford University

**Luis Gallegos Chacón**  
Analista SIG/Centro de Innovación Científica Amazónica– CINCIA

**Jorge A. Caballero Espejo**  
Especialista SIG/Centro de Innovación Científica Amazónica – CINCIA

En la actualidad, Puerto Maldonado en Perú, Acre en Brasil y Pando en Bolivia se han unido para identificar las políticas que les permitirá asegurar la conservación y vigencia de los servicios ecosistémicos, que sus bosques albergan. Si bien los gobiernos regionales y locales cuentan con planes para la gestión territorial y el cuidado ambiental, éstos en su mayoría no se ven reflejados en la realidad. En el caso peruano, el avance de la minería aurífera artesanal sobre áreas naturales protegidas; así como el crecimiento urbano desordenado y la posible ejecución de proyectos de infraestructura a gran escala representan una amenaza para sus bosques y para el bienestar de sus ciudadanos. Mientras en la localidad boliviana de Cobija y en la frontera con Brasil; la salud, así como la calidad del agua y la seguridad alimentaria están en grave riesgo debido a la tala y a la ampliación agrícola extensiva.

En ese sentido, el proyecto PRO-Agua ha identificado, en el ámbito trinacional, los dos sectores más afectados por el cambio de uso de suelo. El sector entre Puerto Maldonado y Mazuko; y el comprendido entre Tahuamanu y Cobija.

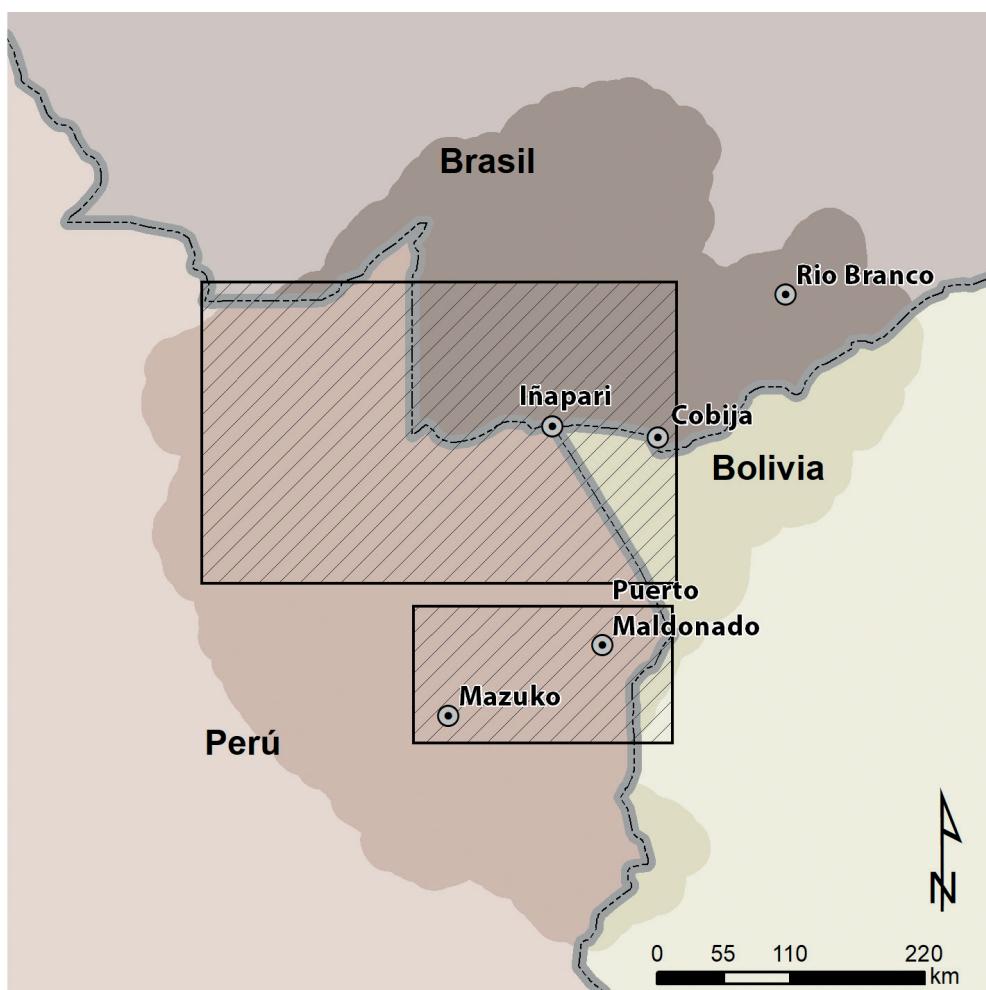
Junto con autoridades regionales y locales, especialistas y representantes de la academia, se proyectó al 2035 el posible estado de ambos sectores, en tres escenarios diferenciados. El primero muestra un escenario sostenible deseado, un cambio de rumbo hacia una gestión integrada de cuencas; el segundo, más realista, que pone en práctica los actuales planes de gestión territorial; y un tercero, que representa un panorama caótico no deseado, de seguir realizando las mismas prácticas que deterioran los bosques sin ningún orden.



**Los escenarios son una potente herramienta que ensayan una serie de futuros posibles y complejos**



### Zona de estudio



La presente investigación ha procurado recoger el sentir y visiones compartidas de la población en el ámbito trinacional que contribuyan con la construcción de un futuro sano, respetuoso de la vida y con oportunidades para todos.

## Ciencia participativa y activa

El proyecto PRO-Agua tiene como principal objetivo ayudar a las autoridades nacionales, regionales y locales del ámbito trinacional en la toma de decisiones consciente e informada, poniendo la investigación científica como una disciplina a su alcance. Asimismo, el enfoque de investigación, que el pro-

yecto y sus socios principales han asumido, es esencialmente participativo. Todo conocimiento o información obtenida debe servir para el reconocimiento y la toma de decisiones.

En ese sentido, el proyecto convocó a actores clave de centros urbanos en crecimiento en Madre de Dios (Perú), Pando (Bolivia), y de Acre (Brasil) involucrados en la gestión y ordenamiento territorial. Representantes de las áreas naturales protegidas y responsables de los recursos hídricos, así como los principales promotores del bosque y los servicios ecosistémicos se reunieron para identificar los dos sectores o ámbitos de estudio. El primero, la zona entre Puerto Maldonado y Mazuko; y el segundo, el sector entre Tahuamanu y Cobija.

- a. Sector entre Puerto Maldonado y Mazuko:** Importantes distritos de la Región Madre de Dios en Perú, unidos entre sí por la carretera Interoceánica Sur. En su trayecto destacan actividades como la agricultura y la ganadería, así como la minería aurífera artesanal informal e ilegal. Durante cuarenta años, esta actividad se ha desarrollado sin cumplir las exigencias técnicas, sociales, ni ambientales de ley. Sin embargo, la devastación de bosques y contaminación de cuerpos de agua aumentaron gravemente con la construcción de la carretera, afectando incluso la zona de amortiguamiento y al interior de la Reserva Nacional Tambopata. Ante esta situación, el Estado peruano declaró el estado de emergencia el 2019 e interdicta este sector. En la actualidad, sólo las concesiones ubicadas en la zona permitida para el desarrollo de la minería, se encuentran en proceso de formalización.
- b. Sector entre Tahuamanu y Cobija:** Zona fronteriza entre Tahuamanu en Madre de Dios y Pando en Bolivia. Destacan los ríos Tahuamanu y Manuripi, así como la carretera afirmada entre San Lorenzo en Perú y la zona de Porvenir en Cobija. En este sector se desarrolla principalmente la agricultura, la ganadería, la extracción forestal maderable y la recolección de frutos de castaña. También se encuentran el Parque Nacional Purús, que colinda con Tahuamanu, así como la Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica

Manuripi Heat vinculado a Cobija, ambas sometidas por la extracción ilegal de madera.

Identificados los dos ámbitos de estudio, la presente investigación motivó el reconocimiento de las expectativas de los actores frente al uso del suelo y de la gestión del territorio, en el supuesto de tres escenarios posibles. Un primer escenario sostenible, un segundo escenario realista; y un tercer escenario caótico.



**Escenario Sostenible:** Priorizando un plan basado en una gestión integrada de cuencas, el uso del suelo respetaría las potencialidades de los bosques y aseguraría la continuidad de sus beneficios. Reducirían significativamente los riesgos por lluvias e inundaciones, así como el impacto del cambio climático.



**Escenario Realista:** De dar continuidad a las acciones de manejo y uso del suelo, la degradación de los ecosistemas continuaría con la misma tendencia.



**Peor Escenario:** Suponiendo que no se establece ninguna planificación del territorio ni de cuencas, la degradación de los ecosistemas sería radical en los dos ámbitos de estudio.

## Metodología

La proyección de escenarios, según el uso de los suelos es una potente herramienta que recrea modelos con la ayuda de softwares especializados. Estas proyecciones son de gran ayuda a los gobiernos y autoridades al momento de planificar, pues ensayan una serie de futuros posibles y complejos, en función a supuestos basados en información actualizada al momento de la proyección.

Los escenarios no son predicciones, sino situaciones futuras hipotéticas posibles y complejas, en las que intervienen diversos factores en tanto supuestos, de acuerdo al conocimiento, tendencias, frecuencias y prácticas de los diferentes actores participantes.

El taller, que tuvo lugar en la ciudad de Puerto Maldonado, se estableció como un espacio participativo

de evaluación y análisis. Los asistentes, agrupados en mesas de trabajo multidisciplinarias, expresaron los posibles escenarios futuros en textos, imágenes, datos estadísticos y mapas. Junto con los representantes de distintas instituciones, tanto de Madre de Dios como de Cobija, se recogió valiosa información acerca de sus percepciones y expectativas sobre el cambio de uso del suelo, las áreas naturales protegidas, el turismo, la biodiversidad y el cambio climático al 2035.

Los tres escenarios fueron plasmados en mapas impresos, para responder dónde, cómo y en qué magnitud se produciría un cambio determinado. Así; por ejemplo, para analizar el posible avance de la minería aurífera al 2035, en un escenario realista, los participantes debieron identificar en qué sectores ocurriría (dónde); qué aspectos del bosque o cuerpos de agua serían afectados (cómo); y en cuántas hectáreas se



Los principios de ordenamiento territorial, reforestación y uso adecuado del suelo, deben ser transmitidos a las nuevas generaciones.

evidenciaría ese impacto (cuánto). Todas las consideraciones para los tres escenarios se encuentran en el Visualizador del Proyecto PRO-Agua<sup>2</sup>.

Los aportes a los dos ámbitos de estudio, en los tres escenarios planteados, fueron digitalizados usando un programa SIG (Sistemas de Información Geográfica). En el caso de la expansión urbana, se recurrió a información de censos poblacionales históricos, tanto del sector Puerto Maldonado – Mazuko como del sector Tahuamanu – Cobija, para estimar la tasa de crecimiento poblacional al 2035. Así, se pudo determinar la magnitud del área urbana para los próximos 15 años, presumiendo la relación directa entre la expansión urbana y el crecimiento poblacional. Este ejercicio se hizo para todas las ciudades importantes de ambas zonas de estudio.



**Análisis**, de información SIG actualizada (banco de datos)



**Discusión** interdisciplinaria



**Planeamiento** de escenarios futuros



**Georreferenciación** de propuestas SIG



**Visualización** del impacto de posibles escenarios

Otro factor que interviene en el cambio de uso de suelo es la infraestructura vial. En ese sentido, todas las proyecciones para la construcción de carreteras y trochas de acceso al 2035 se digitalizaron, teniendo en cuenta el mapa base actual y lo señalado por los participantes. Según el escenario, algunas carreteras fueron eliminadas y en otros casos, adicionadas.

Para los demás factores de cambio en el uso del suelo, como la deforestación o reforestación, se proyectaron áreas circundantes al interior o al exterior de la capa de uso de suelo actual, teniendo en cuenta el porcentaje de crecimiento señalado por los especialistas.



El intercambio de ciencia y tecnología entre expertos internacionales y locales, apoya el impacto positivo del proyecto.

2 <http://viz.naturalcapitalproject.org/pro-agua/>

## Bosques y agua al 2035 en el ámbito trinacional

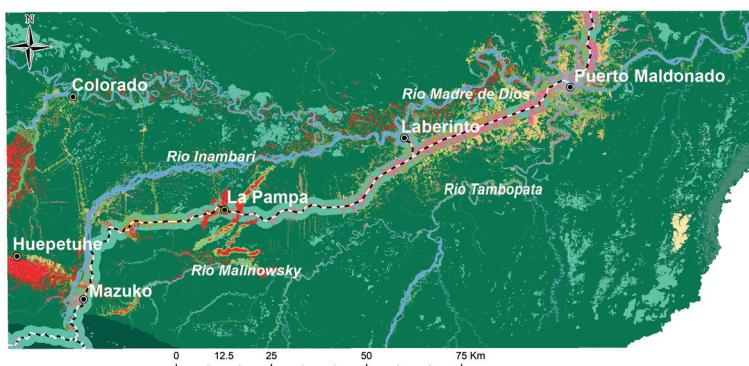
El ejercicio participativo y multidisciplinario para la proyección de escenarios, no sólo permitió identificar aquellos aspectos que estarían amenazando los bosques y cuerpos de agua, sino que puso en evidencia el sentir común de los participantes, complejo y esperanzador. El reto para lograr un cambio signifi-

cativo en el desarrollo de los pueblos lo asumimos todos, y en ello radica el valor del capital social, que en todo momento lideró la presente investigación.

### Visiones compartidas al 2035 para el ámbito Puerto Maldonado – Mazuko:

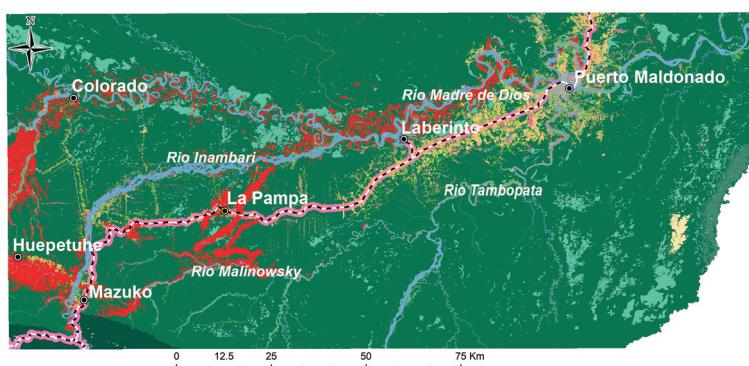
El análisis y proyección de expertos y especialistas de Madre de Dios en los tres escenarios posibles dio como resultado las siguientes visiones:

#### Escenario Sostenible:



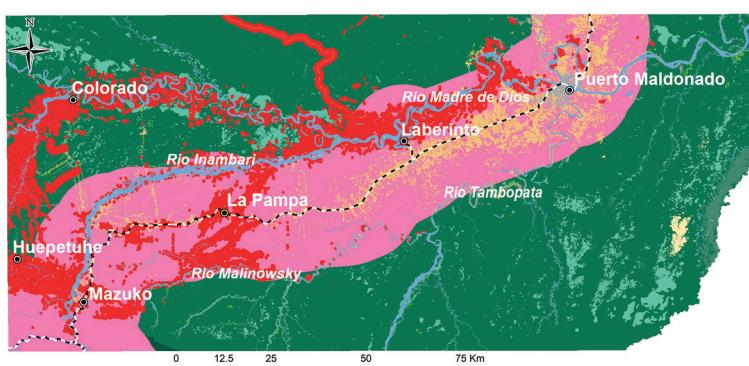
Se promueve el desarrollo de actividades silvopastoriles y agrosilvopastoriles en los centros poblados que se encuentran ubicados a lo largo de la carretera Interoceánica Sur, disminuyendo o reduciendo la presión sobre bosques primarios. En ese sentido, el desarrollo de la minería aurífera artesanal (zona roja) se presenta como una actividad responsable con el ambiente. Mientras que el crecimiento urbano se ordena respetando las fajas marginales, reduciendo los daños por inundaciones.

#### Escenario Realista:



Se da continuidad al desarrollo de la actividad turística, pero sin generar condiciones favorables ni para el bosque ni para los beneficiarios de los servicios ecosistémicos que estos ofrecen. Ello se traduce en un avance no deseado de la deforestación por minería aurífera artesanal (zona roja) impactando bosques, biodiversidad y cuerpos de agua.

#### Peor escenario:



Las actividades ilícitas, como la tala y minería ilegal (zona roja), avanzan sin control sobre bosques y cuerpos de agua, afectando gravemente la biodiversidad, la seguridad alimentaria y la calidad de agua. Ocurre lo propio con la expansión de la frontera agrícola (zona rosa) y la construcción de vías de comunicación no autorizadas ni planificadas. Mientras la expansión urbana sobre fajas marginales continúa sin control, aumentando los riesgos por inundaciones, durante la época de lluvias.

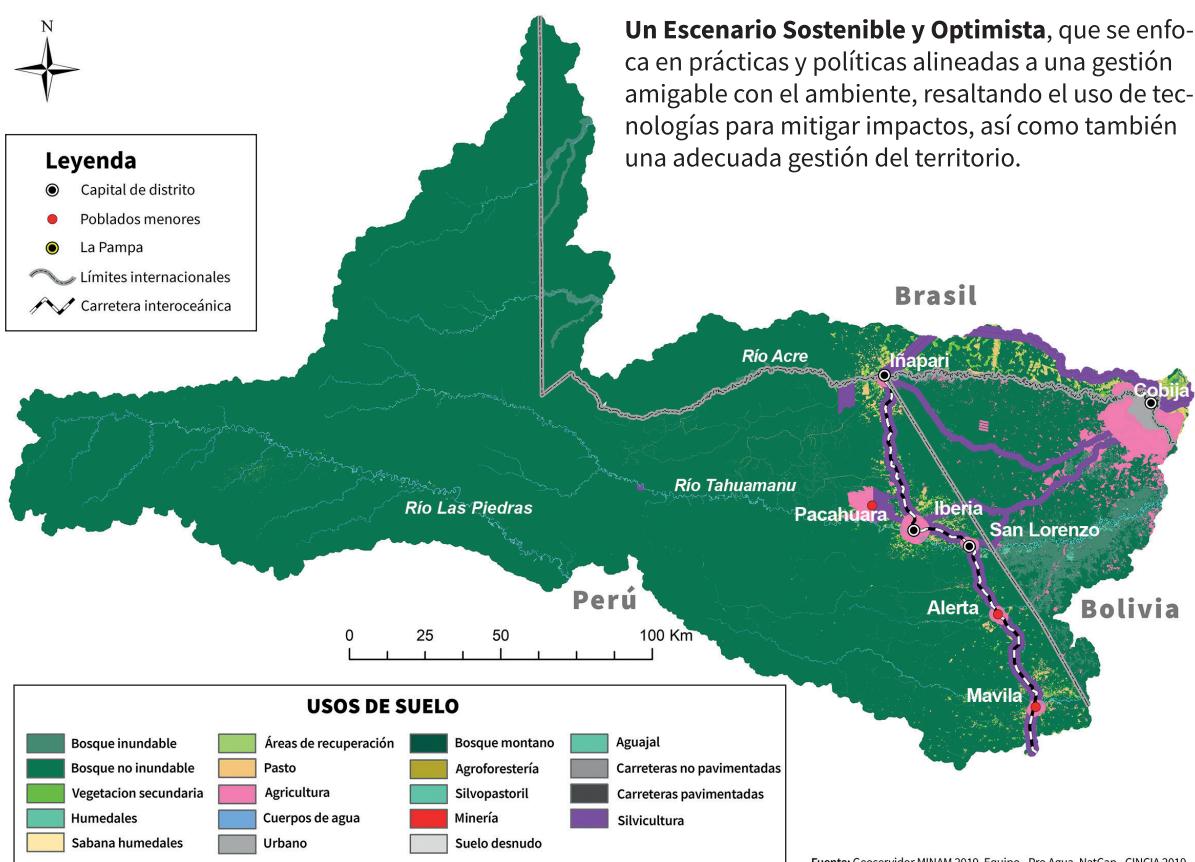
**Tabla comparativa con los resultados por escenario para el ámbito Puerto Maldonado - Mazuko:**

Uso del suelo	Escenario Sostenible	Escenario Realista	Peor Escenario
Agricultura y actividades agropecuarias	93,800 ha. a lo largo de la carretera Interoceánica Sur, comprendido entre las ciudades de Puerto Maldonado y Mazuco, para el desarrollo de la agricultura, la agroforestería y actividades agropecuaria.	La actividad agrícola se expande en 46,970 ha. a lo largo de la carretera Interoceánica Sur.	La actividad agrícola y agropecuaria aumentan un 70% a lo largo de la Carretera Interoceánica Sur y nuevos proyectos viales, hasta 13,200 ha.
Reforestación	Incremento de 5 mil ha. para la reforestación o restauración boscosa en áreas degradadas por minería aurífera en el sector La Pampa (Km.110 de la carretera Interoceánica Sur).		
	Incremento de 1 mil ha. para la reforestación o restauración boscosa en áreas degradadas por minería aurífera en la Comunidad Nativa Kotzimba (Km. 168 de la carretera Interoceánica Sur).		
Minería	No hay incremento de minería. Los trabajos mineros son más eficientes con nueva tecnología. Las áreas degradadas por la minería son reforestadas.	Minería aurífera artesanal se expande en 8 mil ha.	Minería aurífera artesanal se expande hasta 217 mil ha. lo que equivale a un incremento del 70%. Además, esta actividad se incrementa a lo largo de carreteras secundarias en el sector Colorado y Boca Unión.
Expansión urbana	La población comprendida entre Puerto Maldonado, Laberinto y Mazuko aumenta, ocupando un área de 3,255 ha. Se reubica la población que se encuentra asentada en las fajas marginales (200 m. a orillas de los ríos).	La población comprendida entre Puerto Maldonado, Laberinto y Mazuko aumenta de tamaño hasta ocupar un área de 4,198 ha.	La población ubicada entre Puerto Maldonado, Laberinto y Mazuko continúa asentada en las franjas marginales. Además, la población crece hasta ocupar un área de 4,962 ha.

