



**UN NUEVO SISTEMA
DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA (SIG)
SOBRE CUENCAS Y RÍOS**

**PARA LA CONSERVACIÓN DE
ECOSISTEMAS ACUÁTICOS
EN LA AMAZONIA.**

www.aguasamazonicas.org

info@aguasamazonicas.org

Un nuevo Sistema de Información Geográfica (SIG) sobre cuencas y ríos para la conservación de ecosistemas acuáticos en la Amazonia.

Edita

Iniciativa Aguas Amazónicas

Equipo científico

Eduardo Venticinque

Bruce Forsberg

Ronaldo Barthem

Paulo Petry

Laura Hess

Armando Mercado

Carlos Cañas

Mariana Montoya

Carlos Durigan

y Michael Goulding

Introducción

La Iniciativa Aguas Amazónicas es una llamada a la acción para promover una visión del vasto ecosistema acuático amazónico como un todo, congregando a diversos actores que trabajan en un sinnúmero de fronteras: en las márgenes de los ríos, en las áreas protegidas, en cada una de las naciones amazónicas y en todas las instituciones que trabajan en ella.

Las acciones de la iniciativa se enfocan en mantener la integridad del sistema interconectado y dinámico de las aguas amazónicas para la sostenibilidad del bienestar humano, la vida silvestre y el hábitat de los que dependen.

Este documento resume el proceso de construcción y uso del marco geográfico de cuencas en la Amazonía en múltiples escalas.

Esta investigación fue publicada¹ en la revista científica *Earth System Science Data* por Eduardo Venticinque, de la Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Bruce Forsberg, del Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; Ronaldo B. Barthem, del Museu Paraense Emílio Goeldi; Paulo Petry, de The Nature Conservancy; Laura Hess, del Earth Research Institute; Armando Mercado, Carlos Cañas, Mariana Montoya, Carlos Durigan y Michael Goulding, de Wildlife Conservation Society en diciembre del 2016, y está disponible mediante el siguiente enlace: <http://www.earth-syst-sci-data.net/8/651/2016/>

Este marco² geográfico de cuencas es un aporte de la Iniciativa Aguas Amazónicas y SNAPP, y es el producto de un esfuerzo colaborativo de más de quince años de trabajo entre limnólogos, hidrólogos y ecólogos de aguas continentales, coordinado por Michael Goulding. Puede ser descargado en <https://knb.ecoinformatics.org/#view/doi:10.5063/FIBG2KX8>

1. Venticinque, E. and Forsberg, B. and Barthem, R. and Petry, P. and Hess, L. and Mercado, A. and Cañas, C. and Montoya, M. and Durigan, C. and Goulding, M.: An explicit GIS-based river basin framework for aquatic ecosystem conservation in the Amazon, *Earth System Science Data*, 8, 2651-661, 2016.

2. Venticinque, E., Forsberg, B., Barthem, R. B., Petry, P., Hess, L., Mercado, A., Canas, C., Montoya, M., Durigan, C., and Goulding, M.: SNAPP Western Amazon Group - Amazon Aquatic Ecosystem Spatial Framework, KNB Data Repository, doi:10.5063/FIBG2KX8, 2016.

Descripción general de la base de datos

Las cuencas, la unidad espacial más natural del ecosistema acuático, son también utilizadas en la gestión del agua por las agencias y las autoridades de los países amazónicos.

No obstante, la mayoría de las clasificaciones usadas (como la metodología Pfafstetter³) no consideran el canal principal como una sola unidad, aun cuando estas áreas incluyen a sus bosques inundables asociados y son los que contienen los hábitats más productivos de la Amazonía, y por tanto, deberían ser gestionados como una unidad, tal cual se gestionan las cuencas grandes. Esta base de datos considera el canal principal del río Amazonas y sus bosques inundables adyacentes, así como sus tributarios más grandes, como subcuencas diferenciadas en una jerarquía de cuencas regionales. Esto crea un nuevo marco espacial e integrado que facilita el manejo y la conservación del ecosistema fluvial amazónico en diferentes escalas. Fig. 1.

