

AGUAS AMAZÓNICAS

AÑO 5 – EDICIÓN ESPECIAL
ENERO – MARZO 2018



10

Investigaciones

sobre la cuenca hidrográfica
más grande del mundo





AGUAS AMAZÓNICAS

10 Investigaciones sobre la cuenca hidrográfica
más grande del mundo

1ª Edición
Editado por la OTCA
Brasília, 2018

La Edición especial del Boletín Aguas Amazónicas es un aporte al conocimiento de la cuenca Amazónica desde la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica y del Proyecto OTCA/ONU Medio Ambiente/GEF Amazonas- Recursos hídricos y cambio climático, con ocasión del 8° Foro Mundial del Agua, Brasilia, 2018.



Secretaría Permanente - Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA/SP - Brasilia)

Secretaría General

María Jacqueline Mendoza Ortega

Director Ejecutivo

César Augusto De las Casas Díaz

Director Administrativo

Antonio Matamoros

Coordinadora de Medio Ambiente

Theresa Castillion-Elder

Coordinadora de Asuntos Indígenas

Sharon Austin

Coordinador de Salud

Luis Francisco Sánchez Otero

Coordinador de Ciencia, Tecnología y Educación

Roberto Sánchez Saravia

Coordinador de Cambio Climático y Desarrollo Sostenible

Roberto Sánchez Saravia (e.)

Agradecimientos especiales a Robby Ramlakhan, ex-Secretario General de la OTCA y a Mauricio Dorfler, ex-Director Ejecutivo de la OTCA.

Dirección OTCA:

SHIS QI 05, Conjunto 16, Casa 21,
Lago Sul, CEP 71615-160
Brasilia D.F. Brasil Tel. +55613248-4119
<http://www.otca.info/>

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Washington D.C.

Gerente de Programas:

Isabelle Van der Beck

Proyecto GEF Amazonas - Recursos Hídricos y Cambio Climático (OTCA, Brasilia)

Coordinadora Regional:

María Apostolova

Asesor Científico:

Norbert Fenzl

Especialista en Comunicaciones y elaboración de textos:

M. Eugenia Corvalán

Oficial Financiero y Administrativo:

Nilson Nogueira

Asistente Administrativa:

Marli Coriolano

Más información:

<http://gefamazonas.otca.info>

Equipo de consultores y entidades contratadas, ejecutores de las investigaciones realizadas bajo la dirección del Proyecto GEF Amazonas:

- » **Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), Dra. Fanny Friend, área:** Creación del Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática de la cuenca Amazónica.
- » **Servicios Hidrogeológicos Integrales (SHI) Ing. María Victoria Vélez, área:** Sistemas acuíferos de Leticia y Estudio comparado Leticia-Tabatinga.
- » **Dr. Naziano Filizola, área:** Caracterización geoquímica de la sedimentación en los ríos Madeira y Solimões
- » **Ing. Jorge Benites, área:** Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT).
- » **Dra. Patrícia Chaves de Oliveira, área:** Bosques inundables en Brasil y Perú
- » **Dra. Nirvia Rávena, área:** Gobernanza y Gestión del Riesgo en la sub cuenca del río Purús
- » **Dra. Elsa Mendoza, área:** Región MAP
- » **Dr. Maamar El Robrini, área:** Aumento del nivel del mar en el delta Amazónico
- » **Dr. Yerko Montero, área:** Cooperación institucional en la cuenca Amazónica
- » **Dra. Solange Teles, área:** Marco legal
- » **Dr. Cleber Alho, área:** Ecosistemas acuáticos
- » **Dra. Fernanda Nascimento, área:** Contaminación de las Aguas Amazónicas

La Agencia Nacional de Aguas de Brasil (ANA) contrató y supervisó los servicios del Consorcio TECHNE, Engenheiros Consultores y Projotec, para el estudio del acuífero de Tabatinga.

Dr. Fabricio Cardoso, Coordinador de Aguas Subterráneas (ANA)

Créditos fotográficos

Archivos Sergio Amaral/OTCA y Proyecto GEF Amazonas
Rui Faquini, Banco de Imagens, ANA-Brasil
Marcus Fuckner, Banco de Imagens, ANA-Brasil, Shutterstock

© OTCA 2018

La reproducción es permitida citando la fuente

Ficha catalográfica

A282 Aguas Amazónicas: 10 investigaciones sobre la cuenca hidrográfica más grande del mundo / Organização do Tratado de Cooperação Amazônica.-- Brasília, DF, 2017.
108p. : color.
ISBN: 978-85-61873-11-0
1. Ecosistemas - Região Amazônica. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Clima, adaptação. 4. Hidrologia. I. Organização do Tratado de Cooperação Amazônica.
CDD: 574.5(811)

Proyecto Gráfico, Diseño y Diagramación:

DUO DESIGN, Brasilia

Impreso por:

Athalaia Gráfica y Editora

Publicado con el apoyo de:

ONU
medio ambiente

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente



Global Environment Facility o Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)

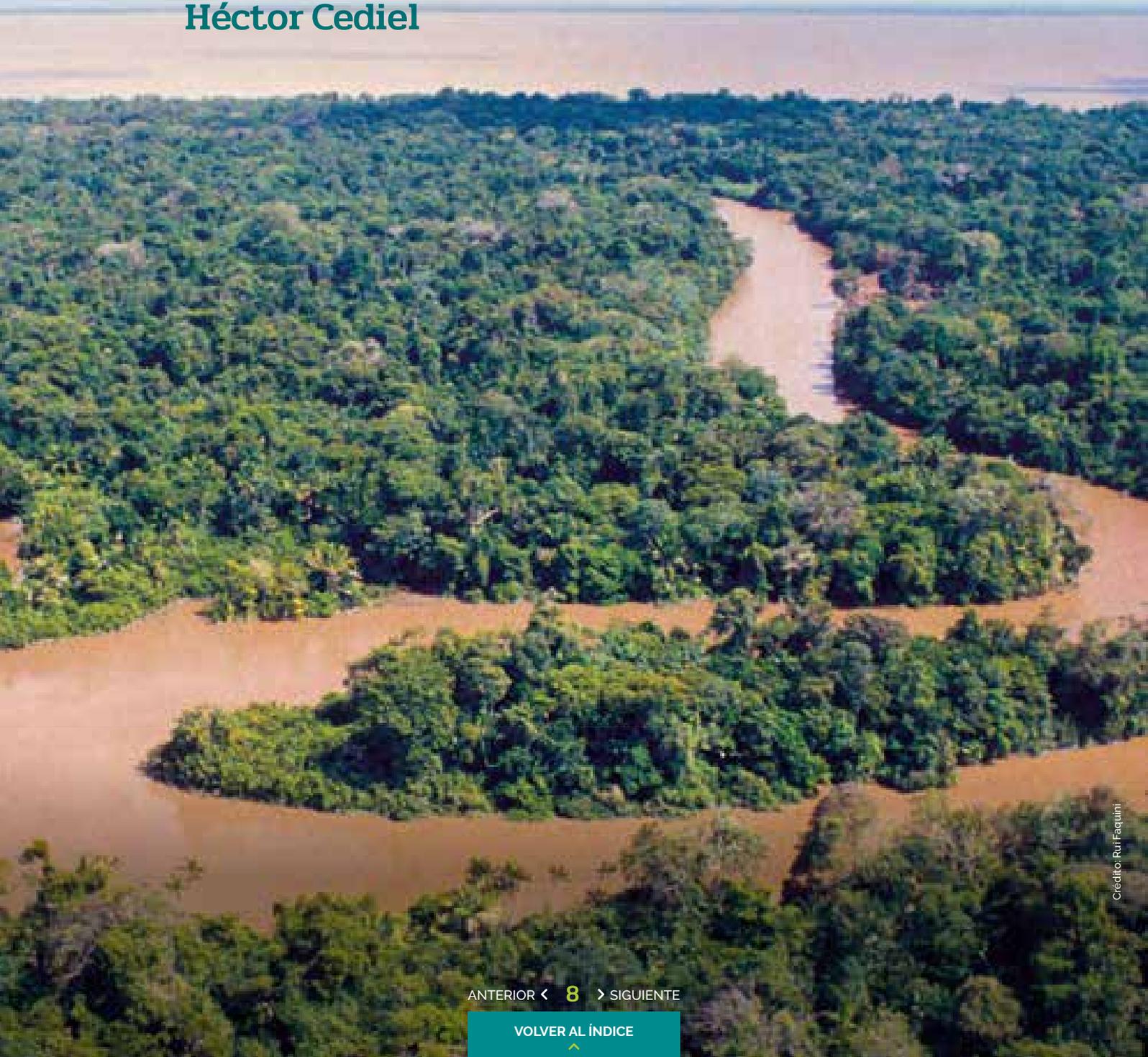
Índice

Presentación	p.9
Conozca el Proyecto GEF Amazonas - Recursos Hídricos y Cambio Climático	p.13
El Programa de Acciones Estratégicas (PAE), el Logro más importante del Proyecto GEF Amazonas – Recursos Hídricos y Cambio Climático	p.19
El Proyecto frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030	p.19

- ▶ **Estudio N° .1_** **Mapeando áreas de riesgo por el cambio climático:** Creado el primer Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática de la Cuenca Amazónica **p.23**
- ▶ **Estudio N° .2_** **Agua subterránea para suministro urbano:** Evaluación de los Sistemas Acuíferos de la región de Leticia-Colombia **p.33**
- ▶ **Estudio N° .3_** **Ciudades siamesas comparten un mismo acuífero:** Caracterización hidrogeológica conjunta del Sistema Acuífero Transfronterizo Tabatinga – Leticia **p.41**
- ▶ **Estudio N° .4_** **Cooperación transfronteriza para la gestión sustentable del agua:** Evaluación de los Acuíferos de las cuencas sedimentarias de la Provincia Hidrogeológica Amazonas (PHA) en el Brasil (escala 1:1.000.000) y Ciudades Pilotos (escala 1:50.000): Volumen IX: Ciudad Piloto: Tabatinga, Amazonas **p.53**
- ▶ **Estudio N° .5_** **¿Qué arrastran las aguas hasta el fondo de los ríos?** Conozca la Caracterización geoquímica de la carga de sedimentos de los ríos Madeira y Solimões **p.67**
- ▶ **Estudio N° .6_** **Reconocimiento colectivo de los problemas para:** La formulación del Análisis Diagnóstico Transfronterizo Regional (ADT) **p.75**
- ▶ **Estudio N° .7_** **Huertas verticales y tanques para peces, soluciones innovadoras para:** El Manejo sostenible de los bosques inundables transfronterizos en la cuenca Amazónica **p.85**
- ▶ **Estudio N° .8_** **Más de 1000 fórmulas matemáticas en el nuevo Modelo de Gobernanza del Riesgo para facilitar:** La Adaptación al cambio climático y gestión del riesgo en la subcuenca del río Purús **p.91**
- ▶ **Estudio N° .9_** **Comunidades en acción frente al clima:** Adaptación al cambio climático en la región transfronteriza MAP **p.99**
- ▶ **Estudio N° .10_** **Isleños asumen nuevo desafío:** La Adaptación a la subida del nivel del mar en el delta del río Amazonas **p.105**

“...¡Oh río Amazonas!
¡amado río! Río anaconda río
árbol río océano río mar río
cielo ¡Río Amazonas! ”

Héctor Cediel



Presentación

Me complace presentar al público en general, cada vez más interesado en buscar nuevas formas de relacionarse con los ríos, a las comunidades científicas de las universidades, organismos públicos y privados encargados del Agua y Medio Ambiente, los resultados de las investigaciones realizadas por la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) por medio del Proyecto GEF Amazonas- Recursos Hídricos y Cambio Climático.

Es un gran logro para nuestra región haber generado en cinco años (2012-2016) de trabajo, nuevos conocimientos técnicos y científicos sobre algunos aspectos de la vasta Cuenca Amazónica; lo cual, además, constituye un punto de partida para avanzar con una estrategia conjunta que atienda a corto y mediano plazo, los problemas críticos de la cuenca.

Los resultados de estas investigaciones son el producto del trabajo conjunto y permanente de los gobiernos amazónicos, con el objetivo de proponer soluciones tangibles a los desafíos que plantea la cuenca.

Cada una de las investigaciones involucra a grupos específicos de población, en diferentes puntos geográficos de la cuenca, procesos que han contado con los recursos y aportes de los gobiernos, la OTCA, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por su sigla en inglés) y la ONU Medio Ambiente, pero especialmente con la voluntad política de los países, los cuales reconocen que los recursos hídricos transfronterizos forman parte de los ecosistemas, la sociedad y son esenciales en todos los sectores de la actividad humana.

Estas investigaciones aportan soluciones concretas a los problemas críticos y prioritarios de la cuenca, que han sido identificados y evaluados por esta iniciativa regional intergubernamental.

El solo hecho de haber creado el primer Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática para la Cuenca Amazónica, nos permite visualizar la enorme complejidad de los desafíos que tienen los países y las entidades encargadas del agua en la región. Es una carta de navegación para detectar también nuevas oportunidades que destaca la necesidad de un trabajo permanente en la gestión integrada de los recursos más preciados de nuestra región.

Las investigaciones muestran también, el estado de las aguas subterráneas que comparten Leticia (Colombia) y Tabatinga (Brasil) y todo lo que se puede lograr para su mejor aprovechamiento; la carga de los sedimentos en un tramo del río, y por supuesto, las soluciones innovadoras ante los eventos hidroclimáticos extremos; nuevas formas de gestión de los recursos hídricos; los instrumentos que se pueden crear y compartir entre los países para adoptar medidas ante el cambio climático y el trabajo por realizar ante la subida del nivel del mar en el delta amazónico.

Estos son algunos de los logros más significativos que presentamos a continuación, y que se enmarcan en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, en particular el Objetivo 6: **Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos**, lo cual implica al menos siete metas específicas para el 2030, en las que todo el mundo tiene que hacer su parte: gobierno, sector

privado, personas como usted, amable lector y nosotros como institución.

Entre ellas, destacamos como metas alcanzables de aquí al 2030: *lograr el acceso universal y equitativo al agua potable*, y en particular el ODS 6.5, con la cual la OTCA está completamente comprometida, que es *"implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda"*.

De igual modo, el trabajo realizado ha permitido identificar y promover acciones de adaptación al cambio climático que está en línea con el Acuerdo de París, firmado en diciembre de 2016, dado que uno de sus objetivos es *"reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza"*. Este acuerdo forma parte de la Convención Marco de la ONU sobre el Cambio Climático.

Las investigaciones realizadas ponen de relieve la importancia de aumentar la capacidad institucional de nuestros países para manejar en forma integrada y sostenible, los recursos hídricos transfronterizos y así, mejorar el desarrollo socioeconómico de la región.

La OTCA viene divulgando a través de su página web y del Boletín *Aguas Amazónicas*, los avances de las investigaciones buscando fomentar la conciencia pública sobre la importancia de preservar y aprender a utilizar los recursos hídricos transfronterizos de la más grande cuenca hidrográfica del planeta.

Para los Países Miembros de la OTCA es motivo de especial complacencia haber participado de manera tan estrecha y coordinada en cada una de las investigaciones y proyectos pilotos, por lo que me es muy grato presentar esta edición especial de Aguas Amazónicas, una compilación del trabajo técnico y científico realizado en beneficio de la cuenca.

María Jacqueline Mendoza Ortega

Secretaria General
Organización del Tratado de
Cooperación Amazónica (OTCA)







Crédito: Shutterstock



Conozca el Proyecto GEF Amazonas - Recursos Hídricos y Cambio Climático

El Proyecto OTCA/ONU Medio Ambiente/GEF - Manejo Integrado y Sostenible de los Recursos Hídricos Transfronterizos de la Cuenca del río Amazonas, considerando la Variabilidad y el Cambio Climático, es una iniciativa regional exitosa que involucró a los 8 Países Miembros de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela.

Objetivo del Proyecto:

Fortalecer el marco institucional para la planificación y ejecución de actividades estratégicas consensuadas, de protección y gestión sostenible de los recursos hídricos de la Cuenca Amazónica, frente al cambio climático que experimenta la región.



Componentes del Proyecto GEF Amazonas

El Proyecto se desarrolló bajo tres componentes temáticos:

► COMPONENTE I. Entendiendo a la Sociedad Amazónica:

Con el objetivo de construir una visión compartida hacia el futuro que oriente el desarrollo de estrategias regionales para dar respuesta a los principales problemas y necesidades de la sociedad amazónica, el Proyecto GEF Amazonas realizó una amplia investigación cualitativa y cuantitativa, junto a los principales actores de la cuenca. Al mismo tiempo, se estudiaron los marcos legales e institucionales de los países, identificando necesidades de fortalecimiento y cooperación.

► COMPONENTE II. Comprendiendo la base de los recursos naturales:

Se efectuaron diversas investigaciones *in situ* que arrojaron resultados técnicos y científicos innovadores, entre ellos, la formulación del Análisis Diagnóstico Transfronterizo Regional (ADT) sobre la cuenca Amazónica y el Atlas de Vulnerabilidad Hidro-climática, lo cual se presenta en este libro.

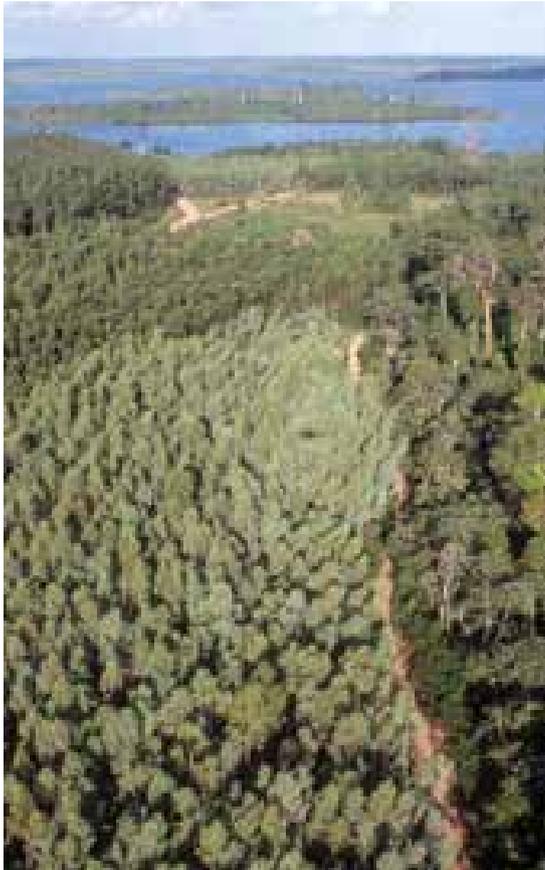
► COMPONENTE III. El Programa de Acciones Estratégicas (PAE):

Es el producto más importante obtenido por el Proyecto, por tratarse de una estrategia de actuación conjunta y consensuada por parte de los países, para desarrollar medidas ante las prácticas no sostenibles de manejo de los recursos hídricos y de adaptación al cambio climático, mediante proyectos piloto, utilizando los principios del Manejo Integrado de los Recursos Hídricos (MIRH) para satisfacer las demandas de la sociedad amazónica, en un contexto de sostenibilidad de los ecosistemas.

A través de un amplio proceso participativo regional, el Proyecto logró documentar las necesidades y percepciones de la sociedad amazónica para proponer mecanismos estratégicos de respuesta. Con tal fin, en cada país se realizó el **Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT)**. El ADT es un análisis técnico y científico que identifica, cuantifica y establece prioridades para los problemas relacionados con el agua que son de naturaleza transfronteriza. Al mismo tiempo, recopila e interpreta información científica sobre los impactos ambientales y las consecuencias socioeconómicas de cada problema. Finalmente, analiza las causas inmediatas, subyacentes y fundamentales de cada problema, para identificar prácti-

cas específicas, fuentes, lugares y sectores de la actividad humana, a partir de los cuales la degradación de los recursos hídricos y del medio ambiente surge o amenaza con surgir.

De ese modo, a nivel regional se consolidaron **los Problemas Transfronterizos Prioritarios**, que sustentan el **Programa de Acciones Estratégicas (PAE)**. El PAE es una estrategia consensuada y un instrumento orientador de la actuación de los países de la cuenca y de la cooperación regional, que establece estrategias y prioridades para la acción a nivel regional, y que apunta al desarrollo de políticas y normativas en un contexto de fortalecimiento institucional y de capacidades.



El Programa de Acciones Estratégicas (PAE), el logro más importante del Proyecto GEF Amazonas – Recursos Hídricos y Cambio Climático

El **Programa de Acciones Estratégicas (PAE)** para el Manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos de la cuenca Amazónica, considerando la variabilidad y el cambio climático, se basó en nuevo conocimiento técnico y científico adquirido mediante las investigaciones realizadas, en las medidas de respuesta probadas en los proyectos pilotos ejecutados y en los resultados de un amplio proceso de consulta regional. El Programa implica atender de manera regional los Problemas Transfronterizos Prioritarios y sus Causas Raíces. El PAE también apunta al fortalecimiento de las instituciones y la implementación de políticas y de inversiones para la cuenca.

Crédito: Rui Faquini

El PAE se estructuró bajo tres Líneas Estratégicas de Respuesta:

1. El fortalecimiento del Manejo Integrado de los Recursos Hídricos (MIRH) para aumentar las capacidades de las instituciones nacionales y de la OTCA, y alcanzar un MIRH a nivel regional.
2. La Adaptación a la Variabilidad y el Cambio Climático, para el monitoreo y pronóstico de fenómenos hidrometeorológicos, generando medidas de adaptación para las comunidades.
3. Gestión del Conocimiento, que abarca el Sistema Integrado de Información (SII), el fortalecimiento del conocimiento científico y el intercambio de actividades culturales regionales.

Con los resultados alcanzados por el Proyecto, el PAE fue validado técnicamente por los 8 Países Amazónicos en enero de 2016.

Principales productos obtenidos por el Proyecto en beneficio de la sociedad amazónica:

En cada **Componente del Proyecto** (Componente I. Entendiendo a la Sociedad Amazónica; Componente II. Comprendiendo la base de los recursos naturales y Componente III. El Programa de Acciones Estratégicas) se ejecutaron **Actividades Específicas**.

Estas actividades incluyeron siete (7) proyectos pilotos en puntos críticos de la cuenca, tres (3) investigaciones científicas, además de la creación de la plataforma tecnológica del Sistema Integrado de Información, la producción del primer Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática de la Cuenca Amazónica y, además, la implementación de proyectos pilotos nacionales en cinco países. Dichos productos permitieron formular el Programa de Acciones Estratégicas, (PAE), principal objetivo del Proyecto.

Tres productos obtenidos, esenciales para fomentar el Manejo Integrado y Sostenible de los Recursos Hídricos (MIRH) en la región:

- ▶ **Una Visión compartida de la cuenca Amazónica**, diseñada para comprender los problemas comunes y definir futuros escenarios de desarrollo para la región, considerando un MIRH para la Cuenca Amazónica.
- ▶ **Un Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT)** definido por los nueve Problemas Transfronterizos Prioritarios, relacionados con los recursos hídricos y la vulnerabilidad climática de la cuenca.
- ▶ **Un Programa de Acciones Estratégicas (PAE)** consensuado entre los Países Miembros de la OTCA.



Además, a través de un proceso participativo, con la implementación de proyectos pilotos, estudios, capacitaciones y talleres con más de 1.170 participantes, el Proyecto proporciona datos científicos para los tomadores de decisión, en áreas como ecosistemas acuáticos, carga de sedimentos y agua subterránea, fortaleciendo el diálogo regional y la capacidad institucional de la gestión integrada de recursos hídricos en la Amazonía, posicionando los principales temas transfronterizos en la agenda de la cooperación técnica regional.

Los principales eventos realizados incluyen 11 Talleres Nacionales, 8 Talleres Regionales y 7 Reuniones del Comité Directivo del Proyecto.

Asimismo, el Proyecto identificó áreas vulnerables y de riesgo frente al cambio climático, consolidando el primer **Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática de la cuenca Amazónica**, fortaleciendo la capacidad de adaptación y respuesta de los gobiernos locales frente a eventos extremos mediante: i) la implementación de modelos de gobernanza de riesgo, ii) sistema trinacional de alerta temprana en áreas de frontera, iii) políticas de reubicación de poblaciones vulnerables y iv) alternativas productivas en áreas inundadas, beneficiando a un total de 475 mil personas.

Adicionalmente, el Proyecto ha desarrollado un **Sistema Integrado de Información (SII)** de los recursos

hídricos transfronterizos de la cuenca Amazónica, que permitirá el intercambio de información sobre el Manejo Integrado de Recursos Hídricos (MIRH).

Cabe resaltar como elemento innovador, que el Proyecto fomentó el uso coordinado de las aguas superficiales y subterráneas en los centros urbanos de Leticia (Colombia) y Tabatinga (Brasil) ciudades que comparten un mismo acuífero, que a su vez representa un subsistema de la gran cuenca hidrogeológica del Amazonas.

Esta iniciativa abre perspectivas para una futura cooperación para el conocimiento, la protección y la gestión sostenible del que se estima es el mayor Sistema Acuífero del planeta, una riqueza y una reserva estratégica inestimable de agua.

Otro elemento innovador para destacar es que el Proyecto consiguió integrar la problemática del cambio climático con el manejo integrado de los recursos hídricos en la Cuenca Amazónica.

Financiamiento del Proyecto

Monto total del Proyecto: USD52.2 millones con aportes del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF por su sigla en inglés) por USD7 millones y la contribución de los países y otros donantes por USD45.2 millones.





El Proyecto GEF Amazonas – Recursos Hídricos y Cambio Climático avanzó en estos Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030



El Proyecto frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030

Con el aporte de una amplia variedad de actores, lo cual significó una participación sin precedente de la sociedad civil a nivel mundial y tras 8 años de negociaciones, en septiembre de 2015, los Estados Miembros de la ONU acordaron por consenso el documento: “Transformando nuestro mundo: La Agenda 2030, para el Desarrollo Sostenible” y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) junto con sus respectivas 169 metas específicas para erradicar la pobreza, combatir las desigualdades, promover la prosperidad y proteger el medio ambiente, de aquí a 2030.

Los nuevos Objetivos, también conocidos como Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), incluyen nuevas líneas de acción como el cambio climático y los desafíos ambientales, sobre los cuales viene trabajando el Proyecto GEF Amazonas.

Los ODS reemplazaron a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) a partir del 2016, y guiarán la labor de Naciones Unidas en áreas como la erradicación de la pobreza y el consumo sostenible, la innovación, entre otras.

De esa forma se estableció que "La Agenda 2030 es civilizatoria porque pone a las personas en el centro, tiene un enfoque de derechos y busca un desarrollo sostenible global dentro de los límites planetarios. Es universal ya que busca una alianza renovada donde todos los países participan por igual. Es indivisible ya que integra los tres pilares del desarrollo

sostenible (económico, social y medioambiental), presentando así una visión holística del desarrollo. La erradicación de la pobreza y la reducción de desigualdades son temas centrales en la nueva agenda, y prioridades para América Latina y el Caribe.", según indica la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL.

Logros del Proyecto ante los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Ante los ODS 1: Fin de la pobreza y ODS 2: Hambre cero

- » La implementación de sistemas agro-tecnológicos para la producción de hortalizas y peces en comunidades que viven en llanuras inundables.
- » El empoderamiento de comunidades locales en condiciones de pobreza y la creación de alternativas productivas mediante la implementación de medidas de adaptación al cambio climático. **(ODS 13)**



Ante el ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento

- » La aplicación del Manejo Integrado de los Recursos Hídricos de la cuenca Amazónica contempla: la optimización de los usos del agua, las preocupaciones transfronterizas, las medidas de adaptación al cambio climático, la formulación de políticas y el fortalecimiento de los marcos legales e institucionales, así como las inversiones necesarias para las acciones estratégicas acordadas. **(ODS 3)**
- » La incorporación del componente **aguas subterráneas** en el Manejo Integrado de los Recursos Hídricos de la cuenca Amazónica.
- » El desarrollo de un programa de uso y protección de aguas subterráneas.
- » La protección, manejo y monitoreo de acuíferos.
- » La implementación de un Sistema Regional de Monitoreo de la Calidad del Agua.
- » La conservación de cabeceras, pastizales y ecosistemas de humedales.
- » La reducción de la vulnerabilidad de los ecosistemas bioacúaticos.



- » El monitoreo de la erosión, transporte de sedimentos y sedimentación.
- » La respuesta a los impactos de la ocupación del suelo y la dinámica del uso de la tierra.
- » El desarrollo e integración de una plataforma regional de información para la GIRH.
- » El aumento del conocimiento científico sobre los recursos hídricos amazónicos.
- » El desarrollo de sistemas de recolección de agua de lluvia para comunidades aisladas.
- » El apoyo del fortalecimiento de los marcos institucionales y de gestión de la GIRH.

Ante el ODS 13: Acción por el Clima

- » El desarrollo de una Red de Monitoreo Hidrometeorológico en la Cuenca Amazónica.
- » El desarrollo de sistemas de previsión y alerta para sequías e inundaciones.
- » La implementación de un Sistema de Gestión del Riesgo Climático para los gobiernos locales.
- » El desarrollo del Sistema Integrado de Monitoreo para el Cambio Climático Vulnerabilidad y Adaptación.
- » La inclusión de los temas variabilidad y cambio climático en las prácticas y políticas de gestión de la cuenca, para reducir la vulnerabilidad de las poblaciones y los ecosistemas ante eventos climáticos extremos.
- » El desarrollo y la implementación de medidas de adaptación por los glaciares en retirada desde los Andes al Amazonas. **(ODS 6)**



Crédito: Proyecto GEF Amazonas

- » La promoción de actividades culturales, educativas y artísticas relacionadas con los recursos hídricos y el cambio climático. **(ODS 4)**

Ante los ODS 14: Vida submarina y ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres

- » La protección de ecosistemas bioacuáticos fluviales y costeros.
- » La protección de zonas costeras afectadas por el aumento del nivel del mar.



Crédito: Rui Faquini



“Nadie se baña en el río dos veces porque todo cambia en el río y en el que se baña”.

Heráclito de Efeso



Estudio N° 1.

► Mapeando áreas de riesgo por el cambio climático:

Creado el primer Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática de la Cuenca Amazónica

Áreas: Geografía/Tecnología geoespacial/Climatología



Con el fin de visibilizar la vulnerabilidad de las poblaciones y de los ecosistemas ante los eventos hidroclimáticos extremos (sequías e inundaciones), la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) desarrolló el primer Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática de la Cuenca Amazónica, a través del Proyecto OTCA/ONU Medio Ambiente/GEF - Recursos Hídricos y Cambio Climático. Para producir el Atlas, se seleccionó al Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño (CIIFEN) con sede en Ecuador.

Este Atlas permite visualizar la enorme complejidad de los desafíos que tienen los países y las entidades encargadas del agua en la región. Se trata de una carta de navegación para detectar oportunidades y desafíos en la cuenca y marca la necesidad de realizar un trabajo permanente sobre ese inventario de riesgos y posibilidades, que hace parte de la gestión integral y sostenible de la cuenca.

Objetivos del Atlas:

Sistematizar la información existente, que fue suministrada por los Países Miembros de la OTCA, generar nuevo conocimiento y proveer información para fortalecer la planificación y el manejo integrado de los recursos hídricos de las instituciones de la región.

El área de estudio abarcó la parte amazónica de los territorios de los ocho países de la OTCA, el bioma tropical, los Escudos guyanés y brasileño (Macizo o formación geológica muy antigua) y los llanos amazónicos. La cuenca Amazónica se extiende sobre un área de 6.118.000 km². Su altitud va desde los 6.643 msnm en la Cordillera de Los Andes, hasta 0 msnm en la desembocadura del río Amazonas en el Océano Atlántico.



Conozca el proceso de producción del Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática de la cuenca Amazónica

La producción del Atlas se realizó en cuatro fases, que visibilizan la forma como se abordó la cuenca:

1

Descripción: Caracterización biogeofísica, socioeconómica, de infraestructuras y ambiental de la cuenca Amazónica.

3

Estimación de la vulnerabilidad ante fenómenos hidroclimáticos extremos: estimación de susceptibilidad y capacidad adaptativa; cálculo y análisis de la vulnerabilidad.

2

Análisis de amenazas hidroclimáticas.

4

La generación del Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática de la cuenca Amazónica, se realizó a la escala de 1:1.000.000.

Credito: Shutterstock

Metodología de trabajo

Paso 1

Definición de la Unidad de Análisis Espacial.

Paso 2

Recopilación de información y generación de la geodatabase, para unificar las unidades de medida y proyección de cada archivo.

Paso 3

Se diseñó una Metodología para el análisis del componente climatológico y la identificación de las amenazas hidroclimáticas, que tuvo en cuenta las siguientes variables: 1. Precipitación anual. 2. Temperatura media anual. 3. Evapotranspiración real. 4. Balance hídrico. 5. Índice Estandarizado de precipitación. Para cada variable se elaboró el mapa correspondiente. Por ejemplo, los eventos hidroclimáticos extremos se visibilizaron con el cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación Extrema, posteriormente dichos eventos fueron zonificados para la elaboración de los Mapas de amenaza por sequía e inundación.