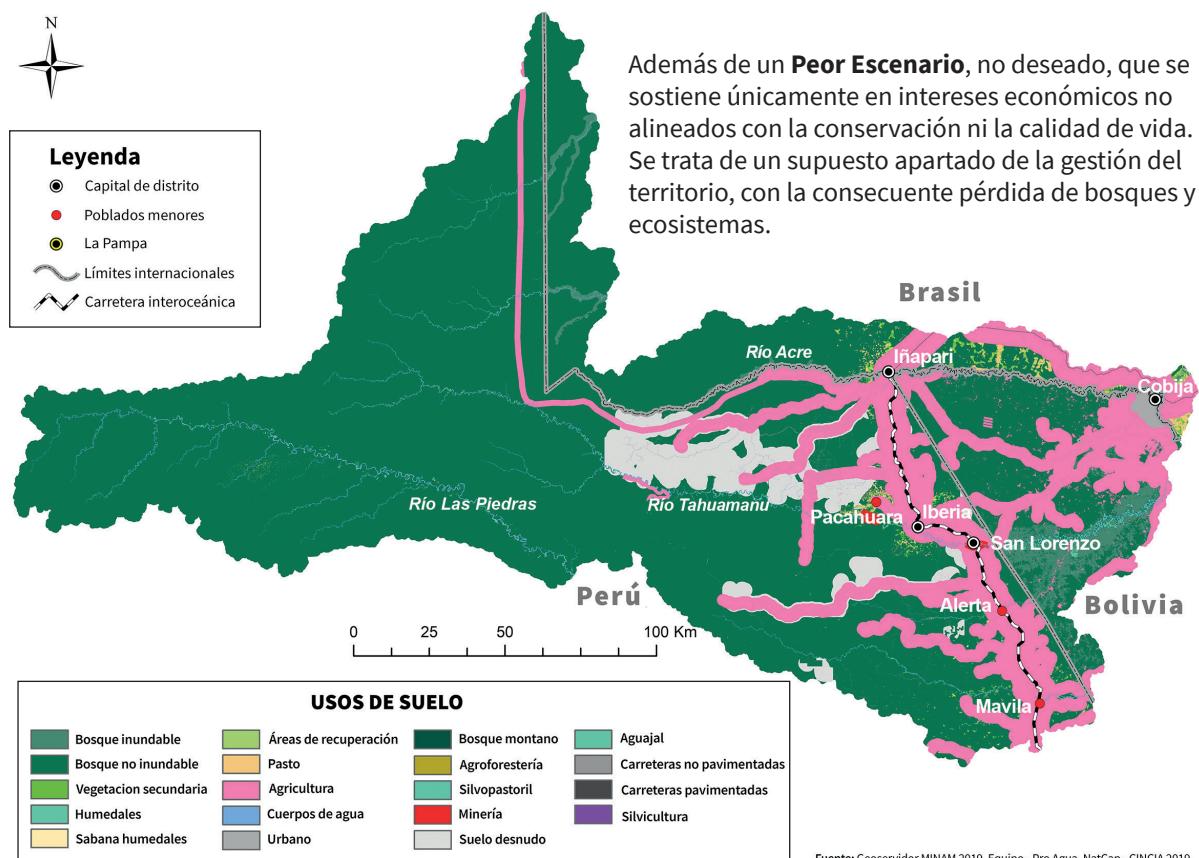
Uso del suelo	Escenario Sostenible	Escenario Realista	Peor Escenario
Áreas Naturales Protegidas	Se mantiene su estado de conservación, inclusive las concesiones forestales, conservación, reforestación y turismo.	Se mantiene el estatus y se manejan tal como se hace en la actualidad.	La actividad minera, agrícola, agropecuaria y la expansión urbana afectan las Áreas Naturales Protegidas y concesiones para la conservación, reduciéndolas significativamente.
Infraestructura vial	Se mantienen y no aumentan ni las carreteras ni las trochas de acceso.	Las carreteras actuales se mantienen y mejoran; pero no se concretan proyectos nuevos.	Se aprueban los proyectos viales y nuevas carreteras son construidas en los sectores de Jayave y Santa Rosa (Colorado).

### Visiones compartidas al 2035 para el ámbito Tahuamanu – Cobija:

Los expertos locales, proponen dos escenarios:



Fuente: Geoservidor MINAM 2019, Equipo - Pro Agua, NatCap - CINCA 2019.



Además de un **Peor Escenario**, no deseado, que se sostiene únicamente en intereses económicos no alineados con la conservación ni la calidad de vida. Se trata de un supuesto apartado de la gestión del territorio, con la consecuente pérdida de bosques y ecosistemas.

**Tabla comparativa con los resultados por escenario para el ámbito Tahuamanu - Cobija:**

Uso del suelo	Escenario Sostenible	Peor Escenario
Agroforestería	Las comunidades nativas conservan sus áreas boscosas y realizan actividades de agroforestería para su consumo y comercialización.	Las comunidades nativas no conservan su área boscosa, priorizando el avance de la agricultura extensiva como medio de subsistencia. En las comunidades nativas Nueva Oceanía Boca Shupiwi, 3,095 ha. Y en la comunidad de Bélgica 9,256 ha.
	Se desarrolla agroforestería en 2 km. a lo largo de la carretera Interoceánica Sur; y 1 km. a lo largo de vías alternas no pavimentadas.	Agricultura extensiva se desarrolla 5 km. en ambos lados a lo largo de la carretera Interoceánica Sur y 2 km. en el sector Pacahuara, a lo largo de las vías no pavimentadas.
	En los sectores de Cobija, Iñapari e Iberia aumentan las áreas para el desarrollo de la agricultura intensiva tecnificada en 46,080 ha. alrededor del área urbana. Mientras en Pacahuara, San Lorenzo, Alerta y Mavila esta actividad se incrementa en 20,393 ha.	Expansión agrícola a 1 km. por colonización en la carretera Puerto Esperanza – Iñapari.

Uso del suelo	Escenario Sostenible	Peor Escenario
Minería	En un escenario sostenible, no se desarrollan este tipo de actividades.	Se practica la minería aurífera artesanal ilegal en el río Tahuamanu, a la altura de la comunidad de Pacahuara y del centro poblado San Lorenzo, impactándose un total de 3,931 ha.
Expansión urbana	En Iñapari, Cobija e Iberia, la expansión urbana aumenta a 8,135 ha. Se reubica la población que se encuentra asentada en las fajas marginales (200 m. a orillas de los ríos).	Expansión urbana crece desordenadamente hasta las 10,118 ha. y las poblaciones crecen sobre fajas marginales en Iñapari, Cobija e Iberia.
Áreas Naturales Protegidas	Se mantiene su estado, inclusive las concesiones forestales, conservación, reforestación y turismo.	30% del área para concesiones forestales es invadida.
Infraestructura vial	Se mantienen y no aumentan las carreteras.	Se apertura la carretera Puerto Esperanza – Iñapari.
	Las carreteras construidas para la extracción forestal serían abandonadas.	Se construye la carretera Purús – Iñapari y vías alternas para el acceso a concesiones forestales.
Ordenamiento Territorial	Las áreas dedicadas a la agroforestería a lo largo de la carretera Interoceánica Sur y de vías alternas son re categorizadas como áreas dedicadas a la silvicultura, exceptuando los cuerpos de agua.	Se ha generado un cambio de uso de suelo por invasión a concesiones forestales, pasando de bosque no inundable a suelo desnudo.
	Se re categorizan las áreas donde se ubican las carreteras o trochas ilegales como bosques secundarios.	Se explotan lotes petroleros y se genera un cambio de uso de suelo de 1 ha. alrededor de cada lote. El área es impactada o deforestada dado que esta actividad extrae el recurso del subsuelo.
	Las zonas donde existía vegetación secundaria se recuperan de forma natural alcanzando su categoría inicial, pudiendo ser bosques inundables ó no inundables según corresponda.	
	Las zonas donde existían pastos, suelos desnudos, pasto herbazal, y donde se practica la agricultura se recuperan de forma natural alcanzando la categoría de vegetación secundaria.	



La participación de técnicos y especialistas es fundamental para involucrar su experiencia en la gestión del territorio y generar visiones sobre el futuro que se desea para la región.

## Conclusiones

Los dos ámbitos de estudio tienen un uso diferenciado del suelo. En el sector Puerto Maldonado - Mazuco hay una gran presión sobre las áreas boscosas, debido a la actividad minera; mientras en el sector Tahuamanu – Cobija, la presión sobre los bosques es mayormente agrícola y ganadera.

Las visiones compartidas por los actores locales muestran que, en el futuro éstas presiones continuarán en diferente medida.

## Visiones de un futuro sostenible

En ambos escenarios sostenibles disminuyen las actividades ilegales, mientras se realice un buen manejo del territorio, promoviendo actividades silvopastoriles, agroforestales o agrosilvopastoriles. Asimismo, las áreas degradadas pueden ser recuperadas empleando tecnología especializada.

Además, la promoción de actividades silvopastoriles, agroforestales y agrosilvopastoriles de productos propios de la región, ayudarían a disminuir la

presión sobre bosques primarios y áreas naturales protegidas, de la expansión de la agricultura migratoria y la apertura de trochas ilegales para extracción de especies maderables.

En un escenario sostenible, no sólo se reduciría la presión sobre áreas naturales protegidas o concesiones que promueven la conservación; sino que se crearían nuevas áreas, contribuyendo, en alguna medida, con la economía familiar de la población local asociada.

El crecimiento urbano, es otro de los factores que se desarrollaría de una manera ordenada, evitando el asentamiento en fajas marginales o en zonas de riesgo por inundaciones.

### **Visiones de un futuro no deseado**

En el otro extremo, ambos escenarios caóticos destacan el aumento de la deforestación debido a diversas actividades. En el sector Puerto Maldonado - Mazuco, la minería de oro, como principal agente de degradación ambiental, aumenta significativamente en un territorio sin gobernanza o pro-minero. Mientras en el ámbito Tahuamanu-Cobija, la agricultura migratoria y la ganadería aumentarían a lo largo de carreteras existentes y de nuevas vías, deforestando miles de hectáreas y amenazando la subsistencia de las áreas naturales protegidas y para la conservación.

Finalmente, el crecimiento urbano se realizaría de una manera desordenada y cerca a los cauces de los ríos, aumentando el riesgo e impacto por inundaciones.

Además, en el ámbito Puerto Maldonado - Mazuco, los especialistas consideraron un escenario realista, que daría continuidad a la actividad turística, con las mismas condiciones políticas y sin ningún cambio considerable, es decir siguiendo la tendencia actual.

### **Acuerdos para un desarrollo sostenible**

Los talleres de participación con técnicos y especialistas locales son fundamentales para involucrar su

experiencia en la gestión del territorio y generar visiones sobre el futuro que se desea para la región. Los actores locales conocen la realidad actual de la región y, por ende, los desafíos futuros a afrontar. Además, muchos de los actores locales son autoridades y tienen poder de decisión para gestionar los cambios en las políticas institucionales que conservan los recursos regionales.

Las visiones y proyecciones, que los actores clave nos brindaron, nos permitió como proyecto reafirmar el gran potencial biodiverso y humano de estas regiones, así como reconocer las expectativas y deseos de estos actores frente a su futuro. De esta forma, nos propusimos ampliar nuestras investigaciones en diversos temas críticos o clave, cuyo resultado fuese un aporte para la planificación del territorio. Entre estos temas clave resaltan el rendimiento estacional de los servicios hídricos, la vulnerabilidad por inundaciones; así como la recuperación de suelos degradados por minería y los servicios ecosistémicos de los bosques.

## Capítulo 3

# Índice integral de servicios hidrológicos

## Agua y gestión del paisaje en las subcuencas del ámbito trinacional

**Charlotte Weil**

Científica de Datos,  
Natural Capital Project /  
Stanford University

**Stacie Wolny**

Especialista SIG,  
Natural Capital Project /  
Stanford University

**Lisa Mandle**

Científica principal,  
Natural Capital Project /  
Stanford University

**Adrian L. Vogl**

Científica principal,  
Natural Capital Project /  
Stanford University

La gestión de los paisajes tiene una enorme repercusión sobre la seguridad hídrica y la calidad del agua que consumen las poblaciones. La intervención en bosques naturales o el aprovechamiento de tierras productivas, para la agricultura o pastizales, cambian la forma cómo el agua es capturada y filtrada a través del suelo, así como su desplazamiento en la superficie y en el subsuelo de camino al mar. Las comunidades, empresas y familias dependen de esta agua en todas y cada una de las etapas de su ciclo. Por ello, cualquier cambio generado por la actividad humana y la gestión del suelo afecta gravemente la accesibilidad a un recurso hídrico limpio y seguro. Actualmente, esta realidad interviene en la planificación de muchos países, que consideran en su desarrollo la protección de cuencas e incluso su restauración.

Están surgiendo nuevas políticas en Latinoamérica, que promueven el pago por servicios hídricos o PSH,

permitiendo a los beneficiarios de los servicios del ecosistema hídrico -a menudo usuarios aguas abajo- dirigir recursos para proteger y restaurar las fuentes aguas arriba. De esta forma, los PSH son una oportunidad para conservar y recuperar ecosistemas hídricos críticos; y así asegurar el acceso al agua de estas poblaciones. En el Perú, el programa para Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MERESE) es un ejemplo. Este programa genera, canaliza e invierte en acciones para la conservación, recuperación y uso sostenible de los ecosistemas, a través de acuerdos voluntarios entre contribuyentes y retribuyentes.

De otra parte, la inversión de los nuevos programas de PSH en servicios hídricos trae riesgos. Son muchas las áreas degradadas y pocos los fondos para invertir e intentar satisfacer la creciente expectativa de comunidades locales, gobiernos regionales y de las instituciones reguladoras a nivel nacional. Para



Una política integrada de servicios hidrológicos, así como el estudio de sus cambios ayuda a identificar los lugares específicos donde la inversión en la protección de los bosques naturales, puede preservar los servicios hidrológicos amenazados.

maximizar el retorno de la inversión es sumamente importante analizar los distintos escenarios de los servicios hidrológicos y sus cambios, como resultado de las actividades económicas y del uso del suelo. De esta forma, es posible priorizar las acciones de conservación o de restauración de los PSH en determinadas cuencas.

## Agua y desarrollo con un enfoque ecosistémico

Los servicios ecosistémicos -y específicamente hídricos- son el marco conceptual de la presente investigación. Estos nos ofrecen un marco amplio que

integra información sobre paisajes y cambios en la condición de recursos naturales, así como los impactos en la calidad y cantidad del agua, en zonas de suministro.

En este estudio, investigamos cómo afectaría el desarrollo a los recursos hidrológicos de las ciudades en el ámbito trinacional y las cuencas alrededor, para identificar (1) el impacto del desarrollo sobre los servicios hidrológicos en diferentes escenarios a futuro; y (2) las áreas con alto riesgo de perder sus servicios hidrológicos. Este análisis contribuye a identificar las áreas más viables para conservar o recuperar, con el objetivo de asegurar los servicios ecosistémicos, para la gente en la región.

## Metodología

La presente investigación se realizó en cuatro etapas. Primero se identificaron los riesgos y amenazas a la existencia de las fuentes de agua, en la zona de estudio. Luego los datos obtenidos fueron compilados según el uso de suelo, la topografía, el clima y los usos del agua. Con esta información se procedió a definir los escenarios potenciales a futuro en dos zonas específicas; para finalmente, realizar el análisis y compilación del índice de servicios hidrológicos.

La primera etapa identificó las amenazas a la sostenibilidad de las fuentes de agua en la zona de estudio. En Perú, la principal actividad que pone en riesgo la cantidad y calidad de agua es la minería ilegal de oro en expansión, que destruye bosques primarios, contaminando con mercurio el aire, el agua y los pescados que consumen las poblaciones. En tanto la ganadería se ha constituido en la principal amenaza al bosque amazónico tanto en Brasil como en Bolivia.

Estos constantes cambios y la degradación de los sistemas de apoyo natural están causando serios problemas a las ciudades en crecimiento en el ámbito trinacional. En colaboración con actores y expertos de Puerto Maldonado, Iñapari y de poblados adyacentes, se identificaron, como impacto de la expan-

sión minera, el incremento de la carga de sedimentos en los ríos, así como las variaciones extremas en el flujo. Ello determina estaciones extremas de sequía o de inundaciones. Estas interrupciones en el ciclo hidrológico causan problemas a las personas en las comunidades de Puerto Maldonado, Mazuko, Iñapari, Cobija y en muchas otras; así como a las personas que viven en zonas rurales, fuera de los centros poblados, que a menudo dependen de pozos poco profundos para abastecerse de agua.

En ese sentido, junto con actores clave, se propusieron escenarios alternativos para dos áreas de enfoque en la zona de estudio.

Cabe resaltar, que para evaluar el riesgo hidrológico se han utilizado modelos de InVEST<sup>3</sup>- retención de sedimentos y rendimiento estacional de agua -; así como información sobre la demanda y los usos del agua en la zona. El índice de servicios hidrológicos (ISH) incluye los siguientes componentes:

- Recarga local, importante para las áreas rurales.
- Flujo durante la estación seca, que refiere al agua potable para comunidades y zonas rurales.
- Escorrentía superficial, que aumenta el riesgo de inundaciones en comunidades.
- Carga de sedimentos, que afecta los sistemas de tratamiento del agua potable.

3 <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>

Adicionalmente, se utilizaron los resultados de estos parámetros para estimar el impacto de los cambios en el ciclo hidrológico en centros poblados y zonas rurales. Es decir, cómo se ven afectados los beneficiarios de los servicios hidrológicos de las cuencas. Los resultados reflejan la disponibilidad de agua y el riesgo de inundaciones en perjuicio de las poblaciones y la infraestructura.

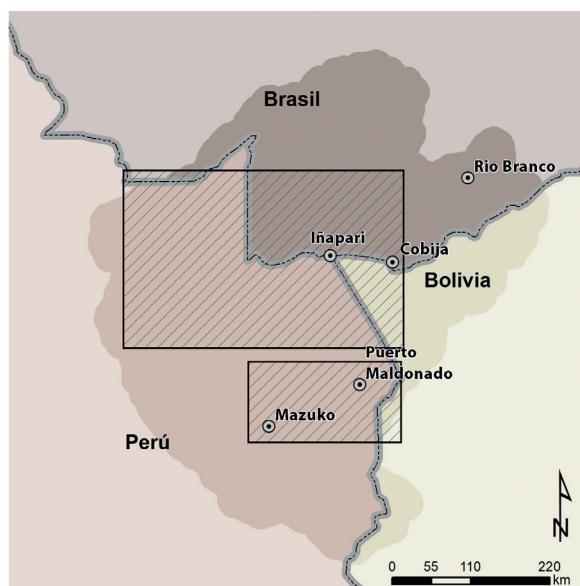
## Escenarios del desarrollo

Trabajando en estrecha colaboración con investigadores locales, líderes comunitarios y funcionarios gubernamentales regionales, se identificaron dos áreas focales para evaluar la calidad de los servicios hidrológicos: (1) En Perú, el corredor minero a lo largo de la Carretera Interoceánica Sur, entre Puerto Maldonado y Mazuko, que amenaza los recursos hídricos de la cuenca de Madre de Dios; y (2) la cuenca trinacional del Alto Acre, en la intersección de Perú, Bolivia y Brasil (Ver zona de estudio).

De esta forma, se evaluaron los impactos de los escenarios descritos en el capítulo anterior sobre los servicios hidrológicos. El escenario sostenible, realista y peor para la zona comprendida entre Puerto Maldonado y Mazuko; y, escenario sostenible y caótico para la zona entre Tahuamanu y Cobija. El peor escenario refleja la visión acerca de lo que sucedería en su región, si continúan por el mismo camino de desarrollo sin restricciones. Los otros escenarios – sostenible y realista – muestran cuáles podrían ser algunas alternativas, que integran opciones de desarrollo sostenible como la agrosilvicultura, los sistemas silvopastoriles y la restauración de áreas altamente impactadas.

Cada uno de los escenarios se digitalizó e ingresó en los modelos InVEST, junto con los parámetros correspondientes, basados en cambios de uso de la tierra. Por ejemplo, las demandas de evapotranspiración de diferentes tipos de vegetación o la capacidad de retención del suelo. Luego, se combinaron los resultados para diferentes parámetros del modelo, en un Índice de Servicios Hidrológicos, tal como se describe líneas abajo, para proporcionar una instantánea de cómo cambiaría el sistema hidrológico general en

## Zona de estudio



los diferentes escenarios y qué zonas serían las más afectadas.

## Estimación del Índice de Servicios Hidrológicos

La Recarga Local (RL), el Flujo durante la Estación Seca (FES), y la Escorrentía Superficial (ES) fueron estimados usando el modelo InVEST “*Seasonal Water Yield*<sup>4</sup>”. Mientras, la carga de Sedimentos (S) fue estimada usando el modelo InVEST “*Sediment Delivery Ratio*<sup>5</sup>”. Los datos de entrada consideraron la topografía, el uso y la cobertura del suelo, la lluvia mensual; y los parámetros que describen la evapotranspiración de la vegetación, así como su rol en la prevención de erosión; entre otros. Los resultados de los modelos fueron agregados por microcuencas para la situación actual, y también para cada uno de los escenarios. El cambio entre la situación actual y los escenarios a nivel de microcuencas forma la base del Índice integrado de los Servicios Hidrológicos (ISH).