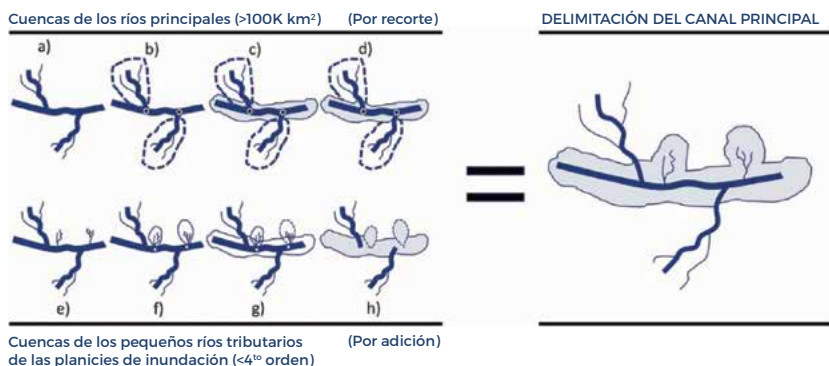


Figura. 1. Definición esquemática del canal principal en las subcuencas

3. Desarrollada por Otto Pfafstetter en 1989, es una metodología que consiste en asignar una identificación a las unidades de drenaje basada en la topología de la superficie del terreno. Es un sistema jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos (confluencias), donde el nivel 1 corresponde a la es-

El pulso del río tiene influencia temporal y espacial en los patrones de inundación de los bosques inundables y juega un rol fundamental en la productividad y diversidad de los hábitats y en el bienestar de las poblaciones humanas que viven en la Amazonía. El desarrollo de infraestructura al interior de las cuencas, que incluye la construcción de nuevas hidroeléctricas, carreteras e hidrovías, junto con el acelerado incremento del cambio de uso de tierras y el cambio climático, amenaza este complejo sistema de agua y vida silvestre, trayendo consecuencias negativas para la biota y las poblaciones que viven al lado de los ríos y que dependen de su integridad. La conservación y el manejo de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos requieren un marco hidrológico estándar que funcione para toda la región amazónica y que se adapte específicamente a este objetivo.

Dos tipos de datos para representar los cuerpos de agua se incluyen en este marco espacial (sus explicaciones se detallarán en las siguientes secciones):

1.1 Cuencas (polígonos): representa la clasificación jerárquica de cuencas y delimitación del canal principal. El canal principal se refiere a las secciones de la cuenca que colectan toda el agua del río Amazonas y también de sus tributarios principales. Aunque no son cuencas en sí, estos canales principales contienen extensas áreas de humedales y son importantes para la producción pesquera y la biodiversidad acuática en la cuenca amazónica. La clasificación de cuenca contiene siete niveles de cuenca, donde cada nivel representa un área más específica, incluyendo al canal principal y sus bosques inundables dentro de las subcuencas, lo que permite un mejor análisis de escalas variables.

2. Ríos (líneas): representa una nueva red de drenaje que contiene atributos geográficos importantes, incluyendo el orden de río (del primer al décimo primer orden), nombre del tributario (del sexto al décimo primer orden), tipo de río (del sexto al décimo primer orden) y distancia desde la boca del río Amazonas (del cuarto al décimo primer orden).

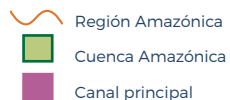
cala continental de unidades de drenaje (Pfafstetter, O., 1989, "Classification of hydrographic basins: coding methodology", unpublished manuscript, DNOS, August 18, 1989, Rio de Janeiro).

Cuencas: Desarrollo de la jerarquía de cuencas

Son siete las diferentes escalas en las que se define la jerarquía de cuencas, denominadas desde el nivel de cuenca 1 hasta el nivel de cuenca 7 (BL1-BL7, por sus siglas en inglés, *Basin Level*). Fig 2

Figura 2. Representación cartográfica de la cuenca amazónica (área de trabajo) y los datos de clasificación de los primeros cuatro niveles de cuenca

(BL= nivel de cuenca).



Generación del código de cuenca: los códigos de cuenca para las cuencas BL1 y BL4 fueron derivados de los nombres de los ríos principales en cada polígono. Los códigos para las cuencas BL5-BL7 se combinaron usando el nombre de la cuenca BL2 asociado y con números de identificación generados automáticamente cuando se delimitó cada cuenca.

Nivel de Cuenca 1 (BL1, cuencas regionales): este nivel divide el área de trabajo (ver figura 2) en tres polígonos de drenaje: un polígono grande que contiene las cuencas del río Amazonas y del río Tocantins, y dos polígonos más pequeños, que representan las cuencas costeras norte y sur, que drenan directamente al océano Atlántico.