Paso 4

Se creó una Metodología para la determinación de la vulnerabilidad que comprendió los siguientes estudios: 1. La representación de los diversos grados de susceptibilidad, capacidad adaptativa y vulnerabilidad. 2. Aproximación para el cálculo de la vulnerabilidad hidroclimática del factor socioeconómico. 3. Aproximación metodológica de la vulnerabilidad hidroclimática por factores biofísicos. La vulnerabilidad está compuesta por la susceptibilidad de los elementos del sistema ambiental ante la amenaza por eventos hidroclimáticos extremos y de su capacidad para recuperarse de los impactos (capacidad adaptativa). Para el Atlas se estableció una **fórmula de vulnerabilidad ante inundaciones y sequías**. Asimismo, se establecieron indicadores que representan el nivel de sensibilidad del factor natural ante inundaciones y sequías, dado que en el entorno biofísico, donde se conjugan dichos indicadores se desarrollan mecanismos de adaptación y recuperación. Ejemplos de los indicadores: susceptibilidad por densidad de ríos según su dotación hídrica ante inundaciones, susceptibilidad por pendiente del terreno ante inundaciones, entre otros.

Paso 5 **Vulnerabilidad de la cuenca Amazónica ante eventos extremos hidroclimáticos.**

Identificadas las amenazas hidroclimáticas se evaluó la vulnerabilidad de los sistemas expuestos: El Sistema socioeconómico (población, medios de vida e infraestructura) y el Sistema biofísico (el medio natural).

Paso 6 **Para la determinación de la susceptibilidad y de la capacidad de adaptación se tuvieron en cuenta los siguientes factores:**

1. El componente socioeconómico: susceptibilidad socioeconómica y capacidad de adaptación socioeconómica. 2. El componente biofísico: susceptibilidad biofísica. Los datos socioeconómicos se tomaron del último censo realizado en cada país. En cuanto a la susceptibilidad biofísica, se calcularon los siguientes elementos: a) la pendiente del terreno, a partir del modelo digital de elevación del terreno Shuttle Radar Topography Mission. b) la textura del suelo c) la densidad hídrica, para lo cual se consideraron los ríos de primer orden o de mayor caudal y de segundo orden, para valorarlo según su nivel de aportación hídrica y d) la vegetación (clase, tipo y sensibilidad ante sequías e inundaciones).

Paso 7 **Determinación de la Vulnerabilidad.**

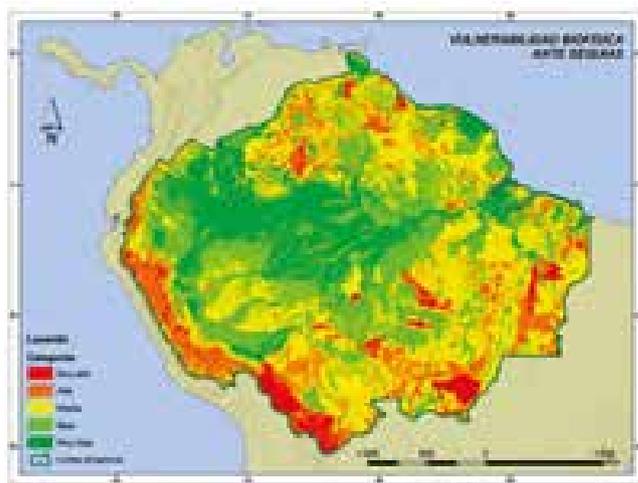
1. Determinación de la vulnerabilidad ante inundaciones: vulnerabilidad socioeconómica y vulnerabilidad biofísica. 2. Determinación de la vulnerabilidad ante sequías: vulnerabilidad socioeconómica y vulnerabilidad biofísica. Con los Indicadores de susceptibilidad y de capacidad adaptativa para el cálculo de Vulnerabilidad socioeconómica y biofísica, se aplicaron las fórmulas definidas para cada factor de vulnerabilidad.

Paso 8 **Generación de Mapas para el Atlas.**

Se obtuvo un alto volumen de información oficial de los países Amazónicos y de archivos provenientes de diferentes bases oficiales de datos, por lo cual se realizó una detallada clasificación de cada documento. De esta forma, se generaron 16 Tablas, 29 Figuras y 51 Mapas que representan los datos obtenidos.

Resultados de la experiencia: 51 Mapas especializados sobre la cuenca Amazónica

A partir de la Descripción/Caracterización biogeofísica, socioeconómica, de infraestructuras y ambiental de la Cuenca Amazónica, que se refleja en la producción de 51 Mapas especializados, se avanzó con el análisis de las Amenazas Hidroclimáticas y la Vulnerabilidad ante dichas amenazas. Asimismo, el hallazgo de esta nueva información permitió presentar un conjunto de Orientaciones para alimentar el Programa de Acciones Estratégicas, (PAE).



Vulnerabilidad Biofísica ante sequías

Elaborado por CIIFEN para el Proyecto GEF
Amazonas- Recursos hídricos y cambio climático

Síntesis de los principales elementos obtenidos de la Caracterización biogeofísica, socioeconómica, de infraestructuras y ambiental de la Cuenca Amazónica

Caracterización biogeofísica. La región Amazónica reúne biomas de gran importancia a escala global (bosques, selvas y sabanas tropicales con una alta biodiversidad de especies) con una de las redes hídricas más grande del planeta y sumidero (depósito natural) de grandes cantidades de dióxido de carbono, fundamental para la vida del planeta.

Relieve. Esta región cuenta con dos mesetas: el escudo Guyanés (altitud: 2.800 m) y el escudo Brasileño (1.200 m) de la era geológica precámbrica, la más antigua de la Tierra.

Suelo. En la Amazonia existen aproximadamente 20 clases de suelos, predominando los ferrosoles (característicos de las planicies, colinas y llanos) que conforman el 51% del territorio y los acrisoles (suelos ácidos de bosques aclarados y con bajo contenido orgánico) que representan cerca del 16%. La aptitud agrícola del suelo es de regular a mala, por tratarse de suelos ácidos con poca profundidad.

Clima. La región posee diferentes tipos de clima, el andino en la parte alta y principalmente el tropical, que a su vez se clasifica en tropical ecuatorial, tropical monzónico y tropical de sabana.

Temperatura del aire. Desde el centro hasta la desembocadura: la temperatura promedio es de 26 a 28°C. Hacia la Cordillera hasta 2 °C en las altitudes mayores. Núcleos con temperatura mayor a 28°C en el norte de Bolivia, centro Amazónico de Perú y frontera con Brasil.

Precipitación. Ésta presenta alta variabilidad espacial. Valores superiores a los 3.000 mm/año se registran al noroeste, al oriente, en la desembocadura del Océano Atlántico y a lo largo del piedemonte de Los Andes en la Amazonia colombiana, ecuatoriana, peruana, boliviana y venezolana. Menores volúmenes al sur de la región y en las partes altas de la Cordillera de Los Andes.

Evapotranspiración. Se trata de la transpiración de los vegetales, que se expresa en milímetros por unidad de tiempo y es un componente clave del ciclo del agua. Los mayores valores se identificaron en la zona noroeste y en la desembocadura del río en el Atlántico. Los valores menores se presentaron en el occidente, sobre la parte media alta y alta de Los Andes y en sectores de la Amazonia venezolana.

Balance hídrico. Las zonas con mayor disponibilidad del recurso se localizaron en la zona noroeste, en una franja de la Amazonia peruana y sobre el delta del río Amazonas. El déficit se observa en la zona sur y este, y en los bordes occidentales de la alta montaña de la vertiente oriental de Los Andes. El clima corresponde principalmente al tropical, que a su vez se clasifica en tropical ecuatorial, tropical monzónico y tropical de sabana.





Variabilidad climática en la cuenca Amazónica.

Los patrones climáticos de la Amazonia están sometidos a oscilaciones de períodos desde la escala intermensual hasta la interanual e interdecadal, influenciados por procesos oscilatorios del Pacífico, del gradiente meridional de presión atmosférica entre el trópico y el subtropico sobre Sudamérica y del gradiente meridional de temperatura de la superficie del mar del Atlántico tropical.

El cambio climático en la cuenca Amazónica.

CIIFEN evidenció cambios en el clima de la cuenca, los que se encuentran influenciando la dinámica del bioma a largo plazo. Se identificaron señales de un aumento de la temperatura, tanto en las series de las máximas como de las mínimas, detectándose que el número de días con temperaturas superiores a 25°C ha venido aumentando a un ritmo de hasta 6 días/decenio. Y en cuanto a la precipitación, se identificó una tendencia al aumento. Se generaron escenarios de cambio climático para la Amazonia basados en el ensamble de cuatro Modelos del CMIIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, por su sigla en inglés) que utiliza el Programa Mundial de Investigaciones del Clima (PMIC). Los cambios del clima de la cuenca previstos en diferentes escenarios para el siglo XXI no afectarían considerablemente los patrones de distribución espacio-temporal de los fenómenos hidrometeorológicos e hidroclimáticos extremos. Tal vez las sequías serán menos frecuentes y podría presentarse un ligero aumento de las inundaciones. Pero se requieren mayores estudios para reducir las incertidumbres.

Vegetación, Ecosistemas y Biomas de la Amazonía.

Debido a su gran extensión y biodiversidad, la importancia del bosque tropical amazónico radica en la capacidad de absorber grandes cantidades de gas carbónico de la atmósfera y convertirlo en oxígeno, un servicio ecológico para todo el planeta. El bosque tropical cubre aproximadamente el 67%, mientras que las sabanas tropicales cerca del 13%. El bioma bosque tropical posee el 50% de la biodiversidad existente en el planeta.

Red Hidrográfica. El río Amazonas nace en la Cordillera de los Andes en el Perú, en la Quebrada de Apacheta junto al Nevado Mismi, a 5.597 metros sobre el nivel del mar. Las aguas de deshielo fluyen hacia el río Apurímac, tributario del Ucayali, que finalmente se une al Marañón para formar el cauce principal del Amazonas. Luego de la confluencia entre el Apurímac y el Ucayali, el río deja atrás los Andes y penetra en una planicie aluvial inundable y suavemente ondulada. De esa forma, los cinco ríos andinos iniciales bajo cuya confluencia conforman el río Amazonas son: Apurímac, Huallaga, Mantaro, Marañón y Urubamba – Vilcanota. A partir de la confluencia de los ríos Marañón y Ucayali en Nauta (en Iquitos) y los aportes de los ríos Putumayo, Japurá, Negro, Juruá, Purús, Madeira, Tapajós y Xingú, hasta su desembocadura en el Atlántico, se denomina el río Amazonas, con un caudal aproximado de 220.000 m³/segundo. Es el río más caudaloso y largo del planeta. La cuenca Amazónica posee un total de 285 unidades hidrográficas nivel 3 (según clasificación de Pfafstetter) siendo la de mayor extensión, la cuenca del río Solimões.

El Componente social y económico. La Amazonía alberga poblaciones adaptadas a su entorno. Existe una vasta diversidad cultural, dialectos y costumbres ancestrales. La población total es de más de 44 millones. Las ciudades que superan 1.500.000 habitantes se encuentran en Brasil y Bolivia. Asimismo, habitan cerca de 420 pueblos indígenas que hablan 86 lenguas y 650 dialectos diferentes.

Actividades económicas. La principal está orientada a la extracción de recursos naturales, sean éstos minerales, forestales o agropecuarios. En la silvicultura, la pesca y la caza se ocupan cerca de 6 millones de personas.

Actividad agropecuaria. Cerca del 22% de la superficie amazónica tiene uso agropecuario, para monocultivos, lo cual es causa de la deforestación y del cambio del uso del suelo. El desarrollo vial fomenta la agricultura, dirigida principalmente a la producción de biocombustibles. Cabe resaltar las plantaciones de los pueblos indígenas, quienes tienen identificadas más de 2.000 especies medicinales, alimenticias y productoras de aceites, grasas, ceras, barnices, aromas, látex, condimentos y cerca de 400 especies maderables.

El comercio. Constituye la segunda actividad económica con mayor población dedicada.

Descripción de infraestructuras

Infraestructura de salud. Pese a las limitaciones en el acceso a la información, se identificó el total de establecimientos de salud para la región. El Mapa correspondiente muestra su distribución en número de establecimientos existentes para cada límite administrativo. Contar con información actualizada sobre la ubicación de los establecimientos de salud en esta extensa región facilitará la consulta de los operadores de salud y la forma cómo pueden apoyarse con los recursos y equipos existentes, y ayudará a los tomadores de decisión en el área de la salud a ampliar los servicios y mejorar la cobertura.

Infraestructura de educación. El Mapa muestra la distribución de los establecimientos existentes (escuelas, colegios y universidades) para cada límite

administrativo. Las localidades con mayor infraestructura educativa se encuentran en Perú y Colombia, desplazándose por el centro hasta el delta del Amazonas con valores medios. El sector sur posee la menor cantidad de centros educativos.

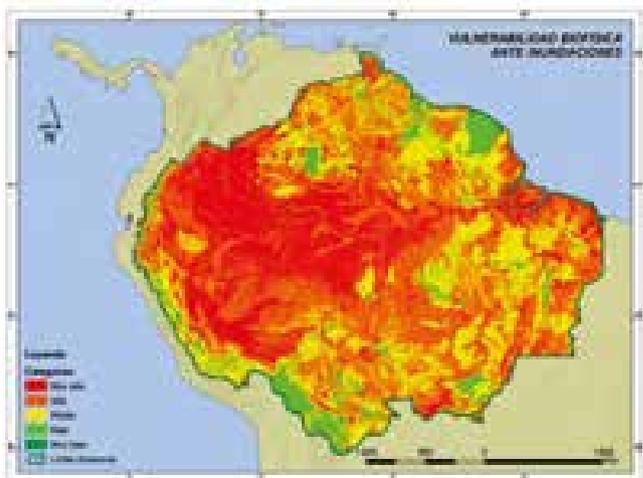
Infraestructura de movilidad. La movilidad se da a través de redes viales terrestres, por la red fluvial o vía aérea. Las rutas de primer orden poseen una longitud de 168.191,47 km y las de segundo orden (trochas, caminos pavimentados, calles) representan 326.849,12 km. Las vías fluviales son el principal medio de transporte de la región. A través de la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA) y el Consejo Suramericano de Infraestructura y Planeamiento (COSIPLAN) de la Unión de Naciones Suramericanas (UNASUR) se vienen ejecutando proyectos, como el de la Carretera Multimodal Manta-Manaos, que une la costa del Ecuador con la sierra y la Amazonia, hasta los puertos de Manaos, Belem y el Atlántico.

Infraestructura eléctrica. La generación de energía en la Amazonía es de tipo hidroeléctrica, en mayor proporción. Las hay grandes y pequeñas, que en su conjunto equivalen al 60% del total de los sistemas de generación de energía. Otros tipos de energía: termoeléctrica, termonuclear, eólica y solar.

El Componente Ambiental. Áreas protegidas. En la Amazonía se encuentran áreas definidas para su conservación y protección, llamadas "Áreas Protegidas". Ocupan el 23% de todo el territorio Amazónico, que equivale aproximadamente a 1.897.946,02 km², sin contar a los pueblos indígenas. Del total de las Áreas Protegidas, el 33,17% aproximadamente pertenece a Áreas de Parques Nacionales y Regionales; el 20% a Bosques Naturales y menos del 10% a diversas zonas de reserva.

Aprendiendo de la experiencia: una ruta para el Análisis de las Amenazas Hidroclimáticas

Una vez realizada la Caracterización múltiple de la Amazonia (biogeofísica, socioeconómica, de infraestructuras y ambiental) se procedió al Análisis de las amenazas hidroclimáticas.



Vulnerabilidad Biofísica ante inundaciones

Elaborado por CIIFEN para el
Proyecto GEF Amazonas- Recursos
hídricos y cambio climático

Se considera amenaza la condición en la que un sistema o parte de él está expuesto al impacto de un fenómeno hidroclimático extremo, lo cual se valora en términos de probabilidad de pérdidas o daños. Las amenazas por cobertura espacial y magnitud de los impactos han sido las sequías y las inundaciones de largo plazo en las zonas planas.

Para llevar a cabo un Análisis de los desastres recurrentes en la Amazonía, se exploraron las bases de datos de desastres regionales "Desinventar" (<http://www.desinventar.org>) de la Corporación OSSO-La Red-UNISDR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) 2013; la base de datos EM-DAT de la OFDA (Office of U.S. for Foreign Disasters) y CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) y la del Sistema Integrado de Información sobre Desastres -S2ID de Brasil.

Las inundaciones están en el primer lugar de ocurrencia de desastre con el 50% del número total de reportes. Las sequías y el fenómeno asociado de los incendios forestales ocuparon el 9 y el 4% respectivamente. Al identificarse los fenómenos de mayor recurrencia, se exploraron los aspectos socioeconómicos más afectados. Para el caso de las inundaciones, los sectores más perjudicados son los cultivos, los bosques, las vías, la infraestructura educativa y de salud. En cuanto a las sequías, el mayor impacto ocurre sobre el sector ganadero con el 53% y sobre la

población con el 38%. De esta forma, se elaboraron Mapas de Amenaza por sequías e inundaciones, para lo cual se hizo un estudio en un periodo de 35 años, utilizando el Índice Estandarizado de Precipitación.

A continuación, se identificaron los sistemas o elementos del medio biofísico y socioeconómico que están expuestos y ante los cuales dichos fenómenos se constituyen en amenaza.

Después de analizar las amenazas hidroclimáticas se hizo una evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas expuestos. En esta investigación, se efectuó el análisis de susceptibilidad y capacidad adaptativa por cada fenómeno en forma separada con dos componentes por fenómeno: socioeconómico y biofísico. Sobre esto, resaltamos que la cuenca presenta un muy bajo grado de capacidad de adaptación para la infraestructura educativa en amplios sectores de la Amazonía.

Asimismo, en los mapas se da cuenta del grado de susceptibilidad biofísica a las sequías y a las inundaciones por vegetación. Con la integración de la capacidad adaptativa y la susceptibilidad socioeconómica se obtuvo la vulnerabilidad socioeconómica, que combinada con la vulnerabilidad biofísica permite tener una mirada integradora de la Vulnerabilidad frente a la Sequía y a la Inundación, lo cual dio como resultado un Mapa sobre Vulnerabilidad Integral.

Una acción básica: mejorar el conocimiento sobre las amenazas y riesgos por sequía e inundaciones

Dado que las sequías y las inundaciones vienen afectando en forma recurrente a la población, los sistemas agrícolas y la infraestructura de la cuenca Amazónica, la elaboración de este primer Atlas arrojó información sustancial para ser utilizada al interior de los países, y como insumo clave para la planificación regional conjunta de la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos, a través del Programa de Acciones Estratégicas, PAE.

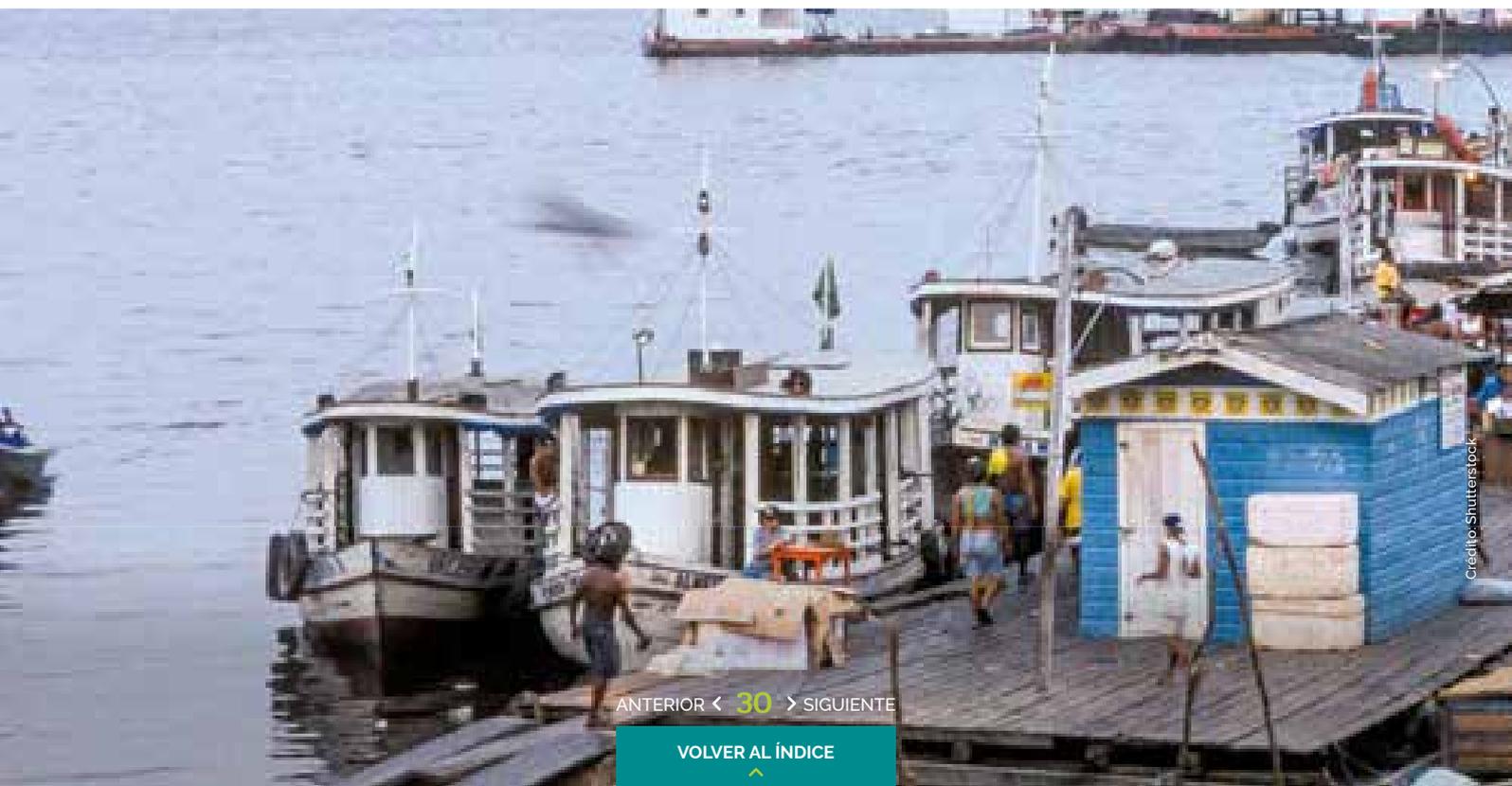
La primera Acción Estratégica que se requiere es: **Mejorar el conocimiento de las amenazas y los riesgos por sequía e inundación**, lo cual permitirá:

- a. Incorporar el nuevo conocimiento en esquemas de predicción climática que sirvan de sistemas de alerta climática temprana para la planificación sectorial, territorial y regional.
- b. Elaborar Mapas de amenazas más detallados sobre inundaciones y sequías.
- c. Fortalecer la resiliencia de las comunidades ante dichas amenazas.

- d. Divulgar el conocimiento sobre sequías e inundaciones.
- e. Conocer las experiencias de otras regiones y culturas en cuanto al manejo que le dan a las sequías e inundaciones.

Asimismo, se presentó un paquete de **Cinco Acciones orientadas a la Reducción del Riesgo de Desastres por Inundaciones y Sequías**:

1. Limitar la ocupación de la población y la exposición de diversos elementos del sistema socioeconómico en zonas con alta frecuencia de sequías e inundaciones.
2. Planificar acorde con los ciclos de inundación y sequía.
3. Implantar los sistemas de predicción climática que sirvan de alerta temprana.
4. Capacitar en el uso de la información de predicción climática.
5. Ejecutar políticas para la reducción de la vulnerabilidad en aquellas regiones donde es alta y muy alta.



Crédito: Shutterstock

También se propusieron Acciones Estratégicas para el Manejo de las situaciones de inundaciones y sequía, que requieren: Diseñar, formalizar, socializar y ensayar planes de contingencias territoriales (municipios) y sectoriales para responder en condiciones de sequía e inundaciones. Igualmente, se recomendó fomentar la adquisición de seguros agropecuarios, de vivienda e infraestructura por desastres naturales.

Múltiples horizontes para el Atlas

La producción del primer Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática específico para la cuenca Amazónica, permitió obtener información sustancial para alimentar el Programa de Acciones Estratégicas, (PAE) del Proyecto. En ese sentido la creación de un Atlas de estas características se convierte en una herramienta fundamental para el estudio de las cuencas de otras regiones, interesadas en abordar las Aguas Transfronterizas.

Es decir, la utilización del Atlas tiene diversas aplicaciones didácticas para los diferentes grupos objetivos que alcanza el Proyecto, abarcando diversos sectores, en particular las instituciones de medio ambiente y los tomadores de decisión sobre los recursos hídricos.

La experiencia obtenida con la producción del Atlas abrirá nuevas puertas para el intercambio del conocimiento técnico y científico que el Proyecto GEF Amazonas ha obtenido, dado que se trata de un importante avance científico, de gran trascendencia para la región.

A nivel regional, la producción del Atlas arroja información técnica y científica sustancial para una mejor comprensión, abordaje, planificación y manejo integrado de la cuenca Amazónica por parte de los 8 Países Miembros de la OTCA.

Por otra parte, el desarrollo del Atlas para la cuenca Amazónica conduce al planteamiento de nuevos interrogantes: ¿Cómo conviven otras regiones y culturas con las dos fases extremas de la variabilidad climática? ¿De qué manera la elaboración de un Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática de una cuenca hidrográfica visibiliza la complejidad de una región frente a los eventos extremos y permite además comparar los mismos fenómenos de una región a otra?

Referencias/Bibliografía del Estudio N° 1

- » Siete páginas que se pueden consultar en el Informe técnico (Fase II) del Atlas de Vulnerabilidad Hidroclimática de la cuenca Amazónica en la página web del Proyecto.



An aerial photograph of a vast, dense tropical rainforest. A large, winding river with a muddy, brownish-orange hue flows through the center of the forest, creating several large islands of green. The forest extends to the horizon under a clear sky.

“Los ríos hondos corren
en silencio; los arroyos
son ruidosos”.

Proverbio hindú

Estudio N°. 2.

► Agua subterránea para suministro urbano:

Evaluación de los Sistemas Acuíferos de la región de Leticia-Colombia

Área: Hidrogeología



Crédito: Shutterstock

Uno de los resultados más importantes logrado por el Proyecto GEF Amazonas fue incorporar el componente **Agua Subterránea** en el Manejo Integrado de los Recursos Hídricos de la cuenca Amazónica.

Así se llevó a cabo el Sub-proyecto “Uso conjunto del agua superficial y subterránea en la región de Tres Fronteras (Colombia, Brasil y Perú)”, que contó con la realización de tres estudios específicos e interrelacionados:

1. Evaluación de los Sistemas Acuíferos de la región de Leticia – Colombia, el cual estuvo a cargo de la firma consultora Servicios Hidrogeológicos Integrales (SHI S.A.S.), sobre lo cual trata este capítulo.
2. Caracterización hidrogeológica conjunta del Sistema Acuífero Transfronterizo Tabatinga – Leticia y

3. Evaluación de los Acuíferos de las cuencas sedimentarias de la Provincia Hidrogeológica Amazonas (PHA) en el Brasil (escala 1:1.000.000) y Ciudades Pilotos (escala 1:50.000). Volumen IX: Ciudad Piloto: Tabatinga, Amazonas, estudio realizado por la Agencia Nacional de Aguas (ANA) de Brasil.

La experiencia: analizando la interacción entre aguas superficiales y subterráneas y el posible impacto del cambio climático

La zona de Tres Fronteras (Colombia, Brasil, Perú) entre Leticia, Tabatinga y la isla fluvial de Santa Rosa se caracteriza por la abundancia del recurso hídrico, tanto a nivel atmosférico, superficial como subterráneo. Sin embargo, existen diversas problemáticas relacionadas con su manejo dada la escasa o nula

gestión sostenible del recurso para el abastecimiento público, en particular en Leticia, Colombia, donde el suministro para el consumo humano proviene de aguas lluvias, superficial y subterránea, siendo ésta última la principal fuente de abastecimiento.

Esta triple frontera fue clave para el Proyecto GEF Amazonas, cuyo fin fue mejorar el conocimiento técnico y científico de esta zona, por lo cual se realizó el

estudio "Evaluación de los Sistemas Acuíferos de la Región de Leticia- Colombia".

El objetivo de este proyecto complementario fue caracterizar y evaluar los sistemas acuíferos de la región de Leticia, considerando la interacción entre agua superficial y agua subterránea, y los posibles impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre el recurso.

Metodología

A continuación se presentan los pasos seguidos en esta investigación.

Paso 1 **Se recopiló información secundaria en las siguientes entidades que fueron fundamentales para el desarrollo de esta actividad:** OTCA, CORPOAMAZONÍA, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Paso 2 **Se realizaron tres campañas de campo en la región de Leticia.** La primera de reconocimiento y recolección de información secundaria, la segunda sobre el inventario de puntos de agua subterránea e identificación de fuentes potenciales de contaminación y en la tercera, se hizo el muestreo físicoquímico de las aguas subterráneas y el monitoreo de niveles, obteniéndose así información primaria sustancial de algunos parámetros de los sistemas acuíferos de la región.

Paso 3 **Se efectuaron tres jornadas de trabajo con actores sociales de la zona:** una reunión con CORPOAMAZONÍA y dos socializaciones del proyecto con la comunidad de Leticia para presentar los avances y los resultados alcanzados.

Paso 4 **Con la información primaria y secundaria se realizó la caracterización de los sistemas acuíferos de la región de Leticia, la cual describe:** las condiciones geológicas y geomorfológicas de la zona; la hidrología y climatología regional; las formaciones hidrogeológicas presentes; las condiciones hidráulicas de las formaciones, particularmente del acuífero aluvial de Leticia; los usos del agua subterránea; las condiciones de operación y consumo en los pozos; la amenaza de contaminación para el agua subterránea; la vulnerabilidad del acuífero y la calidad del agua superficial y subterránea para consumo humano.

Paso 5 **Se evaluaron las condiciones actuales de los mecanismos de abastecimiento de agua potable en la región de Leticia.**

Paso 6 **Se proyectó la demanda hídrica de Leticia al año 2040 y se evaluaron los escenarios de variabilidad y cambio climático para definir la vulnerabilidad de los recursos hídricos frente a dichos eventos.**

Los pasos anteriores permitieron elaborar un Diagnóstico general de problemáticas y se definieron estrategias y medidas de adaptación frente a las mismas.



Crédito: Shutterstock

El área de estudio fue el municipio de Leticia, al sur del territorio colombiano, capital del Departamento del Amazonas, que cuenta con una extensión de 5.968 km², y está situado en la margen izquierda del río Amazonas, en la frontera entre Colombia, Perú y Brasil. Leticia tiene una altitud de 96 msnm, una temperatura media anual de 25,8 °C y un clima húmedo tropical gran parte del año, con una topografía plana y una pluviosidad promedio entre 2.500 y 3.400 mm/año, según datos de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía (CORPOAMAZONÍA).

Resultados de las principales características de los sistemas acuíferos de la región de Leticia

La caracterización de los sistemas acuíferos de la región de Leticia tuvo en cuenta el estudio y análisis de un grupo de variables, cuyos resultados se presentan a continuación:

1. Aspectos geológicos. "La región sur amazónica colombiana, geológicamente se caracteriza por estar conformada por diferentes tipos de rocas ígneas, (volcánicas) metamórficas (provenientes de otras) y sedimentarias que varían en edad desde el Precámbrico (la era geológica más antigua de la Tierra) hasta el presente", según CORPOAMAZONÍA. La Formación Pebas, (Mioceno medio a tardío) también definida como formación geológica del Terciario Inferior Amazónico, y las Areniscas de Calderón son las rocas aflorantes más antiguas que están presentes en

la zona de estudio. Sobre dichas rocas, se depositan sedimentos recientes y actuales, producto de la dinámica del río Amazonas como son: la Terraza aluvial de Leticia, los Depósitos Orillales Antiguos y los Recientes, y los Depósitos de Barras de Arenas, según datos del Servicio Geológico Colombiano o SGC, (anteriormente INGEOMINAS) recopilados por el proyecto.

2. Hidrología y Clima. La zona se encuentra en la cuenca del río Amazonas, sobre la llanura aluvial de la margen izquierda de esta corriente. Los principales cuerpos de agua del municipio y que definen la red de drenaje son: el río Amazonas, el río Tacana, las quebradas: Yahuaraca, Simón Bolívar, Porvenir, San Antonio y Pichuna; y los lagos y humedales de Yahuaraca. El comportamiento climático está influenciado por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la Masa Ecuatorial Continental (MEC) y la circulación local valle-montaña. El ciclo anual de niveles medios del río Amazonas mostró para Leticia una variación máxima de 8,66 m. En esta zona se presentan altos niveles de precipitación con una lluvia promedio de 3.264 mm/año. La comparación entre el régimen temporal de lluvias y el régimen de niveles del río Amazonas (estación Leticia) indica que no existe un acople completo entre las dos variables, se da un rezago de cerca de dos meses entre los eventos extremos de ambas variables, lo cual se debe a que los niveles del río Amazonas en Leticia están influenciados por la precipitación de la zona andina de Ecuador y Perú.