Para calcular el ISH, primero se incorporaron los resultados del modelo, tomando el promedio de *local recharge* (RL), *quickflow* (ES), y *baseflow* (FES)

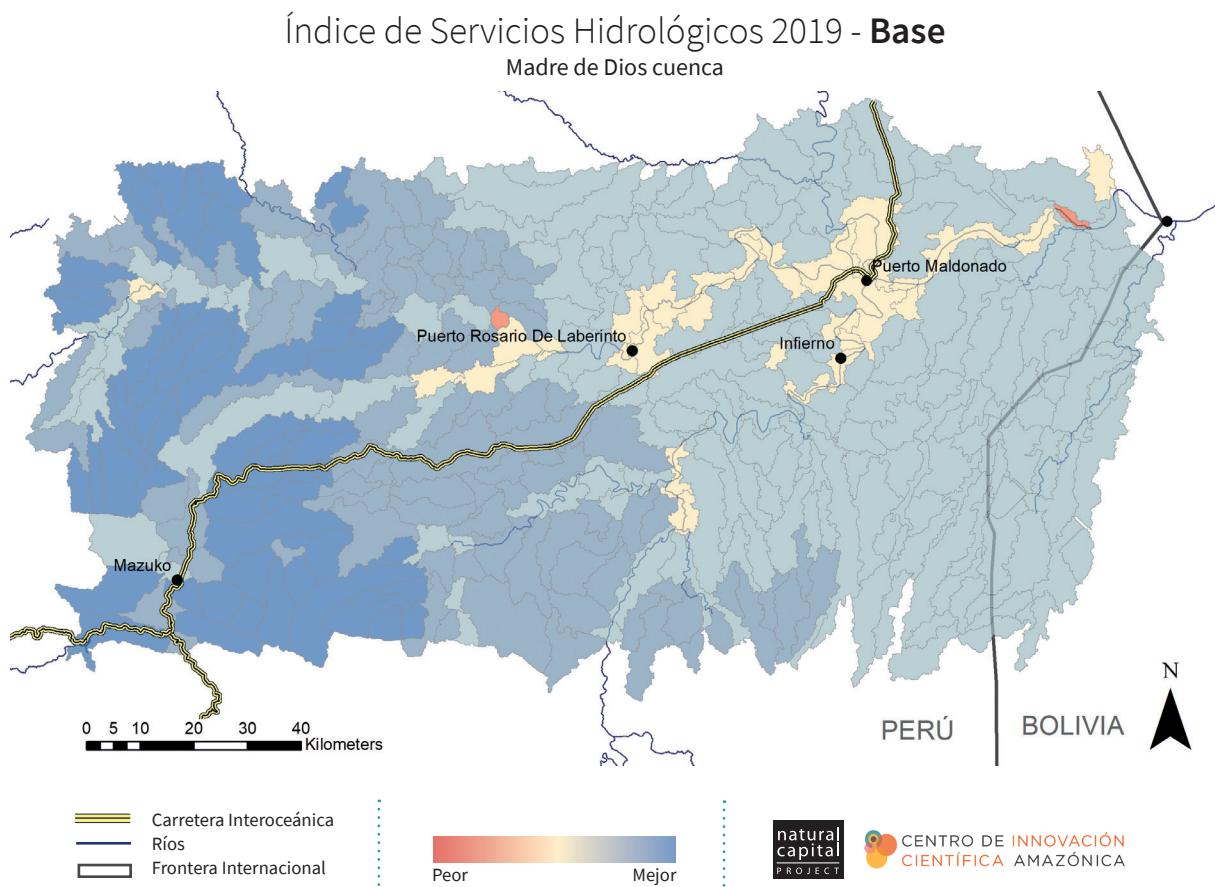
4 [http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/seasonal\\_water\\_yield.html](http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/seasonal_water_yield.html)

5 <http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/sdr.html>

del modelo *Seasonal Water Yield*; para luego sumar el *Sediment Export* (S) del modelo de *Sediment Delivery Ratio*, de cada microcuenca<sup>6</sup>. A continuación, se normalizó cada parámetro dividiéndolo entre el valor máximo de todos los escenarios. Para S y ES, se invirtió la dirección de los valores normalizados, de modo que los puntajes más altos para esos parámetros corresponden a zonas con las cargas de sedimentos y la escorrentía superficial más bajas. Esto se hizo para ser consistente con los puntajes de RL y

FES, donde los valores más altos refieren a zonas con mayores recarga y flujo, durante la estación seca. Finalmente, se sumaron y normalizaron los puntajes de los componentes nuevamente, resultando un ISH final, que va de 0 a 1, donde los puntajes más altos representan zonas que proporcionan el nivel más alto de servicios hidrológicos, y viceversa. Los resultados del cálculo de ISH para la línea base y para los escenarios en cada una de las áreas focales se muestran en la Figura 1.

**Figura 1. Resumen del Impacto en el Índice de Servicios Hidrológicos e Impacto para las Comunidades: Área Focal de Puerto Maldonado**



6 Los títulos se refieren a los nombres exactos de los títulos en el software de modelamiento.

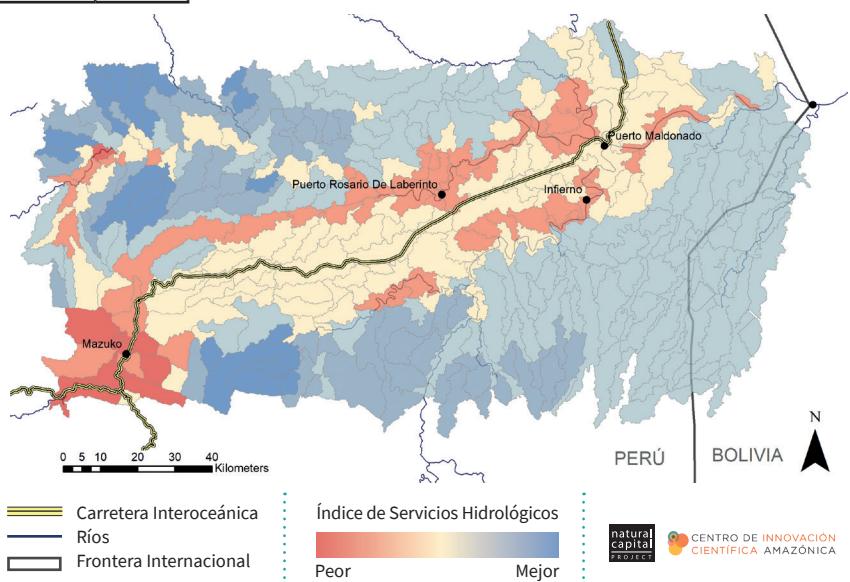
## Índice de Servicios Hidrológicos. **Peor** Escenario

### Impacto para las áreas rurales:

Pérdida de recarga local (número de personas afectadas)	7,590
---	-------

### Impacto para los centros poblados:

	Puerto Maldonado	Mazuko
Caudal base (% cambio)	-0.02 %	-0.15 %
Escoorrentía superficial (% cambio)	+27 %	+16 %
Riesgo por inundaciones (aumento de personas en riesgo)	+6,280	0
Infraestructura expuesta a las inundaciones	+19,040	0
Cambio en la carga de sedimentos (%)	+988 %	+2,660 %



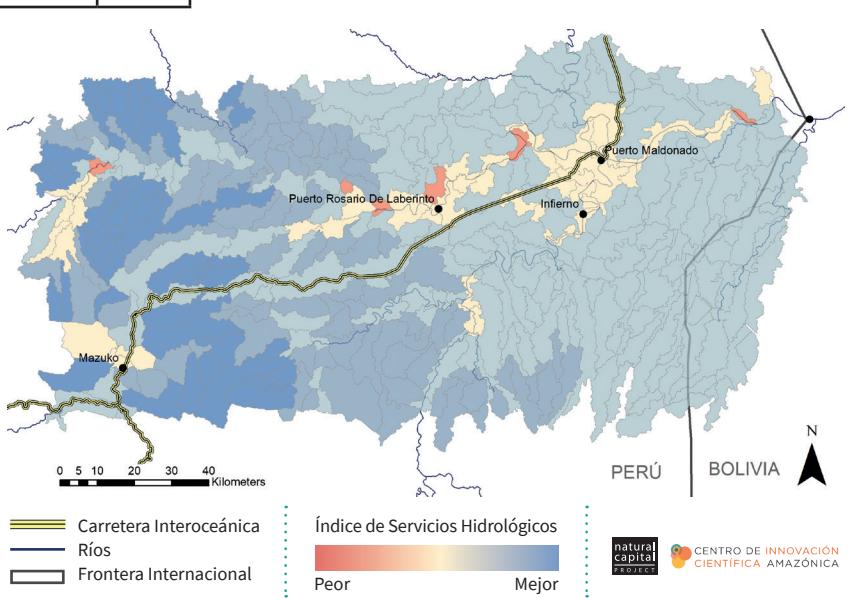
## Índice de Servicios Hidrológicos. Escenario **Realista**

### Impacto para las áreas rurales:

Pérdida de recarga local (número de personas afectadas)	2,270
---	-------

### Impacto para los centros poblados:

	Puerto Maldonado	Mazuko
Caudal base (% cambio)	-0.03 %	-0.30 %
Escoorrentía superficial (% cambio)	+6 %	+4 %
Riesgo por inundaciones (aumento de personas en riesgo)	+4,540	0
Infraestructura expuesta a las inundaciones	+13,750	0
Cambio en la carga de sedimentos (%)	+187 %	+453 %



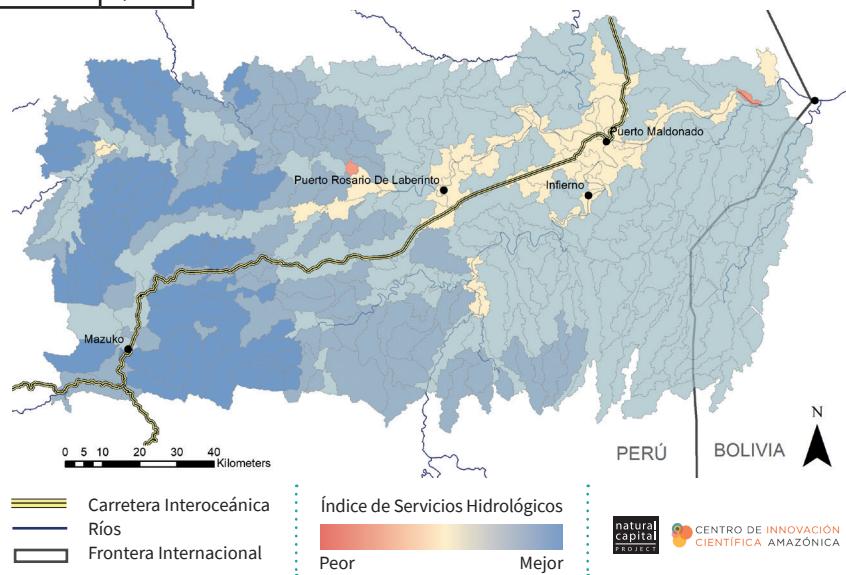
## Índice de Servicios Hidrológicos. Escenario **Sostenible**

**Impacto para las áreas rurales:**

Pérdida de recarga local (número de personas afectadas)	1,945
---	-------

**Impacto para los centros poblados:**

	Puerto Maldonado	Mazuko
Caudal base (% cambio)	-0.03 %	-0.08 %
Escoorrentía superficial (% cambio)	-0.09 %	+0.73 %
Riesgo por inundaciones (aumento de personas en riesgo)	+4,290	0
Infraestructura expuesta a las inundaciones	+13,730	0
Cambio en la carga de sedimentos (%)	+14 %	+56 %



## Beneficiarios de los servicios

Además de estimar los cambios en el ISH, en términos biofísicos; también se identificaron las zonas donde estos cambios tendrían mayor impacto en el suministro de agua para las personas, en el riesgo de vida y en la propiedad inmueble ante las inundaciones. Para ello, se reunieron datos sobre densidad poblacional y fuentes de agua en centros poblados. La ubicación de los centros poblados se basó en información del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI 2017); y las poblaciones asociadas se derivaron de los datos del censo nacional al 2015<sup>7</sup>. Asimismo, se consideraron los datos sobre densidad poblacional de *Worldpop* 2015<sup>8</sup>, que estima la distribución de las personas en todo el paisaje, en función a datos censales y otros predictores. Finalmente, la ubicación de los puntos de extracción de agua, se estimó en base a los aportes recibidos durante los talleres, de parte de los representantes de la Agencia Nacional del Agua (ANA) y de la Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento (SUNASS).

Para calcular los impactos sociales de la Recarga Local (RL), primero se identificaron las poblaciones de la zona de estudio que dependerían de los pozos y manantiales locales para su suministro de agua.

Los datos detallados sobre las fuentes de agua en las zonas rurales no estaban disponibles, por lo que se asumió que los habitantes ubicados fuera de un centro poblado, buscan su propia fuente y no tienen acceso a ningún servicio público de agua. Además, se dedujo que las poblaciones asentadas en las llanuras de inundación, con un periodo de retorno de 100 años, tendrían acceso al agua, sea como extracciones directas de la corriente o como pozos poco profundos, con una capa freática confiable (ver Capítulo 5). El resto de la población, que se encuentra fuera de los centros poblados mapeados y lejos de las llanuras de inundación, con un periodo de retorno de 100 años, dependerían de pozos personales y manantiales locales. Este último grupo humano corresponde a la población más vulnerable, cuya seguridad hídrica estaría en riesgo debido al cambio de uso del suelo y a las reducciones en la recarga. Adicionalmente, en cada escenario se proporciona información acerca de la cantidad de personas asentadas en zonas rurales, cuya recarga o acceso al agua subterránea confiable se ve afectada por el cambio de uso del suelo.

Luego, para calcular los impactos sociales del Flujo durante la Estación Seca (FES), se consideraron las cuencas hidrográficas que contribuyen con el flujo a los puntos de extracción de agua para Puerto Maldonado, Mazuko, Iberia, Iñiápari y el centro urbano de Cobija-Brasiléia-Epitaciolândia (en adelante denominado CBE). Se calculó el cambio porcentual en el

7 <http://inei.gob.pe/>

8 <https://www.worldpop.org/project/categories?id=3>

flujo de la estación seca, que llegaría a cada una de estas comunidades, como resultado de los distintos escenarios de desarrollo.

Asimismo, para calcular los impactos sociales de la Escorrentía Superficial (ES) en relación al riesgo por inundación, se estimó el cambio porcentual en la escorrentía superficial en zonas aguas arriba de los centros poblados para cada escenario. Si bien no fue posible estimar los cambios en la extensión de la inundación, debido a la limitación de datos, los grandes cambios en la ES aumentarían el riesgo por inundaciones aguas abajo, al sumarse la cantidad total de agua que se genera durante las tormentas y, que fluye hacia los ríos. Para el área focal de Puerto Maldonado, también se estimó la cantidad de personas e infraestructura ubicadas en las llanuras de inundación con periodo de retorno de 100 años, que estarían en riesgo de inundación. Para evaluar el cambio en las personas y en la infraestructura en riesgo, en cada uno los escenarios, se estimó la densidad poblacional promedio en las áreas urbanas de Puerto Maldonado y Mazuko utilizando la densidad de Worldpop 2015. Además, para estimar la densidad actual de construcción se utilizaron datos de Open Street Map para Puerto Maldonado e imágenes de Google Earth para Mazuko. Luego, se extrapoló la

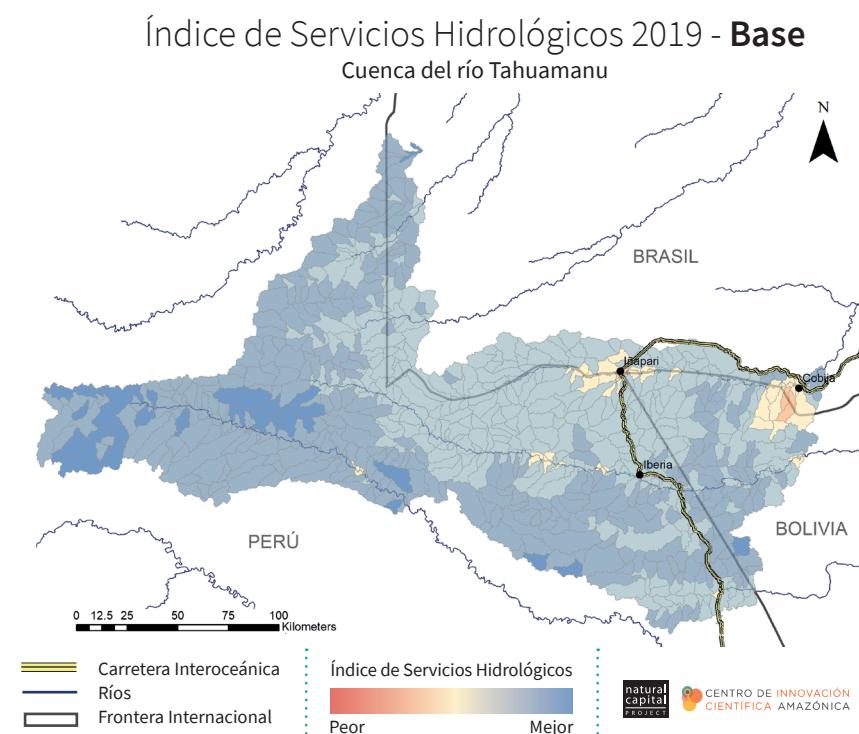
densidad poblacional y la construcción en zonas urbanas, recientemente expandidas, en el peor escenario y en el realista. El escenario sostenible supuso que los centros urbanos aumentarían en densidad, en lugar de expandirse a nuevas áreas. Por lo que se aumentó la población y la densidad de construcción en áreas urbanas existentes en un 25%. Los resultados se informan en términos del cambio en el número de personas y el número de infraestructura en riesgo, debido al aumento del flujo rápido en cada uno de los escenarios.

Finalmente, el cambio en el total de carga de Sedimentos (S) también se calculó en las áreas que aportan flujo a cada uno de los puntos de extracción de agua para los centros poblados, de modo que refleje el impacto social del cambio en las cargas de sedimentos, para cada escenario.

## Resultados

Un desarrollo a futuro, que siguiese la ruta del peor escenario, tendría serias consecuencias en la provisión de servicios hidrológicos. Sin embargo; es posible una vía más sostenible, que equilibre el desarrollo urbano con medios de vida sostenibles, a través

**Figura 2. Resumen del Impacto en el Índice de Servicios Hidrológicos e Impactos para las Comunidades: Área Focal de Tahuamanu-Cobija**



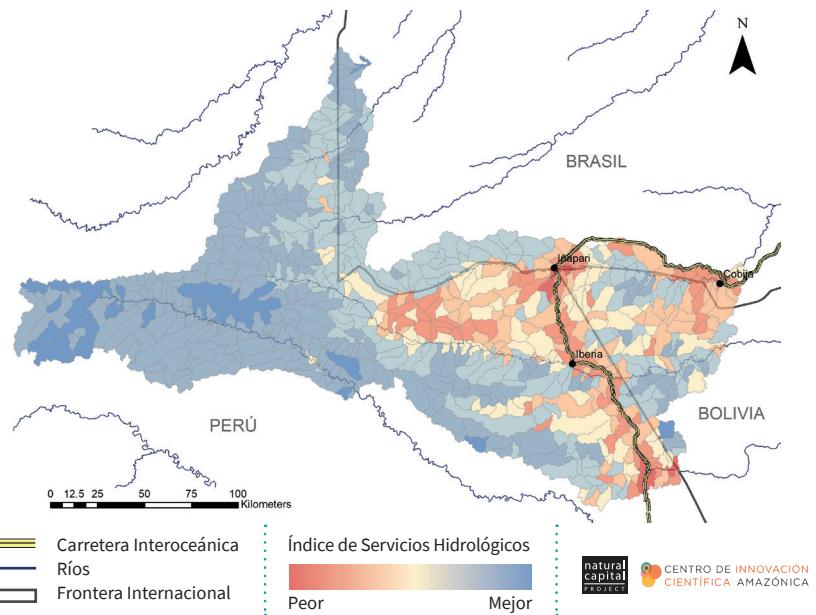
## Índice de Servicios Hidrológicos. **Peor** Escenario

### Impacto para las áreas rurales:

Pérdida de recarga local (número de personas afectadas) **42,470**

### Impacto para los centros poblados:

	Iberia	Iñapari	CBE
Caudal base (% cambio)	-4 %	-39 %	-26%
Escoorrentía superficial (% cambio)	+32 %	+45 %	+38%
Cambio en la carga de sedimentos (%)	+28,990 %	+3,230 %	+1,680 %



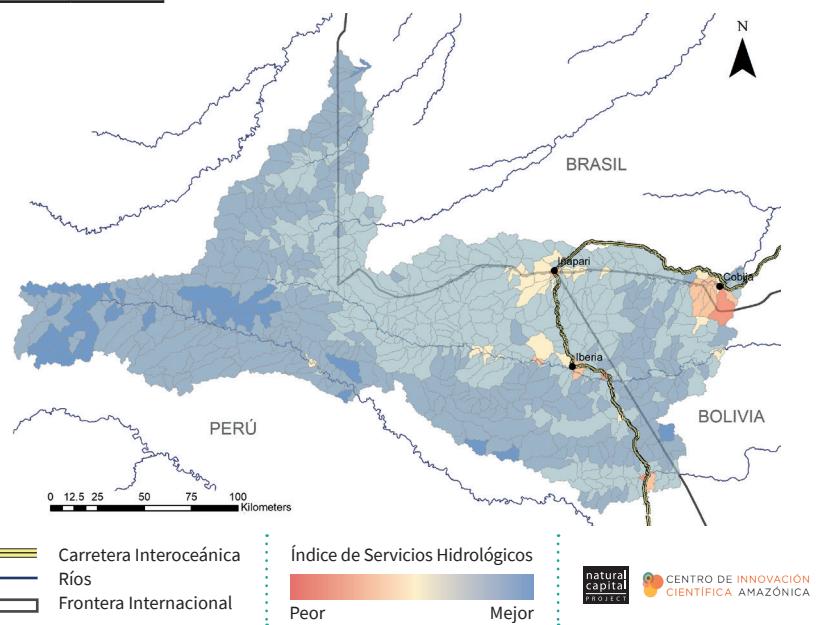
## Índice de Servicios Hidrológicos. Escenario **Sostenible**

### Impacto para las áreas rurales:

Pérdida de recarga local (número de personas afectadas) **11,520**

### Impacto para los centros poblados:

	Iberia	Iñapari	CBE
Caudal base (% cambio)	-1 %	-0.5 %	-0.8 %
Escoorrentía superficial (% cambio)	+1 %	+0.5 %	+4%
Cambio en la carga de sedimentos (%)	+410 %	-26 %	+39%



de la agrosilvicultura, los sistemas silvopastoriles y el uso sostenible de los recursos forestales, como la cosecha de castaña. La diferencia en el ISH y los impactos sociales, entre los escenarios caótico y sostenible, revela los beneficios que se pueden obtener con una planificación para el desarrollo integradora y proactiva (Figuras 1 y 2).

**El aumento de las cargas de sedimentos en los ríos y en las fuentes de agua potable es una preocupación en todos los escenarios.** Nuestros resultados muestran cómo en los escenarios más extremos, el sedimento aumenta más de 26 veces los niveles de fondo en Mazuko; más de 9 en Puerto Maldonado; 289 en Iberia; 32 en Iñapari; y 16 en CBE. Estos números tan grandes indican que actualmente, la vegetación natural mantiene gran cantidad de sedimentos, que, de otro modo, se movilizarían, si la tierra de la superficie se lavase con las lluvias.

**El cambio en el uso de la tierra tendrá un impacto en la recarga local, lo que puede afectar el acceso de algunas poblaciones rurales al agua subterránea confiable.** Sin embargo, nuestros resultados muestran que una vía de desarrollo sostenible puede reducir el número de personas afectadas por la pérdida de recarga de agua subterránea en aproximadamente un 74%. Es decir, los escenarios sostenibles para ambas áreas focales muestran sólo una cuarta parte de la población afectada, ante una pérdida de recarga local, en comparación con los peores escenarios.

**El desarrollo extensivo no planificado puede aumentar significativamente los flujos terrestres, aumentando el riesgo por inundaciones en las comunidades aguas abajo.** Los resultados muestran cómo en los peores escenarios, la ES aumenta un 27% en cuencas que drenan a Puerto Maldonado y, un 16% en aquellas áreas por encima de Mazuko, en comparación con un aumento de menos del 1% en ES, en el escenario sostenible. En el área focal del norte, el aumento es entre 32% y 45% para los tres centros poblados, en comparación con 1% o menos en el futuro sostenible.

**Sin embargo, el mayor impacto del desarrollo extensivo no planificado, en el riesgo por inundación, tiene su origen en la expansión de las áreas urbanas sobre llanuras aluviales, exponiendo a más personas e infraestructura.** La expansión de la huella urbana en Puerto Maldonado en el peor

escenario da como resultado 6,280 personas más y 19,040 edificios más en riesgo; mientras en el escenario sostenible, el impacto es sólo de 4,290 personas más y 13,730 edificios más, que se encontrarían expuestos. Esto significa que, si las autoridades competentes controlan o implementan una planificación ordenada de la expansión urbana, es posible reducir la cantidad de vidas e infraestructura en riesgo de un 28% a un 32%. Si se evita una nueva expansión sobre las llanuras aluviales o se controla el desarrollo en las fajas marginales, se podrían salvar aún más vidas y propiedades.