Nivel de Cuenca 2 (BL2, cuencas de tributarios principales del río Amazonas): este nivel delimita todas las cuencas de los tributarios cuyas áreas son mayores que 100.000 km² (cuencas principales), donde los canales principales de los ríos fluyen al canal principal del río Amazonas. Este nivel también incluye el polígono del canal principal del río Amazonas, que consiste en las aguas abiertas del río, sus humedales y las cuencas de tributarios pequeños adyacentes.

Nivel de Cuenca 3 (BL3, cuencas de tributarios mayores): este nivel delimita todas las cuencas cuyas áreas son mayores que 100.000 km², incluyendo las que no fluyen directamente al canal principal del río Amazonas. También delimita a todas las cuencas cuyas áreas son mayores que 10.000 km² y menores que 100.000 km² que confluyen directamente en el canal principal del río Amazonas; y a un polígono único que representa el drenaje central de bosques inundados.

Nivel de Cuenca 4 (BL4, cuencas de tributarios menores): este nivel delimita todas las cuencas de tributarios cuyas áreas son mayores que 10.000 km² y menores que 100.000 km². Los drenajes de bosques inundados incluyen a todos los tributarios con cuencas cuyas áreas son menores que 10.000 km² y que confluyen hacia los bosques inundados en creciente.

Niveles de Cuenca 5-7 (BL5-BL7, cuencas de tributarios menores): los últimos tres niveles de cuenca (BL5, BL6 y BL7) se crearon al subdividir las cuencas BL4 en subunidades de drenaje con tamaños límite de 5.000, 1.000 y 300 km², respectivamente.

La delimitación de los tributarios amazónicos del río Amazonas (BL2), tributarios mayores (BL3) y tributarios menores (BL4) se crearon a partir de la estimación usando la grilla de dirección de flujo y con la ayuda de un *shapefile*² que representa los puntos de confluencia de las cuencas. La base de datos incluye datos de áreas y los nombres de los tributarios principales de cada cuenca de tributario mayor y menor. Las delimitaciones de las subcuencas con límites de 5.000 (BL5), 1.000 (BL6) y 300 km² (BL7) se crearon para toda la cuenca amazónica. Estas subcuencas luego se transformaron en polígonos separados usando una herramienta que procesa esta información delineando hacia donde se drena el agua. Las características y estadísticas generales para cada nivel de cuenca se resumen en la **Tabla 1**.

Tabla 1 - Descripción general de sistema de cuencas para la región amazónica

Descripción general	Nivel	Nº Cuencas	Área promedio (km ²)	Canal principal
Amazonía y cuencas costeras	BL1	3	N/A	No
Principales tributarios del Amazonas >100.000 km ²	BL2	21	385,386	Si
Tributarios mayores >100.000 km ²	BL3	38	170,277	Si
Tributarios menores <100.000 km ² y >10.000 km ²	BL4	199	36,625	Si
10.000 km ² < subcuencas > 5.000 km ²	BL5	1075	6,811	No
5.000 km ² < subcuencas > 1.000 km ²	BL6	4606	1,589	No
1.000 km ² < subcuencas > 300 km ²	BL7	15269	479	No

² Un *shapefile* es un formato de almacenamiento de datos vectoriales de Esri para almacenar la ubicación, la forma y los atributos de las entidades geográficas (Environmental Systems Research Institute, Inc. - ESRI, 2016).

Ríos: Desarrollo de la red de drenaje

Construimos un sistema de tributarios a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM: cobertura geoespacial que describe los gradientes de elevación), un archivo con la dirección de flujo (que especifica cómo el agua fluiría, dada la elevación) y un archivo de acumulación de flujo (que muestra cómo el agua se acumularía, dada la dirección de flujo y la elevación). El valor "umbral de tributarios" determina el tamaño del área de drenaje río arriba al cual el archivo de tributarios empieza a delinearse y, por tanto, la resolución final de la red de drenaje. Para crear el archivo de alta resolución de tributarios se utilizó un archivo con un umbral de tributarios río arriba de aproximadamente 81 ha junto con el archivo de dirección de flujo.