3. Hidrogeología. Los Sistemas Acuíferos de la región de Leticia hacen parte del Sistema Acuífero Amazonas cuya área aproximada es de 3.950.000 km². Reduciendo a escala la subcuenca amazónica de Colombia, dichos Sistemas Acuíferos se encuentran en la Provincia Hidrogeológica de Vaupés-Amazonas. En la zona de estudio, García (2008) definió a partir de sondeos eléctricos verticales tres Unidades Hidrogeológicas, la primera caracterizada como acuífero libre multicapa, adyacente a Leticia, la segunda como acuífugo (formación geológica subterránea, caracterizada por ser impermeable, por tanto incapaz de absorber o transmitir agua) y corresponde a la Formación Pebas y la tercera unidad se clasifica como acuífugo y corresponde al basamento según los sondeos eléctricos. La Unidad Hidrogeológica de interés para el estudio y que conforma los depósitos de agua subterránea en la región de Leticia se conoce como el Acuífero Aluvial de Leticia, que tiene sus propias características hidráulicas. El agua subterránea en la región de Leticia tiene un amplio uso y se define por la cantidad de puntos de agua subterránea existentes. Sólo en el Inventario realizado por este proyecto se registraron 226 puntos de agua, lo cual al cruzarse con inventarios efectuados por García (2008) y por CORPOAMAZONÍA arroja un total de 1055 puntos de agua subterránea.

4. Parámetros físicoquímicos de campo del agua subterránea analizados: pH, oxígeno disuelto, potencial Redox, (relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno.) conductividad eléctrica y temperatura.

5. Nivel estático del agua realizado con sonda eléctrica. Durante la campaña de campo se observó que la profundidad de los niveles presenta una variación de hasta 7 m entre la época seca y de lluvias.

6. Flujo del agua subterránea. El reconocimiento en campo permitió observar que el flujo presenta una tendencia general norte-sur y este-oeste con gran influencia del río Amazonas. Existe una es-

trecha relación entre el río Amazonas y el acuífero aluvial de Leticia, donde las aguas del río aportan a la recarga del acuífero. Se registraron las evidencias de la interacción acuífero-río a través de este proyecto.

7. Uso del agua subterránea. Debido a las condiciones del acueducto de Leticia, muchos habitantes prefieren el uso del agua subterránea y como segunda opción el agua lluvia, antes que el agua del acueducto municipal, lo cual se da tanto en la zona urbana como rural. El uso predominante es doméstico.

8. Amenaza por contaminación. A través de este proyecto, se identificó una red de fuentes potenciales de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, entre las cuales destacan: 1. El botadero de basura a cielo abierto en el Km 4 de la vía Leticia-Tarapacá. 2. El relleno sanitario en el Km 17 de la misma vía. 3. El cementerio del casco urbano. 4. Dos estaciones de combustible en el casco urbano. 5. La planta de almacenamiento de combustible en el Aeropuerto Alfredo Vásquez Cobo. 6. El matadero del casco urbano y 7. Las quebradas contaminadas como las de San Antonio y Simón Bolívar.

9. Condiciones sanitarias de las captaciones de los puntos de agua. Cuando son desfavorables constituyen una amenaza por contaminación de las aguas subterráneas. Aquí se relacionan sólo algunas de las once (11) condiciones encontradas, así: 1. Casi todos los usuarios vierten las aguas residuales en pozos sépticos porque no cuentan con alcantarillado. 2. La mayoría de los pozos (98%) se encuentran ubicados a una distancia mayor a 30 m, sin embargo hay una gran densidad de pozos sépticos en la zona. 3. El 56% de los pozos no cuentan con una cubierta adecuada y tampoco con sello sanitario de captación. 4. El 15% de los pozos están rodeados de charcos de aguas estancadas.

10. La Vulnerabilidad a la contaminación del Acuífero Aluvial. Para su evaluación, se utilizó el método GOD definido por Foster (1987), el cual

utiliza básicamente tres criterios para evaluar la vulnerabilidad: la profundidad del nivel freático en acuíferos libres, el tipo de acuífero y las características litológicas (composición de las rocas) de la zona vadosa (espacio entre el nivel freático y la superficie). Así se definió el Índice de Vulnerabilidad a la Contaminación, que va de 0 a 1. Este último indica la más alta. Para la zona de estudio, se encontró que la vulnerabilidad es moderada.

11. Calidad del agua superficial y subterránea.

Se consideró el marco normativo de Colombia que define las condiciones para su uso y se evaluó la calidad para consumo humano, a partir de información secundaria y primaria, analizando y procesando los datos de los monitoreos fisicoquímicos y microbiológicos efectuados en diferentes corrientes superficiales. Se evaluó el Índice de Calidad del Agua (ICA) superficial y se elaboró una zonificación de la calidad de agua superficial. Se observó que las condiciones de la calidad del agua superficial son variables y mejores, lejos del centro urbano de Leticia. Las condiciones más alarmantes se encuentran en las quebradas urbanas, que reciben los vertimientos de residuos sólidos y aguas residuales. Por otra parte, las condiciones de calidad del agua subterránea se evaluaron a partir de información secundaria y actual, y mediante monitoreo fisicoquímico y microbiológico. El diagnóstico preliminar se tomó de monitoreos de CORPOAMAZONÍA del 2009, donde se evaluaron 75 puntos de agua y se definió el ICA para el agua subterránea a 2009. Pero fue en esta investigación que se actualizó el diagnóstico, se definió una red de muestreo de 20 puntos y se evaluaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua subterránea. En general, las condiciones de su calidad son buenas en comparación con las aguas superficiales y es mejor para el consumo humano y otros usos.

12. Abastecimiento de agua potable y demanda hídrica proyectada a 2040.

El abastecimiento de agua potable se da en Leticia por el acueducto municipal, por pozos subterráneos, agua lluvia y puntos de distribución particular de agua pota-

ble. Según el Instituto Nacional de Salud en concepto del 2012, el acueducto de Leticia no satisface plenamente las necesidades de agua para el consumo humano y su cobertura es menor al 50% de la población que requiere abastecer. Debido a esto, muchos usuarios optan por el uso de aguas subterráneas, ampliamente utilizada en un 61%, o bien aguas lluvias. En este caso, el agua no tiene ningún tratamiento, se consume tal cual se extrae. Sólo el 21% del agua consumida se trata con cloro y en el 3% se realiza un tratamiento completo. Con la información del consumo de aguas subterráneas registrada por el proyecto y el número estimado de usuarios del inventario consolidado, se definió la demanda actual de agua subterránea, que corresponde a 0,517 Mm³/año y satisface a un total de 26.875 habitantes, lo cual equivale a un 65% de la población total de Leticia. Se evidenció a través de este proyecto, que la demanda de agua subterránea es menor que la demanda máxima estimada, calculada en 1.224 Mm³/año. Esto indica que no existe una sobreexplotación del recurso.

Para considerar escenarios futuros del agua subterránea en la región, se proyectó la demanda hídrica total y subterránea hasta el año 2040 aplicando tres métodos exigidos para el cálculo y teniendo en cuenta los consumos históricos de agua. Así, para el 2040, la demanda hídrica subterránea varía entre 236.711 a 3.604.929 m³/año contemplando escenarios optimistas, tendenciales y pesimistas. El proyecto estimó una demanda a 2040 de 750.236 m³/año.

13. Vulnerabilidad a la variabilidad y cambio climático.

Las variables hidrometeorológicas estudiadas en el proyecto, que pueden influenciar las condiciones del Acuífero Aluvial de Leticia fueron: los niveles y caudales del río Amazonas, la precipitación en Leticia y en las subcuencas de Ecuador y Perú, y la temperatura regional. Se buscaron relaciones entre la climatología local y los Índices de Variabilidad Macroclimáticos y se encontró que los niveles del río Amazonas son influenciados tanto por las condiciones del Océano Pacífico como por las del Océano Atlántico.



Crédito: Shutterstock

También se observó una condición tendencial al incremento de eventos extremos en caudal y nivel del río Amazonas.

Para considerar los escenarios futuros de cambio y variabilidad climática, el proyecto utilizó quince (15) Modelos Climáticos Globales de Acople Atmósfera-Océano, que se prepararon para el Panel Intergubernamental de Cambio Climático reflejados en el Cuarto Informe de Evaluación y tres (3) Modelos Climáticos Regionales. En general, los Modelos indican aumentos de precipitación, un incremento de los eventos extremos, tanto sequías como inundaciones, asociadas con el incremento de las temperaturas de ambos océanos.

Nuevas estrategias y medidas basadas en los principios del Manejo Integrado de los Recursos Hídricos

Con los resultados obtenidos por el proyecto se plantearon estrategias y medidas de adaptación para abordar las problemáticas identificadas, bajo los principios del Manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos en la región de Leticia, y así tomar medidas de uso conjunto de agua superficial, subterránea y lluvia.

En los intercambios con los actores sociales, el proyecto hizo ver como principal medida la importancia de profundizar los pozos para hacer frente a las variaciones esperadas del nivel del acuífero bajo eventos de sequías fuertes, como las que ocurrieron en 2005 y 2010.

El proyecto también hizo notar que observando el diagnóstico de abastecimiento de agua potable actual, es recomendable que los pozos profundos sean sectorizados por comunidades, para tener un mejor manejo sobre el recurso, buscando el mejor escenario a futuro de la demanda hídrica, lo cual requiere previamente ejercer el control ambiental sobre las fuentes potenciales de contaminación.

Igualmente, se planteó a la comunidad la necesidad de optimizar y mejorar la infraestructura existente del acueducto municipal para aprovechar las aguas superficiales bajo condiciones adecuadas de operación, distribución y manejo. Asimismo, se recomendó contemplar alternativas para el aprovechamiento de aguas lluvias, dada la magnitud de las precipitaciones en la región.

Para implementar las soluciones planteadas, el proyecto propuso desarrollar estudios hidrogeológicos más detallados que contemplen una red de exploración y monitoreo de aguas subterráneas.

También se considera necesario seguir estudiando los modelos de pronóstico climático en la región. Esto puede ayudar en las proyecciones de cambio climático, que se podrían complementar con estudios sobre efectos de la deforestación y los cambios del uso del suelo en la cuenca.

Replicación en Colombia

Los resultados del estudio "Evaluación de los Sistemas Acuíferos de la región Leticia, Colombia" se tendrán en cuenta en el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Leticia. Dichos resultados quedan como insumos para continuar estudiando la formación acuífera que se comparte con Tabatinga.

Un nuevo estudio debe hacerse en forma integrada entre Colombia y Brasil para lograr definir las condiciones geométricas e hidráulicas de este complejo acuífero transfronterizo. Del mismo modo, esta caracterización hidrogeológica de los acuíferos de la región de Leticia puede ser replicada en otras subcuencas del Amazonas.

Los resultados obtenidos en esta actividad constituyen un marco de referencia para la planificación de los recursos hídricos del Amazonas y como documento de consulta técnica y académica para otras

regiones que estudian sus acuíferos, con miras a escenarios futuros.

El conocimiento técnico y científico que se obtuvo permitirá realizar intercambios de experiencias en la región y avanzar en la construcción de nuevo conocimiento, así como en la búsqueda de nuevos modelos de pronóstico climático, que permitan mejorar la caracterización de la variabilidad y cambio climático.

Esta experiencia con la comunidad en Colombia mostró además la necesidad que existe de crear Programas de Educación Ambiental específicos sobre acuíferos para las escuelas, colegios y universidades, que faciliten la sensibilización y la difusión de los principios de la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos aplicados a las aguas subterráneas.

Referencias/Bibliografía del Estudio N°. 2

- » Informe final de la consultoría "Evaluación de los sistemas acuíferos de la región de Leticia- Colombia", elaborado para el Proyecto GEF Amazonas por Servicios Hidrogeológicos Integrales (SHI S.A.S) Octubre, 2015.



Con los actores sociales de Leticia se intercambiaron medidas para lograr un mejor manejo del recurso hídrico

Crédito: Proyecto GEF Amazonas



...“El viejo río fluía a la caída del día en todo su cauce, después de siglos de servicios prestados a la raza que poblaba sus márgenes, en la tranquila dignidad de un curso de agua que lleva a los confines de la Tierra” ...

Joseph Conrad

Estudio N°. 3.

► Ciudades siamesas comparten un mismo acuífero:

Caracterización hidrogeológica conjunta del Sistema Acuífero Transfronterizo Tabatinga – Leticia

Área: Hidrogeología



Crédito: Shutterstock

Los sistemas acuíferos de Leticia (Colombia) y Tabatinga (Brasil) conforman un solo acuífero transfronterizo, el cual a su vez representa un subsistema de la gran cuenca hidrogeológica del Sistema Acuífero Amazonas, como preliminarmente fue llamado.

Por este motivo, se realizó de manera conjunta la caracterización hidrogeológica de este acuífero, que consiste en el análisis paralelo de los resultados obtenidos a partir de los dos estudios hidrogeológicos mencionados, el de los acuíferos de la región de Leticia y el de la Ciudad Piloto Tabatinga.

Con estos estudios se realizaron comparaciones de orden cualitativo y se establecieron semejanzas y diferencias para consolidar las características hidrogeológicas de este acuífero transfronterizo. Cabe señalar que entre los estudios hay diferencias en re-

solución temporal y espacial (especialmente por las diferentes: escalas de trabajo utilizadas y las épocas de monitoreos y ejecución de pruebas) así como en las metodologías de exploración, lo cual dificultó que se realizaran acoples en los resultados de manera cuantitativa y concluyente.

Zona de estudio. Área urbana y suelo suburbano de Leticia y área urbana de Tabatinga.

Características de los dos estudios hidrogeológicos realizados

Esta caracterización conjunta del sistema acuífero se realizó de manera cualitativa y descriptiva, más que cartográfica y cuantitativa.

Ambos estudios lograron una descripción a diferente escala de los elementos abióticos (hidrolo-



gía, atmósfera, geología e hidrogeología) de las áreas de estudio con lo cual se evidenció la homogeneidad de ambas zonas en estos aspectos, siendo esencial el componente hidrogeológico,

para determinar la posibilidad de utilizar en forma conjunta las aguas superficiales y subterráneas para el abastecimiento de la población de ambas ciudades.

Características generales de los dos estudios hidrogeológicos realizados en Leticia y Tabatinga

Componente/ elemento	Evaluación de los sistemas Acuíferos de la Región de Leticia – Colombia (SHI S.A.S 2015)	Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000) (ANA, 2015).
Zona de interés	Leticia (Área urbana, suburbana y de expansión)	Tabatinga (Área urbana)
Escala de estudio	1:25.000	1:100.000
Escala temporal del estudio	El estudio fue ejecutado entre enero y agosto de 2015. Por los alcances técnicos del proyecto se logró caracterizar un periodo húmedo, entre abril y mayo de 2015.	La caracterización se realizó en Abril y Octubre de 2012, lo que corresponde a un periodo húmedo y uno seco, respectivamente.
Sistema de coordenadas	Coordenadas geográficas WGS – 84	Coordenadas UTM y WGS – 84

Descripción de los elementos abióticos de la zona

A continuación se presenta una descripción comparada de los elementos abióticos de la zona.

» **Geología.** La geología local y regional de las dos zonas presentan importantes similitudes: las dos ciudades se encuentran ubicadas sobre

la terraza aluvial de Leticia, un ambiente hidrogeológico favorable para la ocurrencia de aguas subterráneas, además no existen fronteras geológicas que limiten los sistemas acuíferos de ambas ciudades.

» **Hidrogeología.** El subsistema acuífero Leticia- Tabatinga hace parte del Sistema Acuífero Amazonas. Tanto en Leticia como en Tabatinga

se definieron Unidades Hidrogeológicas. Cabe mencionar la diferencia existente sobre la metodología aplicada para definir estas Unidades, su espesor y su configuración geométrica, debido a las escalas utilizadas (se

evidenciaron diferencias de espesor del acuífero). En Leticia, las Unidades fueron definidas por García R. y CORPOAMAZONÍA a partir de siete sondeos eléctricos verticales, localizados en el área de estudio.

Descripción de las Unidades Hidrogeológicas definidas en los estudios de Leticia y Tabatinga

Zona	Unidad	Descripción	Espesor	Clasificación
Leticia	Unidad hidrogeológica I - HQalTsa	Formada por depósitos aluviales lodosos y arenosos de la terraza de Leticia (Qal) y por las areniscas de Calderón (Tsa), conformando un acuífero libre multicapas. Se extiende por toda el área de estudio Esta unidad es somera y sus niveles freáticos se encuentran superficiales, constituye la fuente de abastecimiento de aguas subterráneas para la población de Leticia (García Romo, 2008).	Espesor variable, siendo mayor en el área adyacente al casco urbano de Leticia, 70 m y disminuyendo hacia el norte entre 50 y 15 m de profundidad	Acuífero
	Unidad hidrogeológica II	Corresponde a la Formación Pebas/Solimões, la cual se comporta como un acuífugo constituida por arcillolitas (García Romo, 2008) que infrayacen la unidad hidrogeológica I.	Desconocido	Entre acuífugo y acuícludo
	Unidad hidrogeológica III	Correlacionada con el basamento o cratón (Formación Aracuara y Precámbricas del Escudo Guayanés), la cual puede comportarse como acuífugo según los datos electro estratigráficos, además su porosidad secundaria es baja ya que se encuentra en un ambiente tectónicamente estable. (García Romo, 2008)	Desconocido	Acuífugo

En Tabatinga, las Unidades Hidrogeológicas se definieron a partir de tres pozos de exploración petrolera cuyas profundidades son superiores a 1 Km. y ningún pozo se encuentra ubicado directamente en el área de estudio.

Zona	Unidad	Descripción	Espesor	Clasificación
Tabatinga	Acuífero Aluvial	Depósitos aluviales que ocupan extensas áreas en el margen del río Solimões/Amazonas, constituidas por arcillas de 3 a 8 m de profundidad y seguido por arena fina a media de espesor variable entre 12 y 17 m, que suprayace la formación Solimões.	Entre 12 y 17 m	Acuífero
	Acuífero Libre Içá	Formación totalmente arenosa, de buenas características de flujo, se presenta en el pozo estratigráfico de Benjamin Constant, mas no se evidencia en Tabatinga.	20 m	Acuífero que no está presente en Tabatinga
	Acuífero Solimões	Formación Solimões, presenta algunos sedimentos intercalados que permiten flujo de agua, cuyos espesores varían entre 8 y 12 m y ocurren de manera intercalada en el espesor total de la formación	113 m en total	Entre acuífero y Acuícludo
	Acuífero confinado Javari	Confinado entre los sedimentos poco permeables de la formación Solimões en la parte superior y por el basamento cristalino en la parte inferior. ocurre a una profundidad superior a 200 m en Benjamin Constant	381 a 500 m	Acuífero confinado



Credito: Shutterstock

La Unidad Hidrogeológica I identificada en Leticia y la descrita en Tabatinga como Acuífero aluvial son correspondientes, presentan las mismas características de composición y formación, además son las unidades aprovechadas por los asentamientos humanos en las dos regiones, por lo cual el estudio hidrogeológico se concentró en la caracterización de dicha Unidad Hidrogeológica.

Extensión y espesor del acuífero aluvial transfronterizo Leticia - Tabatinga

El acuífero en Leticia se extiende sobre toda la zona de estudio y presenta espesores variables entre 50 y 15 m y en la zona más cercana al río Amazonas el espesor de la Unidad llega hasta los 70 m.

En Tabatinga se definió una distribución muy homogénea del acuífero presentando un espesor variable entre 12 y 17 m. Al comparar las configuraciones geométricas del acuífero en las dos zonas de estudio se evidenció que hay diferencias importantes en cuanto al espesor de la formación, lo cual se debe a la metodología utilizada para la definición de la geometría del acuífero aluvial (métodos de exploración geoeléctrica en Leticia y estratigrafía de los pozos petroleros en Tabatinga).

Componentes del acuífero aluvial Leticia-Tabatinga

Para su caracterización se tuvieron en cuenta los siguientes componentes:

1. **Los parámetros hidráulicos**, que incluye los rangos de variación esperados y la realización de dos pruebas de bombeo a caudal constante en ambas zonas, para observar la interacción río - acuífero.
2. **La piezometría del acuífero aluvial**, (considera la altura que alcanza el agua en un sondeo). Sus niveles se midieron en diversas campañas de campo tanto en Leticia (medidos 160 pozos) como en Tabatinga (15 pozos). Aunque las áreas

de estudio son diferentes en tamaño y la cantidad de pozos con registro de nivel es distinta, la tendencia de la distribución de la profundidad de los niveles estáticos es muy similar: menores a 6 m en niveles cercanos a la superficie.

Estas mediciones permitieron también observar que la tendencia de las direcciones de flujo del agua subterránea en un periodo lluvioso para Tabatinga y Leticia es muy similar, la cual es en sentido E-W hacia el cauce del río Amazonas. Dichas direcciones de flujo indican la relación directa que guarda el acuífero aluvial con el río Amazonas, descargando los excesos de agua del suelo en el cauce, esto a nivel superficial. En cuanto a la variación temporal de los niveles estáticos en ambas ciudades, éstos se encuentran relacionados con el nivel freático del acuífero aluvial transfronterizo.

El estudio concluyó que los niveles más superficiales del acuífero tienen una relación directa con la precipitación en la zona, pero la masa de agua contenida en el acuífero se relaciona con la dinámica del río Amazonas con el cual se encuentra conectado.

3. Los mecanismos de recarga y cantidad de agua en el acuífero aluvial. Este acuífero transfronterizo es alimentado por dos mecanismos de recarga:

- a. **Recarga por flujo base**, que se da a partir de los aportes por flujo base del río Amazonas y depende de la dinámica de la cuenca del río Amazonas. Dada la gran cantidad de agua que mantiene el flujo base, dichas cantidades podrían considerarse como reservas "permanentes" de agua subterránea.
- b. **Recarga por precipitación:** Surge de las variaciones de la superficie freática del acuífero aluvial alimentando los niveles superficiales del mismo. Dicha recarga es muy variable en el tiempo. Las cantidades excedentes que elevan el nivel freático se dirigen al río Amazonas y en Leticia se dirigen además a otras corrientes superficiales de agua. La interacción acuífero-río es claramente escalable hasta la región de Tabatinga.

Principales resultados obtenidos

1. Se definió el volumen de almacenamiento del acuífero aluvial:

para la región de Leticia, en el año 2008, García definió un volumen total de agua de 54,7 Hm³. Y para la región de Tabatinga, según ANA, Brasil con datos del 2015, un almacenamiento de agua total de 17,6, para un gran total de 72,3 hectómetros cúbicos compartido por ambas zonas, incluso el estudio explica que dicha cantidad puede ser mayor.

2. Inventario de puntos de agua:

Sobre el acuífero aluvial transfronterizo Leticia- Tabatinga se localizaron 1.176 puntos de agua subterránea debidamente referenciados (con información de sus características) registrados en las bases de datos de los estudios realizados por SHI S.A.S. 2015 y por ANA, 2015. Sin embargo, se estima la existencia real de más de 3.000 puntos de agua que se abastecen del acuífero aluvial. Dichos puntos de agua se encuentran mayoritariamente en los cascos urbanos de ambas ciudades.



Crédito: Shutterstock

3. Usos del agua subterránea:

En ambas ciudades el tipo de captaciones de agua subterránea corresponde a pozos, cuyo diámetro predominante es de 4 pulgadas, con una profundidad media de 18 metros. La mayoría de los pozos son construidos por perforación manual. Coinciden sus características debido a que las empresas perforadoras trabajan en ambas ciudades. Igualmente, la mayoría de los puntos de agua se encuentran en operación y en cuanto al uso del agua subterránea, este es principalmente doméstico.

4. Hidrogeoquímica y calidad del agua.

Se realizó el análisis conjunto de la caracterización físico-química y de calidad de agua en la zona de Leticia y Tabatinga. Esta labor fue realizada por tres entidades: CORPOAMAZONÍA, ANA-Brasil y por SHI S.A.S, que realizó el estudio de calidad de aguas superficiales y subterráneas.

Valores de Conductividad eléctrica.

Ésta mide la capacidad del agua para transportar cargas eléctricas, las cuales llevan los iones disueltos en el agua. Los iones disueltos en el agua subterránea son producto de la interacción con el medio subterráneo, de ahí que a mayor tiempo de residencia del agua en la fase subterránea mayor será la cantidad de iones que el agua disuelve y por ende mayores valores de conductividad eléctrica presenta. Los valores de conductividad eléctrica obtenidos en cada uno de los estudios (para Leticia y Tabatinga) presentan el mismo orden de magnitud, corresponden al mismo acuífero y claramente indican que hay una conexión. Se planteó que el agua subterránea se conecta directamente con el agua lluvia, y al mezclarse se obtiene agua con menor conductividad que en la época seca.

Calidad de las aguas subterráneas.

Esta se define como la composición físico-química y biológica que la caracteriza. En Colombia, los límites permisibles de dichos parámetros para diferentes usos están reglamentados por dos decretos y por el Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico, RAS 2000.

a. Potencial de hidrógeno (pH).

Los valores de pH registrados en Leticia exhiben una tendencia a la acidez, de un promedio de 4,66. Igual situación se presenta en Tabatinga, con algunas variaciones.

b. Conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.

Sobre este punto, las aguas subterráneas del acuífero transfronterizo Leticia-Tabatinga presentan una buena calidad de agua para el consumo humano.

c. Turbiedad y Color.

Los valores de color están por debajo del límite de detección del método de análisis a excepción de un punto en Leticia

que incumple las normas. En Tabatinga la turbidez de las aguas es aceptable.

d. Nitratos y Nitritos. En cuanto a los nitratos todas las estaciones de aguas subterráneas presentan características de calidad apta para el consumo humano. En relación a los nitritos, se cumple con los límites establecidos por la ley. Igual situación se da en Tabatinga.

e. Alcalinidad y dureza. Las aguas subterráneas de Leticia y Tabatinga presentan bajas concentraciones de alcalinidad y son blandas y todos los puntos muestreados cumplen con la regulación colombiana.

f. Iones mayores: sulfatos, cloruros, calcio y magnesio. En la zona de estudio los sulfatos no se encuentran en altas concentraciones. Asimismo, las concentraciones de los iones cloruros, calcio y magnesio son muy bajas, por lo que las aguas subterráneas tienen una calidad aceptable para estos parámetros.

g. Coliformes totales y fecales. En Leticia, los valores de los coliformes evidencian un incumplimiento de las normas, por lo que el agua para consumo humano debe pasar por un tratamiento específico para remover este tipo de microorganismos. En el caso de los coliformes fecales, en algunos puntos de la muestra se cumplió con los límites establecidos por la norma. En el lado de Tabatinga, también se recomienda que el uso potable de las aguas subterráneas debe estar antecedido de una desinfección y filtración.

De la experiencia: nuevas medidas para compartir en ambas ciudades

1. Sobre Agua potable en la región Leticia-Tabatinga. La población de Leticia basa su consumo de agua potable en el acueducto municipal, (que presenta deficiencias técnicas y baja cobertura) en aguas subterráneas, agua lluvia y agua obtenida por puntos de distribución privada. A partir de información secundaria, se confirmó que el abastecimiento de agua potable en Tabatinga es similar al de Leticia. Sin embargo, en 2014,

se inauguró un nuevo sistema de tratamiento de agua potable en Tabatinga que mejorará las condiciones de consumo de la población. El estudio recomendó realizar un diagnóstico de abastecimiento de agua potable para plantear diagnósticos conjuntos y elaborar estrategias de planificación y cooperación fronteriza entre Leticia y Tabatinga, consideradas ciudades gemelas.

2. Vulnerabilidad y Amenaza por contaminación del acuífero aluvial. En los dos estudios realizados se encontró que el acuífero presenta una vulnerabilidad moderada a la contaminación, (por capa de limos y arcillas en las capas superficiales de la zona y por la superficie freática, entre otros).

Sin embargo, el mapa de vulnerabilidad unificado del acuífero muestra las fuentes potenciales de contaminación identificadas en Leticia, que pueden contaminar el acuífero en su totalidad, catalogándose el riesgo en un nivel alto. Las direcciones de flujo indican que la contaminación llegará a la quebrada San Antonio (línea de frontera con Tabatinga) por lo cual dicha zona se define como de riesgo potencial alto a la contaminación de aguas subterráneas. En Tabatinga no se realizó una identificación de fuentes potenciales de contaminación, aunque existe una amplia red de pozos sépticos, el 75% de sus habitantes los utiliza y el 15% deposita sus residuos a cielo abierto, lo cual representa un alto riesgo de contaminación para el acuífero.

3. Medidas de adaptación para el uso conjunto de aguas subterráneas y superficiales en la región transfronteriza. Dado que existen 3.000 pozos de abastecimiento de agua en esta región, el riesgo a la contaminación por factores antrópicos es elevado, al igual que para las quebradas San Antonio y Porvenir, y los vertimientos en el río Amazonas. Teniendo en cuenta que se ha validado la estrecha conexión del acuífero con el río, a través de los dos estudios analizados, las estrategias del uso futuro y la planificación del recurso deben ser conjuntas, tanto de aguas superficiales, como de las aguas subterráneas y aguas lluvias.

3.1. Estudio hidrogeológico detallado. Es clave realizar un estudio más detallado de manera integrada Leticia-Tabatinga para la planificación conjunta del recurso hídrico subterráneo, porque de los estudios se desprenden algunos vacíos como la geometría del acuífero, por ejemplo. Por tanto, se recomendó ejecutar ensayos geofísicos como tomografías eléctricas a ser efectuadas en toda el área de estudio. También se recomendó ampliar el polígono de Tabatinga, para abarcar zonas rurales y de expansión urbana, y obtener una mejor caracterización del acuífero en un área de mayor extensión.

3.2. Mitigación del riesgo de contaminación del recurso hídrico. En Tabatinga, es necesario identificar las fuentes potenciales de contaminación, caracterizadas y cartografiadas y también realizar en ambas ciudades un inventario de los pozos sépticos. Del mismo modo es necesario crear un sistema de alcantarillado conjunto.

3.3. Estudio de variabilidad y cambio climático. Se debe avanzar en la modelación a nivel regional, lo cual puede ayudar en las proyecciones de cambio climático.

3.4. Uso conjunto del agua superficial y subterránea y compartido entre Leticia y Tabatinga. El estudio resalta la importancia de la optimización del uso de agua superficial logrado por Tabatinga (en constante crecimiento urbano) con su nuevo sistema de abastecimiento de agua, sin embargo los conflictos por riesgo de contaminación seguirán latentes, por lo cual se recomendó evaluar alternativas para crear un sistema de acueducto y alcantarillado conjunto para Leticia y Tabatinga, esto por las evidencias de la relación acuífero-río.

3.5. Educación ambiental y de políticas de cooperación fronteriza. Las estrategias planteadas para Leticia implican campañas de educación en políticas de cooperación fronteriza, para crear conciencia en las comunidades, lo cual es válido para Tabatinga, asunto que fue planteado en el estudio elaborado por ANA. Este tipo de

medidas que incluyen estrategias de educación y comunicación son fundamentales para ambas ciudades, de manera que las poblaciones de ambos lados puedan trabajar en forma conjunta por un mismo fin: proteger y conservar los recursos hídricos de la cuenca.

Cooperación transfronteriza para la planificación conjunta de los recursos hídricos

La replicación puede efectuarse de una ciudad a otra en varios asuntos. De Leticia a Tabatinga y viceversa. En el estudio sobre Leticia se recomendó aumentar la profundidad de los pozos para hacer frente a las variaciones esperadas del nivel acuífero bajo eventos de sequías fuertes e incluso que dichos pozos sean sectorizados por comunidades, esto puede ser replicado en Tabatinga. También es importante para Tabatinga la realización de un Inventario de puntos de agua subterráneo a ser incluido en su polígono, para obtener una caracterización de dichas captaciones. Por otra parte, en Tabatinga desde 2014, existe un nuevo sistema de tratamiento de agua potable, para beneficio de las condiciones de vida de la población. En el mismo sentido, Leticia requiere mejorar su infraestructura.

Es clave que ambas ciudades puedan compartir un mismo sistema de acueducto y alcantarillado porque se trata de optimizar el uso sostenible del agua superficial y subterránea, incluso es fundamental que ambas ciudades aprovechen las aguas lluvias, dada la magnitud significativa de las precipitaciones en la región.

También se planteó crear una Red de exploración y monitoreo para Leticia que pueda incluir a Tabatinga, por lo cual se recomendó que su planeación, ejecución y operación sea conjunta, entre las entidades ambientales nacionales correspondientes.

Ambas ciudades a su vez, presentan serias deficiencias en sus sistemas de alcantarillado, lo cual abre la posibilidad de iniciar una planificación conjunta y un trabajo de cooperación transfronteriza para crear un sistema de alcantarillado sectorizado conjunto. Este asunto es prioritario debido



Credito: Shutterstock

al problema de vertimientos de residuos sólidos y líquidos, que puede generar conflictos en la zona, dado que como se ha comprobado los sistemas hídricos tanto subterráneos como superficiales se encuentran conectados entre Leticia y Tabatinga, por lo que la contaminación que se genere en un lado puede afectar el otro.

Las dos ciudades también requieren avanzar en un estudio conjunto de proyecciones de cambio climático y complementar con estudios sobre la evaluación de los efectos de la deforestación y los cambios del uso del suelo en la cuenca.