Debido a la gran cantidad de agua que fluye a través del Río Madre de Dios, los cambios en el flujo base, en cada uno de los escenarios de desarrollo, son mínimos para el área focal de Puerto Maldonado (menos del 1% de la corriente). **Sin embargo, el impacto en el flujo base es mayor en las áreas que aportan agua a Iñapari y CBE, con disminuciones modeladas de 39% y 26%, respectivamente.** El manejo sostenible de la tierra muestra claramente impactos mucho menos pronunciados, reduciendo estos cambios a 1% o menos.

**Estos resultados permiten priorizar las microcuencas que requieren inversión en recursos naturales,** para implementar políticas de restauración o prevención ante desastres. Los ríos con mayor riesgo, según los resultados de nuestro escenario, son las microcuencas aguas arriba de Mazuko, en el río Inambari; así como a lo largo del río Madre de Dios, desde la confluencia con el río Inambari hasta Puerto Maldonado, y a lo largo del río Tambopata. Lo propio en el río Malinowski, en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata. En la zona de estudio comprendida entre Tahuamanu y Cobija, las microcuencas de mayor riesgo son las del lado norte del río Tahuamanu y el lado sur del río Acre, que aportan agua a Iberia, Iñapari y CBE. El desarrollo a lo largo de la carretera Interoceánica Sur, entre Iñapari y Puerto Maldonado, también puede afectar los recursos hídricos en las ciudades que se encuentran localizadas río abajo en Bolivia.

Finalmente, cabe resaltar que cada uno de los modelos resultante de esta investigación pueden encontrarse en el Visualizador del Proyecto PRO-Agua<sup>9</sup>.

9 <http://viz.naturalcapitalproject.stanford.edu/pro-agua/>



© CINCIA

Una política integrada de servicios hidrológicos, así como el estudio de sus cambios en diferentes escenarios de desarrollo, ayuda a identificar los lugares específicos donde la inversión en la protección de los bosques naturales, puede preservar los servicios hidrológicos amenazados.

## Conclusiones y Recomendaciones

Las partes interesadas identificaron varias actividades que presionan el paisaje en el ámbito trinacional y se constituyen en serios desafíos para la provisión de agua dulce de comunidades en crecimiento y de actividades económicas. Pero, muchas de estas presiones, como la minería de oro ilegal, la ganadería y otras actividades incompatibles con el desarrollo sostenible, brindan oportunidades económicas a

una población pobre con pocas opciones. El problema se reduce a lo siguiente, la población con menos oportunidades para desarrollarse, no parece encontrar formas alternativas de ganarse la vida sin destruir o atentando contra los recursos del bosque. Los resultados de nuestro estudio muestran que un futuro sostenible ejerce menos presión sobre los recursos hídricos. Asimismo, destaca las zonas donde las inversiones en PHS son de importancia crítica, independientemente de la vía de desarrollo futuro, para salvaguardar los servicios hidrológicos.

Una política integrada de servicios hidrológicos, así como el estudio de sus cambios en diferentes escenarios de desarrollo, ayuda a identificar los lugares específicos donde la inversión en la protección de los bosques naturales, puede preservar los servicios hidrológicos amenazados. Un ejemplo de esto se puede observar en la Figura 1, en el borde suroeste del área focal, en los tramos superiores del Río Inambari, alrededor de Mazuko. En la actualidad, estas microcuencas se encuentran relativamente en buenas condiciones (azul en el mapa de línea de base); pero corren el riesgo de ser gravemente impactadas si no se asume alguna medida de protección, ante la presión de actividades extractivas diversas (en rojo en el mapa del escenario caótico). Nuestro análisis también destaca los lugares donde los servicios ya han sido comprometidos y necesitan ser recuperados; tal vez a través de inversiones en reforestación o una transición a prácticas de gestión de la tierra más sostenibles. Un ejemplo de esta situación se puede observar en la Figura 3: microcuencas al sur del centro urbano CBE, que están sombreadas en rojo claro, incluso en el escenario actual, y sólo se proyecta que empeorarán en los otros escenarios.

Una de las mayores amenazas para los recursos hidrobiológicos y la biodiversidad, que se muestra en el análisis, es el gran potencial de aumento de la erosión y la sedimentación, en todos los escenarios. El aumento en el transporte de sedimentos a los ríos, debido a cambios en el uso de la tierra pueden tener numerosas consecuencias directas e indirectas para las personas, que incluyen:

- Transporte de contaminantes, como mercurio u otros agentes patógenos<sup>10</sup>.
- Aumento de los costos de tratamiento de agua<sup>11</sup>.
- Impactos directos sobre la biodiversidad acuática y la pesca de subsistencia<sup>12</sup>.

Los escenarios de desarrollo más sostenibles disminuyen el riesgo, pero se necesitan estándares y prácticas de desarrollo para controlar la erosión y los sedimentos de cualquier tipo de construcción o cambio en el uso del suelo. También es posible que se necesite una nueva infraestructura de tratamien-

to de agua en los centros urbanos en crecimiento, a medida que los sedimentos y otros contaminantes se vuelven más comunes en sus suministros de agua. En resumen, es importante señalar que los programas de PSH, como MERSE en el Perú, proporcionan marcos legales y el potencial de mecanismos financieros sostenibles para abordar los impactos en los recursos hídricos causados por los cambios en el uso del suelo. Pero, si queremos alcanzar el objetivo general de estos programas, para aumentar la calidad y la cantidad de agua para las poblaciones, se necesita tomar decisiones informadas. Además, es importante considerar no sólo la situación actual, sino los riesgos que se consideran en el futuro con el cambio del uso del suelo. Armados con esta información, podemos tomar decisiones más efectivas y más duraderas sobre las inversiones en recursos hidrológicos.

10 Dethier et al. 2019

11 Vogl et al. 2016

12 Alho et al. 2015

## Capítulo 4

# Vulnerabilidad ante inundaciones en la cuenca alta del Río Acre

## Niveles históricos y análisis cronológicos de impactos

**Marcelo Guevara Nogales**

Investigador, Experto en Ordenamiento Territorial y Conservación para Latinoamérica, Natural Capital Project / Stanford University

**Ivan de Oliveira**

Especialista SIG, Herencia

**Guillermo Rioja**

Antropólogo Social, Herencia

La cuenca alta trinacional del río Acre abarca la zona fronteriza binacional entre Cobija en Bolivia, Brasiéria y Epitaciolândia en Brasil, así como la trinacional entre Iñapari en Perú, Assis en Brasil y Bolpebra en Bolivia. Estos seis centros poblados, asentados en llanuras inundables, han encontrado una oportunidad para construir su futuro con un halo de incertidumbre. Cada año, particularmente durante la época de lluvias, estas poblaciones esperan que la “crecida del río”, como popularmente se conoce al desborde natural del río Acre y sus efluentes, no afecte drásticamente sus vidas.

Lo cierto es que la cuenca alta del río Acre o Aquiry, como lo conocían las primeras etnias Madiha (Kulina) y Cashinawa, que abarca aproximadamente

24,722 km<sup>2</sup>, representa la base para el desarrollo de 100,070 habitantes<sup>13</sup>.

Si bien el impacto de las inundaciones tiene un origen natural, por ubicarse en una zona de desborde, la intervención humana en las riberas incrementa la magnitud de los daños que estos eventos pudieran ocasionar. La deforestación para el uso agrícola de los suelos o para la ampliación urbana tiende a reducir los caudales medios y aumenta los extremos, provocando cada vez más graves y frecuentes inundaciones o intensos períodos de sequía<sup>14</sup>.

Si se hace un recuento histórico de eventos por inundaciones y sequías, el año 2005 representó para la Amazonía la sequía más severa desde 1965, una de las más intensas de los últimos cien años<sup>15</sup>. Sólo en el ámbito trinacional ocasionó 15,900 incendios forestales. Apenas un año después, en el mes de febrero,

13 Fuentes 2018

14 Poveda y Mesa, 2016. Nobre, 1991

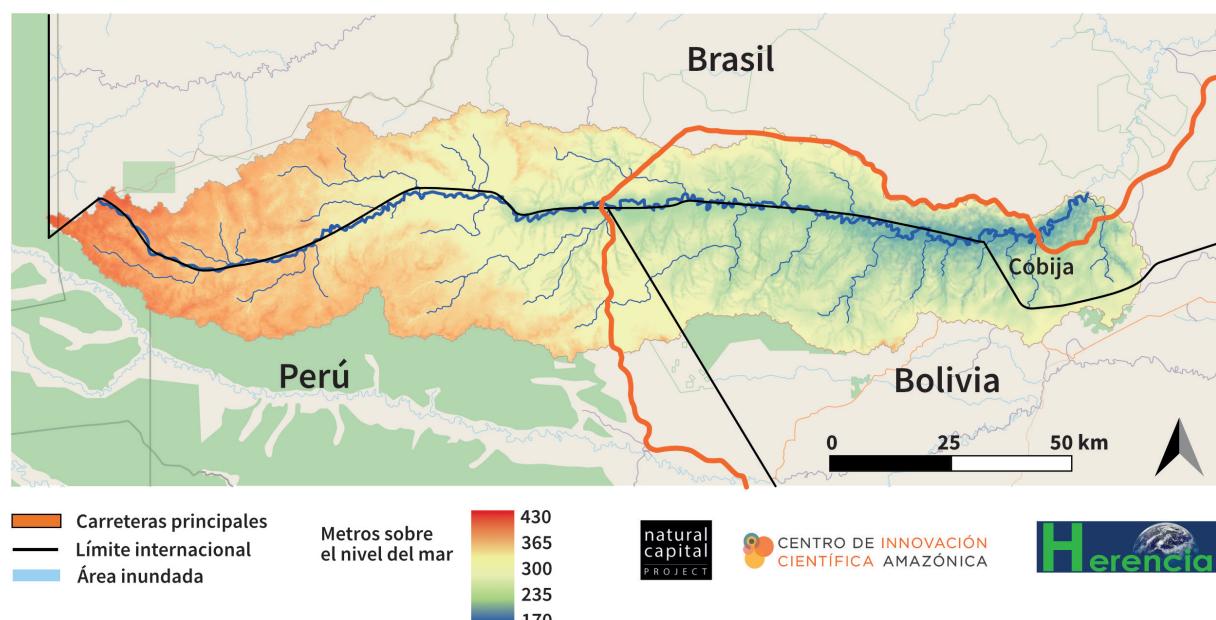
**El conocimiento de las dinámicas de las llanuras de inundación es imprescindible para la gestión de riesgos en el ámbito trinacional.**



se produjo una de las inundaciones más graves del río Acre. Mientras el 2007 fue uno de los años cuya sequía superó incluso a la del 2005<sup>16</sup>. Este evento volvió a repetirse tres años después, en 2010, afectando más de 3 millones de km<sup>2</sup>, casi dos veces más la extensión afectada durante la sequía del 2005<sup>17</sup>.

Asimismo, en lo que refiere a eventos por inundaciones en la cuenca del Amazonas, los más extremos tuvieron lugar entre 2009 y 2015<sup>18</sup>. En la cuenca alta del río Acre, la del 2015 representa quizás una de las mayores inundaciones, afectando la totalidad de centros poblados y municipios brasileños, bolivianos y peruanos ubicados en las orillas.

**Figura 1. Fisiografía de la cuenca alta del río Acre.**



## Aprendizajes para la toma de decisiones ante inundaciones

Es claro que tanto la población como las autoridades locales trinacionales no sólo tienen conocimiento de los eventos por inundaciones y sequías, sino que incluso han sentido en carne propia sus impactos. Sin embargo, los esfuerzos desplegados para reforzar las riberas de los principales ríos, incluso las acciones de monitoreo para la alerta temprana no han sido suficientes para determinar con claridad las acciones de prevención ni de remediación ante posibles inundaciones o sequías.

Ante esta situación, la iniciativa PRO-Agua, Proyecto Resiliencia Natural en la Amazonía: Recursos hídri-

cos y centros urbanos en crecimiento de The Natural Capital Project, de la Universidad de Stanford, junto con el Centro de Innovación científica Amazónica—CINCIA de Perú y Herencia de Bolivia, aborda históricamente este problema. En ese entender, el principal interés del presente estudio ha sido la recopilación de datos acerca de estos eventos naturales, su frecuencia y magnitud de impacto para elaborar una base de datos con información georeferenciada (SIG), que logre ilustrar los niveles que alcanzó el agua desbordada en las poblaciones ribereñas del alto Acre, además de proporcionar imágenes topográficas de vulnerabilidad, perfiles transversales y definición visual de llanuras de inundación.

El propósito de este esfuerzo es compartir esta información con actores clave locales y regionales, con el fin de mejorar la gestión de riesgos en la región trinacional.

15 Morango et al. 2008

16 Brown et al. 2006

17 Lewis, 2011

18 Barichivich, 2018

Así, los objetivos del presente estudio fueron:

- Conocer la experiencia local y sus percepciones acerca de las inundaciones recurrentes en la cuenca alta del río Acre.
- Diseñar y construir un Sistema de Información Geográfica.
- Generar saberes para la toma de decisiones políticas adecuadas.

## Metodología

### Curvas de nivel y topografía del terreno

El presente estudio comprende la gravedad de los impactos ocasionados tanto por inundaciones como por sequías; sin embargo, hemos querido concentrar la investigación en el análisis de eventos por inundaciones dado que son cada vez más frecuentes y de mayor impacto. Es nuestro deseo ampliar a futuro la investigación de eventos por quemadas durante períodos de sequías.

### Geo referenciación en el lugar de los hechos

Para delimitar el polígono del área inundada durante la gran inundación del año 2015, se realizaron visitas *in situ* para georreferenciar puntos de interés, haciendo uso de un receptor de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) modelo Map 78s de alta precisión.

Cabe resaltar que la recopilación de los puntos georreferenciados en distintos lugares permitió reconocer los niveles más críticos alcanzados por las inundaciones de mayor impacto. Ello contribuyó a determinar con mayor precisión la curva de nivel más cercana a la capa de agua alcanzada por la inundación, brindando así datos confiables.

Más aún, los mapas de puntos de inundación son muy importantes al momento de gestionar el riesgo y tomar acciones. Por ello la gestión debe basarse en mapas realizados en diferentes momentos del evento, describiendo la extensión y profundidad de las inundaciones. Esta información debe ser complementada con la estimación de población afectada y pérdidas económicas, con el fin de elaborar planes de contingencia ante posibles eventos a futuro.

Para poder determinar con precisión los niveles alcanzados por inundaciones, es preciso estudiar las características topográficas del área de estudio. El relieve de la superficie terrestre es continua y tridimensional, por ello las curvas de nivel son la mejor forma de representarlo. Definidas como el conjunto de métodos, tecnologías y convenciones que se utilizan para determinar contornos, dimensiones y posición relativa de un rango de superficie terrestre, analizan la curvatura de la Tierra por medio de la medición de distancias, direcciones y altitudes<sup>19</sup>.

Las bases cartográficas y topográficas del presente estudio se realizaron mediante técnicas de geo procesamiento, utilizando imágenes satelitales RASTER y Modelos Digitales de Elevación (MDE) procesados mediante el software Qgis 2.18 y Global Mapper V19.0, que utiliza imágenes *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* de alta resolución, con información planimétrica de identificación de parcelas e información altimétrica y curvas de nivel a equidistancia de 5.0 metros.

### Zona de estudio



En la cuenca alta del río Acre se determinaron dos zonas de estudio: la zona fronteriza binacional entre Cobija en Bolivia, Brasiléia y Epitaciolândia en Brasil; así como la trinacional entre Iñapari en Perú, Assis en Brasil y Bolpebra en Bolivia. En ambos sectores se aplicaron las mismas aproximaciones metodológicas.

19 Santamaría y Sanz. 2005

## Resultados

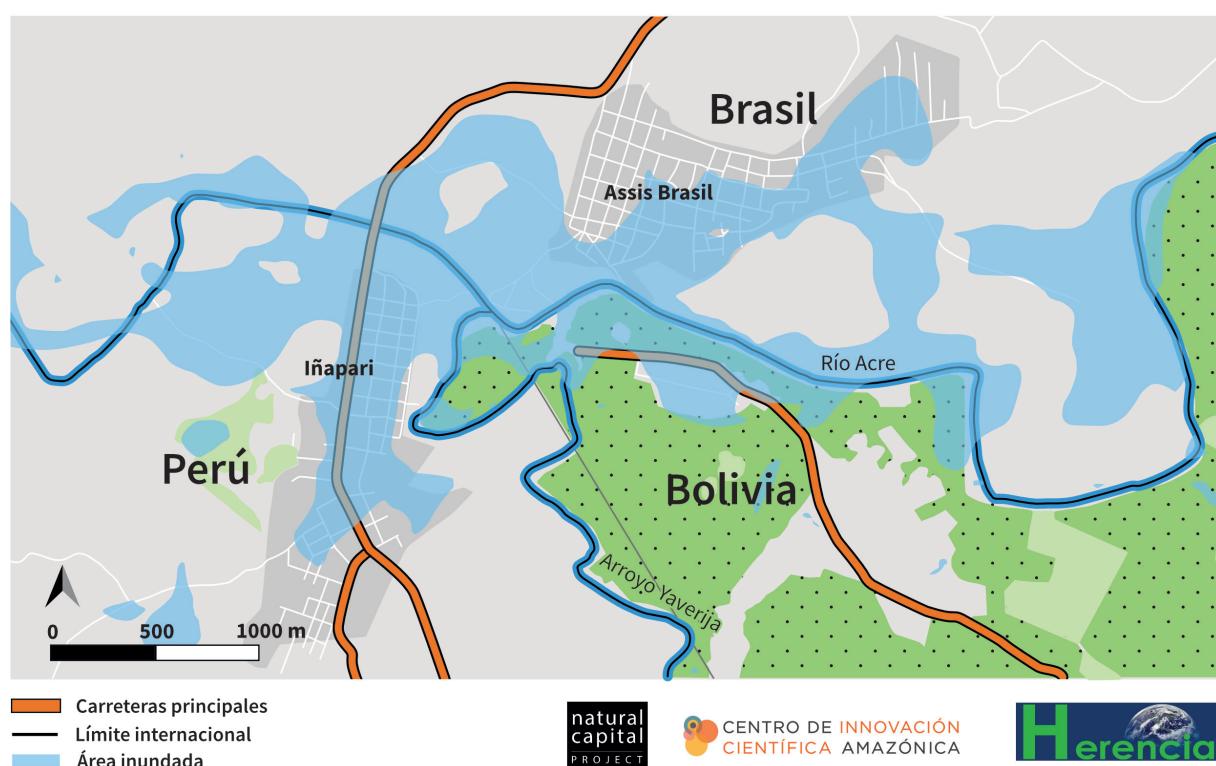
### Inundación del 2015: Recuento de daños

El 2015 fue sin duda el año de la peor inundación registrada en la cuenca alta del río Acre. En la localidad de Iñapari en Madre de Dios, el 19 de febrero se registró el desborde del río Acre inundando viviendas, locales públicos, vías de comunicación y áreas

de cultivo, dejando 1,050 damnificados y más de 240 viviendas dañadas<sup>20</sup>.

En Assis, localidad fronteriza entre Perú y Brasil, el nivel del agua se elevó más de 9 metros en 24 horas, alcanzando rápidamente la cota de desbordamiento<sup>21</sup>. Mientras que las 27 familias que habitan la pequeña Bolpebra en Bolivia, tuvieron que ser evacuadas. Ahí, el Acre alcanzó una altura de 12,70 m<sup>22</sup>.

**Figura 2. Nivel máximo de inundación en la frontera trinacional del río Acre y el centro urbano de Iñapari-Assis-Bolpebra.**



Al 22 de febrero, Cobija, capital de Pando en Bolivia, reportaba 2,100 damnificados, instalados en 12 albergues<sup>23</sup>. Otro tanto acontecía en las ciudades de Brasiléia, Epitaciolândia y Acre en Brasil, donde los

niveles de inundación superaron los 15 m. tal como dieron cuenta diversas fuentes oficiales e informativas.

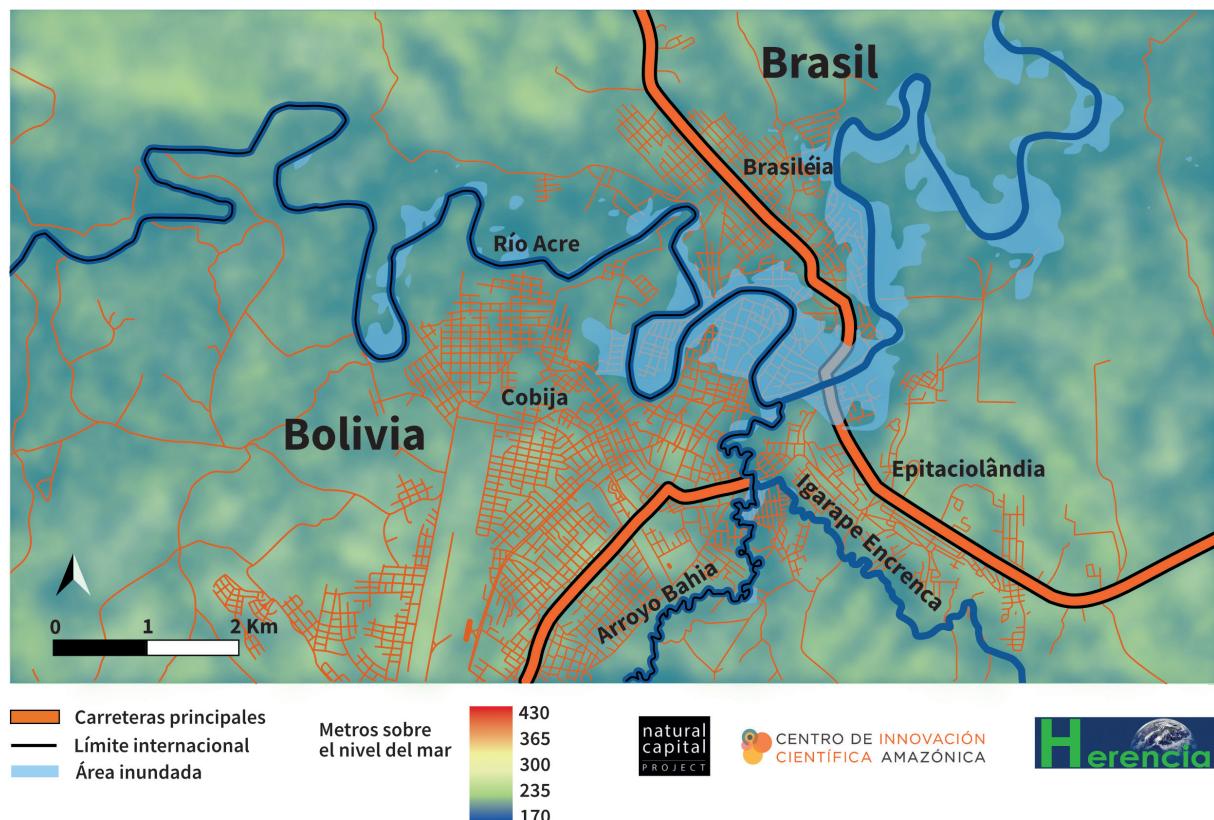
20 INDECI/COEN. 2015

21 Buffon. 2015

22 ABI. 2019

23 ONU. 2015

**Figura 3. Nivel máximo de inundación en la frontera binacional de río Acre y el centro urbano de Cobija-Brasiléia-Epitaciolândia.**



Un año antes, durante la inundación del mes de mayo, en toda la cuenca alta del río Acre, más de 560 mil hectáreas de cultivos agrícolas habían sido destruidos, mientras en el Beni en Bolivia, se perdieron más de 210 mil cabezas de ganado<sup>24</sup>. Sin embargo, el saldo que dejó la inundación del 2015 superó con creces los daños del 2014.