En este producto, la jerarquía de orden de tributario varía del primer al décimo primer orden. Probablemente, se está subestimado el primer orden dado que el área de drenaje de los ríos de primer orden (ríos permanentes sin tributarios permanentes ríos arriba) varían de 10-50 ha en la Amazonía central. Asumiendo que esto es correcto, los ríos más pequeños en la red de ríos desarrollada aquí serían aproximadamente de segundo orden, y el canal principal del río Amazonas en la desembocadura sería de décimo segundo orden. Los tres diferentes *shapefiles* de la red de ríos se crearon desde este producto de alta resolución, que contiene ríos del primer a décimo primer orden, sexto a décimo primer orden, y séptimo a décimo primer orden, respectivamente. Los nombres de los tributarios, derivados desde base de datos existentes, se añadieron a la red de drenaje del sexto al décimo primer orden.

El *shapefile* que contiene los ríos del primer al décimo primer orden se filtró para eliminar los ríos de primer al tercer orden que se generaron en superficies de aguas abiertas y de humedales conocidos, y que se generaron debido a posibles errores del DEM y del archivo de dirección de flujo. Estas anomalías consistían en segmentos de ríos de bajo orden no confiables, generados predominantemente en bosques inundados de baja resolución donde la variación de elevación era o bien baja (ambientes de agua abierta) o debido a variaciones en altura de vegetación. Aunque la mayoría de segmentos anómalos se eliminaron con este filtro, algunos todavía aparecen en resoluciones altas.

Clasificación de tipo de río

El tipo de agua varía mucho en el sistema del río Amazonas y se ha demostrado que tiene una influencia significativa en los procesos biogeoquímicos y en la distribución y la dinámica de los hábitats y la biota acuática.

Hay tres grandes tipos de ríos en la cuenca amazónica basados en diferencias naturales de color y calidad de agua: **1) aguas blancas**, que son neutrales en pH y ricos en sedimentos y nutrientes suspendidos, **2) aguas negras**, que tienen pH bajo y niveles bajos de sedimentos, pero niveles altos de carbono orgánico disuelto, y **3) aguas claras**, que tienen pH bajo a neutro, niveles de nutrientes y sedimentos suspendidos y carbono orgánico disuelto bajos. Definimos tipo de agua (blanca, negra o clara) en ríos del sexto al décimo primer orden basados en el conocimiento regional y el análisis de documentación visuales de varias resoluciones disponible en Google Earth (Google Inc.). La asignación de tipo de ríos resultante basada en tipo de agua se puede visualizar en la figura 3. Esta es la primera aproximación basada en conocimiento actual.

Definición y mapeo de nodos de desove de peces

Muchas especies migratorias de peces characiformes desovan donde los ríos de agua blanca se encuentran con los ríos de agua negra o de agua clara. Estos nodos de desove se identificaron e incorporaron a los *shapefile* de ríos de sexto al décimo primer orden. Las áreas más importantes entre ellos se identificaron al interseccionar los nodos de desove con los drenajes de subcuencas o canales principales más importantes para las pesquerías comerciales Fig. 3.

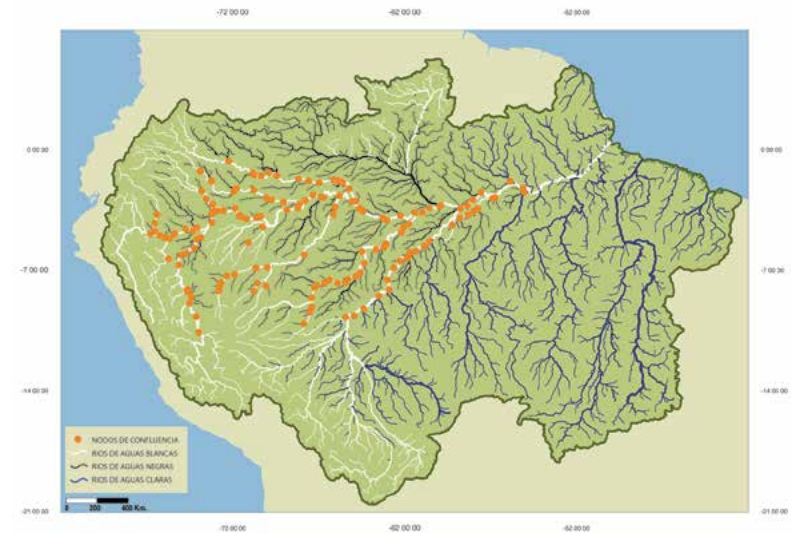


Figura 3. Mapa de áreas importantes de confluencia donde peces depositan huevos y donde también ocurre captura de peces.