Unir esfuerzos en ambas ciudades para la educación ambiental con estrategias de comunicación permitirá aumentar el conocimiento sobre la cuenca y realizar un trabajo conjunto entre ambas ciudades, dado que no sólo comparten frontera, territorio, tradiciones y cultura, sino que la vida de sus poblaciones depende de las mismas aguas superficiales y subterráneas de la cuenca Amazónica.

La Gestión participativa en el manejo de los recursos hídricos

En el estudio "Evaluación de los sistemas acuíferos de la región de Leticia, Colombia" se realizaron tres jornadas de trabajo con la comunidad para tratar el tema del acuífero, lo cual responde al principio de gestión participativa del manejo de los recursos hídricos.

Por su parte, el estudio de ANA-Brasil hace énfasis en establecer una Estrategia de Educación para alumnos y profesores de primaria y secundaria, de manera que puedan contar con material didáctico en español y portugués sobre este acuífero.

Del mismo modo, ANA-Brasil propone crear una Estrategia de Comunicación conjunta que inicie con la capacitación de periodistas, para que puedan divulgar información sobre el acuífero a través de diversos productos de comunicación social. Este trabajo está pendiente en la región y requiere ser apoyado por todas las partes interesadas.

Lograr que la sociedad civil tanto de Leticia como de Tabatinga se organice y se unan en torno al Sistema Acuífero que comparten permitirá fortalecer las capacidades institucionales de ambas ciudades.

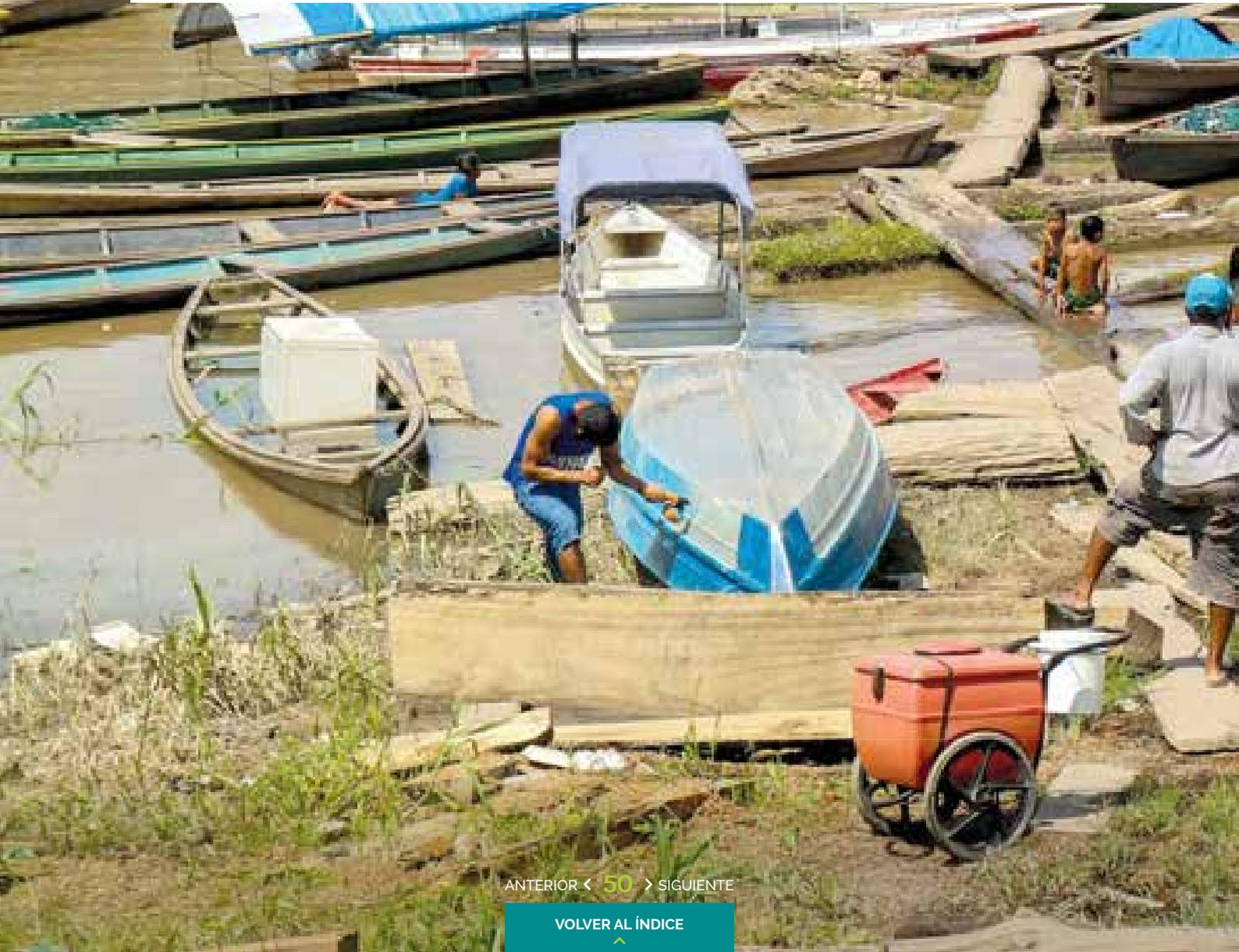
Educación y comunicación para la protección del Sistema Acuífero Tabatinga-Leticia requiere del apoyo y el conocimiento que tienen las universidades y los institutos de investigación que operan en la zona. Con esta misma finalidad, ANA propuso la creación de un Fondo Ciudadano para este acuífero.

Referencias/Bibliografía del Estudio N°. 3

- » En el Informe final de la consultoría "Evaluación de los sistemas acuíferos de la región de Leticia-Colombia", se elaboró un capítulo especial para la Caracterización Hidrogeológica conjunta del Sistema Acuífero Transfronterizo Tabatinga-Leticia, elaborado para el Proyecto GEF Amazonas por Servicios Hidrogeológicos Integrales (SHI S.A.S) Octubre, 2015.

JOSEPH CONRAD EN :

<http://biblioteca.unedteruel.org/propuestacineyreligion.html>







“El caudal entero del río no es otra cosa que el conjunto de todos los arroyos, visibles o invisibles, sucesivamente absorbidos.”

Élisée Reclus

Estudio N°. 4.

► Cooperación transfronteriza para la gestión sustentable del agua:

Evaluación de los Acuíferos de las cuencas sedimentarias de la Provincia Hidrogeológica Amazonas (PHA) en el Brasil (escala 1:1.000.000) y Ciudades Pilotos (escala 1:50.000); Volumen IX: Ciudad Piloto: Tabatinga, Amazonas

Área: Hidrogeología



Crédito: Shutterstock

La experiencia. Ciudad Piloto: Tabatinga, Amazonas

“**B**arro blanco que se encuentra en el fondo de los ríos” significa Tabatinga en lengua tupi, una explicación “hidrogeológica” podríamos decir, sobre una de las características del acuífero de esta ciudad, fundada por los jesuitas en el siglo XVII.

Tabatinga se encuentra unida a Leticia (Colombia) por la Avenida de la Amistad, lo cual convierte a las dos ciudades en una sola, por eso ambas son llamadas ciudades gemelas, aunque son prácticamente indivisibles si se considera el acuífero que por debajo las une. En ese caso, más que gemelas son siamesas, dado que los sistemas acuíferos de Leticia y Tabatinga conforman un solo acuífero transfronterizo, que

representa un subsistema de la gran cuenca Hidrogeológica del Sistema Acuífero Amazonas.

De ahí el interés del Proyecto GEF Amazonas de estudiar dicho acuífero transfronterizo y de ANA, Brasil, que cuenta con una Agenda Nacional de Aguas Subterráneas desde 2007. Así se hizo el estudio “Evaluación de los Sistemas Acuíferos de la región de Leticia, Colombia” y con el mismo fin el Gobierno de Brasil presentó el estudio “Evaluación de los Acuíferos de las cuencas sedimentarias de la Provincia Hidrogeológica Amazonas (PHA) en el Brasil (escala 1:1.000.000) y Ciudades Pilotos (escala 1:50.000)”, el cual comprende once volúmenes temáticos sobre: Balance Hídrico, Geología, Hidrogeo-

logía y Modelo Numérico de flujo e Hidrogeoquímica de la PHA, así como investigaciones de las Ciudades Pilotos de Macapá, Porto Velho, Rio Branco, Santarém y Tabatinga (Volumen IX).

Además se elaboró la "Propuesta de Proyecto para la Protección Ambiental y Gestión Sustentable de las Aguas Subterráneas en la región Amazónica a ser desarrollada por Brasil y los países vecinos", que corresponde al Volumen X, presentado en diciembre de 2015. Y el último sobre el Banco de datos.

Al mismo tiempo, a través del Proyecto GEF Amazonas se llevó a cabo el estudio comparado **"Caracterización hidrogeológica conjunta del Sistema Acuífero Transfronterizo Tabatinga-Leticia"**.

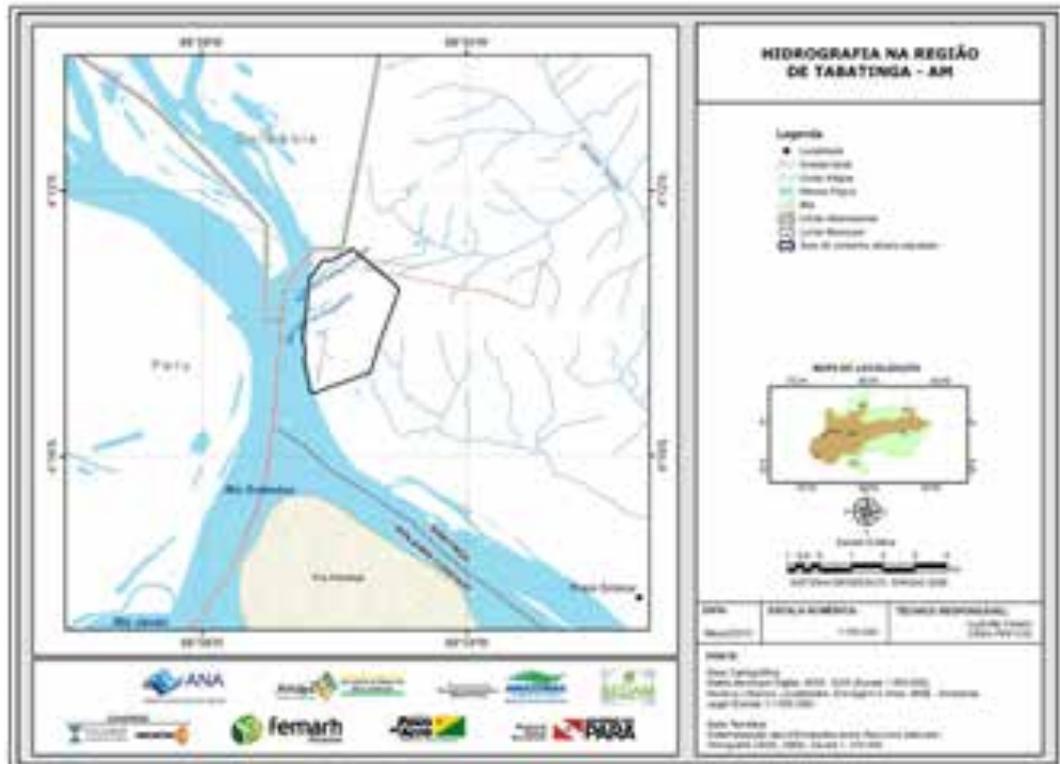
Esta experiencia que presentamos a continuación da cuenta del Volumen IX - **"Ciudad Piloto: Tabatinga"**, cuyo objetivo es obtener una caracterización de los aspectos fisiográficos, geológicos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos de esta ciudad, apuntando a una

evaluación cuantitativa y cualitativa de los recursos hídricos subterráneos como insumo para la toma de decisiones sobre el aprovechamiento y preservación de dichos recursos. El estudio a cargo del Consorcio TECHNE, Engenheiros Consultores y Projotec fue contratado y supervisado por la Agencia Nacional de Aguas, ANA, Brasil.

Tabatinga está localizada en la Microrregión del Alto Solimões, situada en la margen izquierda del río Solimões, en la triple frontera Brasil-Colombia-Perú. Posee un área de 3.224,88 km², y está ubicada al Oeste del estado de Amazonas, a una distancia de 1.100 km por vía aérea de Manaus.

La población del municipio de Tabatinga es de 52.272 habitantes, de los cuales 36.355 (69.5%) viven en la zona urbana y 15.917 (30.5%) en el área rural. Cabe mencionar que la población se compone de brasileños, colombianos, peruanos e indígenas. Además del portugués, se habla el español amazónico, influenciado por las lenguas indígenas autóctonas.

Red hidrográfica de la región de Tabatinga



Metodología

El estudio se desarrolló en tres etapas:

1. Primero se efectuó el levantamiento y análisis de la bibliografía existente.
2. En terreno se hizo un inventario de quince (15) pozos, en los cuales se realizó un monitoreo cualitativo y cuantitativo de recolección de agua para el análisis y mediciones de los niveles de agua, trabajo efectuado en dos campañas de campo. En la primera, de abril de 2012, correspondiente al período lluvioso, se hicieron mediciones del nivel del agua y se recolectaron muestras de agua para el análisis fisicoquímico y microbiológico. En la segunda campaña, en octubre de 2012, durante la sequía, además de los análisis anteriores, se hicieron análisis de metales pesados en cinco pozos, análisis isotópicos de tritio en seis pozos, análisis de oxígeno 18 y de deuterio en tres pozos y análisis de carbono 14 en uno. También se realizaron ensayos de bombeo en dos pozos, el primero con una profundidad de 32 m y el segundo de 24 m.
3. Se realizó la interpretación de los resultados de los análisis de agua, tanto con los datos existentes y levantados en las campañas de campo, como la evaluación cuantitativa y cualitativa del Acuífero Aluvial de Tabatinga.

Resultados obtenidos de la caracterización del Acuífero Aluvial de Tabatinga

La caracterización del Acuífero Aluvial de Tabatinga comprendió el estudio de los siguientes aspectos, que fueron detallados en 101 Tablas y 92 Figuras descriptivas, las cuales se pueden consultar en la investigación:

1. Fisiografía. Elementos y factores del clima.

La temperatura, los vientos, la humedad relativa, la insolación y las lluvias constituyen los principales factores condicionantes del clima de una región. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) las caracterizaciones climáticas se deben realizar con base en "Normas Climatológicas" en un período de 30 años. Para Tabatinga, se siguieron las Normas Climatológicas de 1961 a 1990 con datos del Instituto Nacional de Meteorología del Brasil (INMET).

Clima. Es Tropical lluvioso, con una temperatura media superior a 18°C en el mes más frío. Con una corta estación seca. La región es afectada por un "frente frío", originado por una masa de aire polar que durante los meses de invierno en el hemisferio sur desemboca agresivamente sobre la planicie amazónica.

Temperatura. Las temperaturas medias mensuales oscilan entre 25,1°C y 25,9 °C. Las tempe-

11 km de extensión, que nace en el Trapecio colombiano y desemboca en el Amazonas-Solimões. Su curso fluvial es de elevada sinuosidad transportando sedimentos en la época de lluvias torrenciales y cruza por los barrios de Leticia y Tabatinga. La quebrada del Engenho, con una distancia de 0,73 Km, está situada en la margen izquierda del río Solimões, en el barrio don Pedro. La quebrada San Antonio sirve de límite fronterizo entre Brasil y Colombia. En su margen izquierda están Tabatinga y Leticia. Tiene una extensión de 1.08 Km y abarca ambas ciudades. La calidad de sus aguas es deficiente debido a la contaminación por residuos lo que compromete su ictiofauna.

Suelos. La caracterización de los suelos de la región de Tabatinga se basa en el Sistema Brasileño de Clasificación de Suelos de la Empresa Brasileña de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA). Así se verificaron los siguientes tipos de suelos: Arcilloso rojo-amarillo aluminico (con fórmula PVAa) que cubre una superficie de 103km². Su textura varía de arenosa a arcillosa. Suelo glei háplico Ta eutrófico, (GXve) ocupa 36km², es decir un suelo determinado por el agua de fondo, originando una zona parda (eutrófica) compuesto por material mineral. Y suelo Neossolo flúvico Ta eutrófico (RYve) que cubre 3,16 km², comprende minerales poco desarrollados, ubicado en las márgenes de los ríos.

Vegetación. El municipio de Tabatinga está inserto en el bioma del Bosque Amazónico. La vegetación natural de la región según Veloso et al. (1991) se compone de:

- a. Bosque ombrófilo abierto aluvial con Palmeras, es decir que se establece a lo largo de los cursos de agua, ocupando planicies o zonas permanentemente inundadas donde se observan bosques pantanosos con un gran número de palmeras de gran porte. Esa unidad posee una extensión de 35,12 km².
- b. Bosque ombrófilo denso aluvial con dosel emergente. Se trata de bosques de ribera, que se dan a lo largo de los cursos de agua, de rápido

crecimiento. Debido a la explotación maderera su fisonomía se ha tornado más abierta. Se identifica el bosque con dosel emergente uniforme por la capa de ramas superiores de las copas de los árboles que son gigantes y generan doseles en forma de paraguas.

- c. Bosque ombrófilo denso de tierras bajas de dosel emergente. Con cerca de 4,29 km² no posee relevancia en el área de estudio. La urbanización cubre cerca de 3,35 km². La expansión urbana de Tabatinga y de los municipios vecinos viene ocasionando deforestación significativa de la vegetación primaria, lo cual se debe a la explotación maderera y a la fabricación de ladrillo. Cada vez más la vegetación primaria le cede su lugar a árboles secundarios como bananeras, ingazeiras, etc. con lo cual los suelos son expuestos a procesos erosivos que evolucionan rápidamente por las intensas lluvias de la región.

Influencia del intemperismo químico regional en la calidad de las aguas subterráneas de la Provincia Hidrogeológica Amazonas-PHA.

Cuando llueve sobre la superficie del terreno, el agua de la lluvia entra en contacto con rocas, suelos, áreas urbanas, animales y plantas. De ese contacto surgen reacciones químicas, a través de un proceso llamado intemperismo químico, que afecta las aguas. De ahí que en Tabatinga, las aguas subterráneas presentan bajos niveles de calcio, magnesio, potasio, sodio y Conductividad Eléctrica, entre otros elementos, pero poseen altos niveles de hierro que afectaron el 40% de las muestras de la primera campaña y el 20% de la segunda.

2. **Geología.** En la región predomina la Formación Solimões, que se extiende hasta Colombia y Perú. Los primeros estudios para la obtención de agua subterránea en Tabatinga se iniciaron en 1976, para los sondeos del Proyecto Carbón del Alto Solimões, así se contruyeron 5 pozos con profundidad máxima de 22,60 m y salida máxima de 4,2 m³ (Maia et al. 1997). También se construyeron pozos tubulares en 2001 en las áreas indígenas, en la periferie de Tabatinga, con una profundidad media de 8 m. En Tabatinga, las



Crédito: DTCA

aguas subterráneas se encuentran a profundidades variables de 1,5 a 15 m, con valor medio de 7 m. Por eso se construyen pozos tubulares con profundidad máxima de 25 m usando el método de chorro de agua, con sondeo de rotativa manual, recomendado para terrenos sedimentarios.

Estructura y Tectónica. Siendo la Tectónica, la especialidad de la Geología que estudia las estructuras geológicas producidas por las deformaciones de la corteza terrestre, la Tectónica regional de la cuenca del Solimões al sur de Tabatinga presenta una estructura en la cual se indican los límites en la sub-superficie o subsuelo, las secuencias estratigráficas desde el periodo Ordoviciano (aprox. 485 millones atrás) hasta el Mesozoico (245 M), entre otros asuntos. Se puede observar en el Mapa Geológico del Servicio Geológico del Brasil (CPRM) los dos pozos pioneros de Petrobras en la región de Tabatinga. El primer pozo llamado Benjamin Constant, el segundo Río Curuçá y un tercero fuera de ese mapa, llamado Río Javari. **Litoestratigrafía regional de Tabatinga.** Realizada a partir de los tres pozos antes mencionados, donde se revela la siguiente estratigrafía: a) Formación Benjamin Constant. b) Paquete Paleozoico Indiferenciado. c) Formación Javari d) Formación Solimões e) Formación Içá.

Litoestratigrafía local. Según el Mapa Geológico, las Unidades Geológicas aflorantes son representadas por la Formación Solimões (cuya cima en la parte urbana de Tabatinga se encuentra a una profundidad de 19 a 24 m) y por los depósitos aluviales holocénicos (de la época actual) que ocurren a escala local sobre la superficie de la planicie de inundación del río Solimões y ocupan un amplia área a lo largo de ambas márgenes del río.

3. Hidrogeología e Hidrodinámica. Desde el punto de vista hidrogeológico es posible caracterizar en la región de Tabatinga cuatro Unidades Litoestratigráficas (ULs) representadas por los depósitos aluviales, las Formaciones Içá, Solimões y Javari. Los depósitos aluviales ocupan áreas significativas a lo largo de las márgenes del río Solimões y constituyen en Tabatinga capas arcillosas en la parte superior con un espesor de 3 a 8 m seguidas de arena fina a media con un espesor variable de 12 a 17 m de la Formación Solimões. Esa capa arenosa se define como la Unidad Hidrogeológica de Flujo (UHF), llamada en este estudio Acuífero Aluvial. La Formación Içá es totalmente arenosa y por si sola constituye una UHF representada por el Acuífero Libre Içá, presente en los pozos del río

Curuçá. Por lo tanto, no ocurre en la ciudad de Tabatinga. La Formación Solimões puede o no contener UHF y siendo así, se presenta como Acuitardo Solimões (formación que conteniendo agua la transmite muy lentamente) o bien como Acuicludo Solimões (formación geológica poco permeable que conteniendo agua no la transmite). En el pozo Benjamin Constant se presenta un típico Acuicludo y Acuitardos en los pozos de los Ríos Curuçá y Javari. En el pozo Río Curuçá, el Acuitardo Solimões posee dos UHF. En el pozo Río Javari se dan 19 UHF.

El Acuífero Confinado Javari. Tiene un espesor variable de 381 m, en Benjamin Constant a 500 m en la frontera con el Perú y se presenta confinado por los sedimentos poco permeables del Acuitardo Solimões y en reposo sobre un basamento cristalino. Ese acuífero es todavía desconocido porque ningún pozo lo alcanzó en la región. Solo puede ser captado por pozos profundos. Todo indica que también aparece en el área de Tabatinga.

El Acuífero Aluvial. Se puede decir que el acuífero explotado en Tabatinga corresponde a la primera capa arenosa (UHF1) del "paquete aluvial". La profundidad media del nivel estático, según la primera campaña de abril de 2012, fue de 4,72 m y en octubre de 2012 de 6,33 m. En promedio, el nivel del agua se encuentra sobre la parte superior de la capa de arena, cuya profundidad media es de 6,0 m. Por lo tanto, la capa acuífera se puede considerar de tipo libre. Se realizó un modelo litoestratigráfico para conocer las dimensiones y límites del acuífero. También se estudiaron sus propiedades hidráulicas, mediante pruebas de bombeo. Asimismo se analizó la recarga y descarga del agua subterránea del Acuífero Aluvial de Tabatinga durante las campañas de campo en los pozos de la red de monitoreamiento ubicados en el área de estudio. Los valores de la reserva de Tabatinga son: Reserva reguladora (RPD): 0,060 m³/s. Reserva potencial explotable (RPE): 0,024 m³/s. Reserva permanente (RP): 17,6 x10⁶ m³. Con los datos obtenidos fue posible concluir que la mayoría de los pozos registrados en Tabatinga,

el 93,3% posee profundidades de hasta 30 m. La base del Acuífero varía de 19 a 21 m. Los pozos con profundidad superior a los 21 m exceden la capa acuífera y penetran sedimentos poco permeables de la Formación Solimões. Los niveles estáticos no pasan de 15 m de profundidad en todos los pozos. Observando el estudio, los caudales predominantes se sitúan en el rango de 1,5 a 2,5 m³/h, aunque no se trata de caudales sustentables. Los caudales calculados en régimen de equilibrio serían de 14 m³/día o 0,58 m³/h. Según lo analizado, difícilmente habría condiciones para una explotación por una empresa de abastecimiento público de agua. Sin embargo, para el abastecimiento doméstico bajo un régimen de uso de pocas horas por día, la explotación del acuífero aluvial en Tabatinga es viable, requiriendo siempre la vigilancia de los órganos competentes para el control de la construcción de pozos y de la calidad del agua.

4. Hidrogeoquímica. Para evaluar la calidad de las aguas subterráneas del acuífero aluvial de la ciudad de Tabatinga, se realizaron las dos campañas de muestra mencionadas. Ambas campañas siguieron metodologías debidamente probadas. También se utilizó el Protocolo de Guía de Recolección de muestra. Con la Comisión Técnica de Acompañamiento y Fiscalización del Proyecto PHA y la firma consultora contratada se seleccionaron los pozos para el análisis cuantitativo y cualitativo del Acuífero Aluvial en Tabatinga, y se adoptaron siete condiciones para elegirlos, entre ellas que fueran pozos productores, con la anuencia del propietario y que captara agua de un acuífero único, entre otras. También se establecieron procedimientos para la recolección de las muestras fisicoquímicas y bacteriológicas, cuyos parámetros fueron: Color, Conductividad Eléctrica, Dureza, Turbidez, Sólidos totales disueltos, pH, Alcalinidad, Carbonato y Bicarbonato, Aniones, Metales Nitrógenos, Coliformes y Carbono 14. Los resultados de los análisis fisicoquímicos fueron evaluados mediante el cálculo del Balance iónico, incluyendo las causas iónicas en el mismo. Se aplicó el Índice de Langelier para verificar si el agua guarda equilibrio con el carbonato de

calcio sólido. Asimismo, se generaron 136 correlaciones entre las variables hidrogeoquímicas en los periodos lluviosos y seco, con lo cual se obtuvieron resultados de cada elemento. También se observaron las correlaciones entre varios elementos químicos y la conductividad eléctrica, lo cual indicó influencia del intemperismo químico, por la baja presencia de iones, pH ácidos y altos niveles de Fe y Mn diluidos por las intensas lluvias en la zona. Asimismo, se sugirió la contaminación de las aguas subterráneas originada por acciones antrópicas, principalmente por el lanzamiento de aguas residuales. En el área de estudio se vió también la ausencia de alcantarillado y falta de protección sanitaria en la instalación de los pozos.

Metales pesados, BTEX y fenoles. Los resultados analíticos de los metales pesados, BTEX y fenoles de las muestras de agua del acuífero aluvial fueron recolectados en la segunda campaña del estudio. Los metales analizados fueron: Arsénico, Bario, Cadmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel y Zinc. En relación a los análisis de metales pesados, BTEX (acrónimo de los compuestos químicos benceno, tolueno, etilbenceno y xileno, contaminantes) y fenoles también se observó el criterio de observar si el pozo está situado en lugares próximos a potenciales fuentes de contaminación, como industrias de transformación, puestos de combustible, establecimientos comerciales, entre otros. Como esos parámetros presentan riesgo para la salud humana, la Ordenanza del Ministerio de Salud de Brasil 2914/2011 y la Resolución 396/2008 del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) establecieron límites máximos de patrones de potabilidad. En este caso, no hay contaminación por metales pesados, BTEX ni fenoles.

Datación. Los análisis del Oxígeno 18 y de Deuterio concluyeron que la recarga del acuífero aluvial proviene de aguas lluvias. Las dataciones efectuadas con Tritio indicaron que las aguas del acuífero aluvial tiene mezcla con agua submoderna con recarga reciente y la datación radiométrica con Carbono 14 reveló la presencia de agua moderna.

Modelado Geoestadístico. Se crearon las pautas para generar un Modelo Geoestadístico con los datos hidrogeoquímicos (con los parámetros fisicoquímicos analizados).

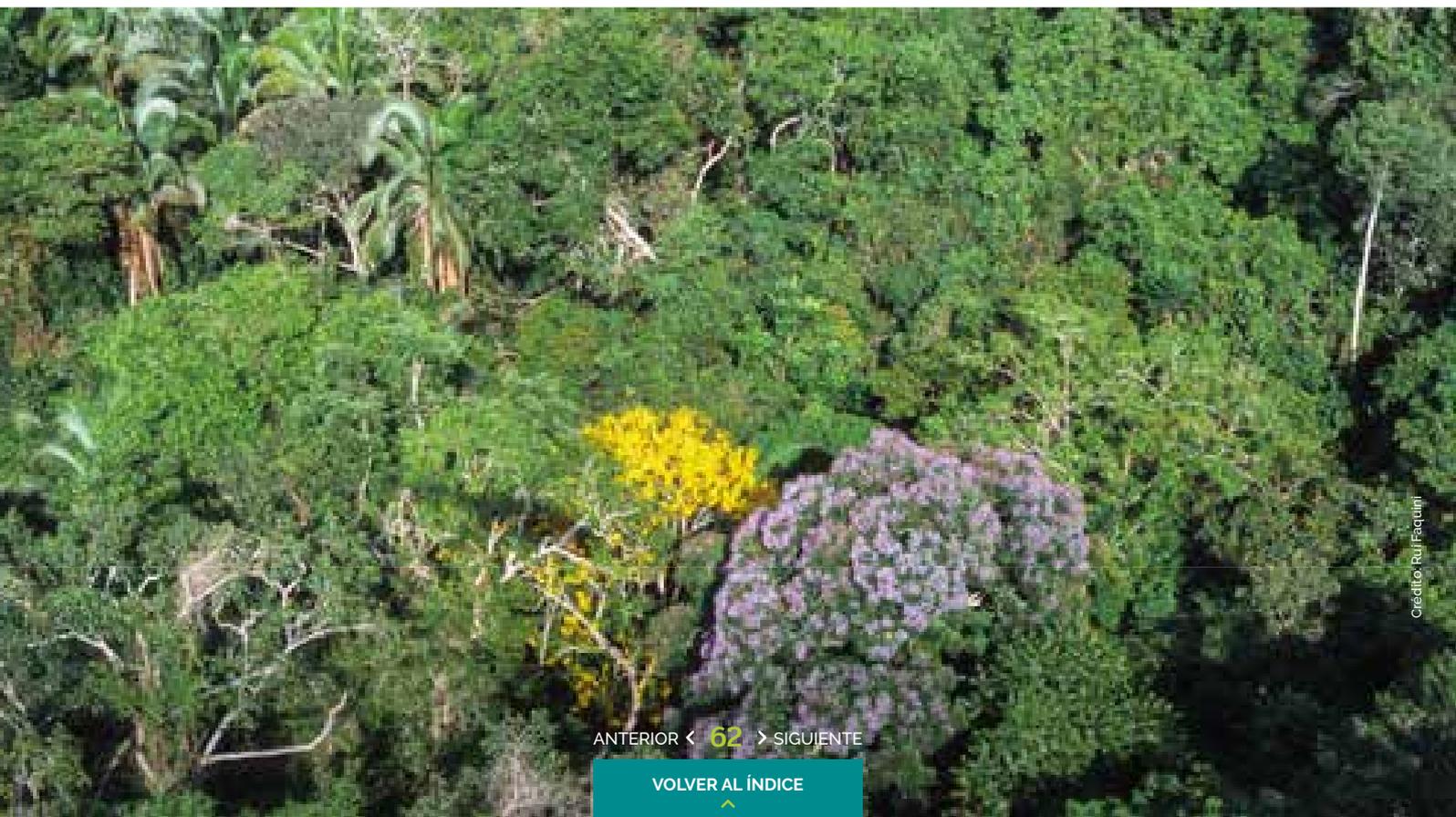
Parámetros biológicos. Para evaluar la contaminación por desechos humanos y de animales se mide la calidad bacteriológica del agua a través de bacterias del grupo coliformes, principalmente los Coliformes Totales y los Escherichia Coli o Coliformes Termotolerantes y se consideran indicadores de contaminación fecal del agua con peligros para la salud humana. La Ordenanza 2914/2011 establece como patrón microbiológico del agua para consumo humano, la ausencia de coliformes totales en 100 ml de agua. En el periodo lluvioso de abril 2012 las aguas del Acuífero Aluvial en Tabatinga presentaron en un 27% (en 4 de 15 pozos) dos casos con presencia de coliformes totales, mientras que en el periodo seco en octubre de 2012, la presencia se dio en 40% (en 6 de 15 pozos) de las muestras. Siguiendo los patrones de la Ordenanza, en la primera campaña el 73% (11 de los 15 pozos) y el 60% (9/15) en la segunda campaña presentaron aguas recomendadas para el consumo humano. El riesgo que se presenta para la salud es que la población del área de estudio utiliza agua de los pozos para todos los usos, principalmente el doméstico. Se debe tener en cuenta que el área de estudio queda en una zona urbanizada que no posee alcantarillado, lo cual representa un riesgo directo para la población en relación a la potabilidad de las aguas subterráneas por la filtración de los pozos sépticos situados próximos a los pozos de agua y por las fugas de las redes de alcantarillas, según Zoby (2008). Esta situación aplica tanto a pozos de agua urbanos como rurales, además algunos están mal localizados, les falta mantenimiento, higiene y tratamiento de las aguas antes de su consumo. Según Silva y Araújo (2003) el destino final de las alcantarillas domésticas e industrial en pozos y tanques sépticos, el inadecuado manejo de los residuos sólidos urbanos e industriales, los puestos de combustible representan fuentes de contaminación para las aguas subterráneas por bacterias, virus patóge-

nos, parásitos y sustancias orgánicas e inorgánicas. Lo anterior puede afectar a la población con enfermedades transmitidas por el agua como amebiasis, gastroenteritis, fiebre tifoidea, hepatitis infecciosa y cólera, entre otras.