De acuerdo a fuentes oficiales, sólo en Brasiléia más de 2,502 personas fueron evacuadas; y en Epitaciolândia, más de 1,200<sup>25</sup>. En la frontera boliviana, 4,250 personas quedaron damnificadas en Cobija<sup>26</sup>. Y en Perú, 1,050, en Iñapari.

En cuanto a la localidad de Assis en Brasil, la investigación de campo permitió contabilizar un aproximado de 600 personas damnificadas. En suma, alrede-

dor de 9,622 personas fueron directamente afectadas por los embates de la inundación del 2015. Al decir de una de nuestras entrevistadas, si bien la inundación pasa “los traumas quedan” y quedan para todas las localidades impactadas también de manera indirecta.

Las pérdidas económicas solo en el sector agropecuario en Brasil:

Municipio	Agricultura US\$	Pecuaria US\$	TOTAL
Brasiléia	1,045	140	1,185
Epitaciolândia	1,385	142	1,527
Assis Brasil	3,350	70	3,420

Fuente: Da Silva R.G. y Costa Gurgel, A. 2019

24 Heredia. 2014

25 Agencia Brasil

26 La Razón

esto hace un total de 4,620 dólares americanos en pérdidas, en una de las actividades económicas más importantes de esta zona rural.

### Niveles máximos alcanzados por zona de investigación

Las poblaciones del alto Acre se han asentado sobre llanuras de inundación, es decir, en áreas de muy alta vulnerabilidad a inundaciones periódicas. Sin embargo, al ser irregular la topografía de la zona de

estudio, los asentamientos tienen diferentes rangos de vulnerabilidad.

### La zona fronteriza binacional entre Cobija en Bolivia, Brasiléia y Epitaciolândia en Brasil:

Los niveles elevados de terreno en Epitaciolândia protegieron gran parte de esta población de los embates mayores de la inundación, mientras que Brasiléia, al encontrarse, casi en su totalidad en la llanura de inundación, sufrió el anegamiento en un 80%. Cobija se inundó en los barrios ubicados en las zonas más bajas salvándose aquellos que se encuentran en altura.



© Foster Brown

Zona de frontera binacional Bolivia y Brasil. Municipios de Cobija (Bolivia), Brasiléia y Epitaciolândia (Brasil) afectados por la inundación de 2015.

### La zona fronteriza trinacional entre Iñapari en Perú, Assis en Brasil y Bolpebra en Bolivia:

De la misma manera, los barrios ubicados en las alturas del terreno de Assis Brasil se mantuvieron libres de la inundación con una anegación de un 20% del

total de todo el asentamiento. En cambio, Bolpebra, situada íntegramente en la llanura de inundación, colapsó en un 100%. Iñapari, en las mismas condiciones geográficas, se inundó en un 90%.

## Conclusiones

Los ríos escurren naturalmente el exceso de agua que llega a sus cauces. Es la actividad humana la que ha reducido drásticamente el tamaño de estos terrenos inundables, por lo que la masa de agua que se acumulan en estos cauces no tiene espacio para distribuirse, provocando inundaciones de creciente peligrosidad. La urbanización sobre zonas ribereñas es una de las principales causas que pone en alto riesgo a los habitantes de estas “zonas negras” o de alta vulnerabilidad, en caso de inundación.

Del estudio se desprende la importancia de demarcar las llanuras de inundación, para proponer actividades de gestión de riesgos de inundaciones en las poblaciones de Iñapari, Assis Brasil, Bolpebra, Cobija, Brasiléia y Epitaciolândia. Con este fin, se produjo el primer mapa de áreas inundadas, para un evento de inundación históricamente significativo, en dos zonas urbanas en crecimiento. Asimismo, se mostró la magnitud de los daños que han sufrido las poblaciones de estos sectores.

La deforestación, el sobrepastoreo, la producción intensiva de cultivos y la urbanización desordenada, modifican drásticamente las condiciones de descarga hídrica, incrementando el caudal de los ríos durante los ciclos de precipitación, aumentando el riesgo de inundación.

El conocimiento de las dinámicas de las llanuras de inundación es imprescindible para la gestión de riesgos en el ámbito trinacional. Los actores deben conocer con qué frecuencia promedio, por cuánto tiempo y en qué época del año las llanuras de inundación estarán cubiertas por agua.

El riesgo catastrófico provocado por las inundaciones puede aumentar si no se entiende la naturaleza del peligro y se asume como aleatorio.

Por último, es prudente y necesario realizar consultas permanentes con especialistas de diversas disciplinas, para prever y evaluar potenciales conflictos sociales, entre el uso actual de tierras inundables y los potenciales usos sostenibles a ser propuestos.

## Capítulo 5

# Mapeo y cuantificación de inundaciones en la frontera trinacional

**Proyecciones a 10, 50 y 100 años en las  
cuencas de los ríos Madre de Dios, Acre y  
Purús**

**Sydney Moss**

Investigadora Asociada, Natural  
Capital Project / Stanford  
University

**Adrian L. Vogl**

Científica Principal, Natural  
Capital Project / Stanford  
University

**Rafael Schmitt**

Geomorfólogo, Hidrólogo,  
Natural Capital Project / Stanford  
University

Algunos de los principales centros urbanos de la frontera trinacional, en Perú, Bolivia y Brasil, se encuentran asentados en las llanuras inundables naturales de los ríos más importantes de la región. Estas llanuras aluviales están pobladas desde hace mucho. Las primeras ciudades se fundaron hace más de 100 años, y es aquí, en estos sectores, donde se proyecta la base socioeconómica de la selva suroriental de América del Sur para los próximos años. Históricamente, éstas regiones, así como han sabido aprovechar los beneficios del suelo y el clima, también han debido afrontar el embate de las inundaciones, acorde con los ciclos propios de liberación del cauce de los ríos.

Sin embargo, con el paso de los años, el avance urbano desordenado e invasivo ha aumentado gravemente el impacto en daños de estos procesos naturales. La tala indiscriminada, como una práctica propia de distintas actividades económicas, y el afán por ganar espacio a las riberas de los ríos, han ido limitando el cauce de los ríos, aumentado la masa de agua que, al liberarse arrastra todo a su paso. Las autoridades de estas regiones son plenamente conscientes de estos ciclos y sus daños por lo que necesitan contar con herramientas concretas para la prevención y así disminuir los impactos.



El impacto de las inundaciones en la sociedad dependerá en gran medida de dónde y cómo se desarrolle el uso de la tierra

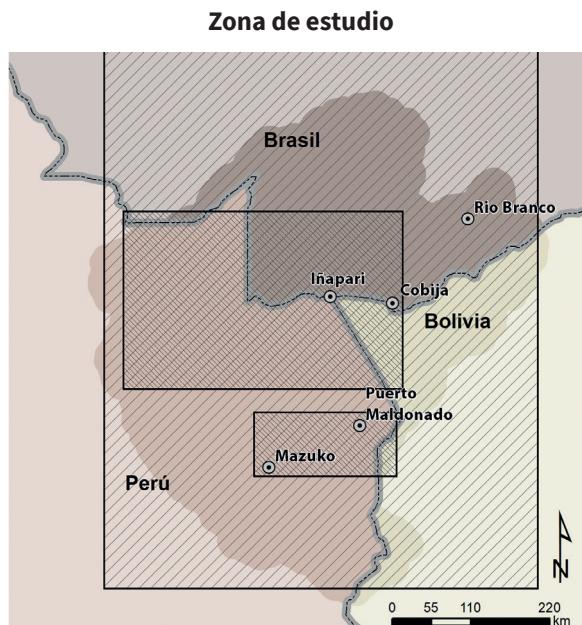
## Calcular para prevenir

Con base en los datos históricos del nivel del agua alcanzado, este estudio tuvo como objetivo identificar las zonas que se inundan en períodos de retorno de 10, 50 y 100 años. En general, una inundación de 100 años tendrá una magnitud e impacto mucho mayores que una inundación de 10 o 50 años. Téngase en cuenta que una inundación con un período de retorno de 100 años es una forma de determinar la magnitud de la inundación y no significa que ocurra cada 100 años. Por lo tanto, aunque raro, inundaciones de 100 años pueden ocurrir durante dos años consecutivos. Esta inundación tiene un 1% de probabilidad de que ocurra en un año determinado; mientras una inundación de 10 años, un 10%; y una de 50 años, 2% de probabilidad.

En tanto no es posible predecir o pronosticar estrictamente la magnitud de la próxima inundación, es recomendable la prevención, así como la alerta temprana, conforme al peor escenario o al que podría ocasionar peores daños materiales y humanos. En ese entender, el Proyecto Pro-Agua ha concentrado sus esfuerzos para mapear y cuantificar los posibles daños ante eventos de 10, 50 y 100 años, el mismo que puede ocurrir en cualquier temporada de lluvias a futuro. Cabe resaltar que los límites de la presente investigación se extienden hacia las cuencas de los ríos Madre de Dios, Acre y Purús, entre Perú, Brasil y Bolivia.

Con esta investigación, el Proyecto PRO-Agua tiene por propósito:

1. Delinear las llanuras inundables de los ríos Madre de Dios, Acre y Purús que se ven afectadas por las inundaciones naturales;



El área de estudio sobrepasa la zona de estudio del Proyecto Pro Agua. Esta investigación analiza el riesgo por inundaciones al detalle y para diferentes escenarios de uso de la tierra en Acre y Purús (Figura 2); así como en Madre de Dios (Figura 3).

2. Analizar cómo las diferentes estrategias de planificación del uso de la tierra darán lugar a diferentes grados de exposición de los bienes y la infraestructura; y
3. Proponer que el desarrollo futuro de la región tenga en cuenta las inundaciones naturales, como un proceso adaptable y resiliente.

## Metodología

Para poder estudiar la magnitud del riesgo en la zona de estudio, este informe se basa en un análisis de los niveles de agua observados de agua alcanzados en los últimos 35 años en 19 estaciones hidrológicas de las cuencas de los ríos Purús y Acre en Brasil, proporcionados por la Agencia Nacional del Agua del Brasil (ANA Brasil). Al no disponer de información para la cuenca del río Madre de Dios en Perú, se han

extrapolado los datos de las cuencas Purús y Acre, para determinar las condiciones sobre la cuenca Madre de Dios. Estos datos han permitido determinar los niveles de agua máximos de las inundaciones en todos los ríos del área de estudio, pero con una incertidumbre mucho más alta para la cuenca de Madre de Dios. A continuación, se realizó un análisis digital de la topografía del terreno para estimar las áreas inundadas conforme a diferentes períodos de retorno en 10, 50 y 100 años. Por último, se calculó el

grado de exposición de estas extensiones de inundación para cada periodo de retorno. De esta forma se logró determinar la magnitud del impacto de futuras inundaciones sobre zonas geográficas dedicadas a la agricultura, así como en asentamientos humanos e infraestructura conforme a los tres escenarios; tanto el peor, como el sostenible y el realista.

**a. Estimación de los niveles de agua conforme a los periodos de retorno:**

Un período de retorno es el tiempo promedio estimado entre eventos, en este caso, entre inundaciones. Una inundación con un período de retorno de 10 años es un evento de inundación más frecuente, de menor magnitud y que ocasiona menos daño. Mientras una inundación con un período de retorno de 100 años es menos frecuente, de mayor magnitud y ocasiona daños más severos. Al respecto, cabe resaltar que una inundación con un período de retorno de 100 años, no necesariamente ocurre con una frecuencia de 100 años. No hay que esperar 100 años para que vuelva a ocurrir.

En ese sentido, esta estimación se ha desarrollado teniendo en consideración el análisis temporal de los niveles de agua para las cuencas de los ríos Acre y Purús, así como de sus adyacentes en 19 estaciones o puntos de monitoreo operados por la ANA Brasil, cuyos datos se encuentran a disposición en el Portal HidroWeb<sup>27</sup> del Sistema Nacional de Recursos Hídricos del Brasil. Estos datos se ordenaron de forma secuencial en un formato para luego identificar el nivel máximo anual de agua para cada estación, obteniendo una serie temporal de valores máximos anuales.

La mayoría de estos datos están disponibles en períodos relativamente cortos, entre 10 y 30 años, por lo que no fue posible obtener valores para períodos de retorno de 50 o de 100 años. Así, en función a estos datos, se calcularon valores para períodos de retorno de 10, 50 y 100 años basado en un análisis estadístico.

Para estimar los niveles de agua con períodos de retorno más largos recurrimos a un enfoque común basado en distribuciones de probabilidad ajustada. Es decir, se clasificaron los valores máximos anuales de los niveles de agua y se adaptaron a una distribución de valor extremo. A partir de esta distribución se pudo analizar y evaluar la probabilidad de que ocurran estos niveles en próximos eventos.

El resultado de esta primera etapa en la investigación fue el nivel de agua alcanzado o superado para cada una de las 19 estaciones estudiadas conforme a períodos de retorno de 10, 50 y 100 años.

**b. Extrapolación espacial de los niveles de agua conforme a los períodos de retorno:**

El siguiente paso en la investigación fue deducir el mismo parámetro para el río Madre de Dios, que habíamos calculado para los ríos Acre y Purús: el nivel de agua alcanzado o superado para cada estación conforme a períodos de retorno de 10, 50 y 100 años. Para lograrlo, se analizaron los patrones de flujo en relación al área de drenaje de las 19 estaciones de monitoreo de los ríos Acre y Purús, y en sus ríos adyacentes.

La base de esta extrapolación fue la siguiente: tanto mayor es el área de drenaje que va hacia un punto en la red fluvial, mayor será el nivel de agua. Así, el nivel de agua media en un río con un área de drenaje de 10,000 km<sup>2</sup> será mayor, que en un río con un área de drenaje de 10 km<sup>2</sup>. Del mismo modo, los niveles de crecidas máximas aumentan en función al área de drenaje. Con los niveles de agua conforme a los períodos de retorno, y habiendo determinado el área que drena a cada una de las 19 estaciones de monitoreo, se estableció la curva de regresión que correlaciona el nivel máximo anual de agua (en cada uno de los períodos de retorno) con el área de drenaje.

Después, se determinó la magnitud del área

27 El Portal HidroWeb es una herramienta que forma parte del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) y ofrece acceso a la base de datos que contiene la información recopilada por la Red Hidrometeorológica Nacional (RHN) sobre niveles de ríos, caudales, precipitaciones, climatología, calidad del agua y sedimentos en Brasil. Ver <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>

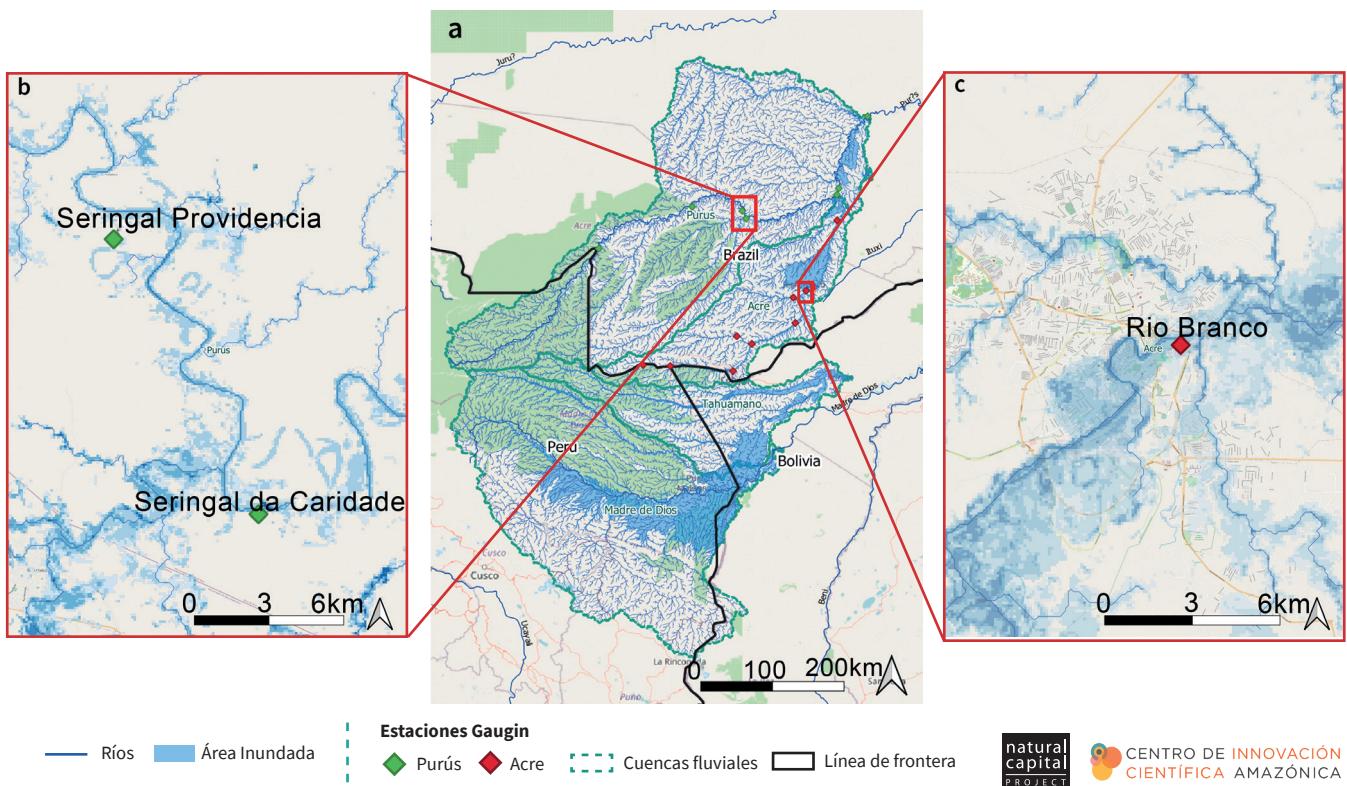
que drena a cada punto de la red fluvial del río Madre de Dios, y se aplican los parámetros de la curva de regresión para estimar los niveles máximos anuales que corresponden. Este método permitió estimar los niveles máximos anuales para cada punto de la red fluvial de los ríos sin sitios de monitoreo. Este análisis se realizó para los períodos de retorno en 10, 50 y 100 años en toda la zona de estudio.

#### c. Extensión de la inundación conforme a los períodos de retorno:

La extensión de la inundación se delimita a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) o una representación digital de la topografía del terreno de 90 metros. Para el estudio se seleccionó el MERIT MDT (MERIT significa Multi-Error-Removed Improved-Terrain o Error Múltiple Eliminado para Terreno Mejorado) por ser una representación actualizada de los procesos hidrológicos en las llanuras de inundación, correspondiente a la zona de estudio. El análisis consistió en sumar el valor del nivel de inunda-

ción con el valor de la elevación del terreno del punto de monitoreo, obteniendo la altura de la inundación total. Por ejemplo, para un nivel de inundación de 5 metros, en un punto de monitoreo, con una elevación del terreno de 100 m.s.n.m., se obtiene una magnitud de inundación de 105 metros. Luego, se delinearon todas las áreas que drenan hacia cada punto donde las corrientes fluviales se combinan. La zona de inundación tendría una magnitud máxima del valor de la inundación total. Se repitió este análisis para diez mil puntos de la red en cada uno de los períodos de retorno. Así, se pudo obtener un mapeo de las zonas de riesgo por inundaciones con un determinado período de retorno. Asimismo, se obtuvo un mapa que muestra el nivel de las inundaciones, tal como se muestra en la Figura 1. Cabe recalcar que, al no contar con información para la cuenca del río Madre de Dios, se han interpolado los datos a partir de la información obtenida de los puntos de monitoreo para los ríos Acre y Purús, por lo que no es posible asegurar la precisión de los resultados.

**Figura 1. Llanura de inundación para un período de retorno de 100 años en las zonas de Acre y Purús**  
Mapa base y datos de OpenStreetMap y OpenStreetMap foundation. Fuente: © OpenStreetMap contributors.



#### d. Cálculo del grado de afectación de las extensiones de inundación:

Los mapas de extensión de crecidas permitieron determinar a la presente investigación la exposición o afectación por inundaciones según los diferentes usos de la tierra. De esta forma se pudo obtener la relación de zonas agrícolas, urbanizaciones e infraestructuras que estarían ex-

puestas a inundaciones en diferentes períodos de retorno. Así pues, la exposición se determina realizando estadísticas espaciales, superponiendo algunos usos de la tierra con las extensiones de inundación. Asimismo, se realizó este análisis para los mapas del uso del suelo que corresponden a cada uno de los escenarios de desarrollo a futuro (se describen los escenarios en el Capítulo 2).

## Resultados

Encontramos que el total de la llanura de inundación, con un periodo de retorno de 100 años, es de alrededor de 45,000 km<sup>2</sup> en toda el área modelada, tal como se presenta en la Figura 1. Ahí se muestran los datos espaciales de las extensiones de inundación producidos para toda la zona de estudio; es decir, tanto para las cuencas de Purús y Acre como para las cuencas de Madre de Dios y Tahuamanu.