Distancias de ríos

Las distancias a lo largo de las redes de ríos, desde la boca del río Amazonas hasta puntos específicos dentro del sistema, pueden ser importantes para caracterizar las rutas de desove, para estimar cuánto tiempo se queda una especie en un lugar particular, o para estimar velocidades de desplazamiento río abajo de larvas de peces y/o juveniles, y la presencia de otros materiales, como sedimentos, en el sistema. Estos datos proveen no solo distancias a puntos específicos desde la boca del río Amazonas, sino también a regiones distantes. Los valores de distancia y orden de río se incluyen en la tabla de atributos del *shapefile* final de la red de ríos en la base de datos.



Conclusiones generales

Esta jerarquía de múltiples niveles de cuenca y clasificación de ríos provee una nueva herramienta que refleja una visión de la región amazónica conectada por sus aguas. Su arquitectura permite el monitoreo y manejo integrado de los ecosistemas acuáticos en distintas escalas espaciales. Los principales productos de datos que se incluyen en el SIG son:

1. Una jerarquía de múltiples niveles específicamente diseñados para la conservación y el manejo de cuencas de ríos y humedales en escalas variadas de cuencas y subcuencas.

2. Una red de drenaje ordenada, espacialmente uniforme y de alta resolución de la cuenca amazónica (primer y segundo orden) y sus cuencas costeras adyacentes (norte y sur).

3. Una primera aproximación de tipos de ríos basada en el tipo de agua como indicador de las características químicas incluidas como atributos para los tributarios del sexto al décimo primer orden.

4. Estimaciones de la distancia de secciones de río con respecto a la boca del río Amazonas en el océano Atlántico, incluidos como atributo para los ríos del cuarto al décimo primer orden en la cuenca amazónica.

5. Un *shapefile* de puntos que indica las confluencias (los nodos) de diferentes tipos de ríos que son críticos para el desove de especies de peces migratorios.

Esta base de datos regional hidrológica proporciona un marco coherente para la integración y el análisis de una gran variedad de datos espaciales críticos para el manejo y la conservación de este valioso ecosistema fluvial.

Próximos pasos

La publicación original de este marco, *GIS-based River Basin Framework for Aquatic Ecosystem Conservation in the Amazon* (<http://www.earth-syst-sci-data.net/8/651/2016/>) se desarrolló como un marco iterativo para trabajar diversas problemáticas de la conservación. Pesquerías y humedales eran el enfoque de los análisis iniciales por sus roles críticos en seguridad alimentaria en la cuenca amazónica. Seguiremos construyendo sobre estos temas con análisis de áreas protegidas, territorios indígenas e impactos de infraestructura sobre las aguas, los humedales y las cuencas prioritarias.

El equipo de la Iniciativa Aguas Amazónicas trabajará cercanamente con una variedad de actores para implementar el marco para el monitoreo ambiental y la planificación hacia un uso sostenible de los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad. Esperamos que las agencias de gobierno, ONGs, universidades y otras instituciones adapten varias de sus herramientas dentro de este marco según sus intereses específicos en el análisis espacial a varias escalas de cuencas en la Amazonía.

Esta publicación está impresa en Cyclus Offset, papel fabricado con 100% fibras recicladas, libres de cloro y blanqueadores ópticos, certificadas por NAPM (National Association of Paper Merchants). Ha sido elaborado además con Bio Energía (energía no contaminante) y está certificado por Ecoflower y Blue Engel que identifican productos hechos bajo el manejo medio ambientalmente apropiado, con responsabilidad social y económicamente viable de los recursos. Los beneficios por el uso de papel 100% fibra reciclada se refleja en un menor impacto al ecosistema, equivalente a:

675 kg. de fibra de árbol ahorrada
12.936 lt. de agua ahorrados
415 kg. de residuos sólidos no generados
83 kg. de gases de efecto invernadero evitados
1,202 KWH de energía no consumida
834 km no recorridos en auto estándar

info@aguasamazonicas.org

facebook.com/AguasAmazonicas twitter.com/aguasamazonicas

www.aguasamazonicas.org

MOORE
MOORE
MOORE



info@aguasamazonicas.org