Clasificación de las Aguas Subterráneas del Acuífero Aluvial según su composición química. Con base en los datos recolectados de los 15 pozos estudiados en las dos campañas realizadas (Lluviosa y seca) el estudio hidrogeoquímico de las aguas del Acuífero Aluvial de Tabatinga reveló de forma general, que los niveles analizados se encuentran en bajas concentraciones, debido al clima lluvioso del Bosque Tropical Amazónico y que los valores extremos encontrados se deben a factores antrópicos. El Modelo geoestadístico de 20 parámetros fisicoquímicos analizados de las aguas subterráneas del acuífero, permitió comprobar sin sesgo estadístico, la influencia de los períodos estacionales de los parámetros, con iguales niveles de riesgo.

Vulnerabilidad natural del acuífero aluvial. En este contexto, vulnerabilidad es la sensibili-

dad de la calidad del agua subterránea ante una carga contaminante impuesta, determinada por las características intrínsecas del acuífero y de su recubrimiento. Si bien es complejo evaluar la vulnerabilidad de un acuífero, esto depende del funcionamiento principalmente de las condiciones geológicas e hidrogeológicas del propio acuífero, de la topografía y del tipo de suelo. Existen varios métodos para evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos, algunos fueron concebidos para determinar la vulnerabilidad de un acuífero para cualquier contaminante, o sea vulnerabilidad general, y otros métodos permiten evaluar un acuífero de acuerdo a contaminantes específicos como residuos industriales o sólidos urbanos, etc. En este estudio se utilizaron dos métodos, el DRASTIC y el GOD. El DRASTIC, desarrollado por Aller et al. (1985) para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por su sigla en inglés) usado para la evaluación cualitativa y el mapeo regional, entre otras, tiene en cuenta las variables tomadas del acrónimo DRASTIC, así: Depth of water, profundidad del agua. Recharging, recarga. Acuífer media, litología del acuífero. Soil media, tipo de suelo. Topography,



topografía. Impact of vadose zone, litología de la zona no saturada. Conductivity, conductividad hidráulica. En el caso del método GOD. Las tres letras representan los valores y sus relaciones. G=El acuífero aluvial es de tipo libre y su valor es G=1. La O equivale a la litología del acuífero, representada por los aluviones limosos con valor O=0,5 y la D indica el valor de la profundidad del nivel del agua del acuífero aluvial, medido en las campañas de campo con valor de 0,8. Resultados: Según el método DRASTIC, en el periodo lluvioso el Índice de Vulnerabilidad para este acuífero es de Moderada en el 100% de los pozos. Y en la sequía el acuífero presenta una vulnerabilidad de Baja a Moderada. Según el método GOD, para ambos periodos, los Índices de Vulnerabilidad obtenidos se mantuvieron de 0,4 a 0,45 lo que indicó una vulnerabilidad Media para el acuífero.

Aprendiendo de la experiencia de Tabatinga

El estudio sobre Tabatinga coincide en diversos aspectos con el realizado sobre "Evaluación de los sistemas acuíferos de Leticia", en particular por la necesidad que tienen ambas ciudades de abordar con herramientas científicas el acuífero que las une y lograr un sistema de acueducto y alcantarillado común, entre muchos otros asuntos, fortaleciendo así la cooperación transfronteriza.

Si bien en el estudio sobre Tabatinga se establece que la vulnerabilidad del acuífero es moderada, los especialistas resaltaron que el riesgo de contaminación es alto en Tabatinga debido a varios factores, entre ellos porque la zona urbanizada no cuenta con sistema de alcantarillado y hay ausencia de planificación en materia de ocupación y uso del suelo, lo cual contribuye al aumento de cargas contaminantes.

Igualmente, el estudio hace notar la importancia de adoptar medidas para la preservación y conservación de este manantial, clave para la población en la región que va en aumento. De igual modo, se requiere estrechar los vínculos entre las entidades gubernamentales para que en esta triple frontera de Brasil, Colombia y Perú pueda aumentar el conocimiento

técnico y científico del acuífero y se pueda realizar una gestión sistémica de los recursos hídricos subterráneos transfronterizos.

Replicación: Hacia la protección sostenible de las Aguas Subterráneas en la cuenca Amazónica

Esta experiencia que implicó una detallada caracterización del acuífero aluvial de Tabatinga, dio también como resultado la elaboración de la propuesta de "Proyecto para la Protección Ambiental y Gestión sustentable de las Aguas Subterráneas en la región Amazónica a ser desarrollada por Brasil y los países vecinos", la cual responde al mismo tiempo, a las prioridades regionales identificadas en el Programa de Acciones Estratégicas (PAE) del Proyecto OTCA/ ONU Medio Ambiente/ GEF Amazonas – Recursos Hídricos y Cambio Climático.

Esta propuesta al estar cimentada en estudios científicos y encuentros técnicos sobre Aguas Subterráneas desarrollados por el Proyecto GEF Amazonas y ANA Brasil, busca crear un Programa de Acciones Estratégicas (PAE) específico para las Aguas Subterráneas del Sistema Acuífero Amazonas que comprenda las Provincias Hidrogeológicas del Amazonas.

En ese sentido, se trata de aprovechar la integración lograda por los países de la OTCA a través del Proyecto GEF Amazonas y continuar con el tema de Aguas Subterráneas, esto debido a que existe la necesidad de profundizar en esta materia para generar capacidad regional, nacional y local en el gerenciamiento sistémico, integrado y sostenible, y en la planeación y preservación de los recursos hídricos subterráneos.

Este estudio es uno de los tres soportes científicos de la propuesta de proyecto que se da en un momento sensible en la cuenca Amazónica, debido a la deforestación, a la alteración del uso de los suelos y especialmente debido a la falta de conocimiento técnico del estado en que se encuentran las aguas subterráneas transfronterizas.

Por tanto, poner el tema de las aguas subterráneas en las Agendas Públicas de los países que compar-

ten el acuífero sería una medida que beneficiaría no sólo a las poblaciones de la región, sino que tendría incidencia a nivel global.

Importancia de la divulgación del conocimiento sobre el Sistema Acuífero Amazonas

El conocimiento sobre el Sistema Acuífero Amazonas es reciente y podría decirse que aún es incipiente, y no ha trascendido del ámbito académico y científico hacia los niveles gubernamentales locales, regionales y nacionales ni hacia los medios de comunicación y menos hacia las comunidades que requieren estar informadas sobre las aguas subterráneas que utilizan.

La divulgación de las experiencias realizadas a través de los medios, el intercambio del nuevo conociemien-

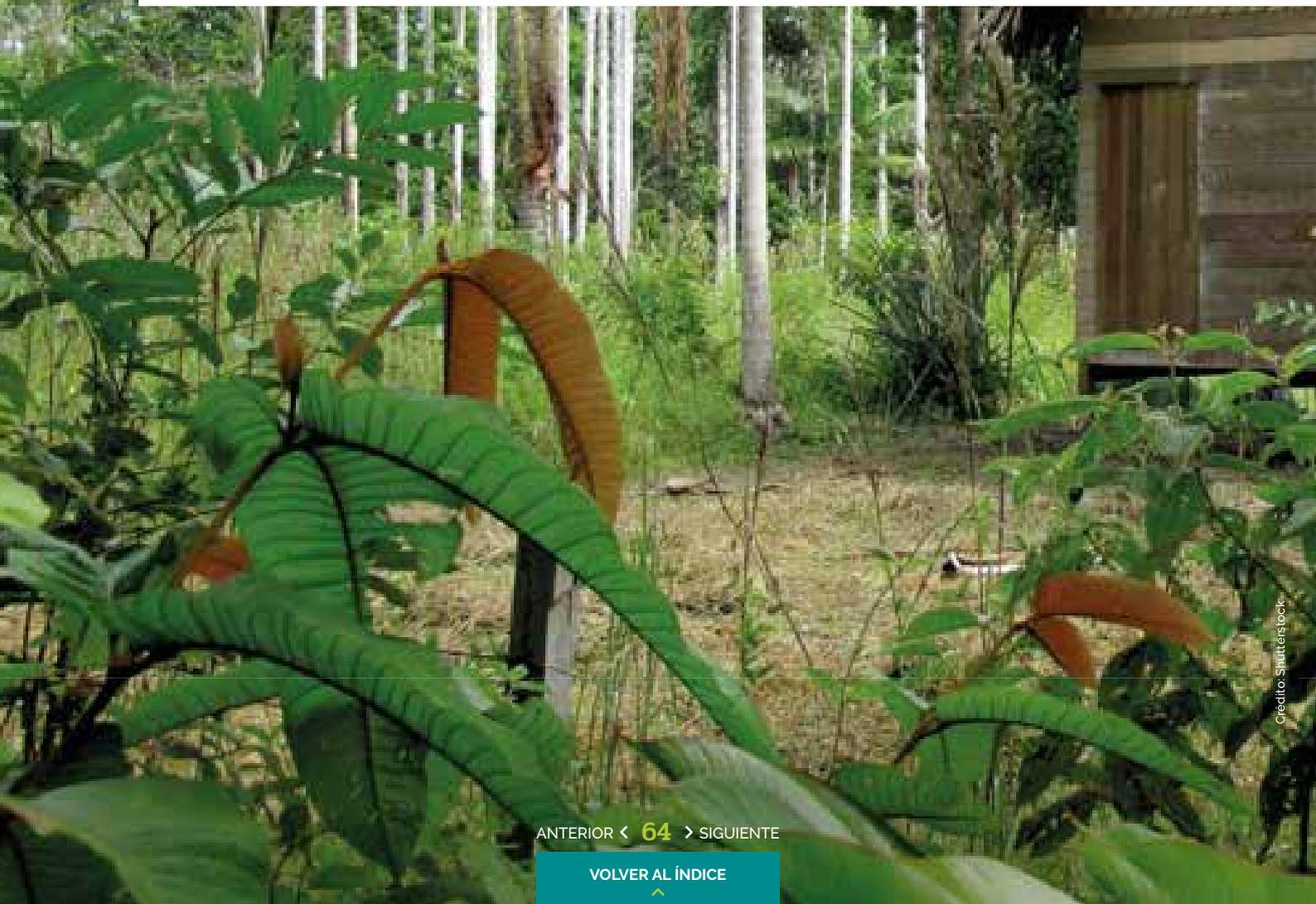
to adquirido mediante nuevas socializaciones, al igual que la formulación de Programas de Educación Ambiental sobre Aguas Subterráneas, dirigidos a todos los niveles educativos, permitirá incidir en el aumento de la conciencia ambiental para la preservación de las aguas subterráneas del Amazonas para las nuevas generaciones.

Referencias/Bibliografía del Estudio N° . 4

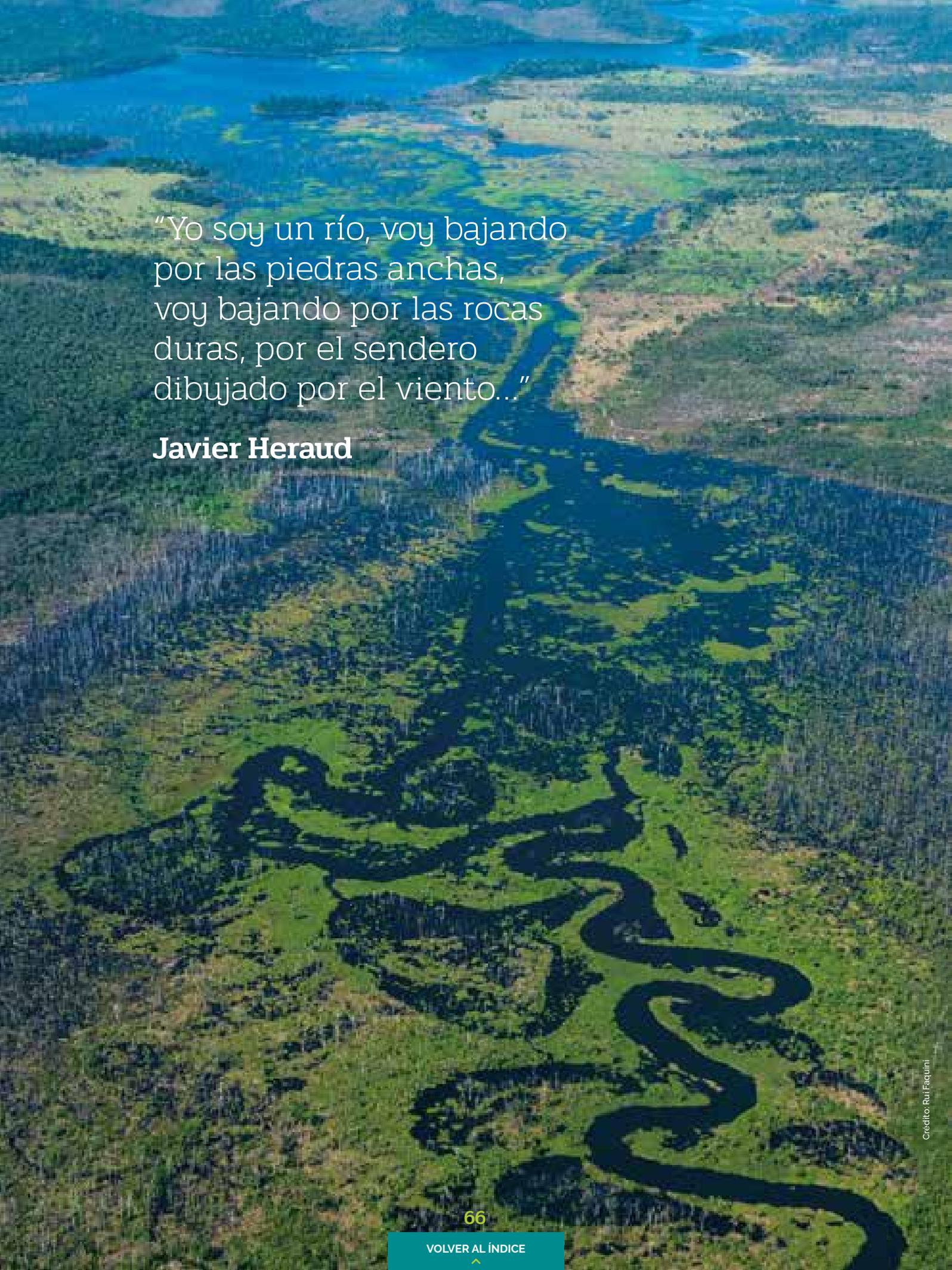
» Consultar el Volumen IX del estudio realizado.

Poeta y geógrafo: Elisée Reclus en:

www.plataformadeartecontemporaneo/pac/moreno-y-grau-en-isabel-hurley.com





An aerial photograph of a river meandering through a vast, green landscape. The river is dark and winds through a terrain of varying shades of green, from deep forest to lighter, grassy areas. The river's path is highly irregular, with many sharp turns and loops. In the upper part of the image, the river flows through a more open, grassy area with some scattered trees. The overall scene is a beautiful representation of a natural waterway in a healthy ecosystem.

“Yo soy un río, voy bajando
por las piedras anchas,
voy bajando por las rocas
duras, por el sendero
dibujado por el viento...”

Javier Heraud



Estudio N°. 5.

► ¿Qué arrastran las aguas hasta el fondo de los ríos?

Conozca la Caracterización geoquímica de la carga de sedimentos de los ríos Madeira y Solimões

Área: Hidrogeoquímica



Crédito: Shutterstock

Introducción

Entrando por el Solimões

Cuando los primeros cronistas portugueses pasaron por aquel río en pleno siglo XVI, vieron a los pueblos Yurimáguas, que habitaban sus márgenes y utilizaban un veneno en la punta de sus flechas. Los cronistas pensaron que era *Solimum* en latín, palabra que fue evolucionando con el uso, hasta conocerse hoy como Solimões, así bautizaron el río al entrar en Tabatinga (Brasil). También se cuenta, que el nombre derivó de la forma en que los viajeros fueron llamando a los pueblos nativos, Sorimões y Sorimão.

Una vez que el espléndido Solimões de aguas claras y del color de la arcilla hace su entrada triunfal en Manaus, se encuentra con otro gran afluente, el río Negro, de aguas oscuras, casi negras.

Sin embargo, sus aguas no se unen, ambos se quedan mirando frente a frente, fijamente, durante 6 km, cada uno en su lugar, casi sin tocarse, no se mezclan, lo cual da lugar al más emocionante Encuentro de las Aguas, una atracción del Amazonas a nivel mundial, un hecho natural que se da por las diferencias de temperatura, velocidad y densidad de los ríos. Hasta ahí, el río se llama Solimões.

Pasado este punto, cuando los dos ríos por fin, deciden unirse, surge una nueva criatura y así se convierte en el famoso río Amazonas, fuente de alimento, comercio, navegación y turismo.



Acercándonos a un río adolescente y...temperamental

¿Sabía usted que el río Madeira es uno de los ríos más caudalosos del mundo y es el más importante afluente sur del río Amazonas?

Es el único por la margen derecha que le aporta aguas al Amazonas desde la Cordillera de Los Andes, porque allí nace y sigue rápido en dirección al Atlántico. Está formado por tres ríos andinos, el famoso Beni y Mamoré en Bolivia y el Madre de Dios en Perú, llegando a Brasil por el sur, entra veloz al estado de Rondonia y sigue al estado de Amazonas.

Desde 1637, se le conoce como río Madeira (madera en español), porque en los períodos de creciente arranca árboles enteros de sus márgenes, que quedan flotando en sus aguas... Sin embargo, a pesar de su bravura, los indios lo habían bautizado en quechua como Cuyari, que significa Amor, sería por algo muy especial...

Como el Madeira es un río andino y sus aguas suben mucho por las intensas lluvias, en forma inesperada es capaz de originar grandes mareas por el aumento del volumen y del caudal, entonces ahí mismo, se devuelve a los niveles anteriores. Por eso, los lugareños dicen que es muy temperamental, a ratos está tranquilo y de repente se descontrola, pues es un río en formación, un río adolescente, es decir no tiene aún un lecho definitivo, entonces cada año busca con todas sus fuerzas un nuevo camino, llevándose por delante las márgenes, la vegetación y engullendo enormes masas de tierra.

Además de comportarse como un chico alocado, arrastra un gran volumen de sedimentos: arcilla, arena, minerales, rocas, por eso sus aguas son más densas que la mayoría de los ríos y ese es el tema de la investigación que se presenta a continuación.

Identificando las fuentes de los sedimentos suspendidos y en el fondo de los ríos Madeira y Solimões

Una de las actividades llevada a cabo por el Proyecto GEF Amazonas fue realizar una caracterización geoquímica y una identificación de las principales fuentes antropogénicas de los sedimentos suspendidos y de fondo en los ríos Madeira y Solimões, que son los principales afluentes del río Amazonas.

El río Madeira nace en la confluencia del río Beni y del río Mamoré (Bolivia), tiene una longitud de 4.207 km y su cuenca abarca 1.420.000 km². Comprende parte de Brasil, Bolivia y Perú. Su caudal es dos veces mayor que el río Misisipi o el Ganges. El río Solimões comienza en Perú y al entrar en Tabatinga (Brasil) recibe el nombre de Solimões. Tiene una longitud de 1.700 km. Y su cuenca es de 2.221.990 km².

Los resultados de esta investigación permitieron definir acciones de mitigación, reducir el proceso antropogénico de erosión y de sedimentación así como la formulación de intervenciones estratégicas para el Programa de Acciones Estratégicas (PAE).

La campaña de muestreo de agua y sedimentos fue ejecutada en dichos ríos durante la temporada de

lluvias (de octubre a abril 2012-2013) y en la estación de sequía (mayo a septiembre 2013). Los 16 sitios de muestreo se seleccionaron de acuerdo con la información sobre la geología regional de los ríos Madeira y Solimões, así: En el río Madeira: Abuna, Porto Velho, Humaitá, Manicoré, Fazenda Vista, Alegre/Borba. En el río Amazonas: Jatuarana, Itacoatiana, Parintins, Óbidos, Santarem (Prainha) y Tabatinga. En el río Solimões: en San Antonio do Içá, Fonte Boa, Tefé, Itapeúa y Manacapuru.

De esta forma, se realizaron dos (2) campañas de muestreo en 4.000 km de recorrido en los dos principales ríos de la cuenca Amazónica basadas en un Programa de recolección y análisis de sedimentos y de agua. Se recogieron muestras de agua, de sedimentos en suspensión y de los sedimentos depositados en el fondo de los ríos, durante las estaciones secas y lluviosas.

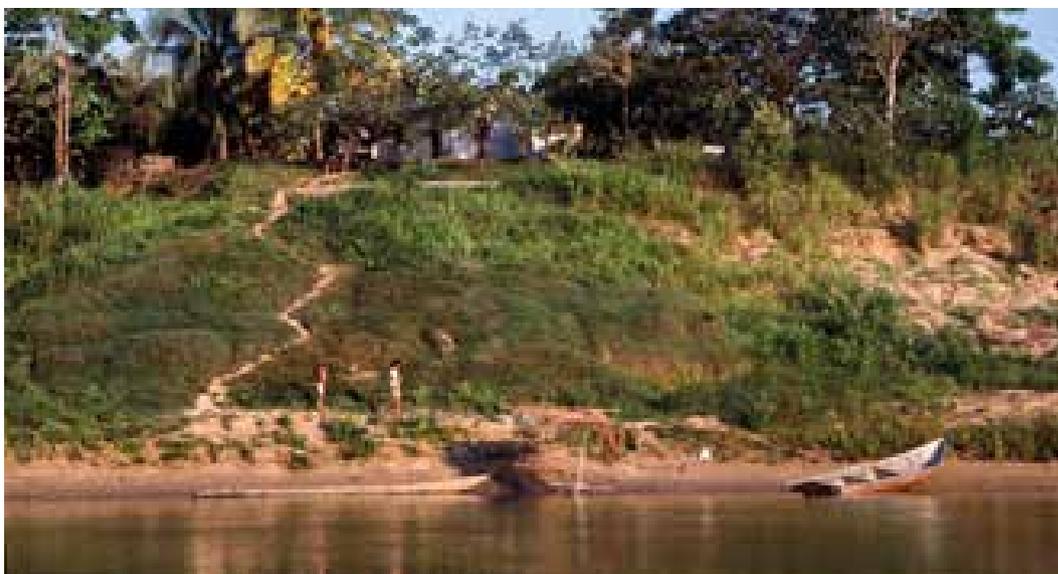
Antes de iniciar la recolección de las muestras y siguiendo el procedimiento de levantamiento de datos hidrométricos recomendado por la Agencia Nacional de Aguas, ANA (Brasil) y por la Organización Mundial de Meteorología (OMM) fue necesario realizar mediciones del ancho, la profundidad y la velocidad de la corriente de los ríos. Para estas mediciones se utilizó un Perfilador de Corriente Doppler Acústico (ADCP), facilitado por el Laboratorio de Potamología Amazónica del

Departamento de Geografía de la Universidad Federal del Amazonas (LAPA/DGEOG/UFAM) y por el Instituto de Investigaciones para el Desarrollo (IRD, Francia).

La metodología de muestreo y de los análisis físico-químicos del agua y de los sedimentos siguieron el Modelo *Standard Methods for Water and Wastewater Examination of the American Public Health Association of the American Public Health Association* (APHA, 2005). Las muestras se conservaron de acuerdo con los métodos estándar de análisis de sedimentos para su entrega al laboratorio. El análisis de laboratorio de las muestras recogidas, incluyó (i) análisis sedimentológico, (ii) análisis geoquímico de los sedimentos, y (iii) análisis del agua.

¿Qué indican los resultados del estudio realizado en los ríos Madeira y Solimões?

Un total de 3.600 análisis físicoquímicos fueron realizados en 57 muestras de agua y de sedimento de los ríos Madeira y Solimões. Los datos obtenidos servirán para construir una Base de datos, utilizando el Software HYDRACCESS (disponible gratuitamente en www.ore-hybam.org) y el Software Livre Quantum GIS, que usa imágenes de satélite para crear un mapa temático con los datos pre-procesados del período en que fueron recolectadas las muestras.



Crédito: Rui Faquini

Los datos de concentración de elementos en el agua y en los sedimentos en suspensión fueron utilizados para el cálculo de flujos en el período estudiado. Los resultados permitieron la construcción de mapas temáticos sobre la dinámica de los sedimentos en el período estudiado y también de elementos químicos encontrados en las aguas de los ríos analizados.

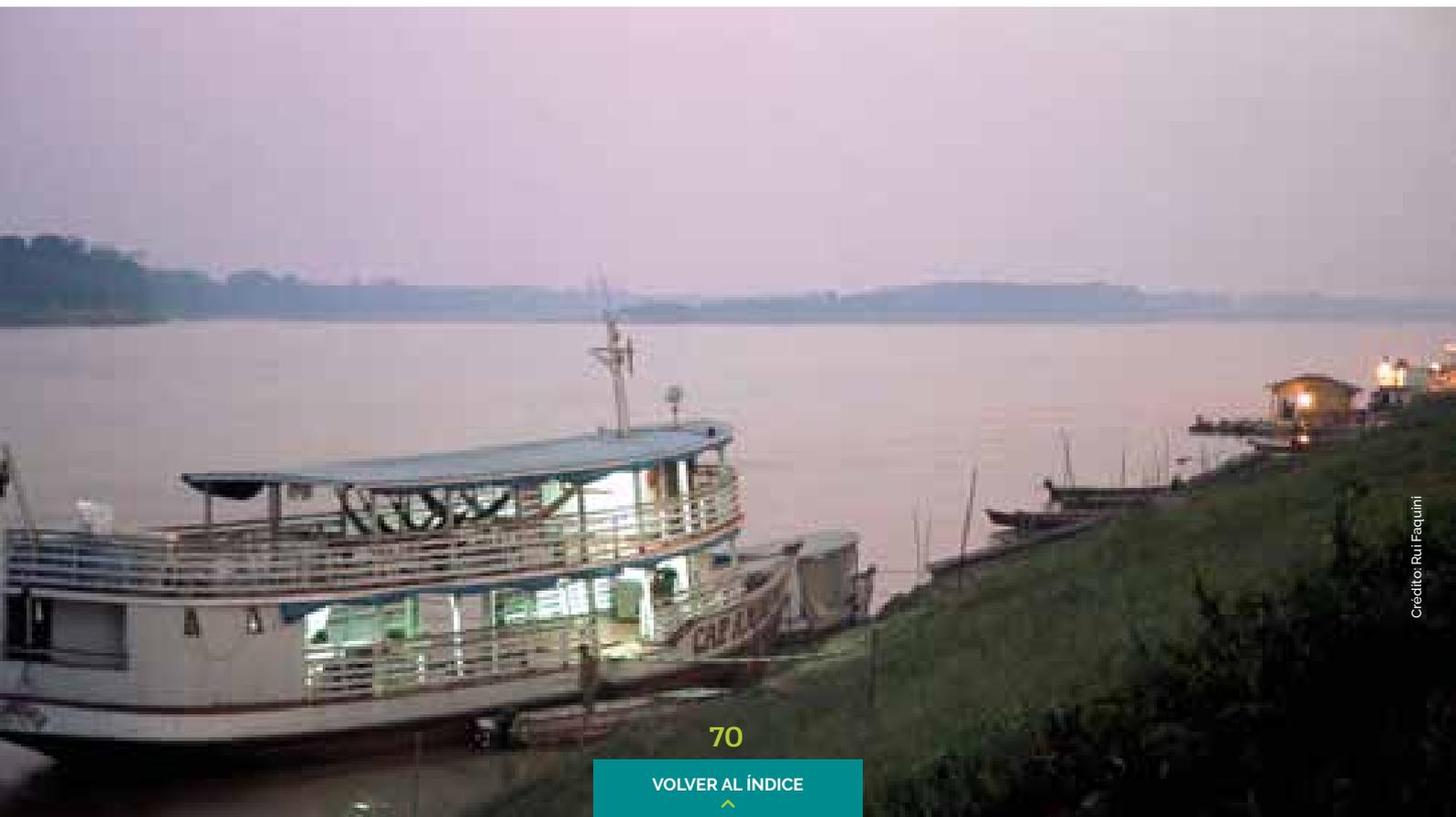
Los resultados analíticos de los ríos Madeira y Solimões indican un aumento significativo de la carga de sedimentos en la última década. Las mediciones realizadas fueron importantes para estimar los flujos de los elementos transportados (sedimentos, material en partículas, material disuelto, etc). El procesamiento y análisis de las muestras concluyeron, al tiempo que se generó una base de datos con los resultados obtenidos para el Observatorio Ambiental de Hidrología, Geoquímica y Geodinámica (ORE/HYBAM).

De igual modo, cabe destacar que se obtuvo un importante acervo de datos y fotografías sobre la región estudiada, que sirvieron para documentar todo el proceso de investigación y las futuras publicaciones de artículos científicos sobre el tema, esenciales para la comprensión de la cuenca Amazónica.

Aprendiendo de la experiencia

Las estrategias para la realización de las dos expediciones de campo en los dos grandes sistemas fluviales, consistió por una parte, en realizar mediciones de descarga de agua con el Perfilador de Corriente Doppler Acústico (ADCP) y por la otra, en recolectar agua y sedimentos utilizando muestras para la recolección en superficie y en profundidad, junto al lecho fluvial, pruebas que se hicieron en dos momentos distintos del ciclo hidrológico, primero en febrero y marzo y posteriormente de octubre a noviembre de 2013. Los sitios se escogieron en función de la existencia de estaciones hidrométricas en las áreas operadas por los servicios nacionales de la Agencia Nacional de Aguas (ANA) en el Brasil.

También se optó por negociar con aliados de Universidades e Institutos de investigación vinculados al Observatorio Ambiental de Hidrología, Geoquímica y Geodinámica (OREHYBAM) la obtención de un conjunto de datos de las localidades que se estudiaban de manera que le permitiera al Proyecto obtener una base de datos consistente.



Secuencia seguida durante la investigación

Paso 1

Se identificaron 16 puntos de recolección de muestras, 11 de los cuales se estudiaron en la expedición de febrero y marzo de 2013 y 8 puntos entre octubre y noviembre del 2013. Así fue como se recolectaron 57 muestras de agua para la determinación de Material en Suspensión (MES) y de contaminantes y otras 57 de Material o Sedimento del lecho de los ríos también para la determinación de contaminantes, considerando además que algunos puntos fueron visitados en las dos expediciones.

Paso 2

El equipo de muestra utilizado en terreno. El ADCP emite señales sonoras en una frecuencia conocida a través de cuatro transductores, que también escuchan la señal de retorno (eco), después de ser parcialmente reflejados por las partículas en suspensión en el agua que viajan a la misma velocidad de la corriente. Así, asociando la velocidad de las partículas en suspensión en el agua, el equipo determina también la profundidad y el camino recorrido por la embarcación en la cual está instalado, y calcula en tiempo real la descarga de un curso de agua utilizando los elementos básicos medidos: ancho, profundidad y velocidad de la sección en varios perfiles de medida a lo largo de la sección transversa del canal del río. Los datos recolectados por el ADCP son muchos y diversos. Los principales resultados fueron conocer: a) la evolución temporal de los caudales de los ríos b) la intensidad de las velocidades y las posibles alteraciones en la morfología de los canales fluviales y c) el perfil de retorno de la señal acústica por las partículas en suspensión (correlacionado con la nube de sedimentos en suspensión en el agua), entre otros.

Paso 3

Las muestras de agua siempre fueron realizadas próximas a la superficie directamente en el curso de agua, o a partir de la embarcación con el uso de un tomador de muestra de 8 litros, hecho de una garrafa de PVC en horizontal, orientada de acuerdo con la corriente del río, a través de un montaje hidrodinámico en el tomador de muestra tipo Van Dorn invertido. Este tomador de muestra está dotado de un elemento que es lanzado cuando el equipo alcanza la posición deseada en la sección del río, cerrando las dos terminaciones de la garrafa de PVC, que se mantenían abiertas por un gancho metálico ligado a las amarras metálicas. Las muestras fueron preservadas a 4°C. Parámetros como pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica fueron analizados con equipos portátiles que efectuaban mediciones directas en el campo mediante sensores inmersos directamente en los cuerpos de agua.

Paso 4

La recolección de sedimentos. Para su realización se utilizó un sistema de recolección cilíndrico de peso superior a los 3 kg (modelo tipo Van Veen), el cual se mantenía fijo por una cuerda y era lanzado desde la embarcación. **El equipo descendía al fondo del canal y en seguida era levantado por el operador con el contenido del material recolectado. En cada sitio de recolección, se tomaron tres muestras. Durante el transporte las muestras fueron mantenidas bajo refrigeración a 4°C y se congelaron hasta el inicio de los ensayos.**

Replicación en otras subcuencas del río Amazonas

Contar con el apoyo de universidades e instituciones que facilitaron el uso de equipos especializados fue decisivo en esta investigación. Los procedimientos implicaban recopilar muestras específicas de sedimentos para ser analizadas en laboratorio, teniendo en cuenta además las grandes distancias entre el lugar de la toma de la muestra y el laboratorio.