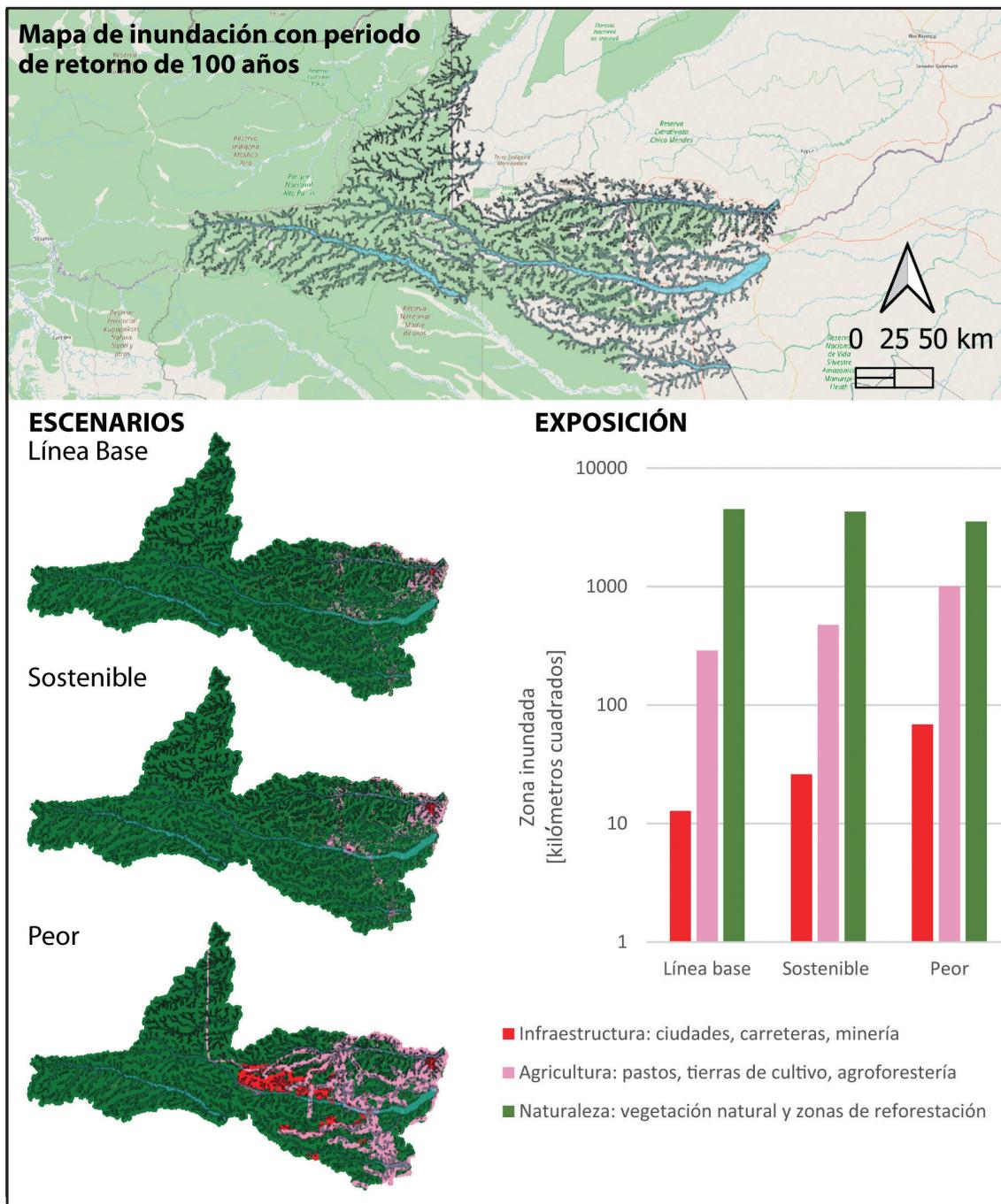
Cabe tener presente que las inundaciones son procesos naturales y las llanuras de inundación son características geográficas del paisaje, por lo que los episodios de inundaciones ocurren y ocurrirán siempre en estos espacios geográficos, al margen del uso de la tierra. Sin embargo, lo que varía y es susceptible de cambio, es el impacto que estas inundaciones ocasionan en las actividades que se desarrollan en llanuras de inundación.

Por ejemplo, en la Figura 2 el análisis para la zona Acre y Purús. Para esta zona, se encontró que una inundación con un periodo de retorno de 100 años abarcaría aproximadamente 4,800 km<sup>2</sup>. Determinar si esta zona afectada son bosque o centros urbanos dependerá de la planificación del uso del suelo. En esa medida, para la línea base del uso de suelo, una inundación con un periodo de retorno de 100 años (Figura 2) afectaría 13 km<sup>2</sup> de zona urbana; 290 km<sup>2</sup> de área agrícola; y 4,500 km<sup>2</sup> de bosques naturales, para los cuales la inundación es natural y beneficiosa. En el peor de los casos, un evento de esta magnitud inundaría 69 km<sup>2</sup> de zona urbana; cinco veces más que para la línea base. Asimismo, serían afecta-

dos 1,010 km<sup>2</sup> de tierras agrícolas; y sólo 3,500 km<sup>2</sup> de bosques.

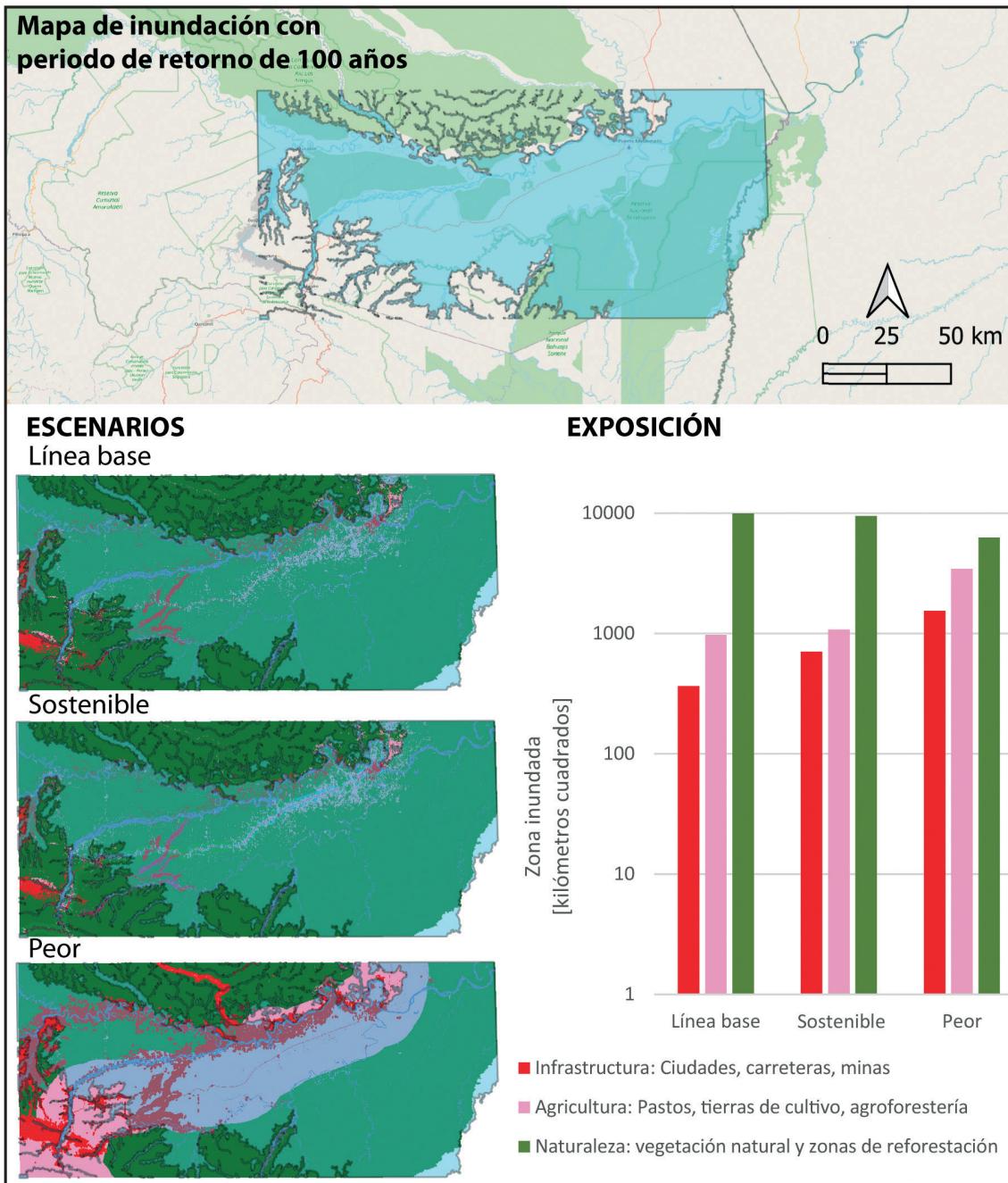
Realizamos el mismo análisis para el área de Madre de Dios, pero los resultados son mucho más inciertos dado que no se contó con datos históricos de los niveles del agua alcanzados por el río Madre de Dios, ni de la presencia de grandes llanuras aluviales o humedales, que apenas se pudieron caracterizar con niveles de elevación digital global (*global digital elevation models*). En ese entender, se estimó que una inundación con un periodo de retorno de 100 años en ese sector tendría una magnitud de 11,000 km<sup>2</sup>, debido principalmente a la topografía plana. Es decir, más de la mitad del área de enfoque, que es de alrededor de 16,000 km<sup>2</sup>. En un escenario realista, una inundación de tal magnitud afectaría principalmente a bosques naturales (9,900 km<sup>2</sup>) y en menor medida la zona agrícola (974 km<sup>2</sup>). Algunas áreas urbanas, minas e infraestructura se verían afectadas también (365 km<sup>2</sup>). Mientras en el peor escenario, se inundarían 3,450 km<sup>2</sup> de agricultura y 1,540 km<sup>2</sup> de zonas urbanas. De gestionarse un escenario sostenible, se reduciría la magnitud del área inundada (zonas urbanas, minas y caminos) a 297 km<sup>2</sup>; mientras las zonas agrícolas y agroforestales afectadas aumentarían en comparación con la línea base, de 974 km<sup>2</sup> a 1,300 km<sup>2</sup>.

Figura 2. Área de enfoque Acre Purús



Llanura de inundación en el área de enfoque del Acre y Purús, con un periodo de retorno de 100 años (top). Los mapas pequeños demuestran cómo esa área inundada se superpone con diferentes escenarios de uso del suelo. En combinación, la extensión de las inundaciones y las áreas inundadas conducen a una composición diferente del área inundada para cada escenario. Por ejemplo, en el escenario peor, aumenta el área inundada de zonas urbanas porque se ha cambiado el uso del suelo para la construcción de infraestructura como ciudades, carreteras, entre otros. Las variaciones en el área total inundada por tipo de uso del suelo se observan con claridad en el gráfico de barras.

**Figura 3. Área de enfoque Madre de Dios**



Llanura de inundación en el área de enfoque del Madre de Dios con un periodo de retorno de 100 años (top). Los mapas pequeños muestran cómo el área inundada se superpone con diferentes escenarios de uso de la tierra. En combinación, la extensión de la inundación y las áreas inundadas conducen a una exposición diferente a las inundaciones para cada escenario, es decir, se inunda un área diferente según los diferentes usos del suelo (gráfico de barras).

Para ambos casos de estudio, el peor escenario responde a un cambio importante de uso de suelo, de bosque natural a la agricultura y a zonas urbanas. Por ese motivo el área de inundación tiene menos área de bosque. En comparación con la línea de base, una inundación abarcaría una mayor área agrícola con menos área de bosque. Las áreas urbanas también están más densamente pobladas que las tierras agrícolas y los bosques. Esto, incluso un pequeño aumento en las áreas urbanas afectadas puede llevar a que muchas más personas se vean afectadas por las inundaciones.

Por ejemplo, para el área de enfoque en Acre y Purús, se muestra según el uso actual de la tierra que alrededor de 6,000 habitantes en zonas urbanas estarían

expuestas a una inundación con un periodo de retorno de 100 años. Debido al fuerte crecimiento proyectado en el área urbana, bajo el peor escenario, esa cifra aumentaría hasta 28,000 habitantes. Mientras, en un escenario sostenible, sólo 19,000 personas serían afectadas. Para el área de Madre de Dios, se determinó que la población urbana expuesta aumentaría de 34,000 a 53,000 afectados, en un escenario peor. Para ambas zonas, la población total afectada es aún mayor cuando se considera a las personas que viven en zonas mineras y agrícolas.

Cabe destacar que los resultados de esta investigación se encuentran con mayor detalle en el Vizualizador del proyecto PRO-Agua<sup>28</sup>.



El impacto de las inundaciones en la sociedad dependerá en gran medida de donde y como se desarrolle el uso de la tierra.

28 <http://viz.naturalcapitalproject.org/pro-agua/>

## Conclusiones

En las llanuras de inundación de la Amazonía, las inundaciones son resultados de procesos naturales que son esenciales para dar forma a diversos hábitats y servicios ecosistémicos. El impacto de las inundaciones en la sociedad dependerá en gran medida de dónde y cómo se desarrolle el uso de la tierra. Los resultados de la presente investigación muestran que el desarrollo extensivo en las llanuras de inundación, pondrían en grave riesgo la vida y los bienes. Las frecuentes inundaciones en las ciudades, en la agricultura y en las zonas mineras no sólo podrían destruir importantes bienes y poner en peligro vidas, sino que también podrían tener otros importantes impactos aguas abajo. Por ejemplo, los residuos de la minería y los productos agroquímicos podrían ser arrastrados a los ríos, impactando gravemente en los ecosistemas y en los usuarios de la cuenca aguas abajo. Nuestro análisis resalta la prevención y la alerta temprana ante desastres de parte de los gobiernos regionales y locales, es imprescindible. Así como la planificación del uso sostenible del suelo es un instrumento clave para evitar estos graves impactos. Asimismo, la planificación de desarrollo sostenible de la región debería tener en cuenta la pro-

babilidad de inundaciones. En el ámbito trinacional, se debe encontrar combinaciones económicamente viables de infraestructura verde, soluciones basadas en la naturaleza, ingeniería tradicional, en función del riesgo local para minimizar la exposición y maximizar la resiliencia de las personas, la agricultura y la infraestructura en la región<sup>29</sup>.

Es posible que los resultados a gran escala sean sólo aproximados como para apoyar la evaluación emprendimientos individuales ante el riesgo por inundaciones; por ejemplo, una nueva carretera específica o zonas urbanas. Éstos deberían estar respaldados por evaluaciones locales de los riesgos de crecida específicas de cada lugar con datos de alta resolución. En ese sentido, el monitoreo permanente de los ríos es imprescindible. La ausencia de datos de monitoreo en la cuenca de Madre de Dios y de Tahuamanu imposibilita o limita la toma de acciones efectivas, así como el planeamiento y la prevención. Sin embargo, estos resultados pueden orientar la planificación estratégica regional del desarrollo de llanuras de inundación resilientes a escala regional y transfronteriza.

---

<sup>29</sup> [https://c402277.ssl.cf1.rackcdn.com/publications/1058/files/original/WWF\\_Flood\\_Green\\_Guide\\_FINAL.pdf?1495628174](https://c402277.ssl.cf1.rackcdn.com/publications/1058/files/original/WWF_Flood_Green_Guide_FINAL.pdf?1495628174)

## Capítulo 6

# Recuperación y regeneración de bosques en La Pampa

## Modelamiento de exportación de sedimentos, stock de carbono y escorrentía superficial

**Jesus A. Fidhel Sanchez**

Analista SIG/Centro de  
Innovación Científica  
Amazónica CINCIA

**Jorge A. Caballero Espejo**

Especialista SIG/ Centro  
de Innovación Científica  
Amazónica CINCIA

**Jorge M. Pillaca Ortiz**

Especialista SIG/ Centro de  
Innovación Científica Amazónica  
CINCIA

Los bosques y principales cuerpos de agua en Madre de Dios, han sufrido en los últimos años graves transformaciones debido al avance desmedido de la actividad minera aurífera artesanal y pequeña minería. En 33 años, la Capital de la biodiversidad del Perú ha perdido 105,060 ha. de bosque<sup>30</sup>, lo que equivale a 161 canchas de futbol.

Al lado de la carretera Interoceánica Sur, en el Km. 110, se encuentra La Pampa, el sector minero que ha merecido una especial atención de parte del Estado peruano, por afectar gravemente la zona de amortiguamiento y la propia Reserva Nacional Tambopata. A tan sólo 90 minutos de Puerto Maldona-

do, bosques, aguajales y cuerpos de agua han sido destruidos, poniendo en riesgo tanto los ecosistemas naturales y la biodiversidad en beneficio de la humanidad, como la salud, la calidad de agua y seguridad alimentaria de las poblaciones aledañas. La Pampa representa hasta 21,423 ha. de las cuales, un 16% (3,278 ha.) corresponden a pozas abandonadas y expuestas, que liberan mercurio y contaminación al ambiente<sup>31</sup>. Asimismo; el 55% (11,800 ha.) se encuentra al interior de la zona de amortiguamiento de la Reserva. De ese porcentaje, se han diezmado hasta 800 ha. la mayor deforestación por minería ilegal al interior de un área natural protegida en Perú<sup>32</sup>.

Al respecto, 185 toneladas métricas de mercurio son liberadas al ambiente debido a la actividad minera

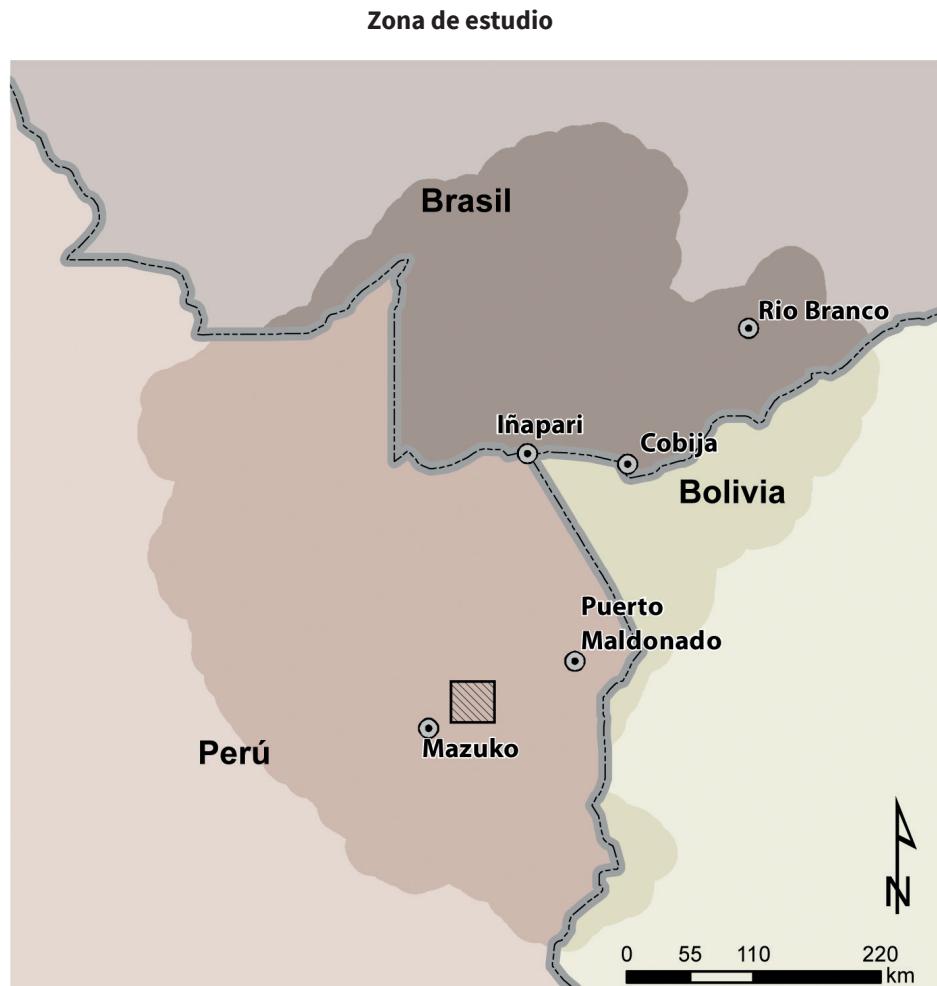
30 CINCIA 2019

31 CINCIA 2019

32 CINCIA 2019



**La vegetación es un factor ambiental clave en la retención de la escorrentía superficial en los ecosistemas.**



artesanal y pequeña minería<sup>33</sup>. Muestras tomadas en pescados comercializados en mercados de Madre de Dios han registrado niveles elevados de mercurio en varias especies, comprobando el grave riesgo que representa para la salud de la población que las consume<sup>34</sup>. Asimismo, resultados preliminares de estudios realizados por CINCIA, indican que los niveles de mercurio en pescados son 43% más altos en pozas abandonadas por minería aurífera que en áreas donde ésta actividad no se realiza.

En este contexto, el 18 de febrero de 2019, el Estado peruano declara el estado de emergencia en cuatro distritos de la región Madre de Dios mediante Decreto Supremo 028 - 2019 - PCM y se inicia el Operativo Mercurio en toda la región.

Desde entonces e incluso antes, diversas iniciativas desde la sociedad civil han promovido acciones para la remediación y la recuperación de suelos degradados. El proyecto PRO-Agua, desde hace 2 años, viene estudiando los impactos de las actividades antrópicas en el capital natural, específicamente en la captura de carbono, la retención de sedimentos y la escorrentía superficial del agua de lluvias. Para ello se han desarrollado modelamientos que cuantifican los impactos. De esta forma, el proyecto busca ayudar a los tomadores de decisiones a plantear alternativas o políticas que promuevan la conservación de los recursos hídricos, la recuperación del ecosistema y el capital natural.

33 AGC. 2018

34 Fernández et al. 2013

## Modelamiento de servicios ecosistémicos

Debido al avance desmedido y desordenado de la minería aurífera artesanal, no se cuenta con información del capital natural perdido en el sector La Pampa. Por ello, la iniciativa PRO-Agua, que agrupa a especialistas de The Natural Capital de la Universidad de Stanford, el Centro de Innovación Científica Amazónica - CINCIA, Estructura de Datos Espaciales - IDE del Gobierno Regional de Madre de Dios, Autoridad Administrativa del Agua XIII Puerto Maldonado, SUNASS Madre de Dios, Centro de Operaciones de Emergencia Regional Madre de Dios y otras entidades del departamento de Madre de Dios, hemos desarrollado modelos para cuantificar y mapear los servicios ecosistémicos de exportación de sedimentos, stocks de carbono y rendimiento estacional de agua, para tener una mejor comprensión de qué servicios ecosistémicos son susceptibles de recuperación bajo diferentes enfoques de proyectos de reforestación, específicamente en la zona de La Pampa

(Figura 1). Asimismo, se han evaluado los impactos de los diferentes enfoques de la restauración en dos condiciones climáticas a futuro, una más seca y otra más lluviosa.

Téngase en consideración que el control de sedimentos en ríos evita la pérdida de suelos por erosión, la colmatación y cambio de cauces. Además, controla las inundaciones recurrentes, y la cantidad de sólidos en suspensión en los ríos.

Asimismo, el almacenamiento de carbono en bosques en pie es vital. En la amazonía una hectárea de bosque no inundable almacena en promedio 217 toneladas en el vuelo, suelo, raíces y carbono material muerto sobre el suelo, evitando su liberación a la atmósfera.