Este hecho así como todo el proceso de investigación, la metodología y la tecnología empleada para hacer la caracterización geoquímica de la carga de sedimentos de los ríos estudiados es replicable en otras subcuencas del río Amazonas.

Desde todo punto de vista, bajo esta actividad se generó nuevo conocimiento en esta área, por lo cual las universidades involucradas podrán dar continuidad a los estudios realizados y divulgar los avances obtenidos.

Bibliografía de la Introducción del Estudio N°. 5

- » Santo Antonio Energia "Saiba mas, Rio Madeira". Capturado de www.santoantonioenergia.com.br
- » https://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Solim%C3%B5es
- » <http://www.geoenciclopedia.com/rio-amazonas/>
- » <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/viewFile/8002/8294>
- » https://es.wikipedia.org/wiki/Encuentro_de_Las_Aguas



Referencias/Bibliografía del Estudio N°. 5

(Breve selección tomada del Informe final de la Actividad, que puede ser consultado en la página web del Proyecto)

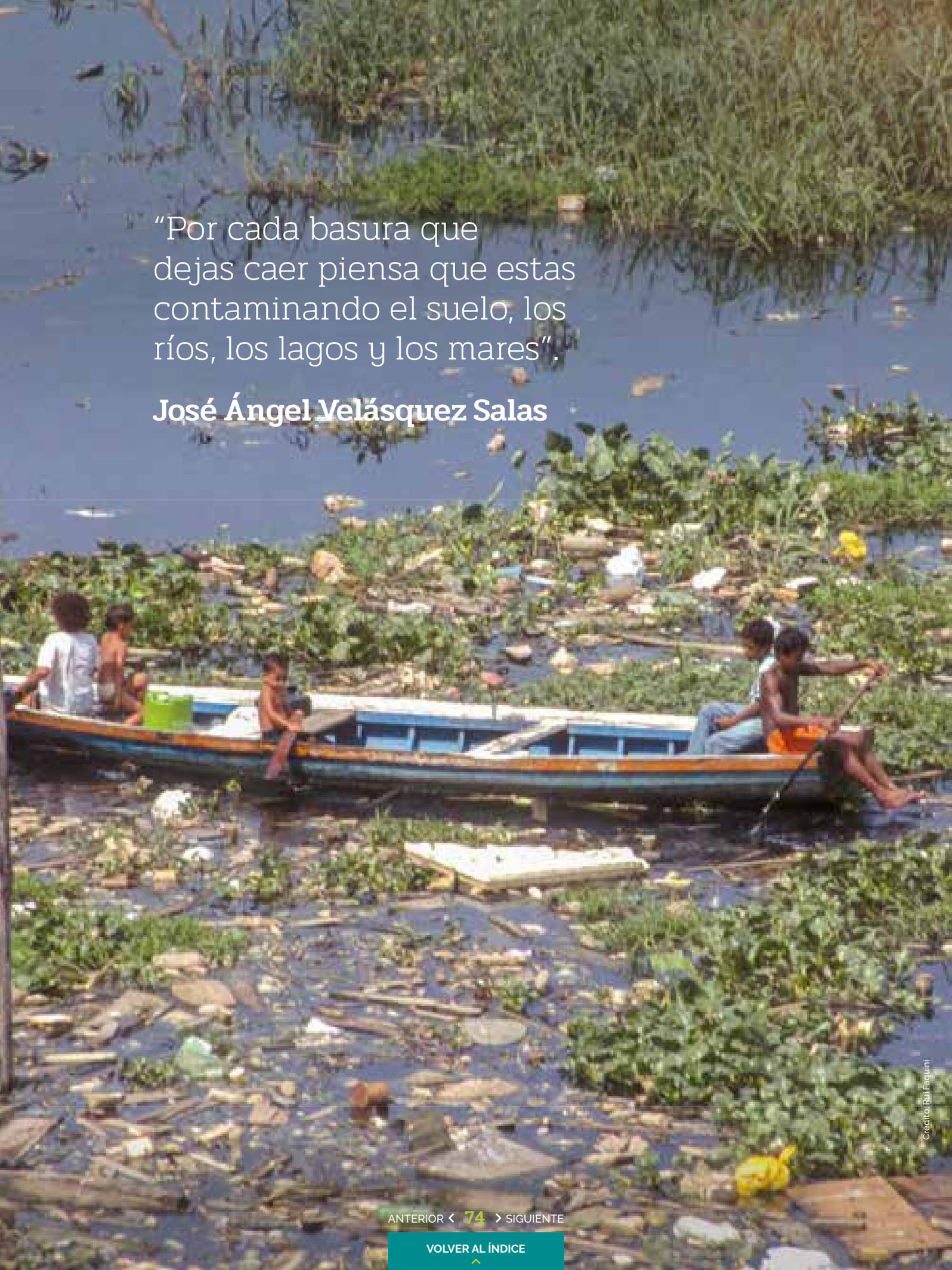
- » **APHA - American Public Health Association; American Water Work Association – AWWA; Water Pollution Control Federation – WPCF.** 2005. Standard Methods of the Experimentation of Water and Wasterwater. 21 ed. New York, 1268p.
- » **ENVIRONMENT CANADA.** Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Summary Tables. <http://www.ec.gc.ca>. 1999a.
- » **EPA - US Environmental Protection Agency.** The incidence and severity of sediment contamination in surface waters of the United States. Volume 1: National Sediment Quality Survey.
- » **U.S. Environmental Protection Agency.** Office of Science and Technology Washington, DC. EPA 823-R-97-006. 1997a EPA - US Environmental Protection Agency. Methods. Test methods for evaluating solid waste physical/chemical methods (SW-846).
- » **CD-ROM USEPA, Revision 2** – September, 1994. Method 8270B – Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS): capillary column technique. 1994b.
- » **Filizola, N.; Guyot, J. L.** Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. Revista Brasileira de Geociências, v. 41, p. 566-576, 2011.
- » **Filizola, Naziano ; Guyot, Jean Loup** . The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determination in the River Amazon / L'utilisation des techniques Doppler pour la détermination du transport solide de l'Amazone. Hydrological Sciences Journal, v. 49, n.1, p. 143-153, 2004.
- » **Filizola Naziano P.** Caracterização da Carga de Sedimentos dos Rios Madeira e Solimões/Amazonas. Relatório de Produto Atividades de campo para coleta de dados.
- » **Meade, R. H.** Contaminants in the Mississippi River, 1987-92. U.S. Geological Survey Circular 1133, Reston, Virginia, 1995.
- » **Referencia.** Fragmento del poema El río de Javier Heraud





Crédito: Rui Faquini



A photograph of a polluted river. The water is dark and filled with floating trash, including plastic bottles, bags, and pieces of wood. In the foreground, a long wooden boat with a blue interior is filled with several children. One child is using a long pole to navigate the boat through the debris. The background shows more of the river and some greenery on the banks.

“Por cada basura que
dejas caer piensa que estas
contaminando el suelo, los
ríos, los lagos y los mares”.

José Ángel Velásquez Salas

Estudio N°. 6.

► Reconocimiento colectivo de los problemas para:

La formulación del Análisis Diagnóstico Transfronterizo Regional (ADT)

Área: Gestión Integrada de los Recursos Hídricos Transfronterizos



Crédito: Proyecto GEF Amazonas

11 Talleres Nacionales en los 8 Países Miembros de la OTCA permitieron formular el Análisis Diagnóstico Transfronterizo de la Cuenca Amazónica

La experiencia

La Cuenca Amazónica enfrenta numerosos desafíos para alcanzar una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos Transfronterizos (GIRH) en el contexto de su desarrollo socio-económico y frente a los impactos antropogénicos y climáticos que la afectan. La cuenca constituye un único sistema hidrológico que cruza las fronteras nacionales de ocho países (Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela), los cuales consideran la necesidad de un marco regional para la GIRH para atender las necesidades de las poblaciones amazónicas.

Por ese motivo, los países se unieron bajo el liderazgo y las orientaciones de la OTCA, a través del Proyecto GEF Amazonas, para asumir los innumerables retos que plantea esta cuenca hidrográfica, que es la más grande del planeta, con el fin de poder hacer

un abordaje técnico y científico, que genere una nueva relación con el río y sus diversos ecosistemas, manteniendo en la mira el objetivo principal de esta iniciativa regional que es desarrollar un Programa de Acciones Estratégicas (PAE) para la GIRH de la Cuenca Amazónica y crear un entorno favorable necesario para su futura implementación.

En ese sentido, cabe resaltar que por primera vez en la historia de la cuenca hidrográfica del río Amazonas, los ocho (8) Países Miembros de la OTCA se pusieron de acuerdo para hacer un reconocimiento colectivo desde la base, con las autoridades nacionales, locales, sociedad civil y comunidades para identificar en forma objetiva, cuáles eran los problemas transfronterizos críticos de la cuenca, en particular, conocer la situación actual de los recursos hídricos.

De esa manera, se realizaron once Talleres Nacionales sobre Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT) en: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela, teniendo en cuenta que en Bolivia, Ecuador y Guyana se efectuaron dos Talleres Nacionales en dos regiones diferentes.

Los Talleres fueron decisivos porque permitieron realizar un análisis técnico participativo sobre los recursos hídricos de la cuenca Amazónica mediante la aplicación del Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT), una metodología de trabajo que permite determinar hechos objetivos sobre la situación de los recursos hídricos de la Cuenca Amazónica, observando la importancia de las fuentes, las causas raíces o primarias y los efectos socioeconómicos y ambientales de los problemas hídricos transfronterizos.

De esta forma, se procedió con la formulación de los ADTs nacionales, que permitió preparar el Análisis Diagnóstico Transfronterizo Regional, el cual consolidó nueve problemas transfronterizos prioritarios de la cuenca, sus impactos ambientales y socio-económicos, sus causas y estrategias de adaptación y mitigación.

El desarrollo del ADT Regional de la Cuenca Amazónica se llevó a cabo con base en los Talleres naciona-

les realizados, con la participación de cerca de 500 representantes de instituciones de los Países Miembros de la OTCA y con los aportes de las actividades científicas y demostrativas realizadas por el Proyecto GEF Amazonas.

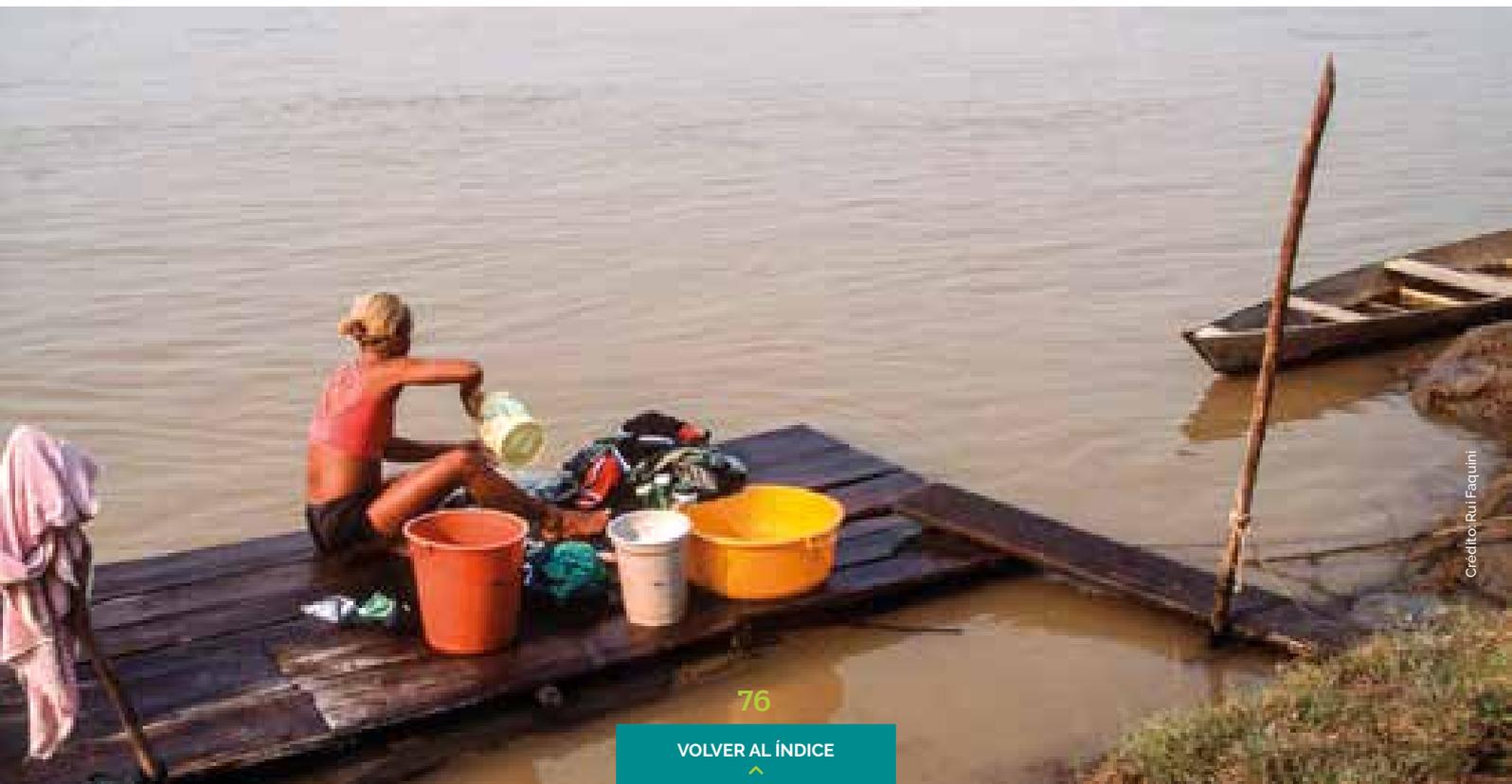
El documento ADT Regional está organizado en cuatro partes:

1 Problemas Transfronterizos Prioritarios Regionales de la Cuenca Amazónica.

2 Impactos y Cadena Causal de los Problemas Transfronterizos Prioritarios Regionales.

3 Líneas Estratégicas de Respuesta Regionales.

4 Recomendaciones y Conclusiones.



¿Por qué es importante alcanzar una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos Transfronterizos en la Cuenca Amazónica?

ELADT Regional permitió no sólo comprender y visualizar la gravedad e impacto de los problemas comunes que enfrentan los países amazónicos, sino que facilitó la preparación de estrategias conjuntas para su abordaje técnico y científico, considerando que se trata de aguas transfronterizas, que se comparten a partir de un mismo y único sistema hidrológico, el cual a su vez da lugar a una diversidad de ecosistemas acuáticos y terrestres, y a condiciones socioeconómicas de vida muy específicas y diferenciadas.

Principales logros obtenidos en la experiencia

1. Identificados nueve Problemas Transfronterizos Prioritarios sobre los recursos hídricos de la cuenca Amazónica.

A partir de los 50 problemas transfronterizos prioritarios obtenidos en los procesos ADT nacionales, se realizó un detallado análisis de los mismos y de ese estudio, los especialistas obtuvieron nueve Problemas Transfronterizos Regionales Prioritarios (PTRP). Para establecer un orden de prioridad de los problemas identificados, se efectuó un análisis de frecuencia de los 50 problemas obtenidos en los procesos ADT nacionales.

Del mismo modo, se elaboró el Análisis de la Cadena Causal de cada Problema Transfronterizo y se determinaron estrategias a seguir para cada uno de los problemas, lo cual es un significativo avance en la generación de nuevo conocimiento sobre la cuenca Amazónica, clave para los tomadores de decisión y los actores sociales que participaron en el proceso de construcción de esta valiosa información.

Identificación y priorización de problemas transfronterizos críticos

Un problema transfronterizo es un problema ambiental que es transfronterizo en escala. Es decir, es un problema ambiental que se origina en, o es contribuido por, un país y afecta (o impacta) a otro. Es transfronterizo también cuando afecta a varios países al mismo tiempo.

Crédito: Proyecto GEF Amazonas - Recursos hídricos y cambio climático

Problemas transfronterizos regionales prioritarios de la Cuenca Amazónica

1

Contaminación de aguas

2

Deforestación

3

Pérdida de biodiversidad

4

Eventos hidroclimáticos extremos

5

Erosión, transporte de sedimentos y sedimentación

6

Cambio de uso de suelo

7

Grandes obras de infraestructura

8

Eventos hidroclimáticos extremos

9

Gestión integrada de recursos hídricos insuficiente

Crédito: Proyecto GEF Amazonas - Recursos hídricos y cambio climático

De esta forma, el Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT) Regional de la Cuenca Amazónica identificó, estableció prioridades y definió la Cadena Causal de los Nueve Problemas Transfronterizos relacionados con los recursos hídricos que son:

1. Contaminación de aguas.
2. Deforestación.
3. Pérdida de biodiversidad.
4. Eventos hidrológicos extremos.
5. Erosión, transporte de sedimentos y sedimentación.
6. Cambio de uso del suelo.
7. Pérdida de glaciares.
8. Grandes obras de infraestructura.
9. Gestión integrada de recursos hídricos insuficiente.

2. Recomendaciones surgidas de los procesos ADT para formular el Programa de Acciones Estratégicas (PAE)

Las líneas estratégicas para atender los problemas transfronterizos prioritarios a nivel regional fueron consolidadas en las recomendaciones que se resumen a continuación.

Además de las consideraciones técnicas y científicas, el proceso del ADT a nivel regional se ha convertido en un valioso mecanismo de consulta, que ha permitido estrechar los vínculos entre los países sobre el tema de los recursos hídricos, asunto que ha aumentado la confianza entre los gobiernos para proyectar una visión común de futuro de la región y así definir las prioridades de la cuenca, lo cual ha renovado el proceso de cooperación amazónica regional para avanzar con la implementación del Programa de Acciones Estratégicas (PAE).

Líneas estratégicas de respuesta identificadas y sistematizadas en el ADT regional

FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES DE LOS ACTORES – CLAVE DE LA CUENCA

- » Fortalecer las instancias de gestión de recursos hídricos en los países.
- » Crear capacidades técnicas, financieras e institucionales para mitigar la contaminación de aguas.
- » Fortalecer las capacidades de los actores locales y su participación en la gestión de recursos hídricos.
- » Fomentar un sistema de monitoreo participativo y de vigilancia regional de los recursos hídricos.

FINANCIAMIENTO DE LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

- » Crear un fondo para el financiamiento de la gestión de recursos hídricos en cuencas transfronterizas.

MARCO LEGAL DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

- » Establecer lineamientos a nivel regional y armonizar criterios a nivel nacional para la gestión integrada de los recursos hídricos en cuencas transfronterizas.

ADAPTACIÓN A EVENTOS HIDROCLIMÁTICOS EXTREMOS

- » Promover monitoreo de eventos hidrológicos extremos.
- » Fomentar la ampliación de sistemas de redes hidrometeorológicas.
- » Promover la implementación de sistemas de alerta temprana y de planes de gestión del riesgo y de desastres.

GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

- » Crear un Observatorio Regional del Agua, conformado por entidades públicas, privadas y sociedad civil, a fin de promover la investigación, el flujo de información y la generación del conocimiento para la gestión de recursos hídricos en cuencas transfronterizas.
- » Promover la investigación científica y el conocimiento aplicados a la gestión integrada de recursos hídricos en las cuencas transfronterizas.
- » Establecer un Sistema Integrado de Información de Recursos Hídricos, considerando sistemas de alerta temprana en cuencas transfronterizas.

EDUCACIÓN Y CULTURA

- » Promover la cultura del agua y la educación ambiental valorando los conocimientos tradicionales y locales para la gestión de los recursos hídricos en cuencas transfronterizas.

POLÍTICAS PÚBLICAS

- » Establecer lineamientos de política pública a nivel regional para viabilizar la gestión integral de los recursos hídricos a nivel de los países y a nivel de la Cuenca Amazónica.
- » Promover políticas públicas para la Contaminación de aguas, Ordenamiento territorial, Uso del suelo, Gestión de bosques, Gestión de ecosistemas hídricos, Promoción de prácticas sostenibles de producción, análisis económico y desarrollo de instrumentos económicos para los recursos hídricos de acuerdo con la normativa de cada país.

ADAPTACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS

- » Promover instrumentos y medidas de adaptación al cambio climático en la gestión de los recursos hídricos en cuencas transfronterizas.
- » Promover instrumentos de evaluación económica de impactos ambientales de grandes proyectos de infraestructura física en cuencas transfronterizas, de acuerdo con la normativa política de cada país.

COMUNICACIÓN, PROMOCIÓN Y DIFUSIÓN

- » Difundir las políticas y estrategias públicas de recursos hídricos en cuencas transfronterizas.
- » Promover y difundir la cooperación técnica y científica en materia de recursos hídricos de la Cuenca Amazónica mediante acuerdos multilaterales entre países amazónicos.

Fructífero intercambio entre los países para evaluar los problemas sobre los recursos hídricos transfronterizos

El Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT) es una metodología de trabajo que le permitió a los países que forman parte del Proyecto GEF Amazonas, identificar y evaluar los problemas no sólo sobre los recursos hídricos (cantidad y calidad) y el medio natural, sino que se incluyeron los factores socioeconómicos que tienen un impacto directo o indirecto, inmediato o futuro sobre los recursos hídricos, como el uso de la tierra, los datos demográficos, etc.

Un hecho a resaltar en todos los países fue la activa participación de las partes interesadas en la aplicación de la metodología, lo cual generó un fructífero proceso de intercambio, consultas y búsqueda de soluciones, plasmadas en las estrategias encontradas.

¿Cómo se llevaron a cabo los Talleres Nacionales de ADT?

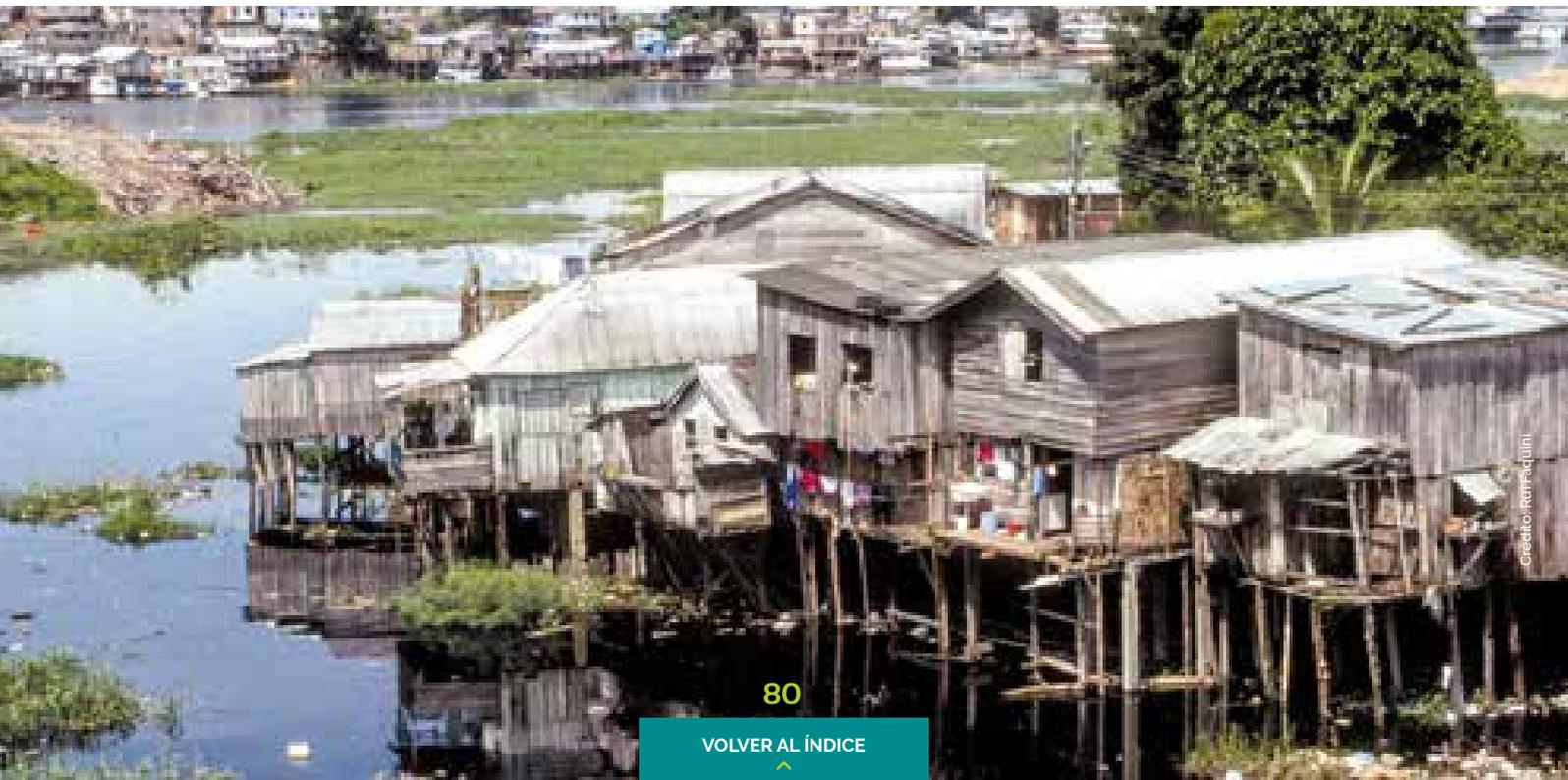
Los procesos nacionales de ADT se desarrollaron en los 8 Países Miembros de la OTCA: Bolivia, Brasil,

Colombia, Guyana, Ecuador, Perú, Surinam y Venezuela, lo cual implicó la contratación de consultores nacionales para realizar los Talleres nacionales con representantes de las partes interesadas y luego se llevaron a cabo en diferentes ciudades.

Dichas actividades fueron coordinadas y orientadas en la aplicación de la metodología por un consultor regional quien acompañó todos los Talleres Nacionales, los cuales contaron también con la presencia de la SP-OTCA y la Coordinación del Proyecto, en calidad de observadores.

Los Talleres nacionales fueron conducidos por los Puntos Focales Nacionales en cada país. Adicionalmente, en Bolivia, Ecuador y Guyana se realizaron dos Talleres Nacionales en sitios distintos.

Observemos cómo se aplicó la Metodología del ADT, tomando como ejemplo el Problema No.1: Contaminación de aguas. Una vez definido el Problema Transfronterizo Prioritario Regional, los grupos de trabajo analizaron el origen del problema, desglosando los aspectos que lo caracterizan, llegando a los siguientes resultados en este caso:



Pasos seguidos en la aplicación de la Metodología de la Cadena Causal

Paso 1

Se tuvieron en cuenta los proyectos existentes en los países, la prioridad de los usos del agua identificados por los países que comparten la cuenca, la existencia de áreas protegidas vinculadas a las aguas internacionales, los posibles efectos del cambio climático, los eventos hidrológicos extremos (sequía e inundaciones) y los proyectos de investigación en curso sobre los problemas comunes, compartiendo la información disponible.

Paso 2

La aplicación de la metodología del ADT en los Talleres nacionales permitió identificar y cuantificar los problemas por país. Además se establecieron prioridades para los problemas relacionados con el agua que son de naturaleza transfronteriza.

Paso 3

En los Talleres nacionales se analizaron detalladamente y en forma participativa las causas inmediatas y fundamentales de cada problema, lo cual sirvió de insumo para que cada país reconociera su problemática, dado que se abordaron las causas raíces de los problemas, es decir los diversos factores sociales, institucionales, económicos, tecnológicos y políticos que determinan los problemas que afectan los recursos hídricos. Se obtuvo un aprendizaje sobre la materia y la aplicación técnica de la metodología en todos los países, de manera intersectorial del Análisis de Cadena Causal, lo cual permite mostrar las relaciones causa-efecto de cada problema principal.

Paso 3: Ejemplo de aplicación de la metodología: Identificación participativa de las Causas y Acciones propuestas para el Problema No. 1.



CONTAMINACIÓN DE AGUAS POR ACTIVIDADES DE MINERÍA ILEGAL/INFORMAL:

- » **Causa Directa Primaria (Técnica):** Uso de mercurio en la minería.
- » **Causa Directa Secundaria (Económica):** Altos precios del oro en el mercado internacional.
- » **Causa Directa Terciaria (Institucionales):** Escaso control sobre el uso del mercurio en minería artesanal /ilegal.
- » **Causas Raíces (Socio-políticas):** Pobreza de las comunidades y poblaciones locales.



ACCIONES PROPUESTAS:

- a. Promover estudios e investigación sobre los impactos por la contaminación por mercurio y otros metales pesados en áreas de mayor riesgo.
- b. Promover políticas y estrategias de protección y vigilancia de las fuentes de aguas.

La contaminación de aguas de la Cuenca Amazónica proviene principalmente de:

- » Actividades de minería ilegal / informal.
- » Actividades extractivas de hidrocarburos.
- » Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.
- » Transporte fluvial.

A continuación, se aplicó a fondo el ADT para cada uno de los cuatro aspectos del Problema, y mencionados anteriormente, iniciando con *Actividades de minería ilegal / informal*.

De esta forma, los participantes buscaron cuatro tipos de Causas, en su orden, así: Causas Directas Primarias (Técnicas), Causas Indirectas Secundarias (Económicas), Causas Indirectas Terciarias (Institucionales) y Causas Raíces (Socio-políticas) para analizar el problema Contaminación de Aguas por Actividades de minería ilegal / informal.

Una vez identificadas plenamente las Causas, los participantes de los Talleres se dedicaron de lleno a buscar Acciones de Respuesta desde los diferentes saberes y disciplinas del conocimiento, de donde provenían los asistentes, lo cual enriqueció la oferta de soluciones.

Continuando con el ejemplo, mencionaremos un solo elemento encontrado (de las múltiples variables surgidas) para cada Causa y algunas Acciones finales propuestas, producto de los debates internos de los Talleres.

En cada Taller se sistematizaron todas las Causas y las Acciones encontradas para los diferentes aspectos del Problema No. 1 Contaminación de Aguas (Actividades de minería ilegal / informal, Actividades extractivas de hidrocarburos, Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, Transporte fluvial) a continuación se avanzó detalladamente con el resto de los Problemas Transfronterizos identificados.

Esta información también se traspasó a gráficas para una mayor comprensión de los hallazgos encontrados, asuntos que fueron presentados, debatidos y consolidados posteriormente en el Taller Regional.

Paso 4

Durante el análisis, los países también pudieron observar la situación de gobernabilidad sobre el manejo de los recursos hídricos en que se encuentran, labor que implicó revisar las capacidades institucionales, algunos asuntos legales y políticos, lo cual fue muy útil para resaltar la importancia de aplicar los principios de desarrollo sostenible en la región bajo una mirada de largo alcance.

Paso 5

Con los insumos obtenidos en cada Taller Nacional ADT, cada país elaboró un Informe del Taller y un Documento nacional del ADT, información sustancial para elaborar el ADT regional, con el cual se consolidaron los nueve problemas transfronterizos prioritarios a nivel regional.

Paso 6

Una vez obtenida la información de los países, los consultores nacionales se reunieron para su análisis y así se lograron definir las estrategias de la cadena causal para cada problema.

Replicación exitosa en los ocho Países Miembros de la OTCA

El proceso ADT a nivel nacional y regional realizado en la cuenca Amazónica tiene una fundamentación teórica y metodológica, documentada por cada país para identificar los problemas hídricos transfronterizos prioritarios.

La aplicación de la metodología generó dinámicas donde hubo una alta participación de los asistentes, con lo cual se enriquecieron significativamente los intercambios y el conocimiento sobre los problemas.

La eficacia de su metodología permitió realizar once Talleres nacionales en ocho países, en un año, lo cual arrojó los insumos necesarios para la formulación conjunta del Programa de Acciones Estratégicas (PAE), una herramienta intergubernamental clave para el desarrollo sostenible de la cuenca. Lo anterior hace replicable todo el proceso, en el mismo orden y secuencia propuestos en la metodología en otras regiones.

La amplia participación social: clave del ADT

El proceso del ADT por una parte, recoge información sustancial desde la base, es decir conocimientos y experiencias disponibles sobre la forma en que se aplican los fundamentos de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) y por la otra, facilita la participación de los principales actores nacionales, como instituciones públicas y privadas relacionadas con la gestión de los recursos hídricos.

De ahí que la transferencia de esta metodología sea de gran utilidad para analizar los complejos problemas que enfrentan las cuencas hidrográficas. La secuencia del proceso lógico que se siguió en la cuenca Amazónica se muestra a continuación.

La metodología ADT formulada por el GEF es de fácil comprensión y aplicación en Talleres donde intervienen actores sociales con diversa formación académica y provenientes de todos los sectores sociales. La metodología permite que los participantes se enfoquen directamente en los problemas y sus causas, lo cual evita la retórica haciendo más eficaz la acción participativa de los asistentes.