Finalmente, la creación de escenarios para la reforestación tiene por objetivo la identificación de acciones que ayuden tanto a minimizar los impactos de la actividad minera artesanal como a recuperar el capital natural en zonas degradadas.

## Metodología

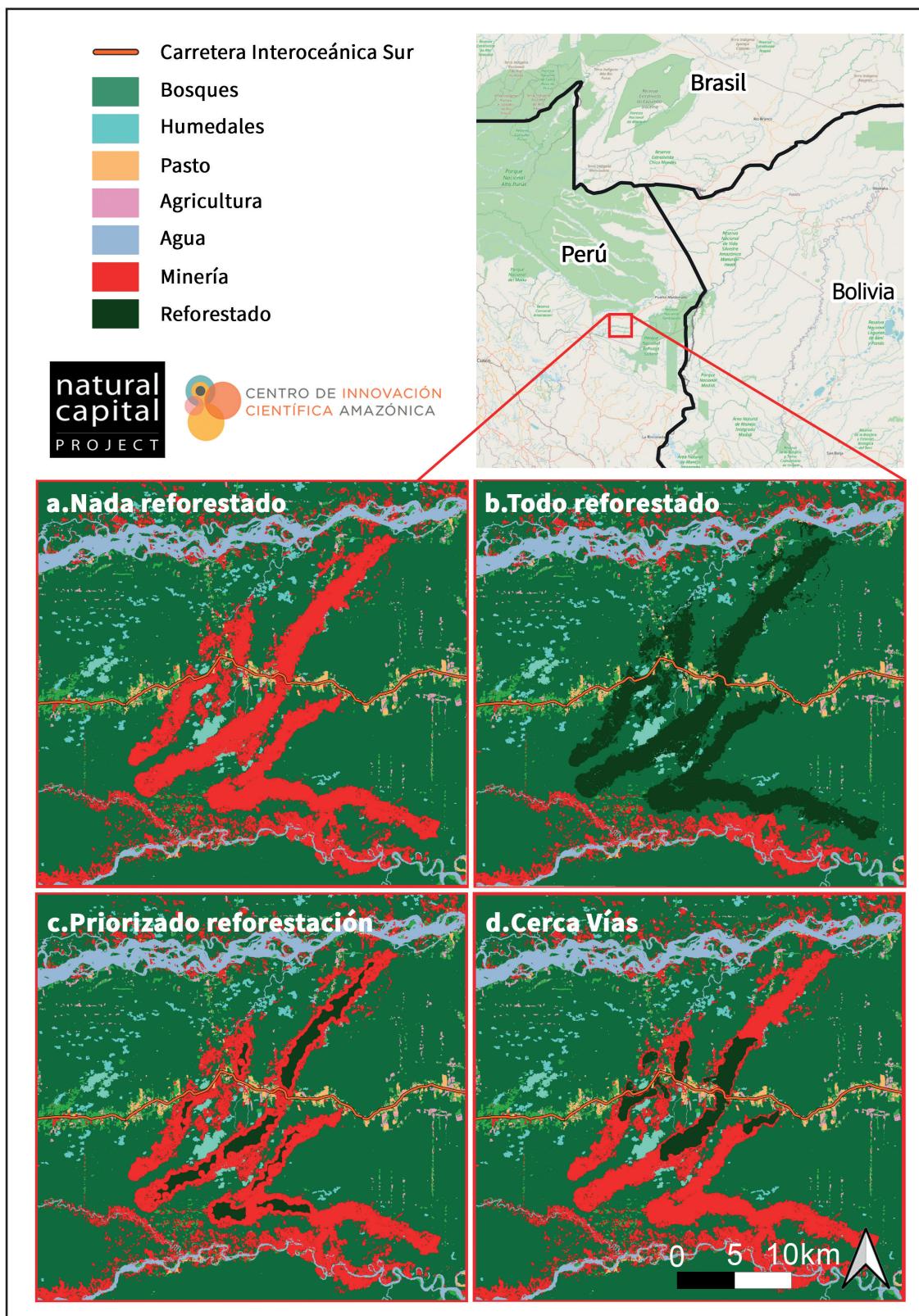
El modelamiento de escenarios es una descripción de cómo los ecosistemas podrían encontrarse en el futuro bajo diferentes enfoques de reforestación. Para este estudio se crearon 4 escenarios de restauración en La Pampa, con los siguientes supuestos:

- 1. Todo reforestado:** Con impulso de proyectos de reforestación total en las áreas impactadas por la minería aurífera en La Pampa.
- 2. Nada reforestado:** No existen iniciativas de reforestación y por lo tanto la degradación de La Pampa sigue igual.
- 3. Priorizado para reforestación:** Los proyectos de reforestación se efectúan en zonas priorizadas ecológicamente considerando la distancia al bosque, la extensión de áreas impactadas por minería, tiempo de abandono y tipo de minería.
- 4. Reforestación cercana a las vías:** Los proyectos de reforestación se realizan en áreas cercanas a vías principales de acceso, con el objetivo de ahorrar costos y tiempo.

Estos supuestos han sido construidos por el equipo de profesionales que participaron en el estudio, de acuerdo a planes de reforestación o restauración al alcance de las decisiones que el gobierno nacional pueda elegir, habiendo analizado el impacto de estas acciones en un periodo de 5 y 20 años.

Asimismo, se generaron escenarios climáticos seco y lluvioso usando datos históricos de precipitación del satélite TRMM\_3B43 versión mensual del 3B42 mm/hr desde 1998 hasta el 2018 y evapotranspiración del producto modelado GLDAS-NOAH25-Land Surface Model L4-1948-2010. El análisis se realizó desde 1998 hasta 2010, de los cuales se tiene datos de precipitación y evapotranspiración. En base al análisis histórico de precipitación se seleccionaron los años 2001, para generar el escenario lluvioso del 2030, y el año 2005, para el escenario seco del 2030.

Figura 1. Reforestación en La Pampa



## Resultados

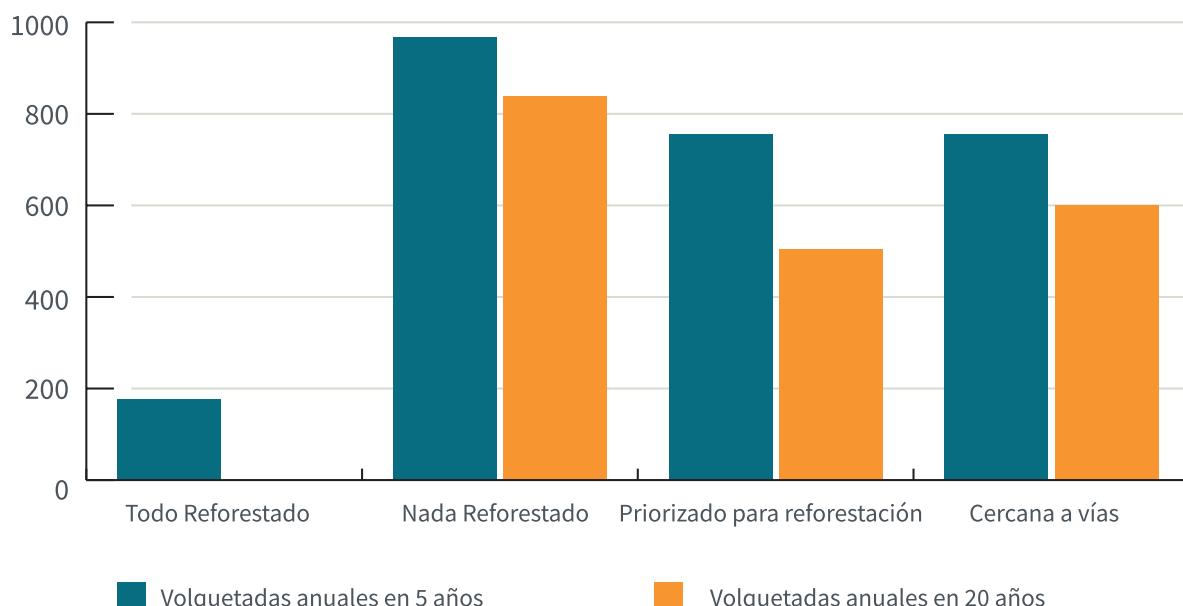
Se proyectaron cuatro escenarios de reforestación en el sector La Pampa para desarrollar modelos de exportación de sedimentos, stocks de carbono y rendimiento estacional de agua. Los resultados se cuantificaron generando equivalencias en “volquetadas” o capacidad de carga de un camión regular de 15 m<sup>3</sup> para el modelo de sedimentos; mientras el modelo de stocks de carbono se midió en dólares americanos, según se valoran los bono de carbono en bolsa. Para comprender mejor los resultados, es importante considerar la capacidad de regeneración o resiliencia que posee la naturaleza con o sin intervención humana, de forma que este fenómeno se representa en los escenarios a 20 años, en los que el modelamiento ha considerado una regeneración natural del 20%. Por ello los valores de pérdida o afectación del bosque para este escenario son proporcionalmente menores.

### Modelamiento de retención de sedimentos hacia las principales redes hídricas:

Los resultados del modelo de sedimentos se cuantificaron generando equivalencias en “volquetadas” o capacidad de carga de un camión regular de 15 m<sup>3</sup> (Figura 2).

1. En un escenario TODO REFORESTADO a cinco años, los proyectos en el sector La Pampa habrían reforestado hasta 15,830 ha. evitando que 2,650t. o 176 “volquetadas” de sedimentos por año se desplacen hacia los ríos Inambari o Tambopata, principales redes hídricas próximas al área de estudio. Mientras en un lapso de 20 años, se lograría una reducción de casi el 100%, con tan sólo 2t. por año o 0.1 “volquetadas”.
2. En un escenario de NADA REFORESTADO a cinco años, se estima el desplazamiento de 14,500t. o 966 “volquetas” por año hacia las principales redes hídricas. Mientras en un lapso de 20 años, 12,583t. u 838 “volquetadas” por año.
3. En un escenario PRIORIZADO PARA REFORESTACIÓN a cinco años, los proyectos priorizados en el sector La Pampa habrían reforestado 2,770 ha. evitando que 11,770t. o 785 “volquetadas” de sedimentos por año se desplacen hacia las principales redes hídricas. Mientras que a 20 años se proyecta el desplazamiento de 7,550t. de sedimentos o 503 “volquetadas”.
4. En un escenario de REFORESTACION CERCANA A LAS VÍAS a cinco años, los proyectos habrían priorizado la reforestación de 2,770 ha. evitando que 11,800t. o 786 “volquetadas” de sedimentos por año se desplacen hacia los principales ríos. Mientras en un lapso de 20 años, se evitaría el desplazamiento de 7,550t. o 599 “volquetadas” de sedimentos por año.

**Figura 2. Exportación de sedimentos anual por escenario en períodos de 5 y 20 años**



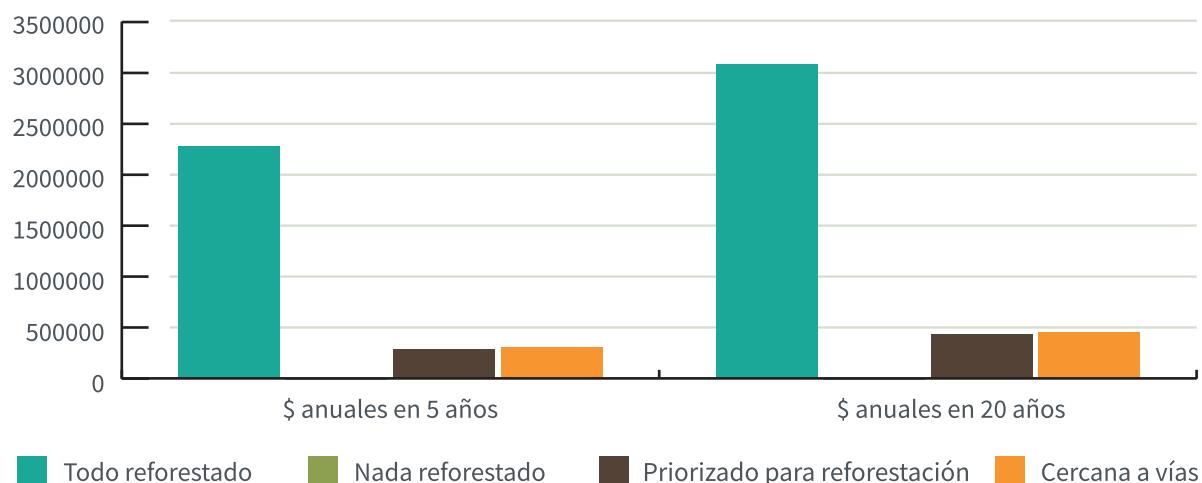
## Modelamiento de captura de carbono

Se cuantificó el equivalente de las reservas de carbono en el área de interés en valores monetarios conforme al reporte de precios que publica el Banco Mundial<sup>35</sup>, desde un dólar americano hasta 32 dólares americanos por tonelada de carbono retenido. El presente estudio estandarizó el precio por bonos de carbono al valor mínimo de 1 dólar americano.

1. En el escenario TODO REFORESTADO (15,837 ha.) a cinco años se habrían generado 2.2 millones de dólares por año; mientras en un lapso de 20 años, 3 millones de dólares por año en pagos por bonos de carbono.

2. En el escenario NADA REFORESTADO, los datos obtenidos se cuantificaron tomando como referencia el área total reforestada (15,837 ha.). En un lapso de cinco y 20 años, se obtuvo tan sólo 143 dólares por año, de ingresos por reservas de carbono.
3. En el escenario PRIORIZADO PARA REFORESTACIÓN (2771.8 ha.) a cinco años se habría generado 290 mil dólares por año; mientras en un lapso de 20 años, 436 mil dólares por año.
4. En el escenario CERCANO A VÍAS (2771.8 ha.) a cinco años se habría generado 307 mil dólares por año; mientras en un lapso de 20 años, 453 mil dólares por año.

**Figura 3. Captura de carbono anuales por escenario y en períodos de 5 y 20 años**



## Rendimiento estacional de agua (escorrentía superficial de agua)

El cambio de uso de suelo produce importantes transformaciones como el aumento de la escorrentía superficial. La remoción de cobertura vegetal natural sumada a un periodo de intensas precipitaciones

pueden ocasionar graves inundaciones, erosión del suelo, deslizamientos, transporte de contaminantes, en otros efectos<sup>36</sup>. A menor cobertura vegetal natural, menor evapotranspiración. El follaje no logra frenar las precipitaciones, con lo que aumenta la erosión de los suelos y la consecuente sedimentación en los cursos de agua<sup>37</sup>.

35 Ver [https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map\\_data](https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data)

36 Goudie. 1990; Weng. 2001

37 Henríquez et al., 2006

Estudios señalan a la reducción de la cobertura vegetal en una zona urbana, como la responsable de la disminución de la evapotranspiración de 40% a 25% y aumenta la tasa de escorrentía de 10% a 30%. Asimismo, disminuye el tiempo de retraso entre la iniciación de precipitaciones y escorrentía; y decrece la infiltración subterránea de 50% a 32%<sup>38</sup>.

Para el servicio ecosistémico de rendimiento estacional de agua se compararon los cuatro escenarios de reforestación considerados en este estudio a 5 y 20 años, conforme a periodos climáticos extremos de sequía y de lluvias (Tabla 1 y Figura 4).

1. En la comparación de los escenarios NADA REFORESTADO Y TODO REFORESTADO, en un periodo de 5 años, se observa que la escorrentía superficial en el área de estudio disminuye en 16%. Esto como consecuencia de los proyectos de reforestación que se desarrolleen en La Pam-

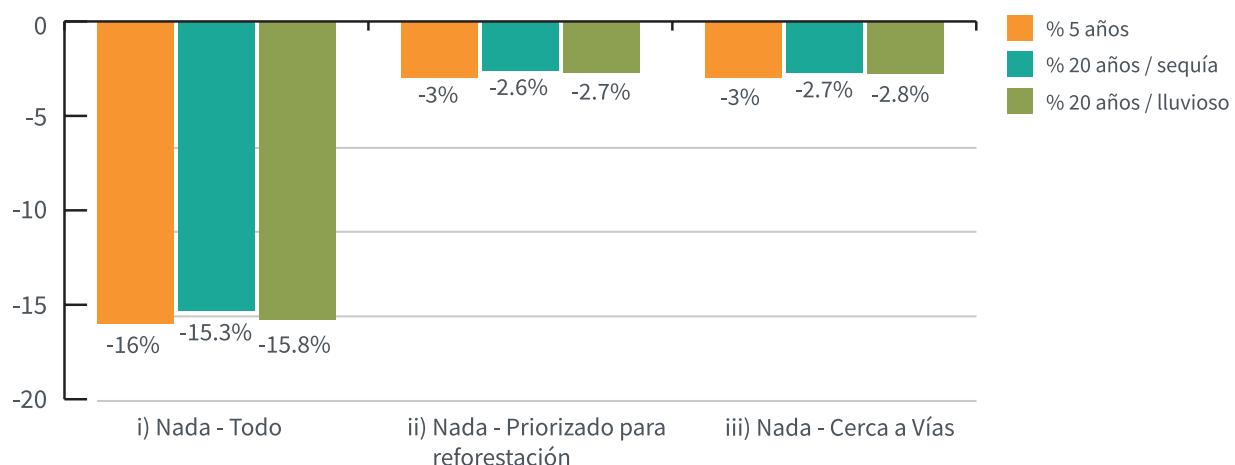
pa, donde la vegetación retiene la escorrentía superficial del agua. Asimismo, en un periodo de 20 años en los escenarios climáticos seco y lluvioso, la escorrentía superficial disminuye de 15.3% a 15.8% respectivamente.

2. En la comparación de los escenarios de NADA REFORESTADO y PRIORIZADO PARA REFORESTACIÓN, en un periodo de 5 años, muestra que la escorrentía superficial disminuye en un 2%, mientras que en el periodo de 20 años en los escenarios climáticos seco y lluvioso, la disminución de la escorrentía superficial es de 2.6% y 2.7% respectivamente.
3. En la comparación de los escenarios de NADA REFORESTADO y REFORESTADO CERCA A VÍAS, en 5 años la escorrentía disminuye 3% y en 20 años en ambos escenarios climáticos (seco y lluvioso), la disminución es de 2.7% y 2.8%, respectivamente.

**Tabla 1. Comparación de estrategias de reforestación y su impacto en la escorrentía superficial de agua en 5 y 20 años (escenario climático seco y lluvioso).**

Escorrentía Superficial La Pampa			
Comparación de estrategias de reforestación de NADA REFORESTADO con:	5 años	20 años / seco	20 años / lluvioso
Todo Reforestado	-16.46%	-15.33%	-15.77%
Priorizado para reforestación	-2.87%	-2.64%	-2.72%
Reforestación cercano a vías	-3.02%	-2.71%	-2.78%

**Figura 4. Disminución de la escorrentía superficial en el sector La Pampa en cada escenario y en períodos de 5 y 20 años, en comparación al escenario sin restauración.**



38 Hough, 1984

Finalmente, en la figura 3 se muestra la disminución de la escorrentía superficial de agua comparando ninguna estrategia de reforestación con escenarios de reforestación de TODO REFORESTADO, PRIORIZADO PARA REFORESTACIÓN y REFORESTACIÓN CERCANA A VÍAS, dentro de 5 y 20 años (escenarios climáticos seco y lluvioso).

Todos los resultados, mapas y modelamientos se encuentran a disposición de los interesados en el Visualizador del Proyecto PRO-Agua.



La vegetación es un factor ambiental clave en la retención de la escorrentía superficial en los ecosistemas.

## Conclusiones

A partir de los 4 escenarios de reforestación propuestos fue posible proyectar las mejoras significativas en los servicios ecosistémicos de retención de sedimentos, captura de carbono y escorrentía superficial. Los beneficios no dependen mucho del escenario climático; los beneficios de la restauración son semejantes en cualquier clima.

Para el servicio ecosistémico de exportación de sedimentos, se determinó que es posible evitar que grandes cantidades de sedimentos lleguen y colmaten los cauces de los ríos. Asimismo, se evita el cambio de los cauces e inundaciones recurrentes. Finalmente, se tendría acceso a un servicio de agua potable de calidad, evitando el uso excesivo de insumos químicos para su tratamiento.

Con el modelamiento de captura de carbono, se identificó la oportunidad de obtener beneficios económicos de más de 3 millones de dólares anuales por la venta de bonos, para la implementación de proyectos con enfoque de desarrollo sostenible en beneficio de las poblaciones en torno al sector La Pampa. Con la captura de carbono, además, se contribuye a mitigar los efectos del cambio climático producidos principalmente por los gases de efecto invernadero.

De otra parte, las áreas reforestadas permitirían el flujo de fauna y la conectividad biológica en el ecosistema.

Finalmente, la vegetación es un factor ambiental clave en la retención de la escorrentía superficial en los ecosistemas. En los bosques tropicales, la conversión forestal en otros usos de suelo incrementa la escorrentía superficial al disminuir la evapotranspiración del ecosistema. La actividad minera convirtió a La Pampa en un paisaje sin cobertura boscosa, donde la escorrentía superficial por precipitaciones es extremadamente alta. Los efectos de una alta escorrentía; además, incrementa los riesgos por deslizamientos. Si bien reforestar toda La Pampa es más complicado debido a su extensión superficial, los modelos muestran que el desarrollo de proyectos de reforestación cercano a vías de acceso, como la carretera interoceánica, además de ser menos costoso, disminuye la escorrentía ligeramente por encima de los resultados del escenario de reforestación optimizada.

39 <http://viz.naturalcapitalproject.org/pro-agua/>

## Capítulo 7

# Visualizador del Proyecto PRO-Agua: La ciencia al alcance de todos

### Marcelo Guevara Nogales

Investigador, Experto en Ordenamiento Territorial y Conservación para Latinoamérica, Natural Capital Project / Stanford University

### Marta Torres Cabrera

Coordinadora de Difusión y Comunicación, Centro de Innovación Científica Amazónica

### Anna Fredriksson Häägg

Estudiante de Maestría Department of Science and Technology, Linköping University

### Charlotte Weil

Científica de Datos, Natural Capital Project / Stanford University

Las investigaciones desarrolladas como parte de la iniciativa PRO-Agua han producido gran cantidad de datos e información para la toma de decisiones en beneficio del ámbito trinacional. El Visualizador PRO-Agua representa el reto que asume el proyecto de poner a disposición de los interesados el análisis y los resultados de estos estudios, contenidos y conceptos, en algunas ocasiones complejos para el común de las personas; pero sumamente útiles para elevar la comprensión de la importancia del uso adecuado del territorio y sus recursos.

El Visualizador PRO-Agua es una plataforma digital, que integra los datos generados en el Proyecto y los comparte de una manera fácil y amigable con tomadores de decisión, funcionarios y público en general, a través de una serie de mapas, imágenes satelitales y fotografías, que facilitan la comprensión de los hallazgos del proyecto sobre el área de estudio. En resumen, el visualizador traduce datos complejos a imágenes de fácil comprensión, poniendo a disposición de los ciudadanos el conocimiento científico.