Uno de los logros más significativos alcanzados en todos los Talleres fue el alto nivel de integración obtenido lo cual ha sido muy beneficioso en el proceso regional, porque este hecho ha facilitado el compromiso y la disposición de los participantes para implementar el Programa de Acciones Estratégicas (PAE).

Igualmente, este compromiso y concientización sobre los problemas transfronterizos prioritarios ha permitido la búsqueda coordinada de la financiación para llevar a feliz término el Programa de Acciones Estratégicas (PAE).

Referencia

- » Documento final del ADT Regional, elaborado por el Proyecto OTCA/ONU Medio Ambiente/GEF Amazonas-Recursos Hídricos y Cambio Climático.

Frase de introducción:

www.concienciaeco.com

...“Los animales huyen
huyen huyendo cuando me
desbordo por los campos, cuando
siembro de piedras pequeñas
las laderas, cuando inundo las
casas y los pastos, cuando inundo
las puertas y sus corazones los
cuerpos y los corazones” ...

Javier Heraud



Estudio N°. 7.

► Huertas verticales y tanques para peces, soluciones innovadoras para:

El Manejo sostenible de los bosques inundables transfronterizos en la cuenca Amazónica

Área: Gestión Integrada de los Recursos Hídricos Transfronterizos



Crédito: Proyecto GEF Amazonas

Los bosques inundables transfronterizos son llanuras que son inundadas periódicamente por el río Amazonas en Perú y Brasil

Los bosques inundables transfronterizos corresponden a llanuras que son inundadas periódicamente por el río Amazonas, tanto en el Perú como en Brasil y representan uno de los ecosistemas más sensibles y amenazados de la Amazonia.

Se asociaron a este proyecto piloto las comunidades de Tapará Grande, Urucurituba y Igarapé do Costa del Municipio de Santarém, Estado de Pará, Brasil y las comunidades de San Jacinto y de San Regis, ubicadas en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Provincia de Nauta, Departamento de Loreto, Perú, siendo esta última una de las más grandes áreas inundables en Loreto.

Históricamente, dichas poblaciones lograban sustentarse mediante la pesca y la cosecha de pequeños cultivos. De ahí la importancia de este proyecto

que tuvo en cuenta en primer lugar, los saberes de las etnias y la forma en que los habitantes de esos lugares enfrentan las inundaciones. En las últimas décadas, en cada período de inundación, se generan situaciones de calamidad pública por la elevada altura de las aguas en relación a los años anteriores, afectando las viviendas y el modo de producción de sus habitantes.

El propósito de este proyecto piloto fue garantizar el sustento económico de las comunidades durante los períodos de subida del nivel del agua del río, a través de la implementación de agro-tecnologías innovadoras, que fueron la construcción de huertas en estructuras elevadas para cultivar en época de inundaciones extremas y los sistemas de piscicultura innovadores, que permitieron instalar tanques-redes para la producción de pescado.



Etapa preparatoria del Proyecto:

Paso 1

Se formularon Diagnósticos socio-culturales, etno-botánicos y sobre los recursos pesqueros en las zonas seleccionadas para la inclusión productiva de los pescadores y agricultores ribereños, para lo cual se realizó una visita de campo de reconocimiento durante el período de inundación y se buscó un lugar adecuado para la implementación de las estructuras de las huertas elevadas.

Paso 2

Se hizo un trabajo de acercamiento con las comunidades, a través de encuestas y negociaciones, motivando a la población para crear un entorno social favorable al proyecto.

Paso 3

Se contrató un equipo técnico de tres consultores peruanos y tres brasileños para acompañar las comunidades durante la implantación de los sistemas productivos y un arquitecto para la construcción de las estructuras de huertas elevadas.

Paso 4

Se llevaron a cabo talleres de capacitación a las comunidades para el manejo de producción de verduras semi-hidropónicas y también de pescado, fomentando agro-negocios familiares.

Paso 5

Se hicieron pruebas de resiliencia ecosistémica y se construyeron las estructuras para ubicar las huertas elevadas.

Paso 6

Se potenció el uso de los recursos pesqueros en los ecosistemas de bosques inundables con la introducción de la piscicultura incrementando la tecnología de la producción familiar de peces a través de los tanques-redes.

Paso 7

Se creó un escenario donde será posible la inclusión productiva de las comunidades de bosques inundables en mercados locales, a lo largo del período de las inundaciones del río Amazonas.

Cinco resultados significativos de la experiencia en Brasil y Perú

Con la realización del Diagnóstico Sistémico Multi-disciplinario se lograron los siguientes resultados:



El Proyecto GEF Amazonas realizó un Atlas Botánico de la flora ubicada en la zona de bosques inundables

- » La creación de un Atlas Botánico con 52 especies relacionadas de los bosques inundables amazónicos, basados en el conocimiento tradicional de las comunidades.
- » La implantación de huertas semi-hidropónicas elevadas en las comunidades de Tapará Grande y Urucurituba, Brasil. Se incrementó el nivel tecnológico de la producción de hortalizas y la capacitación tecnológica de los horticultores familiares para posibilitar la inclusión de sus productos en los mercados locales.
- » Se implantaron tres Unidades de Piscicultura con 10 tanques-redes para aumentar la producción de pescado bajo las condiciones de bosques inundables y generar ingresos a las comunidades. En Igarapé do Costa se colocaron 5.000 alevinos, en Tapará Grande 2.500 y en San Jacinto, 4.500 alevinos de la especie *Colossoma macropomun* o Tambaqui (un pez bivalvo amazónico de agua dulce). Producción esperada: 12 toneladas después de 8 meses de cultivo.
- » Se creó un escenario donde será posible la reducción de la presión antrópica sobre la existencia de peces, gracias a la piscicultura.



Tanques redes para el cultivo de peces en bosques inundables

- » Se estimuló la producción de artesanía de fibras y madera, utilizando la tecnología y la creación de un banco de germoplasma con las especies usadas en la artesanía peruana para reducir el impacto antrópico sobre éstas.

Nuevas oportunidades para la economía verde en la Amazonía

Este proyecto piloto demuestra que en la zona de los bosques inundables también se puede cultivar durante los periodos de inundación, aprovechando la riqueza de la biodiversidad de sus ecosistemas de forma productiva mediante agro-tecnologías innovadoras. Estas tecnologías posibilitan la inclusión de las comu-



Crédito: Rui Faquini

nidades ribereñas generando ingresos al entrar a mercados poco explotados, durante eventos climáticos extremos. Así con las huertas hidropónicas elevadas y los tanques-redes también se reduce el impacto antrópico en el área, con opciones que pueden ser replicadas en otras regiones de la cuenca Amazónica.

Al observar la geografía de los lagos en los ecosistemas de los bosques inundables amazónicos peruanos se pudo determinar la ubicación de los tanques-redes en algunos de esos puntos para la producción de pescado y la generación de ingreso de los pescadores artesanales. De este modo, se sumaron los saberes tradicionales de la pesca artesanal con el cultivo intensivo de la pesca, como estrategia de desarrollo sostenible.

Con esta experiencia se observó que se pueden crear nuevos escenarios para el desarrollo de la economía verde en la Amazonía y de esta forma reducir la pobreza de las comunidades.

Soluciones innovadoras para la supervivencia: Cómo convertir áreas inundables en espacios productivos

Haber convertido áreas inundables en espacios productivos durante los períodos de inundación con las comunidades es una labor que se puede replicar en otras regiones del Amazonas y otras cuencas que sufren los impactos del cambio climático. La metodo-

logía utilizada también permitió observar la riqueza de estos ecosistemas y crear un Atlas etnobotánico propio empleando como base, el conocimiento tradicional de las comunidades.

Igualmente, se estimuló el uso de la tecnología en la producción de artesanía. La variedad de acciones de este proyecto piloto indican que no sólo son replicables, sino que aún en medio de las inundaciones se pueden lograr cambios significativos en las condiciones de vida de las personas.

Nuevos usos de los bosques inundables

En esta comunidad de 22.044 habitantes se logró introducir cambios innovadores en el cultivo, la pesca y la artesanía en pleno período de inundaciones en las llanuras amazónicas, dado que con base en el conocimiento tradicional (sistema de jirau) se alcanzó un mejoramiento tecnológico con la implementación de las huertas elevadas de 10 m x 10 m utilizando un sistema de cultivo semi-hidropónico. Esto hizo la diferencia porque fueron las mismas comunidades las que lograron sacar adelante a sus familias a través de procesos resilientes en escenarios de cambios climáticos, además aprendieron a darle nuevos usos a los bosques inundables, creando nuevas oportunidades en medio de las situaciones adversas, extendiendo además el conocimiento sobre el manejo sostenible de los recursos.



Crédito: Rui Faquini



Referencias/Bibliografía del Estudio N° 7

(Breve selección tomada del Informe final de la Actividad, que puede ser consultado en la página web del Proyecto)

- » **Azevedo, C.R.; Noda, H. & S.N. Noda.** 1993. Manejo da terra pelas técnicas de pouso: estudo das relações sociais em áreas de pequena produção de várzea do Estado do Amazonas. 2º Congresso de Iniciação Científica do Amazonas. Resumos. Universidade do Amazonas/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus. p. 86-87 (resumo).
- » **Azevedo, C.R.; Noda, H.; Noda, S.N. & Pereira, H.S.** 1995. Os processos de trabalho para "descanso da terra": as técnicas de descoamento da terra no sistema agroflorestal de pequena produção de várzeas do Estado do Amazonas. Summaries of lectures and posters presented at the II SHIFT-Workshop. Cuiabá. p. 133. (resumo).
- » **Barbosa, Lívia Maria Gruli.** Avaliação de Respostas Metabólicas e de Imunidade Inata em Pacu (*Piaractus Mesopotamicus*, Holmberg, 1887) Alimentados com Dietas Suplementadas com Vitamina E e Submetidos à Variação de Temperatura 01/05/2011 123 F. Mestrado Acadêmico em Genética Evolutiva e Biologia Molecular Instituição de Ensino: Universidade Federal de São Carlos Biblioteca Depositária: Biblioteca Comunitária
- » **Barone, Rafael Simoes Coelho.** Seleção de Áreas Previamente Favoráveis para a **Piscicultura** em Tanques-Rede nos Reservatórios de Itá e Machadinho 01/02/2011 78 f. Mestrado Acadêmico em Aqüicultura Instituição de Ensino: Universidade Federal de Santa Catarina Biblioteca Depositária: BU-UFSC
- » **Batalha, L.S.; D.F. Silva Fº. & H. Noda.** 1993. Resposta do quiabeiro à aplicação de adubos químicos e cupinzeiro em solo Podzólico Vermelho-Amarelo da região de Manaus. Horticultura Brasileira, 11(1): 62. Sociedade de Olericultura do Brasil. Brasília. (Resumen).
- » **Chacon, Frederick August Ferreira.** Diagnóstico e Proposições para a Cadeia Produtiva da Piscicultura Superintensiva da Tilápia no Vale Do Curu/Ce ' 01/01/2011 129 f. Mestrado Acadêmico em Logística e Pesq. Operacional Instituição de Ensino: Universidade Federal do Ceará Biblioteca Depositária: Biblioteca de Pós Graduação em Engenharia.
- » **Referencia.** Fragmento del poema "El río" de Javier Heraud (Perú)

“ Antes solo había selva y río, indio, luna y sol refulgente, pero en la vastedad de las aguas del Purús, sola, entre el bosque corría mansa, impávida, soberbia, triunfante, la embarcación del orgulloso navegante, el valiente Manuel Urbano, ávida de un mundo nuevo por descubrir”...

Rogério Cavalcante



Estudio N°. 8.

► Más de 1000 fórmulas matemáticas en el nuevo Modelo de Gobernanza del Riesgo para facilitar:

La Adaptación al cambio climático y gestión del riesgo en la subcuenca del río Purús

Áreas: Gobernanza hídrica/Gestión del Riesgo/Gestión integrada de los Recursos Hídricos Transfronterizos



Crédito: OTCA



Crédito: Proyecto GEF Amazonas

Las inundaciones contaminan los pozos de agua generando múltiples enfermedades

El cambio climático es uno de los mayores desafíos socioeconómicos y científicos que enfrenta la cuenca Amazónica en la actualidad. Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) el cambio climático se define como una "variación estadísticamente significativa en un parámetro climático medio o su variabilidad, persistiendo un período extenso (décadas o más tiempo). El cambio climático puede resultar de procesos naturales, fuerzas externas o debido a cambios persistentes causados por la acción del hombre en la composición de la atmósfera o por el uso de la tierra". Estos cambios están ligados a las variaciones de la temperatura, a la precipitación, nebulosidad, entre otras variabilidades climáticas.

En ese sentido, las variaciones climáticas pueden afectar el volumen de los ríos causando inunda-

ciones o sequías, fenómenos extremos opuestos, ocasionando perjuicios para las poblaciones locales.

La región Amazónica, que incluye la subcuenca del río Purús, se caracteriza como una de las áreas del globo con mayor diversidad y disponibilidad de recursos naturales. Sin embargo, la calidad de esos recursos está amenazada, al igual que la región y su población por los impactos que reciben de la variabilidad y del cambio climático.

El hermoso Purús es un río secundario, que nace en Perú, es de aguas claras y blancas, ricas en sedimentos andinos, en su trayecto forma un gran número de meandros, lo cual es una de sus características. En medio de una exuberante naturaleza, entra al estado de Acre en Santa Rosa do Purús, pasa por el Municipio Manoel Urbano y sigue al estado de Amazonas



Ciudad de Beruri en la ribera del río Purús

hasta desaguar en la margen derecha de un río principal: el río amazónico Solimões, aguas arriba de Manaos. Su longitud es de 2.960 km, siendo navegable sólo cerca de 5 meses al año, porque puede llegar a crecer hasta más de 15 m dejando a su paso grandes llanuras inundadas y formando numerosos lagos por sus aguas que se desbordan.

Cuenta con una alta diversidad de especies, entre ellas los delfines, que al ser cazados ilegalmente son usados para la pesca. Siendo la zona muy productiva y dado el intenso comercio fluvial hacia Manaos, sobre el Purús se ejerce una gran presión sobre la pesca, la caza, la tala y la agricultura.

Asimismo, el río Purús tiene su propia cuenca que por el número de habitantes que allí habita, se llama subcuenca, en comparación con una cuenca, donde la población es mayor.

La subcuenca del río Purús abarca los estados de Acre y Amazonas en Brasil y en la parte occidental llega a Perú y Bolivia.

El proyecto piloto concentró sus actividades en aquellas áreas donde hay mayor cantidad de habitantes, en: Beruri, Tapauá, Canutama, Lábrea, Boca do Acre y Pauini, localizados en el estado de Amazonas; y en Santa Rosa de Purús, Sena Madureira y Manoel Urbano, en el estado de Acre, Brasil, lugares que presentan realidades diferenciadas y específicas.

El cambio climático demandó de los gobiernos en todos sus niveles, local, regional y nacional, procesos de gobernanza que incluían algunas medidas para enfrentarlo, debido al gran impacto que causa en la vida cotidiana de las poblaciones. En ese sentido, la dimensión transfronteriza se manifiesta en la capacidad institucional de los municipios de esta subcuen-

ca para hacer frente a los eventos hidrológicos extremos (inundaciones o sequías).

El objetivo de este proyecto piloto fue evaluar los impactos del cambio climático en la gestión del riesgo y en el manejo de los recursos hídricos transfronterizos en la subcuenca del río Purús y proporcionar la base para formular una serie de estrategias de respuesta que permitan el uso sostenible de los recursos naturales de la subcuenca, bajo una serie de condiciones climáticas adversas.

Con ese fin se desarrolló un Modelo Operativo de Gobernanza del Riesgo, creado con los datos de la subcuenca del río Purús, el cual permite hacer pronósticos sobre el grado de los riesgos relacionados con el cambio climático en escenarios amazónicos, como por ejemplo, pronósticos sobre la elevación del nivel del río, las amenazas de sequías o inundación en los municipios, información fundamental para los tomadores de decisión de los países de la cuenca. El Modelo, denominado MOGAM-R, da soporte a la elaboración de estrategias de adaptación y respuesta ante eventos climáticos extremos.

En esta región, durante las inundaciones se contaminan los pozos de agua ocasionando enfermedades transmitidas por el agua (diarrea, cólera, leptospirosis, entre otras). También se desbordan las fosas sanitarias, se generan daños y pérdidas de viviendas e infraestructura y se afecta la producción agrícola. Al mismo tiempo, ingresan grandes barcos a pescar dejando sin ese recurso a la población local, que vive de la pesca.

En cambio, en los periodos secos se reduce el transporte fluvial, por lo tanto, los alimentos y el combustible no llegan a su destino, además aumentan los precios de los productos, lo cual obliga a las comunidades a desplazarse.

Fases desarrolladas para la construcción del Modelo MOGAM-R

- Fase 1** Creación de la primera sección que representa la caracterización de la subcuenca del río Purús e identifica el modo de vida de sus habitantes, desde una interpretación antropológica. Describe el uso del suelo y el uso de los recursos hídricos desde las especificidades amazónicas, variables que fueron incluidas en el Modelo.
- Fase 2** Muestra las características institucionales integradas al Modelo. Se analizaron: la naturaleza de las instituciones presentes en los municipios de la subcuenca, sus capacidades y también la Política Nacional de Protección y la Defensa Civil, bajo una perspectiva intersectorial.
- Fase 3** Se incorporó el componente climático al MOGAM-R, por eso se crearon modelos climáticos y el correspondiente análisis de climatología e hidrología, con previsiones para 10 años de la cuenca, demostrando el grado de acierto del modelo climático regional, proceso en el que participaron meteorólogos e hidrólogos especializados.
- Fase 4** Se demostraron las premisas teórico-metodológicas de definición e integración de los componentes del MOGAM-R.
- Fase 5** Para integrar todos los componentes del modelo operacional, se utilizó la herramienta conocida como Lógica Fuzzy, que permite usar valores intermedios para ampliar y mejorar las evaluaciones, con la cual se reconocieron las capacidades que tienen los municipios para generar políticas públicas. También se describieron procesos de interacción amigables con el usuario y se visibilizaron sus componentes.
- Fase 6** Presenta las alternativas de implementación y de implantación del Modelo como una de las estrategias del Programa de Acciones Estratégicas (PAE).

Creado el Modelo Operativo de Gobernanza del Riesgo: capacidad predictiva a 10 años

Se creó el Modelo Operativo de Gobernanza del Riesgo de validación del impacto climático bajo tres componentes: el primero, un Modelo climático e hidrológico con más de 1.000 ecuaciones matemáticas que describen los fenómenos; el segundo, evalúa la capacidad de adaptación de las comunidades y el tercero, analiza la capacidad institucional instalada. De esa forma, se construyeron tres bases de datos específicas. El entrelazamiento de las escalas del clima y de la hidrología dentro del Modelo, generó una capacidad predictiva a 10 años.

El valor del Modelo es mostrar en forma espacial la subcuenca, la cual por ser transfronteriza se puede observar en toda su magnitud y complejidad.

Al contar con el Modelo Operativo de Gobernanza del Riesgo, los tomadores de decisión y todos los interesados de la subcuenca podrán adoptar estrategias para adaptarse y responder con antelación ante un evento climático extremo. La especificidad de este Modelo es que se ha desarrollado desde una perspectiva regional y puede ser operado en los niveles institucionales transfronterizos.

Con ese fin, se realizaron 367 entrevistas a los interesados, en dos viajes de campo en un recorrido por



Crédito: Proyecto GEF Amazonas

La sub-cuenca del río Purús abarca los estados de Acre y Amazonas en Brasil, llegando a Perú y Bolivia

la subcuenca del río Purús, desde Perú hasta Beruri en el estado de Amazonas, lo cual permitió determinar la percepción del riesgo de los habitantes y de los tomadores de decisión que operan las políticas relacionadas con el riesgo. En estas expediciones se identificó el modo de vida de los pobladores y las estrategias que usaron en los anteriores eventos hidrológicos extremos que sufrieron.

También se llevaron a cabo dos Talleres, en Manaus (Mayo de 2014) y en la ciudad de Rio Branco (Agosto de 2014) para la validación del Modelo Operativo de Gobernanza del Riesgo, creado para apoyar las medidas de adaptación al cambio climático en casos de eventos climáticos extremos y prevenir a las 43 comunidades participantes del proyecto, que representaban 295.000 habitantes de la subcuenca del Purús.

La interdependencia caracteriza los sistemas ecológicos e institucionales

Los expertos en meteorología, inteligencia computacional, hidrología, antropología, comunicación y ciencias políticas del equipo interdisciplinario de trabajo de esta actividad contribuyeron cada uno desde su experiencia y conocimiento para producir el Modelo Operativo de Gobernanza del Riesgo, el cual parte del principio que es la interdependencia

la principal característica de los sistemas ecológicos (humanos y físicos) e institucionales, según la metodología aplicada llamada *Cross Scale Interplay* (o Interacción del Cruce de Escalas).

De esta forma, los especialistas aplicaron diversas metodologías para evaluar el impacto del cambio climático en la subcuenca. Así se obtuvo un Modelo climático e hidrológico, para comprender los fenómenos naturales que allí intervienen, una evaluación de la capacidad que tienen las comunidades de adaptarse a la nueva realidad del cambio climático y también un análisis de la capacidad institucional de las localidades.

Es decir que comprender la capacidad institucional para proteger las comunidades fue tan significativo en esta valoración, como conocer desde el punto de vista científico, el tipo de fenómenos climatológicos que ocurren en la zona, por lo cual se hizo un estudio riguroso de los municipios, con el fin de que los gobiernos locales puedan estudiar los costos de las acciones que se requieren para mitigar los problemas críticos que originan los cambios climáticos en la región y pensar en nuevos arreglos institucionales para enfrentarlos. Por eso, fue fundamental incluir la variable de la capacidad institucional en el Modelo Operativo de Gobernanza del Riesgo.

Desde la antropología se cumplió también una labor de acercamiento y comprensión de la población tradicional de la subcuenca. Estas comunidades se han visto fuertemente afectadas por los cambios climáticos, dado que los nuevos ciclos de los ríos se están produciendo en forma muy rápida y recurrente, y las personas no han tenido el tiempo, ni la información, ni los medios para asimilar esta nueva realidad.

Otro hecho para destacar que dejó lecciones al equipo de trabajo fue la socialización del Modelo Operativo de Gobernanza del Riesgo que se hizo con habitantes de tres municipios de Acre: Sena Madureira, Manoel Urbano y Santa Rosa do Purús.

Fue así como de la experiencia de los habitantes se tomaron elementos que fueron incluidos dentro del Modelo.

Replicación del Modelo Operativo de Gobernanza del Riesgo

Haber creado un Modelo Operativo de Gobernanza del Riesgo específico para la subcuenca del río Purús a partir de información obtenida en terreno sobre variables meteorológicas, hidrológicas, socioeconómicas, infraestructura local y capacidad institucional demuestra que el instrumento puede ser replicado en otras subcuencas del río Amazonas.



Además el hecho de incluir la variable "capacidad institucional" permite que los mismos municipios afectados puedan comprender la necesidad de generar políticas públicas para el manejo coordinado de los eventos climáticos extremos.

La adopción del Modelo facilitará a los países tomar medidas preventivas frente al cambio climático.

El cambio climático transformó la región Amazónica

El Proyecto GEF Amazonas investigó las especificidades que se dan en la subcuenca del río Purús, identificando dos riesgos que son la subida extrema del río y las sequías, que han transformado la dinámica de esta región, lo cual hace vulnerables a las poblaciones y sus ecosistemas.

Estos hallazgos son claves para los países amazónicos, al igual que es relevante destacar el conocimiento y los esfuerzos de las comunidades para adaptarse al cambio climático. El Modelo Operativo de Gobernanza del Riesgo creado para la subcuenca del río Purús, por tener una capacidad predictiva a 10 años, permitirá a los gobiernos locales disponer de un amplio espectro de información para desarrollar políticas públicas a corto, mediano y largo plazo, y aumentar la capacidad de adaptación ante el cambio climático.

La metodología utilizada en la creación del Modelo también es un recurso útil para los gobiernos, institutos de investigación y universidades, de manera que pueda ser replicable en otras regiones.



Referencias/Bibliografía del Estudio N°. 8

(Breve selección. Ver Bibliografía completa en el Informe Final de la consultoría páginas 87 a 101, consultar en la página web del Proyecto GEF Amazonas)

- » **Abdula, A.; Taela, K.** Avaliação das capacidades de gestão do risco de desastres. Ministério para a coordenação da ação ambiental, v. 1, Maputo – Moçambique, 2005.
- » **Agrawala, S; Fankhauser, S.** *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change. Costs, Benefits and Policy Instruments.* Paris: OECD, 2008.
- » **Allegretti, Mary Helena.** A Construção Social de Políticas Ambientais – Chico Mendes e o Movimento dos Seringueiros. 827p., mm, UnB-CDS, Doutora, Desenvolvimento Sustentável – Gestão e Política Ambiental, 2002.
- » **Burton, I; Van Aalst, M.K.** *Look before you leap: a risk management approach for integrating climate change adaptation into World Bank operations.* World Bank Environment Department Paper, number 100. Washington DC: The World Bank, 2004.
- » **Renn, O; Graham, P.** Risk Governance – Towards an integrative approach. White paper No. 1. International Risk Governance Council Geneva, Switzerland, 2006.

Bibliografía adicional sobre el río Purús para la edición especial

- » **Cavalcante, Rogério.** Manoel Urbano. Ontem e Hoje. Poema Manoel Urbano. Rio Branco, Acre, 2ª Edição, 2014. Capturado de: <https://books.google.com.co/books>.

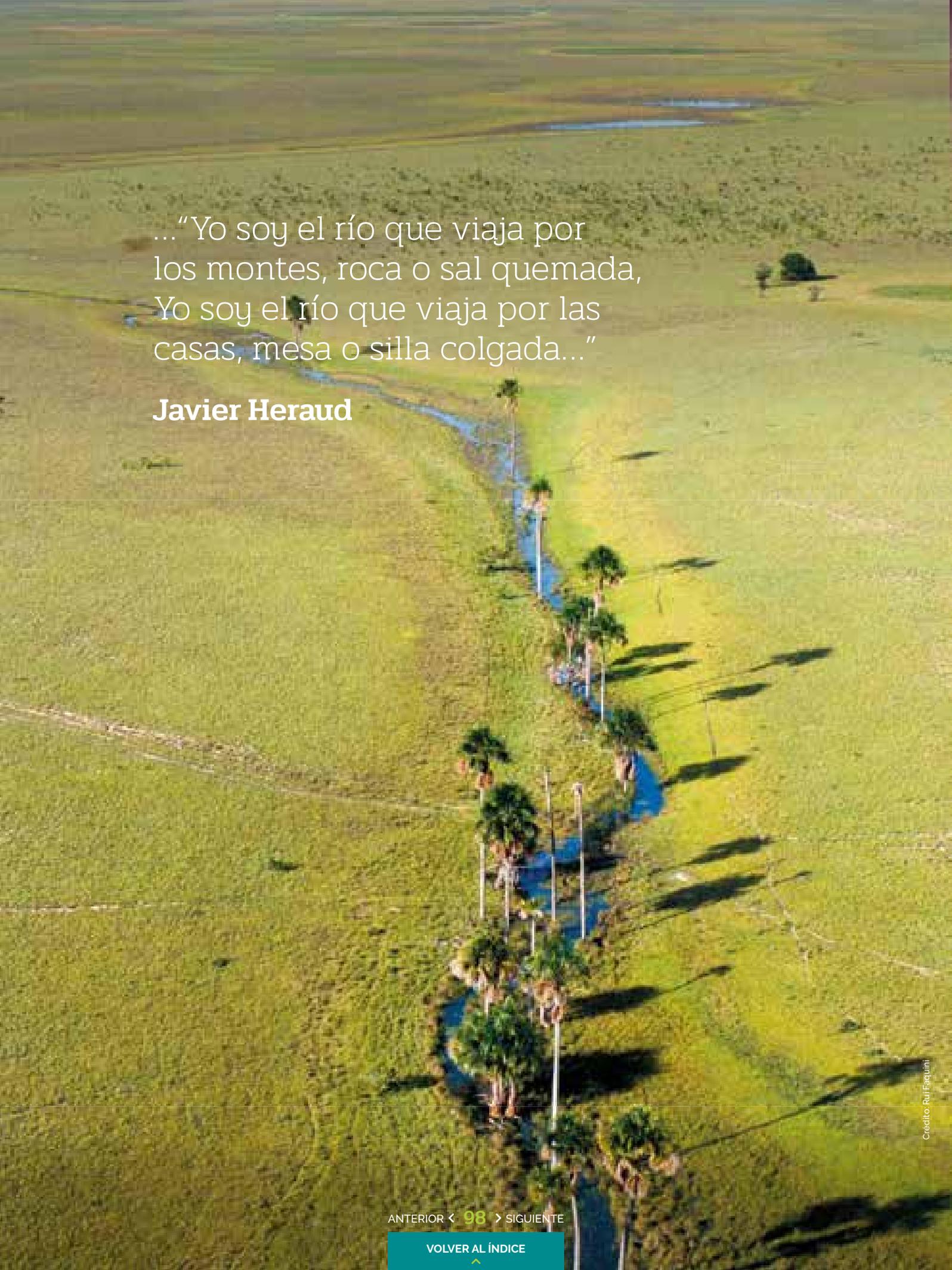
Referencias sobre el río Purús:

- » <http://www.omacha.org/2012-04-23-17-01-17/2012-05-23-17-20-41/expediciones-delfines-rios/25-proyectos/educacion-ambiental-y-conservacion/217-expedicion-rio-purus-2>
- » https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Pur%C3%ADo



Credito: Rui Faquini





...“Yo soy el río que viaja por
los montes, roca o sal quemada,
Yo soy el río que viaja por las
casas, mesa o silla colgada...”

Javier Heraud

Estudio N°. 9.

► Comunidades en acción frente al clima:

Adaptación al cambio climático en la región transfronteriza MAP

Área: Gestión Integrada de los Recursos Hídricos Transfronterizos



Crédito: Audiovisual Proyecto GEF Amazonas-con derechos autorizados

La región MAP cuenta con más de 900.000 habitantes que se ven afectados anualmente por las inundaciones

El río Acre es el eje de la región trinacional MAP (Madre de Dios, Perú, Acre, Brasil y Pando, Bolivia). El Acre es un río amazónico, que nace en Perú, sigue su trayecto formando frontera primero con Brasil y luego con Bolivia. Tiene una longitud de 1.190 km y desemboca en el río Purús, estado de Amazonas, Brasil. Su cuenca que es compartida por los tres países, cubre alrededor de 35.967 km².

Como sus aguas bañan la región peruana de Madre de Dios, el departamento boliviano de Pando y los estados brasileños de Acre y Amazonas, diversas organizaciones de gobierno, sociedad civil, universidades y sector privado de estos tres países, se pusieron de acuerdo para estudiar este territorio trinacional, que fue definido como región MAP, una iniciativa muy amplia que está organizada por temáticas, llamadas MiniMAP. De esta forma, surgió el MiniMAP Cuenca, que trata los problemas hidrológicos y climáticos de la cuenca del río Acre.

En esta región, viven más de 900.000 habitantes, de los cuales 120.000 pertenecen a Madre de Dios, 700.000 a Acre y 90.000 a Pando. Su ecosistema de bosque húmedo tropical se aprovecha para realizar diversas actividades económicas como: la extracción de madera, castaña, metales preciosos, petróleo, cultivos de arroz y maíz, ganadería y pesca.

En esta región los eventos climáticos extremos son cada vez más frecuentes. Se dan períodos de fuertes lluvias que ocasionan grandes inundaciones o bien sequías prolongadas. En 2010, se produjo una inundación que ocasionó pérdidas de vidas y viviendas tanto en Cobija (Pando), como en Assis (Acre). También se dan largos períodos de sequía, y como en la zona se usa el fuego para la quema de madera, se han originado grandes incendios forestales. Sólo en 2005, se quemaron unas 400.000 hectáreas, evento que volvió a repetirse en 2010.

Fue así como el MiniMAP Cuenca y el Mini MAP Defensa Civil se integraron al Proyecto GEF Amazonas para hacer un diagnóstico, comprender mejor la cuenca del río Acre e implementar un Sistema de

Alerta Temprana, que hoy comparten los tres países, no sólo para alertar sobre incendios o inundaciones, sino para otros eventos.

Lazos de trabajo colaborativo por la región MAP

Para analizar la vulnerabilidad de la región MAP se realizaron diversos encuentros y actividades, en los cuales se contó con la activa participación de más de 40 representantes gubernamentales y más de 20 instituciones de la sociedad civil de esta región, quienes contribuyeron con su experiencia y conocimiento a definir líneas de trabajo específicas sobre adaptación al riesgo ante el cambio climático.

De esta forma, se dieron los siguientes pasos, que resultaron ser muy novedosos para los participantes, permitiendo además estrechar los vínculos entre las instituciones y los equipos de trabajo de los países, dando como resultado el cumplimiento oportuno del cronograma que los mismos actores sociales se propusieron cumplir.

Paso 1

Mobilización y articulación social en la región transfronteriza MAP, involucrando gobiernos y actores locales para presentar esta iniciativa y dar a conocer el Proyecto GEF Amazonas, lo cual facilitó la participación de las diversas instancias gubernamentales y actores de la región. Así se organizaron cursos para los técnicos en Sistemas de Información Geográfica- SIG, buscando la actualización de los bancos de datos entre los países para un mejor monitoreo de la deforestación, focos de calor y monitoreo de las inundaciones del río Acre (Marzo de 2013).

Paso 2

Reuniones temáticas con investigadores locales, que dio como resultado el establecimiento de un equipo trinacional de especialistas para poner en práctica medidas de adaptación al cambio climático en la región MAP, considerando las especificidades de cada país. Este equipo contribuyó a mejorar el Plan de trabajo para la actividad, incluyendo la Metodología de trabajo y el Cronograma de actividades. (Marzo 2013).

Paso 3

Estructuración del Sistema de Información Geográfica- SIG. Con esta herramienta se logró la comprensión del espacio geográfico de la región transfronteriza MAP y también el almacenamiento de datos. Cabe destacar que por primera vez, se construyó un banco de datos trinacional, elaborado por los técnicos de los tres países y con especialistas de universidades, quienes compartieron una misma metodología y una estructura. Así, se levantaron 19 temas con información clave para comprender el uso de la tierra en la cuenca y su vulnerabilidad ante los cambios climáticos, entre otros, posibilitando la coordinación regional en las respuestas a los eventos críticos. (Abril a Octubre 2013).

Paso 4

Análisis de vulnerabilidad y riesgo ecológico de la región transfronteriza de la cuenca del río Acre. Se utilizó el Índice de Riesgo Ecológico (IRE) que considera tres factores: 1. Severidad. 2. Frecuencia y 3. Sensibilidad. Los datos y análisis se presentaron en la 1ª Reunión Internacional del Sistema de Alerta en la cuenca del río Acre. (Noviembre- Diciembre de 2013)



Crédito: Rui Faquini

Paso 5 Validación de las informaciones producidas en ambiente de SIG. Se realizó un viaje a terreno por el río Acre, que contó con la participación de representantes de los tres países para la verificación de los datos producidos por el equipo del SIG. También se hizo el levantamiento de información sobre riesgos a través de visitas de campo y entrevistas con las autoridades y comunidades locales en un recorrido por el río de 185 km. (Noviembre a Diciembre 2013).

Paso 6 Implantación de un Sistema de Alerta para eventos críticos. Es de resaltar que los tres países decidieron utilizar la misma plataforma de desarrollo de sistemas de monitoreo, de análisis y alerta TerraMA2 ofrecida gratuitamente por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de Brasil, que viene operando en Acre. (Noviembre de 2014)

Paso 7 Implementación de un Sistema de Comunicación por radio para emergencia. (Noviembre de 2014).

Creado el Sistema Trinacional de Alerta Temprana en la región MAP

El proyecto piloto aportó las bases para formular e implementar con los representantes de los gobiernos de los tres países y la sociedad local, estrategias de adaptación a la variabilidad climática. Con el equipo trinacional de 15 especialistas se efectuó la validación técnica de los mapas de vulnerabilidad y riesgos mediante la expedición a lo largo del río Acre.

Asimismo, la expedición realizó el mapeo de actividades potencialmente impactantes, de las áreas

contaminadas y de los sitios frágiles, lo cual mostró la alta vulnerabilidad de la cuenca del río Acre y la necesidad de estructurar estrategias de adaptación.

En el ámbito del Proyecto, se llevó a cabo la 1ª Reunión Internacional del Sistema de Alerta Temprana de la cuenca del río Acre (Diciembre de 2013), donde se presentaron los mapas trinacionales y se identificaron las responsabilidades locales en relación al Sistema de Alerta a ser implementado en la región MAP. De igual manera, se acordó el uso de la plataforma TerraMA2 para el Sistema de Alerta.

Finalmente, se desarrolló e implementó un Sistema Trinacional de Alerta Temprana en el Departamento de Pando, Bolivia, con el Centro de Operaciones de Emergencia Departamental de Pando (COED-PAN-DO); en el Departamento de Madre de Dios, Perú, con la Autoridad Nacional del Agua-ANA, Puerto Maldonado y en el Estado de Acre, con la Secretaría de Estado de Meio Ambiente do Acre, Brasil (SEMA). Se entregaron los equipos y el personal responsable de las instituciones locales relevantes fue capacitado en la operación de la plataforma Terra MA2.

Para apoyar el Sistema de Alerta, se instaló además un nuevo Sistema de Comunicación por Radio. El trabajo conjunto entre los gobiernos nacionales, regionales y locales permite destacar la importancia que ha adquirido el Sistema Trinacional de Alerta en esta región y la necesidad que existe de ampliar y potenciar el Sistema a los departamentos o estados vecinos y otras áreas amazónicas.

Es de resaltar también que el Sistema de Alerta Temprana fue utilizado con éxito en el contexto de la inundación histórica que elevó el nivel del río Acre a más de 18 metros, en febrero de 2015, evitando pérdidas humanas y beneficiando a más de 80.000 personas en la región MAP.

Aprendiendo de la experiencia: Manejo integral trinacional del ciclo hidrológico

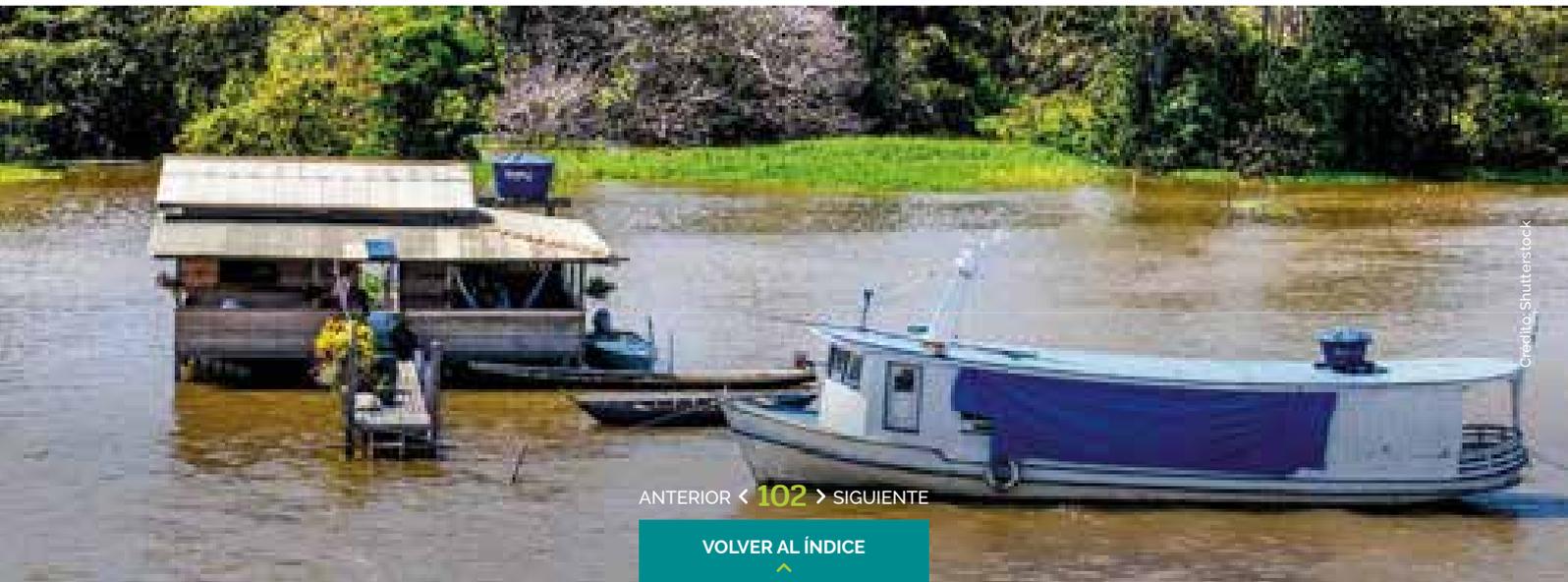
En la región Amazónica, la cuenca hidrográfica transfronteriza del río Acre está en riesgo.

Considerando que las aguas del río Acre son compartidas por los tres países, hacer un abordaje del ciclo hidrológico requiere un manejo integral trinacional, es decir un esfuerzo conjunto de los países para el desarrollo sostenible de esta región y de este modo, minimizar los impactos negativos: sociales, económicos y ambientales de los eventos extremos.

Durante las últimas décadas, el medio ambiente local ha enfrentado eventos climáticos extremos como inundaciones y sequías, y ha recibido los impactos de intensa presión antropogénica (quemadas, incendios, deforestación, agricultura), que han afectado los ecosistemas acuáticos del río Acre, la vegetación, el suelo, la atmósfera y en consecuencia, la salud y la economía de las poblaciones locales.

En ese contexto, el Proyecto GEF Amazonas realizó este proyecto piloto con la participación de las autoridades gubernamentales y las comunidades locales de los tres países para abordar la vulnerabilidad de los recursos hídricos y de la población local frente al cambio climático, con el fin de contribuir a la formulación de políticas para la adaptación social y ambiental a la nueva realidad que se vive en esta compleja región transfronteriza de la Amazonía. El Proyecto permitió una mayor integración en la región y el fortalecimiento de la cooperación de los tres países.

De las lecciones aprendidas se resalta que la actividad contó con el apoyo de un movimiento social y una articulación entre los actores locales que ya existía en la región, a través de la Iniciativa MAP. En este sentido, el Proyecto fortaleció la Iniciativa y posibilitó



la participación de los gobiernos de los tres países, sin el apoyo de los cuales no se habría podido avanzar en la implementación del Sistema de Alerta

Tecnología para enfrentar el cambio climático y replicar en toda la cuenca

Esta experiencia permite observar también la importancia del Proyecto en la aplicación de tecnologías frente a los problemas del cambio climático para mitigar los impactos de los eventos extremos sucedidos y los que puedan ocurrir.

La metodología de trabajo que implicó mecanismos de acción participativa, así como los instrumentos y los sistemas de alerta suministrados se pueden replicar en toda la cuenca Amazónica porque además de los resultados esperados, se estrecharon los vínculos para asumir la problemática en forma conjunta por parte de los tres países, generando con ello un ambiente de integración que aumentó la capacidad y potencialidades de la región para hacer frente a los eventos climáticos extremos.

De hecho, el Sistema ya está siendo replicado en Perú. La Autoridad Nacional del Agua-Perú reportó la instalación de Sistemas de Alerta y Monitoreo Hidrológico a nivel nacional en el Perú, utilizando la plataforma tecnológica TerraMA2, desarrollada en el marco de los procesos de cooperación promovidos por el Proyecto OTCA/ONU Medio Ambiente/GEF Amazonas.

Significados de una experiencia de cooperación regional exitosa

Haber recolectado información en muy corto tiempo en los tres países, para construir una base de datos georreferenciados trinacional, y proceder con el análisis sobre el cambio climático en la región MAP hace ver el alcance y la importancia del Proyecto GEF Amazonas, por haber compartido tecnologías, metodologías e instrumentos de trabajo.

Es muy valioso para la región Amazónica, que tres países se hayan involucrado en la realización del

diagnóstico de zonas críticas de vulnerabilidad hidrológica, lo cual generó posteriormente la elaboración de la Matriz de Vulnerabilidad al Cambio Climático de los Recursos Hídricos en la región MAP.

El Proyecto permitió no sólo abrir un espacio para producir nuevo conocimiento en una región severamente afectada por eventos climáticos extremos, estudiarlos y analizarlos, sino que además la región MAP tomó las medidas necesarias para adaptarse a la nueva realidad del cambio climático, implementando el Sistema de Alerta Temprana, entre otras, aumentando el nivel de conciencia sobre la necesidad de proteger los recursos hídricos en las comunidades.

En esta experiencia de cooperación trinacional exitosa en áreas de frontera, los expertos y las comunidades de los tres países aprendieron unos de otros, a través del Proyecto como facilitador para promover acciones orientadas hacia una gestión compartida e integrada de los recursos hídricos de la sub-cuenca transfronteriza del río Acre.

Referencias/Bibliografía del Estudio N.º 9

- » (Ver el Informe final de la Actividad, que puede ser consultado en la página web del Proyecto GEF Amazonas.)
- » **ANA. Agência Nacional de Águas.** Relatório técnico de vistoria e recomendações para estudos complementares na região de Brasília – área do meandro no Bairro Leonardo Barbosa e área comercial. Abril de 2013.
- » **Castello, Leandro, David G. Mcgrath, Laura L. Hess, Michael T. Coe, Paula Lefebvre, Paulo Petry, Marcia N. Macedo, Vivian F. Renó, and Caroline C. Arantes.** 2013. "The Vulnerability of Amazon Freshwater Ecosystems." *Conservation Letters* 6 (4): 217–29. doi:10.1111/conl.12008.

Referencia. Fragmento del poema "El río" de Javier Heraud (Perú)



“Como navío anclado
en las aguas del río –mar,
Como un gigante de piedra
donde las olas se van a quebrar,
Como un tronco levantado
El sueño del faraón
Gran Pará, gigante,
Revela al viajero
la Isla de Marajó” ...

Virgílio Vitelli



Estudio N°. 10.

► Isleños asumen nuevo desafío:

La Adaptación a la subida del nivel del mar en el delta del río Amazonas

Área: Geología, Oceanografía, Cambio Climático



Crédito: Shutterstock

Isla de Marajó en el delta del Amazonas cerca del puerto de Belém, (Pará) Brasil.

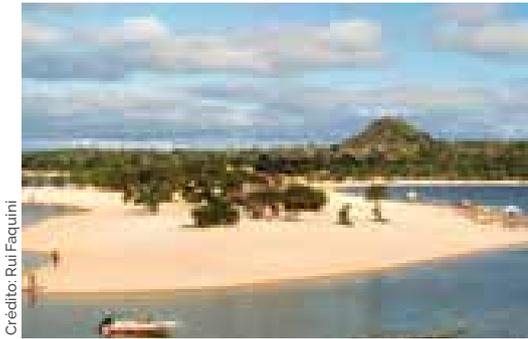
La Isla de Marajó fue explorada por el navegador portugués Duarte Pacheco Pereira en 1498, antes del descubrimiento de Brasil. Se encuentra ubicada a 90 km al Norte de Belém, capital del estado de Pará (Brasil). Posee cerca de tres mil islas e islotes por lo que Marajó es el mayor archipiélago fluvial-oceánico del mundo, por tanto un área de gran importancia ambiental.

Marajó en lengua tupi quiere decir "defensa" de la entrada del mar. Fue densamente poblada por pueblos indígenas, que poseían una organizada red de trueque de materias primas y bienes, lo que llamó la atención de comerciantes holandeses, ingleses y franceses que llegaban buscando especias y productos. Además por su fácil acceso a la región amazónica hubo mucho interés de dominar la región, por eso a fines del siglo XVI, los portugueses expulsaron a los demás europeos, hecho que coincide con el dominio portugués de la región al fundar la ciudad de Belém en 1616.

Así también inició el declive de los 29 pueblos indígenas que habitaban la isla. Hacia el siglo XVIII, los portugueses habían llevado como esclavos esas comunidades hacia otras regiones, quienes dejaron una profunda huella cultural en la isla, que cuenta con una población de 250.000 habitantes. Se dice que el número de búfalos domesticados para el transporte dentro de la isla y para el consumo, es aún mayor que sus pobladores.

La isla estuarina más grande del mundo con pérdidas masivas de tierra

Debido a las pérdidas masivas de tierra de la isla y a los problemas socioeconómicos que conlleva la subida del nivel del mar, el Proyecto GEF Amazonas realizó la actividad "Adaptación a la subida del nivel del mar en el delta del río Amazonas", bajo el cual se llevó a cabo un estudio geológico, oceanográfico, hidroclimático y socioambiental de la Isla de Marajó, que permitió comprender la dinámica del Océano Atlántico en la



Crédito: Rui Faquini

Erosión costera en los municipios investigados

desembocadura del río Amazonas y proponer medidas de adaptación a la subida del nivel del mar. Los resultados de esta investigación se utilizaron como insumo en el Programa de Acciones Estratégicas (PAE).

La Isla de Marajó (0° e 2° S - 48° e 51° W) se encuentra cerca de la línea del Ecuador en la desembocadura del río Amazonas. Es la isla estuarina más grande del mundo rodeada tanto por agua dulce como por agua del mar. La isla es bañada por el río Amazonas al noroeste, por los Estrechos y Breves al sur, y por el Océano Atlántico al sureste. Tiene una superficie de 50.000 km², mayor que los territorios de Bélgica y Holanda. Su ecosistema está conformado por un estuario, enlace entre aguas y ecosistemas continentales y oceánicos en la región deltaica. Es un gran vivero para la fauna acuática. Favorece la transferencia de nutrientes para el Océano Atlántico y la recuperación de familias de peces marinos. La actividad económica se basa en la agricultura, la ganadería de búfalo, el turismo y la pesca. La Isla de Marajó se divide en 16 municipios. Debido a su posición geográfica, esta isla se considera como puerta de entrada a la región amazónica.

El archipiélago de Marajó es un complejo estuarino formado por las islas localizadas en el Golfo Marajoara, siendo la Isla de Marajó, la más grande de todas. El estudio ejecutado por el Proyecto GEF Amazonas evaluó las consecuencias del aumento del nivel del mar, que subió de 10 a 25 cm en el siglo XX y posiblemente se acelerará en el siglo XXI, debido a los cambios climáticos.

La erosión, el transporte y la distribución de sedimentos a lo largo de la costa generan serios daños ambientales y socioeconómicos que requieren propuestas de adaptación para hacer frente a los impactos, que vienen ocurriendo hace 15 años.

Esta actividad ha permitido realizar una evaluación de las consecuencias del aumento del nivel del mar, en conjunto con otros procesos como la subida del nivel del río Amazonas junto con eventos meteorológicos extremos, causados por el cambio climático global sobre las márgenes este y norte de la Isla de Marajó. En Brasil, un diagnóstico sobre erosión en áreas costeras, incluyendo los municipios de Soure y Salvaterra, mostró que el 60% de esta área está afectada por la erosión.

Por tal motivo, esta investigación geológica, oceanográfica, hidroclimática y socioambiental de la Isla de Marajó delimitó el área de estudio a los Municipios de Afuá y Chaves al norte de la isla y a los Municipios de Soure y Salvaterra en la parte oriental. Igualmente, se hizo un estudio sobre la erosión y las variaciones de la línea de la Costa y la conexión Manglares-Cordón arenoso de la playa de Soure. Del mismo modo, se llevó a cabo un estudio de la dinámica del margen norte de la Isla de Marajó, del comportamiento de las mareas y un análisis del estuario, que permitió la identificación del cambio de la dinámica en los límites estuarinos amazónicos.

En el área de la investigación, prácticamente todas las estructuras municipales y de la población están localizadas en tierras bajas (planicies costeras). En ese contexto, se puede decir que un área grande de los entornos de la isla se caracteriza como Zona Costera de Baja Elevación, las cuales son definidas como áreas contiguas a la línea de la costa, con una altitud menor a los 10 metros.

Este hecho es muy importante para comprender que la zona se encuentra bajo riesgo potencial de inundación. Por tal razón, el Proyecto GEF Amazonas ha consolidado propuestas concretas para apoyar a los gobiernos locales en su adaptación al aumento del nivel del mar y la erosión costera.

Resultados y aprendizajes de la experiencia en la Isla de Marajó

Los resultados de la investigación mostraron la necesidad de hacer una revisión de la evolución histórica de la región del delta amazónico. Por eso, se realizó un análisis multitemporal de las márgenes norte y oriental de la Isla, es decir un "análisis de tipo espacial, que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en las imágenes de satélites o mapa de

un mismo lugar, revisado en diferentes fechas, lo que permite evaluar la posición de la línea de la costa en el tiempo, revisión que en este Proyecto se hizo de los últimos 15 años", explicó el Coordinador de esta actividad, oceanógrafo Maamar el Robrini.

Este análisis demostró la migración de la línea de la costa en dirección a la parte interna. También se identificaron las potenciales amenazas para las comunidades locales por el aumento del nivel del mar.

Amenazas por la subida del nivel del mar

Frente a la subida del nivel del mar en el delta del río Amazonas se identificaron las siguientes amenazas:



1. Impactos socioeconómicos. Implica pérdida de viviendas, destrucción de la infraestructura urbana y rural, aumento de riesgo por inundaciones, problemas para la gestión de agua potable, migración poblacional, intrusión del agua del mar, costos de la protección costera, inundaciones de sitios arqueológicos, pérdida de tierras agrícolas y zonas de pesca debido a la alteración de las condiciones oceánicas.



2. La erosión costera. Los municipios objeto de esta investigación se encuentran casi todos localizados en zonas bajas, contiguos a la línea de la costa con altitudes inferiores a 10 m. El riesgo de inundaciones es especialmente elevado en las márgenes norte y oriente de la isla, donde la línea de la costa sufrió cambios sustanciales, como resultado de las mareas de primavera, el aumento del nivel de las aguas de los ríos Amazonas y Pará, y la elevación del nivel del mar. Estos fenómenos causan una intensa erosión costera y la migración de las playas estuarinas en dirección a los manglares que acaban desapareciendo.

Escenarios de adaptación a la subida del nivel del mar en el delta del Amazonas

El Proyecto GEF Amazonas consolidó propuestas concretas para apoyar a los gobiernos locales en su adaptación al aumento del nivel del mar y la erosión costera. Se está produciendo material educativo para la población y se formuló una estrategia para la reubicación de la población local afectada por la pérdida de tierra.

Tempestades en el delta del río Amazonas: efecto del cambio climático

Los habitantes de la Isla de Marajó saben muy bien qué sucede cuando sube el nivel del mar, concepto que tienen muy asimilado históricamente, lo cual fue muy útil para los investigadores científicos del Proyecto GEF Amazonas, que buscaban comprender los comportamientos del mar y de los ríos Amazonas y Pará.



Crédito: OTCA

La subida del nivel del mar ocasiona problemas socioeconómicos en la Isla de Marajó, en la desembocadura del río Amazonas

Por ese motivo, el Proyecto realizó una reunión de intercambio con los pescadores, los habitantes, las autoridades, los profesores y estudiantes en la parroquia de Soure para recopilar información sobre la dinámica costera de la margen este, ubicada entre Joanes y la Playa de los pescadores de Soure.

De esta forma, el equipo del Proyecto definió ambos lugares como áreas vulnerables, que cuenta con una población que padece los efectos de la subida del mar en la Isla de Marajó. La estrategia para la reubicación de la población local afectada por la pérdida de tierra implica un amplio proceso de consulta con las autoridades y la comunidad.

Igualmente, se conformó un equipo de trabajo, con la participación del Grupo de Estudios Marinos y Costeros (GEMC)-que hace parte del Directorio de Grupos de Investigación del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPQ) - de la Universidad Federal de Pará (UFPA).

El GEMC fue encabezado por un oceanógrafo encargado de estudiar y analizar la marea, al tiempo que se revisaron los datos meteorológicos y geográficos de la isla, por lo que el meteorólogo se encargó de estudiar los períodos de lluvia que han ido cambiando, al punto que ahora se dan tempestades en el Amazonas, lo cual antes no ocurría y que se originan como parte del fenómeno del cambio climático global. Las tempestades provocan el aumento de la marea, por lo tanto el aumento de la subida del agua, contribuyendo así a la erosión en las zonas costeras estudiadas de la isla.

Del mismo modo, fue necesario producir mapas temáticos de la Isla para comprender los datos tomados de la realidad, localizando la dinámica de las márgenes de la isla, comparando datos antiguos y actuales, para observar si la margen se retrae o avanza. El mapa también muestra información meteorológica, como eventos climáticos extremos, en este caso tempestades y vientos que aumentan de velocidad e intensidad.

Como parte de la actividad, se desarrolló un estudio de la situación de la Zona Costera de los países bañados por las aguas del Océano Atlántico Sur.

Un estuario impactado por el cambio climático

La experiencia obtenida en esta actividad puede ser replicada en otras zonas estuarinas y en zonas costeras de baja elevación con riesgo de erosión por la subida del nivel del mar en el mundo. También será útil en aquellas cuencas donde se da la subida del nivel del río o de los ríos, como sucedió en este caso.

De acuerdo a los resultados de la investigación, se considera que las regiones deltaicas constituyen ecosistemas vulnerables que no pueden ser reconstruidos por la humanidad, porque son el resultado de un proceso de acumulación sedimentaria, de larga evolución a lo largo de miles de años.

Los ambientes estuarinos presentan una dinámica peculiar debido a la interacción entre los procesos hidrológicos (descarga hídrica y sólida), procesos oceanográficos (ondas, corrientes oceánicas y costeras), procesos atmosféricos (viento y eventos extremos, precipitaciones, presión) y procesos astronómicos (mareas) y, a veces, procesos antrópicos (acciones del hombre) que han sido factores determinantes en la evolución de las zonas estuarinas de la Isla de Marajó.

Esos son los procesos responsables de los mecanismos de erosión, transporte y distribución de sedimentos a lo largo de la costa, provocando una transformación de la línea de la costa de la Isla de Marajó, lo cual se puede revisar en otras zonas estuarinas del mundo.

El fenómeno de retroceso de la línea de la costa está frecuentemente asociado a la elevación del nivel del mar, que a su vez está ligada a los cambios climáticos globales.

Otro aspecto que debe ser tenido en cuenta es el aumento de la frecuencia y de la intensidad de las tempestades y su impacto en la infraestructura costera, es decir que se requiere incluir e investigar los eventos climáticos extremos que afectan las zonas estuarinas. En la región Norte de Brasil, los meteorólogos describen tempestades severas y registran además los efectos de los ciclones extratropicales.

Además de las especificidades que presentan las zonas estuarinas como ecosistemas afectados por el cambio climático, la erosión costera en estos lugares, constituye un problema que se ha observado en varias partes del mundo y es actualmente considerado un fenómeno global. Esta actividad deja numerosas lecciones por el tipo de variables analizadas.

Desde el punto de vista legal, se destaca también que esta zona estuarina de la Isla de Marajó es considerada como un área de protección ambiental desde 1989, según la Constitución del Estado de Brasil, por lo que se le da un tratamiento especial para la con-

servación de su biodiversidad y ecosistema, buscando así facilitar el desarrollo económico sostenible de la población marajoara.

Calculado el Índice de Vulnerabilidad Ambiental de la Isla

En esta investigación, se hizo un análisis de las consecuencias producidas por la elevación de la subida del nivel del mar (Océano Atlántico) unido a la subida del nivel de los ríos Amazonas y Pará en una zona estuarina, hecho ocasionado por diversos factores, entre ellos por eventos climáticos extremos, estudio que puede ser comparado con otros similares que se dan en otras regiones del mundo, especialmente porque la erosión costera que es una de las consecuencias del problema es un fenómeno global y obliga a la reubicación de las poblaciones por la pérdida de tierra.

Igualmente, se hizo un análisis estadístico sobre el grado de vulnerabilidad de la Isla, para lo cual se calculó el Índice de Vulnerabilidad Ambiental en los diferentes puntos de estudio. De esta forma, se estima que el 14.6% del territorio se encuentra en una zona Muy Vulnerable, lo cual implica procesos de migración de los habitantes.

Referencias/Bibliografía del Estudio N°. 10

(Breve selección tomada del Informe final de la Actividad, que puede ser consultado en la página web del Proyecto GEF Amazonas.)

- » Calliari L. J., Guedes R. M. C., Pereira P. S., Lélis R. F., Antiquiera J. A., Figueiredo S.A. 2010. Perigos e riscos associados a processos costeiros no litoral sul do Brasil (RS): uma síntese. Braz. J. Aquat. Sci. Technol., 14 (1): 49-61.
- » Costa, J.B.S.; Hasui, Y.; Bernerguy, R.L.; Soares Junior, A.V.; Villegas, J., 2002. Tectonic and Paleogeography of the Marajó Region, Northern Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 74, n° 3: 519-531.
- » Diégues, F., 1973. Introdução a oceanografia do estuário amazônico. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia: 301-317.
- » El Robrini, M.; Alves, M.A.M. Da S.; Souza Filho, P.W.M. E.; El-Robrini, M.H.S.; Silva, O.G. Da; Franca, F.D. 2006. Erosão e Progradação do Litoral do Estado do Pará. In Erosão e Progradação do Litoral do Estado do Brasil. MMA: 41-86.

Referencias poema de presentación:

- » https://issuu.com/cpoema/docs/ilhadomarajo_poemas



Puntos focales del Proyecto OTCA/ONU Medio Ambiente/GEF Amazonas



Bolivia:

Ministerio de Relaciones Exteriores, Vice Ministro, Emb. Juan Carlos Alurralde.

Ministerio de Relaciones Exteriores, Límites, Fronteras y Aguas Internacionales Transfronterizas, Director General, Juan Carlos Seguro Tapia.
Ministerio de Relaciones Exteriores, Unidad de Fronteras y Aguas Internacionales Transfronterizas, Jefe, Mayra Briseida Montero Castillo.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAYA), Director General, Oscar Céspedes Montaña.



Brasil:

Agencia Nacional de Aguas, Superintendencia de Implementación de Programas y Proyectos-SIP, Superintendente, Ricardo Medeiros de Andrade.

Agencia Nacional de Aguas, Superintendencia de Implementación de Programas y Proyectos-SIP, Superintendente Adjunto, Tiberio Magalhães Pinheiro.

Agencia Nacional de Aguas, Superintendencia de Implementación de Programas y Proyectos-SIP, Especialista en Recursos Hídricos, Diana Leite Cavalcanti.

Agencia Nacional de Aguas, Superintendencia de Implementación de Programas y Proyectos -SIP, Coordinación de Aguas Subterráneas-COSUB, Especialista en Recursos Hídricos, Fabrício Bueno da Fonseca Cardoso.

Reconocimiento especial al señor Humberto Gonçalves Cardoso, cogestor de esta iniciativa regional, actual Superintendente, Superintendencia de Apoyo e Implementación del Sistema Nacional de Gerenciamiento de Recursos Hídricos -SAS/SINGREH, Agencia Nacional de Aguas.



Colombia:

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico, Directora Técnica, Luz Hicela Mosquera.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico, Profesional Especializado en Recurso Hídrico, Martha Cristina Barragán Acosta.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Oficina de Asuntos Internacionales, Asesor de Fronteras y Organismos Subregionales, Mauricio Molano Cruz.



Ecuador:

Secretaría del Agua, Subsecretaría Social y de Articulación del Recursos Hídricos: Mariana Yumbay Yallico, Subsecretaria.

Directora de Articulación Territorial e Intersectorial: Mayra Jacqueline Garzón Ante.

Secretaría del Agua de Ecuador, Asistente Nacional, María Belén Benítez.



Guyana:

Ministerio de Obras Públicas y Departamento de Comunicación: Grupo de Servicio de Obras, Ingeniero Senior/Superior, Jermaine Braithwaite.

Agua Incorporada de Guyana, Gerente de División (Operaciones - DIV2), Marlon Daniels.



Perú:

Autoridad Nacional del Agua, Jefe, Ing. Abelardo De la Torre Villanueva.

Autoridad Nacional del Agua, Secretario General, Abg. Yury Pinto Ortiz.

Autoridad Nacional del Agua, Subdirección de la Unidad de Cooperación Internacional, Subdirector, Representante Alterno, Guillermo José Carlos Avanzini Pinto.

Autoridad Nacional del Agua, Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos, Responsable de Área de Gestión de Cuencas Transfronterizas, Adolfo Polidoro Toledo Parreño.

Autoridad Nacional del Agua, Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos, Especialista en Gestión de Recursos Hídricos, Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos, Hanny María Quispe.



Surinam:

Ministerio de Relaciones Exteriores, Punto Focal OTCA, Marlena Wellis.

Ministerio de Recursos Naturales.



Venezuela:

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Exteriores, Escritorio OTCA, Oficina de Asuntos Multilaterales y de Integración, Mariana Milagros Orta Osorio.

Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Agua, Dirección General de Cuencas, Director General de Cuencas, Adrián Alberto León Cedeno.

AGUAS AMAZÓNICAS,

Aguas seguras para las próximas generaciones...

La Organización del Tratado de Cooperación Amazónica, a través del Proyecto OTCA/ONU Medio Ambiente/GEF - Manejo Integrado y Sostenible de los Recursos Hídricos Transfronterizos de la cuenca del río Amazonas considerando la Variabilidad y el Cambio Climático busca contribuir con la generación y divulgación de nuevo conocimiento técnico y científico a partir de diez investigaciones, que se presentan en esta edición especial del Boletín Aguas Amazónicas, sobre materias como geología, hidrología, hidrogeología, hidrogeoquímica, oceanografía, meteorología, entre otras, con el fin de alcanzar una gestión integrada y sostenible de la cuenca más grande del planeta.

Esta publicación está dirigida al público general, cada vez más interesado en aprender nuevas formas de relacionarse con los ríos, al estamento universitario, a los funcionarios de entidades públicas y privadas en busca de soluciones innovadoras para la atención de los problemas críticos que afectan las cuencas.

Los estudios parten de una gestión social participativa, de un trabajo de consulta en los 8 Países Miembros de la OTCA, donde se recogieron saberes y prácticas.

**...Posicionando las AGUAS
TRANSFRONTERIZAS en la
Agenda de Cooperación
Regional de la OTCA.**