## Objetivos

El proyecto PRO-Agua Proyecto promueve un desarrollo sostenible para el sur-oeste amazónico, basado en la toma de decisiones informada y oportuna. Por ello busca:

Demostrar con claridad los beneficios de las áreas naturales para la salud y el bienestar de sus poblaciones en vías de crecimiento.

Generar un medio de comunicación de fácil acceso, que permita a través de un lenguaje amigable comunicar los resultados del proyecto PRO-Agua.

Facilitar a los tomadores de decisión el acceso a información con sustento científico sobre ordenamiento territorial y planificación, para promover un uso ordenado de los recursos y planificación del desarrollo sostenible en base a la evidencia.

Facilitar el acceso a funcionarios y público interesado la base de datos espaciales georeferen-



El visualizador traduce datos complejos a imágenes de fácil comprensión, poniendo a disposición de los ciudadanos el conocimiento científico.

ciados generados por el proyecto PRO-Agua, en formatos de fácil descarga, para promover la actualización constante del sistema y potenciar la utilidad de los datos en otras aplicaciones consideradas de interés por el usuario y para la comunidad.

## Presentación de la herramienta

### Implementación

El visualizador es un portal web generado especialmente para el proyecto Pro-Agua. Utiliza las aplicaciones plug-ins de JavaScript, incluidos C3.js para los gráficos y Leaflet para los mapas. Las fichas de información para generar los tilesets de Rasters fueron hechas manualmente usando GDAL, y alojadas en GitHub. Además, se usa la aplicación de Google Earth Engine en áreas específicas para mostrar, por ejemplo, la expansión histórica de la minería.

El visualizador PRO-Agua está organizado a partir del

Difundir con el público interesado, un resumen interactivo de los diferentes diagnósticos y resultados generados, que le facilite al espectador analizar posibilidades y opciones de ordenamiento territorial según los escenarios propuestos.

eje principal de estudio del proyecto y organizado en 4 temas principales, a los que el público interesado puede acceder desde la página principal:

Diagnóstico de riesgos hídricos, que busca responder a la afectación del desarrollo a los recursos hídricos en las ciudades.

Diagnóstico de riesgo epidemiológico, que analiza el impacto del desarrollo al hábitat de los zancudos portadores del dengue<sup>40</sup>.

Diagnóstico de riesgo de inundaciones, que estudia el rol del capital natural en la reducción de los picos de inundación y los riesgos de inundación para las comunidades.

Restauración en áreas mineras, que identifica dónde se puede enfocar la restauración para maximizar los servicios de los ecosistemas.

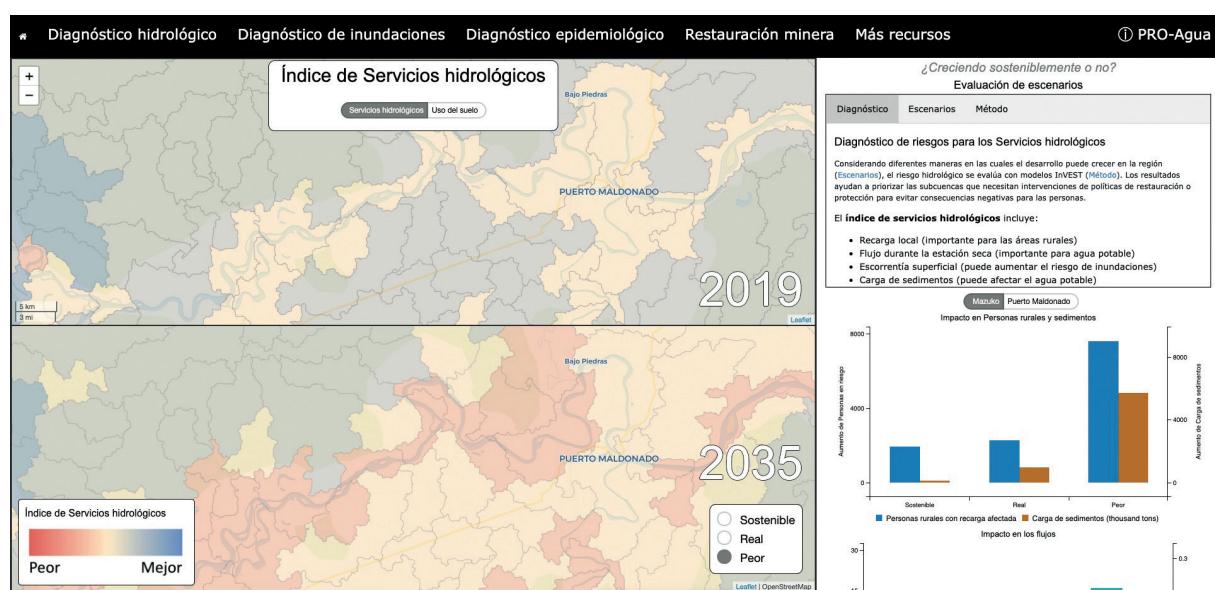


40 El Proyecto PRO-Aqua ha desarrollado un importante estudio de riesgo epidemiológico sobre dengue, cuyos resultados se encuentran disponibles en el Visualizador para su revisión y análisis.

Para cada uno de los diagnósticos y áreas de interés, los resultados se resumen en un panel de control interactivo, en el que se compara la situación actual (mapa superior, datos sobre el uso de la tierra para 2019), con los escenarios futuros (mapa inferior, en el que se muestran los escenarios teóricos de cambio desarrollados para 2035). El usuario puede alternar entre los resultados del diagnóstico de riesgo y los datos de uso de la tierra, que son un aporte clave

para todos los modelos, y el principal aporte de cambio entre los escenarios.

Junto a los mapas, el usuario puede encontrar más información sobre el contexto y la metodología, así como también gráficos que comparan las métricas e indicadores de los servicios de los ecosistemas para los escenarios futuros.



## Actores del Proyecto PRO-Agua y usuarios de la información generada

El visualizador del proyecto PRO-Agua, busca llevar información a un público no científico, que por las labores o actividades que desempeñan requieren de la información procesada para tomar decisiones o promover acciones basadas en ciencia. Es así como identificamos las siguientes audiencias:

- Tomadores de decisión, autoridades locales, regionales y nacionales.
- Funcionarios y especialistas de los diferentes niveles de gobierno, entidades que promueven el desarrollo.
- Sociedad civil que realiza labores de vigilancia ciudadana, emisión de alertas.
- Instituciones a cargo de la salud pública
- Universidades y centros de investigación.

## Metodología y Estructura del Visualizador

### Diseño

El proyecto PRO-Agua siguió una serie de pasos que reunieron el aporte y trabajo colaborativo con el grupo núcleo, cuyas instituciones miembros son los puntos focales relacionales en la región. Este grupo está conformado por CINCIA, The Natural Capital Project / Stanford University y Herencia, con quienes se definió el alcance de la investigación, participaron en el análisis, metodología y elaboración de productos. Asimismo, se contó con el aporte de un selecto equipo de colaboradores, quienes compartieron objetivos participando en la búsqueda de datos y en el análisis; así como en la definición de objetivos y vías de impacto. Finalmente, el proyecto cuenta con la participación de un grupo importante de usuarios, quienes aportaron en temas específicos, en la definición de necesidades, oportunidades políticas, entre otras actividades; y que son quienes pondrán en práctica la información y productos del proyecto.



Funcionarios y expertos locales del territorio en estudio participan en el Taller participativo Generación de Escenarios (14 de diciembre 2018). Junto con ellos se identificaron los temas de interés y priorizados en el desarrollo del visualizador.

Asimismo, se contó con el aporte de un selecto equipo de colaboradores, quienes compartieron objetivos participando en la búsqueda de datos y en el análisis; así como en la definición de objetivos y vías de impacto. Finalmente, el proyecto cuenta con la participación de un grupo importante de usuarios, quienes aportaron en temas específicos, en la definición de necesidades, oportunidades políticas, entre otras actividades; y que son quienes pondrán en práctica la información y productos del proyecto.

El diseño del visualizador tuvo los siguientes pasos:

1. Colección de información, a través de una encuesta a los funcionarios y expertos en talleres participativos.
2. Recopilación de datos en coordinación con funcionarios y especialistas locales, logrando implementar una base de datos que alimenta todo el sistema.
3. Retroalimentación, verificando y validando información, con los actores locales y especialistas para ser incorporada al visualizador.
4. Procesamiento de datos por expertos temáticos, tarea a cargo de los expertos del equipo del The Natural Capital Project.
5. Validación final del visualizador.

## Conclusiones

El visualizador PRO-Agua facilita la comunicación efectiva de los resultados del proyecto a los actores interesados, grupos de colaboradores y principales usuarios, para su análisis y aplicación. Herramientas como ésta permiten transformar datos y resultados basados en métodos científicos, relativamente complejos para el común de los ciudadanos, en información visual de fácil comprensión.

Permite, además, una comunicación fluida con funcionarios de Estado y tomadores de decisión según las áreas temáticas que presenta. La capacidad de entendimiento del usuario sobre temas complejos aumenta positivamente, facilitando la reflexión y el debate sobre el “qué hacer y por qué hacer” en un determinado territorio.

Las aplicaciones interactivas incorporadas en el visualizador, han facilitado que colectivos de actores no especialistas en geografía o planificación espacial o teledetección, lo usen positivamente, permitiéndoles reflexionar sobre la importancia del análisis del territorio y las implicancias en su uso.

Finalmente, el visualizador facilita las acciones de vigilancia ciudadana, sobre las propuestas territoriales de política pública o iniciativas de Estado al tener y comprender con mayor claridad las implicaciones de estas medidas, fomentando de esta forma una participación ciudadana informada, en base a la evidencia.

Para ingresar al visualizador del proyecto use : <http://viz.naturalcapitalproject.stanford.edu/pro-agua/>

## Experiencia de uso

### Distrito de Iberia, Perú 2 de julio 2019

**Actor:** Mesa de Concertación de Lucha Contra la Pobreza y seguimiento de los acuerdos de gobernabilidad.

**Beneficio:** El visualizador facilita explicar a los participantes sobre los efectos de tomar malas decisiones sobre el territorio y la importancia de hacer seguimiento conjunto sobre los acuerdos de gobernabilidad firmados por las actuales autoridades.



### Puerto Maldonado, Perú 14 de agosto 2019

**Actor:** Funcionarios del Servicio Nacional Forestal – SERFOR dependencia del Ministerio de Agricultura del Perú.

**Beneficio:** los participantes utilizan las imágenes del visualizador para mostrar los futuros escenarios sobre reforestación en zonas afectadas por actividad minera en el departamento de Madre de Dios.

### Puerto Maldonado, Perú 6 de noviembre 2019

**Actor:** Centro Nacional de Planeamiento Estratégico - Perú.

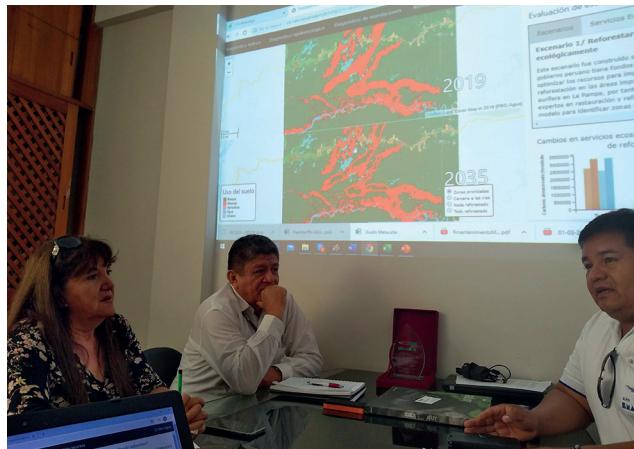
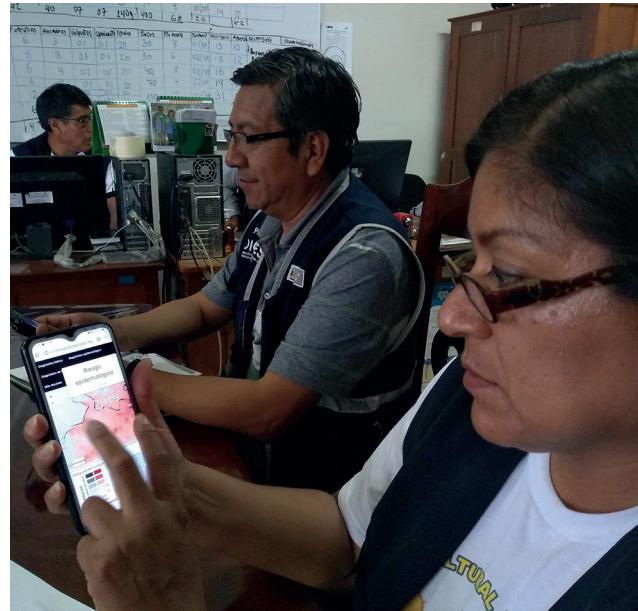
**Beneficio:** Los funcionarios conocen el potencial de la información existente sobre uso del territorio, recursos hídricos y demás herramientas del visualizador, en el proceso de construcción del Plan de Desarrollo Concertado de Madre de Dios.



## Puerto Maldonado, Perú 12 de noviembre 2019

**Actor:** Funcionarios de la Dirección de Calidad Ambiental de la Dirección Regional de Salud de Madre de Dios.

**Beneficio:** Los datos ingresados al sistema permiten identificar cómo el cambio de uso de suelo para asentamientos humanos está asociado al incremento de condiciones propicias para el desarrollo de *Aedes aegypti*. En la foto, personal de la Dirección de Calidad Ambiental de la Dirección Regional de Salud conoce la aplicación web y móvil del visualizador, potencialidades y trabajos futuros.



## Puerto Maldonado 2 de marzo 2020

**Actor:** Grupo Impulsor del MERSE Señor de la Cumbre

**Beneficio:** Los funcionarios miembros del Grupo impulsor del MERSE Señor de la Cumbre, usan el visualizador para reflexionar sobre las posibles inversiones en reforestación que pueden disminuir la movilización de sedimentos, que encarecen el proceso de tratamiento de agua potable para Puerto Maldonado.

# Referencias

- Alho, C.J., R.E. Reis, and P.P. Aquino (2015). *Amazonian freshwater habitats experiencing environmental and socioeconomic threats affecting subsistence fisheries*. Ambio 44(5): 412–425. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0610-z>
- Barichivich, J. (19 de septiembre de 2018). Citado en *El Amazonas se inunda cinco veces más que en el siglo XX*. La Razon. Recuperado de: <https://www.larazon.es/sociedad/medio-ambiente/el-amazonas-se-inunda-cinco-veces-mas-que-en-elsiglo-xx-NB19902870>
- Buffon, F. T. et al. (2015). *Enchente de 2015 no rio Acre: aquisição de dados e monitoramento*. Disponível em <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16557> . Acessado em 20 de setembro de 2016
- Da Silva R.G. y Costa Gurgel, A. (2019). *Cambios climáticos y eventos extremos en la Amazonía: la inundación del 2015 en el Estado de Acre, Brasil*. Espacio Abierto Cuaderno Venezolano de Sociología Vol.28 No.2 (abril-junio)
- Dethier, E.N., S.L. Sartain, D.A. Lutz (2019). *Heightened levels and seasonal inversion of riverine suspended sediment in a tropical biodiversity hot spot due to artisanal gold mining*. Proceedings of the National Academy of Sciences 116(48): 23936-23941. DOI: 10.1073/pnas.1907842116.
- Goudie, A. (1990). *The human impact on the natural environment*. Oxford Blackwell.
- Heredia, L. F. (2014). *Inundaciones en la Amazonía: ¿desastre natural? Diálogos: Textos breves sobre desarrollo rural solicitados por el IPDRS*. Recuperado de: <https://www.sudamericanarural.org/images/dialogos/archivos/Dilogos%2020127.pdf>
- Hernández, C.; Azócar, G.; Aguayo, M. (2006). *Cambio de uso de suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile*. Revista de Geografía Norte Grande, 2006, N.36, p. 61-74.
- Hough, M. (1984). *City form and natural processes*. London: Croom Helm Publishers.
- Vogl, A.L., B.P. Bryant, J. Hunink, S. Wolny, P. Droogers (2016). *Valuing investments in sustainable land management in the Upper Tana River basin, Kenya*. Journal of Environmental Management 195(1): 78-91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.013>.
- Weng, Q. (2001). *Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS*. Environmental Management, 2001, N 28, Vol. 6, p. 737-748.

## Acerca de los investigadores



**Marcelo Guevara Nogales**  
Investigador, NatCap / Stanford University

Científico en Bases de Datos Geográficos, Ordenamiento Territorial y Gestión Ambiental, cuenta con más de 15 años de experiencia como Gerente en Proyectos de Conservación del Ambiente en América Latina y el Caribe. Posee amplia experiencia en proyectos de manejo de recursos naturales. Ingeniero Geógrafo de la Escuela Politécnica en Ecuador (ESPE), Máster en Gestión Ambiental con Cursos de Postgrado en el Instituto de Investigaciones Espaciales de Brasil, Universidad de Estocolmo en Suecia, Agencia Espacial Francesa y Agencia Espacial Europea en Italia. Ha escrito varias publicaciones sobre SIG, Sensores Remotos, Conservación del Ambiente y Recursos Naturales.



**Marta Torres Cabrera**  
Coordinadora de Difusión y Comunicaciones del Centro de Innovación Científica  
Amazónica - CINCIA

Master Internacional en Desarrollo Rural / Local de la Universidad Politécnica de Madrid, especialista en Educación y Comunicación para la conservación de recursos naturales mediante la aplicación de estrategias de Marketing Social por la Universidad de Guadalajara. Con experiencia en gestión participativa en educación, Áreas Naturales Protegidas y promoción del desarrollo sostenible trabajando con asociaciones de productores y comunidades nativas; desarrollo de técnicas participativas en extensión rural y elaboración de herramientas de divulgación y material educativo.



**Adrian L. Vogl**  
Científica principal, Natural Capital Project / Stanford University

Directora de la iniciativa de agua dulce para Natural Capital Project. Tiene amplia experiencia en servicios ecosistémicos y soluciones basadas en la naturaleza para la seguridad hídrica en América Latina, el Himalaya, los EE.UU. y África. Desarrolló herramientas de apoyo para la planificación del uso de la tierra que incorporen ecosistemas de agua dulce y subterránea, desarrollo de la tierra y planificación de la conservación en Texas (EE.UU.). Ph.D. en recursos acuáticos de la Universidad Estatal de Texas-San Marcos y B.A en antropología cultural de la Universidad de Arizona.



**Charlotte Weil**  
Científica de Datos, Natural Capital Project / Stanford University

Científico de datos, entrenador líder SIG para el Visualizador del Proyecto PRO-Agua. Aplica la ciencia de datos para la gestión de ecosistemas, construyendo herramientas de apoyo para la toma de decisiones científicas sostenibles en servicios ecosistémicos. Su trabajo abarca la escala global, modelando la futura suficiencia alimentaria del mundo, hasta esfuerzos locales como la creación de planes de desarrollo sostenibles. Recibió su maestría del Instituto Suizo de Tecnología de Lausanne.



## Guillermo Rioja

Antropólogo social / Herencia

Antropólogo social por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Maestría en Educación Superior. Director nacional para Conservation International en Bolivia. Docente investigador de la Carrera de Arqueología y Antropología de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. Docente y Director de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad Amazónica de Pando, Cobija, Pando, Bolivia. Secretario de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente del Gobierno Departamental de Pando, Bolivia. Coordinador en Pando de la Plataforma Interinstitucional ECOMINGA Amazónica. Investigador del Proyecto Prodigy de la Universidad de Landau, Alemania.



## Iván de Oliveira

Especialista SIG / Herencia

Graduado en Ingeniería Forestal de la Universidad Federal de Acre. Ha trabajado como investigador socioeconómico usando herramientas SIG e imágenes satelitales en temas de gestión de riesgo de inundaciones en el área de frontera entre Perú, Brasil y Bolivia.



## Jorge A. Caballero Espejo

Especialista SIG / CINCIA.

Biólogo tropical interesado en los impactos ecológicos del cambio del uso de la tierra. Su investigación incluye el uso de sistemas de información geográfica, modelos espacialmente explícitos, análisis espaciotemporal de imágenes satelitales de moderada y alta resolución; así como de drones para comprender los patrones, las causas y consecuencias del cambio del uso de la tierra en las regiones amazónicas.



## Jorge M. Pillaca Ortiz

Especialista SIG / CINCIA

Ingeniero forestal y medio ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios – UNAMAD. Candidato a magíster en Cambio Climático y Desarrollo Sostenible por la Universidad San Antonio Abad del Cusco. Trabaja con sistemas de información geográfica en análisis territorial y planificación de restauración de áreas afectadas por minería. Es miembro del equipo técnico del Centro de Innovación Científica Amazónica – CINCIA y del proyecto PRO-Agua.



### Rafael Schmitt

Geomorfólogo, Hidrólogo, Natural Capital Project / Stanford University

Su investigación se centra en el modelamiento a escala de cuenca de los procesos hidrológicos y de transporte de sedimentos y su integración en los procesos de toma de decisiones. Trabaja en el diseño de intervenciones en las cuencas para obtener mejores resultados en materia de energía hidroeléctrica en el Himalaya; así como en la cuantificación del valor de la cubierta forestal natural y en la planificación sostenible para la reducción del riesgo de inundaciones en Myanmar. Licenciado en Ciencias e Ingeniería Ambiental por la ETH de Zurich y Ph.D. Politécnico de Milán. Cuenta con un Postdoctorado en el Centro de Diseño Ambiental de UC Berkeley.



### Sydney Moss

Investigadora, Natural Capital Project / Stanford University

Experiencia trabajando en la intersección de la ciencia, la sociedad, las políticas públicas y la planificación en las Américas. Ella investiga los servicios de los ecosistemas para la seguridad hídrica, la conservación de la biodiversidad y la planificación e investigación sustentable impulsada por la comunidad.



## CENTRO DE INNOVACIÓN CIENTÍFICA AMAZÓNICA

El Centro de Innovación Científica Amazónica – CINCIA tiene como misión fortalecer la capacidad científica en la región Amazónica para contrarrestar las crecientes amenazas ambientales y apoyar la gestión sostenible, mediante la incidencia en la toma de decisiones, la difusión del conocimiento científico y la innovación tecnológica para el desarrollo de propuestas y prácticas sostenibles.

Bajo el lema **CIENCIA PARA LA GENTE**, CINCIA trabaja de la mano con tomadores de decisión de los diferentes niveles de gobierno, academia y sociedad civil organizada, promoviendo soluciones innovadoras, científicamente comprobadas para coadyuvar en la solución de los problemas ambientales y mejorar la gestión del territorio.

Con el apoyo de:

