



# BASES TÉCNICAS PARA EL MANEJO Y APROVECHAMIENTO DEL PAICHE (*Arapaima gigas*) EN LA CUENCA AMAZÓNICA BOLIVIANA





**Bases técnicas para  
el manejo y aprovechamiento  
del paiche (*Arapaima gigas*) en la  
cuenca amazónica boliviana**

Fernando M. Carvajal-Vallejos, Roxana Salas,  
Julio Navia, Joachim Carolsfeld, Paul A. Van Damme  
(Editores)

Estado Plurinacional de Bolivia  
Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras  
Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal  
2017







Estado Plurinacional de Bolivia

CÉSAR HUGO COCARICO YANA  
Ministro de Desarrollo Rural y Tierras

MARISOL SOLANO CHARIS  
Viceministra de Desarrollo Rural Agropecuario

CARLOS OSINAGA ROMERO  
Director General Ejecutivo – INIAF

© Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras  
© Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal

Depósito Legal: 2-1-63-17  
ISBN: 978-99974-67-40-9  
Edición: Editorial INIA ([www.editorial-inia.com](http://www.editorial-inia.com))  
Diseño e impresión: ETREUS impresores  
Supervisión diagramación: Pedro Guereca (Editorial INIA)

CITA: Fernando M. Carvajal-Vallejos, Roxana Salas, Julio Navia, Joachim Carolsfeld, Paul A. Van Damme (Editores) (2017) Bases técnicas para el manejo y aprovechamiento del paiche (*Arapaima gigas*) en la cuenca amazónica boliviana. INIAF-IDRC-Editorial INIA, Bolivia, 508 p.

La presente publicación puede ser reproducida total o parcialmente con fines educativos y sin permiso especial, siempre con mención de la fuente.

Elaborado por:



Con apoyo de:



Financiado por:



Co-financiado por:



Global Affairs  
Canada

Affaires mondiales  
Canada



**IDRC | CRDI**

International Development Research Centre  
Centre de recherches pour le développement international

**Canada**

# PRESENTACIÓN

Con el fin de hacer frente a la crisis alimentaria y al fracaso de las políticas aplicadas por gobiernos neoliberales que nos dejaron postergados por más de 500 años, el Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia implementó un nuevo modelo económico, que es aplicado por el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT), con el propósito de lograr la seguridad y soberanía alimentaria en condiciones de inocuidad y calidad para el vivir bien de las bolivianas y los bolivianos, apuntando a una Revolución Productiva Comunitaria Agropecuaria en el marco de la economía plural, reforzando los pilares de la Agenda Patriótica 2025.

El crecimiento y desarrollo en base al aprovechamiento de los recursos naturales, la reducción de la desigualdad social, la nacionalización y el control de los recursos naturales, permiten a las instituciones del MDRyT desarrollar y generar información técnica desde la participación activa de los pequeños y medianos productores, generación de conocimientos que son plasmados en el presente documento que hace referencia al uso y acceso a las bondades de la Madre Tierra para satisfacer las necesidades alimentarias en convivencia armónica con la naturaleza, su respeto y defensa.

Por tal motivo el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), con el objetivo de brindar información de estos rubros en base a experiencias técnicas y profesionales de diferentes instituciones del sector en todo el país, presenta el siguiente aporte de investigación y de consulta académica.

Cesar Hugo Cocarico Yana  
MINISTRO DE DESARROLLO RURAL Y TIERRAS



# PRÓLOGO

El libro “Bases técnicas para el manejo y aprovechamiento del paiche (*Arapaima gigas*) en la cuenca amazónica boliviana” es un producto significativo que aporta el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) a la investigación técnica-científica de la fauna acuática en Bolivia. Este documento divulga oficialmente nuevos conocimientos técnicos sobre la biología, ecología, aspectos ambientales, sociales y comerciales del paiche, como especie introducida en nuestro país.

Esta publicación se constituye en una herramienta de consulta académica y de planificación estratégica para promover el desarrollo de las pesquerías amazónicas en pequeña escala, principalmente del paiche. Esperamos que este material sea utilizado por los tomadores de decisiones del Estado en sus diferentes niveles, dado que los recursos pesqueros juegan un papel importante para los ecosistemas acuáticos, y son un medio de vida de las poblaciones que dependen del recurso y habitan las riberas de los diferentes cuerpos de agua de la región norte amazónica. La pesca para los pueblos indígenas es una actividad económica de seguridad y soberanía alimentaria. Con una buena planificación de aprovechamiento enmarcada en políticas públicas, la pesca aportará a la conservación y sostenibilidad de las especies nativas en los territorios indígenas, y se mejorará la calidad de vida de hombres y mujeres del pueblo boliviano, a través del consumo de pescado en condiciones de inocuidad y calidad para el vivir bien.

La información presentada en este libro es el resultado de la investigación participativa (entre investigadores y actores locales) realizada en cuatro territorios indígenas (los TIOCs Chácobo-Pacahuara, Tacana-Cavineño, Cavineño y Multiétnico II) del norte del departamento del Beni en alianza estratégica con la Central Indígena de la Región Amazónica de Bolivia (CIRABO) y la Federación Única de Pescadores, Comercializadores y Piscicultores del Norte Amazónico de Bolivia (FEUPECOPINAB).

CARLOS OSINAGA ROMERO  
Director General Ejecutivo - INIAF



# ÍNDICE

Cap.	Autores	Título	Pag.
	Ministro MDRyT	Presentación	V
	Director INIAF	Prólogo	VII
	-	Resumen Ejecutivo	XI
<b>PARTE I. INTRODUCCIÓN</b>			<b>1</b>
1	-	Introducción: el paiche en la Cuenca Amazónica boliviana	3
2	Carvajal-Vallejos FM, Bigorne R, Zeballos AJ, Sarmiento J, Barrera S, Yunoki T, Pouilly M, Zubieta J, De La Barra E, Jegú M, Maldonado M, Van Damme PA, Céspedes R, Oberdorff T	Diversidad de los peces en la Cuenca Amazónica boliviana	7
<b>PARTE II. INVASIÓN Y DISTRIBUCIÓN ACTUAL</b>			<b>19</b>
3	Carvajal-Vallejos FM, Montellano SV, Lizarro D, Villafán S, Zeballos AJ, Van Damme PA	La introducción del paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) en la Cuenca Amazónica boliviana y síntesis del conocimiento	21
4	Van Damme PA, Coca Méndez C, Córdova L, Carvajal-Vallejos FM, Carolsfeld J	La expansión del paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) (Osteoglossiformes; Arapaimidae) en la Amazonía boliviana	43
5	Lizarro D, Montellano SV, Villafán S, Calderón H, Moreno-Aulo F, Zeballos AJ, Carvajal-Vallejos FM	Distribución del paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) en Bolivia: una actualización a cinco décadas de su introducción	59
<b>PARTE III. BIOLOGÍA Y GENÉTICA</b>			<b>79</b>
6	Jaldin MA, Villafán S, Montellano SV, Maldonado M, Carvajal-Vallejos FM	Edad y crecimiento del paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) en la cuenca baja del río Madre de Dios basado en el análisis de escamas	81
7	Villafán S, Aguilar F, Argote A, Lizarro D, Maldonado M, Carvajal-Vallejos FM	Dieta del paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) en lagunas de las cuencas Beni y Madre de Dios (Bolivia)	103
8	Villafán S, Montellano SV, Van Damme PA, Carvajal-Vallejos FM	Abundancia del paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) en cuatro territorios indígenas del norte de Bolivia	121
9	Carvajal-Vallejos FM, Nelson J, Barroso D, Villafán S, Montellano SV, Carolsfeld J	Variabilidad genética del paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) en Bolivia: una o varias poblaciones?	147
<b>PARTE IV. BENEFICIOS Y RIESGOS PARA EL CONSUMO</b>			<b>163</b>
10	Reynaga Loredo R, Villafán S, Montellano SV, Carvajal-Vallejos FM	Contenido nutricional de la carne de paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) en Bolivia	165
11	Ustariz K, Villafán S, Carolsfeld J, Kravac L, Carvajal-Vallejos FM	Concentración de mercurio en carne de paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) del norte de la Cuenca Amazónica de Bolivia	175
12	Rodríguez Levy IE, Bervoets L, Carvajal-Vallejos FM	Acumulación de metales en especies de peces comerciales del norte de la Cuenca Amazónica boliviana y riesgos para el consumo humano.	191

<b>PARTE V. PESCA Y MEDIOS DE VIDA</b>			<b>203</b>
13	Montellano SV, Macnaughton AE, Carvajal-Vallejos FM	Diagnóstico de las pesquerías en cuatro territorios indígenas del norte amazónico de Bolivia	205
14	Macnaughton AE, Montellano SV, Trujillo S, Salas R, Carvajal-Vallejos FM	Los medios de vida en comunidades indígenas del norte de Bolivia: cuál es el rol actual y potencial de la pesca?	321
15	Flores DN, Montellano SV, Rodal P, Barrozo D, Carvajal-Vallejos FM	La pesca en Cachuela Esperanza y Rosario del Yata	359
<b>PARTE VI. CADENA DE VALOR DEL PAICHE</b>			<b>387</b>
16	Rico López G, Coca Méndez C, Almeida O.T., Van Damme PA	Estructura y economía de la pesca indígena y comercial en el norte de la Cuenca Amazónica boliviana	389
17	Navia J, Salas R, Montellano SV, Van Damme PA	La cadena productiva del pescado en el norte de la Cuenca Amazónica de Bolivia	409
18	Navia J, Villarroel L, Van Damme PA	El mercado del paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) en Bolivia	441
<b>PARTE VII. RECOMENDACIONES</b>			<b>449</b>
19	Carvajal-Vallejos FM, Van Damme PA, Carolsfeld J, Navía J, Daza R	Desafíos y recomendaciones para el manejo del paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) y la conservación de la diversidad acuática en Bolivia	451
<b>ANEXOS</b>			
1	Lista de especies de peces presentes en cada una de las 13 unidades hidrológicas definidas para la Cuenca Amazónica boliviana (CAB), y que conforman la base de datos Fish-AMAZBOL		465
2	Lista de autores		505

# RESUMEN EJECUTIVO

La **PARTE I (INTRODUCCIÓN)** tiene dos capítulos introductorios.

El **capítulo 1** presenta un breve resumen del contexto del libro e indica sus orígenes y objetivos.

El **capítulo 2** presenta los últimos conocimientos sobre la diversidad de los peces en la Cuenca Amazónica boliviana. La ictiofauna que contiene esta cuenca ha recibido una reciente atención por parte de científicos y autoridades nacionales en las últimas décadas, porque representa una de las fuentes de proteína más importantes para los bolivianos y bolivianas de las comunidades locales y de las grandes ciudades. En el capítulo se presenta una base de datos sobre los peces reportados para la cuenca. La base de datos fue construida a partir de una revisión exhaustiva de la literatura sobre peces nativos y no nativos (exóticos). La base de datos fue denominada como Fish-AMAZBOL y contiene listas de especies para 13 unidades hidrológicas definidas en este trabajo. El área estudiada representa, aproximadamente, 65% (722 137 km<sup>2</sup>) del territorio de Bolivia. Se reportaron 802 especies válidas, 12 de ellas no nativas. En perspectiva, este valor representa alrededor del 14% de la ictiofauna neotropical y alrededor del 6% de los peces estrictamente de agua dulce que habitan el planeta. Esta información puede considerarse como un punto de referencia sobre la riqueza de peces en la Cuenca Amazónica boliviana, la cual debe ser mejor entendida para protegerla, conservarla, y aprovecharla de una manera sostenible.

La **PARTE II (INVASIÓN Y DISTRIBUCIÓN ACTUAL)** contiene una descripción exhaustiva de los conocimientos más recientes sobre los patrones de invasión del paiche (identificado tentativamente como *Arapaima gigas*) en la Amazonía boliviana.

El **capítulo 3** presenta una síntesis general del estado de conocimiento del paiche en su zona de distribución natural y Bolivia, indicando los aspectos más relevantes de su biología y ecología, y describe la historia de su introducción en Bolivia, para entender cómo ocurrió la dispersión desde la porción peruana del río Madre de Dios, y su posterior establecimiento en los principales sistemas asociados a este río en el norte. La velocidad de dispersión del paiche ha sido calculada en base a varias decenas de avistamientos, y se propone el tiempo que le tomará a la especie alcanzar las partes altas de las cuencas donde todavía no está presente pero que ya fueron alcanzadas en las partes bajas. Los primeros registros en los ríos Mamoré e Iténez son explicados desde diferentes perspectivas: el evento extremo de inundación en 2013-2014 y/o la mano del hombre vinculada a piscicultura en Bolivia y/o Brasil. En vista del alcance geográfico actual de la especie, se recomienda que los tomadores de

decisiones a diferentes escalas geográficas definan cual es la mejor estrategia para manejar o enfrentar a la especie en los siguientes años, y promuevan la regulación de introducciones de peces no nativos.

El **capítulo 4** enfoca la misma problemática desde una perspectiva de reconstrucción del patrón de invasión del paiche, utilizando datos de entrevistas con personas clave y estadísticas pesqueras. Se estima que la especie ocupa aproximadamente 340 km<sup>2</sup> de lagunas de várzea en las cuencas de los ríos Beni, Orthon y Madre de Dios. La captura anual en 2009 fue estimada en 0.76 kg/ha/año. La distribución actual solamente representa el 24% de las lagunas de várzea en la Cuenca Amazónica boliviana, reflejando el alto potencial pesquero si la especie colonizaría también las cuencas de los ríos Mamoré e Iténez. Este capítulo describe en particular el posible rol de bajas temperaturas como factor limitante para la expansión de paiche hacia el sureste de la cuenca.

Basándose en los capítulos anteriores, **el capítulo 5** presenta una actualización de la distribución del paiche en Bolivia. Los registros de la especie fueron obtenidos de diferentes fuentes de información y sumaron un total de 338, entre observaciones en el medio natural (329) y en piscicultura (9). Los resultados muestran que la especie ha tenido un avance considerable en la Cuenca Amazónica boliviana, y que ahora también se encuentra en la Cuenca del Plata (río Paraguay). En la Cuenca Amazónica, se reporta por primera vez su presencia en las subcuencas de los ríos Mamoré e Iténez, posiblemente causada por eventos hidrológicos extremos y/o piscicultura precariamente manejada. En la cuenca del río Beni los registros últimos indican que ya se encuentra próximo al piedemonte andino. En base a este escenario actual, y tomando en cuenta la experiencia sucedida en las pesquerías de Riberalta a raíz de su introducción, se propone que el sector pesquero inicie un diálogo sobre la planificación de las pesquerías en la Cuenca Amazónica, para evitar posibles conflictos (competencia) entre los principales puertos pesqueros, optimizar los beneficios que se pueden obtener de las pesquerías sostenidas por esta especie, y al mismo tiempo contribuir a la protección de la diversidad acuática nativa.

**La PARTE III (BIOLOGÍA Y GENÉTICA)** trata la biología y genética del paiche.

En el **capítulo 6** se presentan datos sobre el crecimiento del paiche, uno de los peces más grandes de la Cuenca Amazónica, capaz de alcanzar tallas de hasta tres metros de largo y más de 200 kg. La investigación sobre su crecimiento y edad fue realizada en la laguna El Mentiroso (cuenca del río Madre de Dios) en base a muestras colectadas en octubre 2011 y julio-agosto 2012. Se analizaron datos de longitud total, longitud estándar, longitud del intestino y peso de 250 individuos. Se realizó el conteo de los anillos de crecimiento en escamas de 116 individuos. La talla de madurez sexual aproximada fue definida mediante observación directa de las gónadas y datos primarios proporcionados por pescadores a través de entrevistas directas. Los resultados mostraron una correlación positiva entre la longitud total y estándar, entre la longitud estándar y el peso, y entre la longitud estándar y la longitud intestinal. Las clases de edad estuvieron comprendidas entre cero y trece años. La talla mínima observada (longitud estándar) con presencia de ovocitos en desarrollo fue de 152 cm. Las entrevistas a pescadores indicaron que la talla (longitud total) de primera madurez sexual del paiche se encuentra alrededor de 120 cm, y que el período reproductivo ocurre entre las aguas bajas y ascenso de las mismas (septiembre – enero).

Hasta la fecha, se desconocía la dieta del paiche en ambientes de Bolivia y su efecto sobre las comunidades acuáticas. El **capítulo 7** presenta la metodología y resultados de un estudio sobre la dieta de la especie en lagunas y arroyos de los ríos Beni y Madre de Dios, durante el periodo de aguas bajas (julio 2012). Se colectaron 253 estómagos de ejemplares con una longitud estándar promedio de 116.6 cm, (min. 44.4 cm; max. 236 cm). En cada estómago se separaron los ítems presentes, los cuales fueron pesados, fotografiados e identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Para describir la dieta se usaron los índices de frecuencia de ocurrencia, frecuencia numérica, frecuencia gravimétrica y el Índice de Importancia Relativa presa específico. Adicionalmente se realizó un análisis de la dieta separando la muestra en clases de tamaño cada 20 cm y según su sexo. Para poder determinar su nicho trófico se calculó el Índice Intestinal y el Nivel Trófico. De los 253 estómagos, sólo 177 presentaron contenido estomacal. 97 de estos ejemplares fueron hembras y 70 machos. La mayoría de los ejemplares pertenecieron a las clases de tamaño comprendida entre 81-100 y 101-120 cm (83 y 44 individuos respectivamente). Se encontró que la dieta está compuesta principalmente por peces, materia vegetal e invertebrados. El ítem peces fue el único categorizado como primario. Dentro de los peces el orden Characiformes fue el más importante. Las familias de mayor relevancia dentro de este taxón fueron Characidae y Curimatidae. Los invertebrados que destacaron en la dieta pertenecen a los órdenes Coleoptera, Hemiptera y Decapoda. No se observó diferencias significativas en la composición de la dieta entre las diferentes tallas y sexos. El Índice Intestinal, el Índice de Nivel Trófico y los ítems encontrados en la dieta del paiche sugieren que es una especie omnívora, sin embargo presenta una clara preferencia carnívora direccionada hacia peces.

El **capítulo 8** presenta una evaluación de la abundancia del paiche en cuatro TIOCs (Territorios Indígenas Originarios Campesinos) del departamento del Beni para determinar su potencial pesquero. Se realizó el conteo de paiche en 34 lagunas y cuatro ríos de estos territorios, a través de su visualización el momento cuando éstos salen a respirar. Los resultados mostraron que la mayor densidad de paiche (individuos/ha) se encuentra en lagunas de la comunidad Las Petas (TIOC Chácobo-Pacahuara), y en el río Santa María (TIOC Cavineño). La mayor abundancia y potencial para la pesca (cantidad de carne que potencialmente se puede extraer) se encontró en lagunas de la comunidad Santa Rosa de Florida (TIOC-Cavineño) y en remansos y cauces del río Benicito (TIOC Chácobo-Pacahuara). Se concluye que el paiche en los ecosistemas acuáticos de los territorios indígenas evaluados es una especie abundante y puede ser extraído de manera sostenible, además de proporcionar valiosos recursos económicos a las poblaciones indígenas del norte de Bolivia.

En el **capítulo 9**, se presentan resultados sobre la variabilidad e identidad genética del paiche en el norte de Bolivia, y el estado de su estructuración poblacional. Se colectaron 111 individuos de los ríos Madre de Dios (55), Beni (38) y Orthon (18). Todos ellos fueron analizados a nivel de tres loci de microsatélites (DNAn) y de la ATPasa (DNAm), mientras que solo cinco de cada localidad para el CO1 (DNAm). Los microsatélites mostraron una estructura poblacional relacionada al origen geográfico de las poblaciones, mientras que la ATPasa fue poco variable y no se detectó diferencias entre localidades. La variación del CO1 sugiere que los ejemplares examinados forman parte de una misma entidad genética. Se propone que la estructura observada con los microsatélites está relacionada a la introducción de individuos provenientes de múltiples stocks, los cuales poseen una preferencia por ciertos hábitats y atravesaron por cuellos de botella. Se recomienda que el manejo de la especie considere la diferenciación existente entre las distintas zonas geográficas y/o sistemas.

La **PARTE IV (BENEFICIOS Y RIESGOS PARA EL CONSUMO)** presenta las metodologías y resultados de estudios especializados sobre los beneficios y riesgos de consumo de carne de paiche y de algunas especies nativas.

La carne del paiche posee características que han facilitado su comercialización en las principales ciudades del país. El **capítulo 10** detalla el trabajo de caracterización e identificación del aporte nutricional de la carne de paiche proveniente de la ciudad de Riberalta (Beni), principal puerto pesquero al norte de Bolivia y centro de distribución de carne de paiche a los mercados del interior. Se colectaron muestras de tejido de la zona dorsal, abdominal y caudal (n=3; 800 g) de tres ejemplares medianos (122.8 cm de longitud total promedio). Los resultados muestran que la carne de paiche tiene un importante contenido nutricional, es rica en proteínas (20%), ácidos grasos Omega 3 y vitamina D, y presenta bajos niveles de grasas totales y carbohidratos. Se recomienda su consumo habitual en la dieta, el cual debe ser complementado con otros alimentos y equilibrado en relación a la cantidad de contaminantes que puede contener (p.ej. mercurio). A corto plazo se recomienda realizar estudios sobre el contenido nutricional de la especie en base a otras variables (p.ej. zona de procedencia, tamaño, sexo, piscicultura, entre otros), pero también sobre cómo se debe manipular y preparar los alimentos para optimizar la asimilación de los nutrientes que posee.

Los suelos de la Cuenca Amazónica boliviana son reservorios naturales de mercurio donde la intensa actividad minera, la deforestación y cambios de uso de suelo, potencian la contaminación de sistemas acuáticos y el flujo a través de la cadena trófica. El objetivo del **capítulo 11** fue determinar las concentraciones de mercurio en la carne del paiche, una de las especies comerciales más importantes en las pesquerías de Bolivia. Se realizaron colectas de músculo en ocho sitios en las cuencas de los ríos Orthon, Madre de Dios, Beni y Yata (Beni y Pando). Las muestras tomadas fueron transportadas, manteniendo la cadena de frío, a un laboratorio donde fueron liofilizadas y analizadas mediante el método de digestión y lectura por fluorescencia atómica. Los resultados obtenidos mostraron que en general el paiche tiene bajas concentraciones de mercurio en su tejido muscular (0.2 mg Hg/kg), en relación al límite permisible sugerido por la OMS de 0.5 mg Hg/kg, y en comparación a especies con concentraciones intermedias de mercurio, como el atún. El consumo moderado de carne de paiche no representa un riesgo y puede realizarse de manera regular hasta tres veces por mes en cantidades de 0.7 - 1 kg.

El **capítulo 12** presenta los resultados de un análisis de las concentraciones de metales (arsénico As, cadmio Cd, cromo Cr, cobalto Co, cobre Cu, plomo Pb, mercurio Hg, níquel Ni, zinc Zn) en el tejido muscular de diferentes especies de peces colectadas en los mercados de ciudades situadas en las orillas del río Beni (Rurrenabaque, Riberalta). En total se analizaron 109 muestras pertenecientes a 35 especies de peces y a cuatro niveles tróficos (carnívoros, detritívoros, herbívoros, omnívoros). Al agrupar las muestras según su nivel trófico, las especies carnívoras presentaron el valor mediano más alto de mercurio, seguidas por el grupo de especies omnívoras, detritívoras y finalmente, las especies herbívoras, por lo que se podría sugerir que se trata de un caso de biomagnificación de este metal a través de las redes tróficas acuáticas. No fue posible detectar una diferenciación significativa en los niveles de mercurio al tomar en cuenta las diferentes zonas de pesca a lo largo de la cuenca, situación que parece demostrar que la contaminación por mercurio sólo depende de los hábitos alimenticios de los peces y no tanto de las condiciones ambientales en las que viven. Se realizó un análisis del riesgo de consumo de pescado para la

salud humana. El estudio demostró que el mercurio es el único de los metales estudiados que representa un riesgo, particularmente para la población femenina, que muestra una mayor vulnerabilidad en términos de intoxicación por mercurio. Los grupos indígenas del noroeste del país constituyen otro grupo muy vulnerable, ya que a diferencia de los habitantes de las ciudades, las personas de las poblaciones de la cuenca del río Beni generalmente no tienen otras opciones como fuente de proteínas.

La **PARTE V (PESCA Y MEDIOS DE VIDA)** presenta una descripción exhaustiva de las características de pesca en cuatro Territorios Indígenas Originarios Campesinos (TIOCs) en el norte de la Amazonía Boliviana y describe en detalle como la pesca comercial y de subsistencia aportan a sostener los medios de vida en esta región del país.

El **capítulo 13** presenta los resultados de talleres comunales y entrevistas individuales en cuatro TIOCs (Territorios Indígenas Originarios Campesinos) del norte de Beni (Chácobo-Pacahuara, Cavineño, Tacana-Cavineño y TIM II) entre los meses de octubre y noviembre de 2015. Se eligieron las 23 comunidades con mayor potencial pesquero dentro de los cuatro TIOCs. En total, se realizaron 127 entrevistas. Se obtuvo información sobre sus principales actividades productivas, sus zonas de pesca, medios de transporte, embarcaciones, motores, artes de pesca, esfuerzo de pesca, volúmenes estimados de captura, especies más importantes, la comercialización de pescado, seguridad alimentaria al nivel de hogar, conocimientos y percepciones del paiche, y finalmente sobre los principales problemas que enfrenta el sector pesquero, planteando posibles soluciones a estos problemas. El objetivo fue el de identificar las pesquerías con mayor potencial para participar de un aprovechamiento pesquero periódico dentro de las comunidades estudiadas. Se observó que las comunidades del TIOC TIM II son las que aprovechan en mayor proporción de los recursos pesqueros a los que tienen acceso, y el paiche empieza a tomar importancia como fuente alternativa de ingresos económicos para las comunidades que lo aprovechan comercialmente. Estos resultados pueden servir de base para un mejor aprovechamiento pesquero por estas comunidades en el futuro.

En el **capítulo 14** se presenta una caracterización de los medios de vida en 23 comunidades indígenas de cuatro TIOCs en el Departamento de Beni, Bolivia. En general, los encuestados informaron de estrategias de subsistencia diversificadas, en su mayoría actividades extractivistas. Las actividades con las tasas más altas de participación en general fueron para la subsistencia, la pesca (98%) y la agricultura (92%), y luego para fines comerciales castaña (81%), caza (61%) pesca de especies nativas (48%), pesca de paiche (37%) y cosecha de palmito (36%). Mientras que el pescado es una parte central de las dietas locales, la venta de pescado es menos común y, en general, una fuente secundaria de ingresos a la castaña y otras actividades. Muchos encuestados enfrentan problemas significativos de pobreza y vulnerabilidad, incluyendo la falta de acceso a servicios básicos como educación, salud, agua limpia, acceso al transporte y bajos niveles de seguridad alimentaria. Las recomendaciones incluyen el desarrollo de una estrategia para hacer uso del paiche como una fuente adicional de ingresos estacional, y el inicio de una planificación participativa integrada con las comunidades basada en el enfoque de los medios de vida sostenibles (SLA).

La actividad pesquera en la Amazonía boliviana es de vital importancia económica e involucra a varios sectores. Pese a esto se tiene escasa información

técnica sobre la actividad. El **capítulo 15** presenta un diagnóstico sobre la actividad pesquera en Cachuela Esperanza y Rosario del Yata en base a un monitoreo pesquero en ambas comunidades. Se describen aspectos generales de la pesca comercial. Ambas comunidades practican pesca comercial y de subsistencia. En la comunidad de Cachuela Esperanza, la pacupeba (*Mylossoma duriventre*), yatorana (*Brycon amazonicus*), y pacú o tambaqui blanco (*Piaractus brachypomus*) son las especies de mayor importancia, mientras que en la comunidad de Rosario del Yata son el paiche (*Arapaima gigas*), tucunaré (*Cichla pleiozona*) y bentón (*Hoplias malabaricus*). La pesca en ambas comunidades juega un rol económico importante tanto en el consumo como en el comercio.

En la **PARTE VI (CADENA DE VALOR)** se describen las cadenas productivas del pescado en la Amazonía boliviana y se presentan algunos datos sobre los mercados urbanos del paiche.

La cuenca alta de Madera representa una zona importante para el abastecimiento de carne de pescado para la población boliviana. El objetivo del **capítulo 16** fue caracterizar la actividad pesquera en los alrededores de Riberalta y cuantificar el aporte económico generado, tanto por las unidades de pesca comercial de mediana escala (pescadores que viven en zonas urbanas) como por las unidades de pesca de pequeña escala (pescadores indígenas que radican en los TIOCs y pescadores campesinos). Este estudio está basado en un monitoreo intensivo realizado por el lapso de un año. Se registraron 443 desembarques y 1 963 envíos de pescado y se realizaron entrevistas con los dueños de unidades de pesca y con los representantes de las asociaciones de pescadores y comercializadores de pescado de Riberalta. Los resultados indican que la flota pesquera comercial de Riberalta está compuesta por embarcaciones de mediano y pequeño porte (con capacidad de almacenamiento de hielo menor a 1.7 toneladas), dedicada principalmente a la captura de paiche, con estrategia de comercialización destinada al abastecimiento de las principales ciudades del país. Por otro lado, la pesca de pequeña escala está compuesta por embarcaciones de pequeño porte (con capacidad de almacenamiento de hielo menor a 200 kg), dedicada principalmente a la captura de especies nativas de pescado, con estrategia de comercialización destinada al abastecimiento de Riberalta. En cuanto a la pesca comercial de mediana escala, las unidades de pesca de pequeño porte son menos eficientes que los de mayor porte en cuanto a desembarque por unidad de esfuerzo (kg/pescador/día), sin embargo, las embarcaciones de pequeño porte son más eficientes económicamente (ingreso/costo) debido principalmente a la modalidad de pago de la tripulación (riesgo compartido). Se concluye que la pesca de Riberalta aporta significativamente a la seguridad alimentaria, siendo que el país presenta un índice de consumo de pescado per cápita muy por debajo de lo recomendado por organizaciones internacionales. La pesca aporta significativamente al Producto Interno Bruto regional y a la generación de empleo para pobladores de la Amazonía.

El **capítulo 17** describe la cadena productiva del pescado, con especial énfasis en el paiche, en el norte del departamento Beni mediante una estructura segmentada, que muestra las interrelaciones entre los actores directos (1 588) e indirectos (45) y los flujos de materiales e insumos, productos y capital de las actividades de los eslabones de provisión de bienes y servicios, de producción pesquera, de procesamiento y elaboración de productos de pescado, y de comercialización y distribución. El estudio se basa en la sistematización y análisis de datos secundarios seleccionados e información primaria proporcionada por actores clave del sector pesquero urbano e

indígena, mediante entrevistas, encuestas y talleres participativos. Se estima que la captura anual de pescado para el comercio es de aproximadamente 932 toneladas, de las cuales el volumen de paiche es de 742 t/año (79.6%) y los volúmenes de pacú y surubí alcanzan a 115.8 y 74.1 t/año (12.4 y 8.0%) respectivamente. El 92.1% del volumen total de extracción anual de pescado corresponde a la captura comercial y el 8.0% proviene de la pesca indígena. Resultados del estudio indican que 400 actores directos locales generan ingresos trabajando en la provisión de bienes, materiales e insumos para la producción y 250 prestando servicios personales y de transporte. En producción pesquera intervienen 393 pescadores urbanos y 379 pescadores indígenas. El procesamiento y elaboración de productos de pescado es realizado por 100 actores locales, y 66 personas trabajan en la comercialización de pescado al por menor y mayor. La captura comercial tiene un costo unitario promedio de 7.1 Bs/kg de pescado y las ganancias que reporta para los pescadores urbanos son de 3.9 y 2.9 Bs/kg cuando entregan a procesadores del pescado y a los comercializadores respectivamente. En situación análoga, los pescadores indígenas reciben un beneficio de 3.8 Bs/kg, siendo que su costo de captura es de 4.2 Bs/kg. El kilogramo de filete de carne fresca y el de productos crudos de pescado que elaboran con materia prima de la pesca comercial generan utilidades del 27.78% y 24.50% para los procesadores respectivamente, y sus ganancias aumentan al 44.44% y 39.25% cuando utilizan pescado proveniente de captura indígena. Las utilidades que perciben los comerciantes mayoristas alcanzan al 33.07% por kilogramo de pescado que compran a pescadores urbanos y al 39.73% cuando sus proveedores son pescadores indígenas. Los comerciantes minoristas obtienen utilidades del 28.34% y 39.56% en similares casos.

El objetivo del **capítulo 18** es presentar las características y valores de demanda de paiche en particular, y de otras carnes de pescado en general, a nivel nacional, así como los precios de venta del paiche al consumidor. Se ha enfatizado la estimación de demanda de la carne de paiche, con el propósito de contribuir en la planificación del aprovechamiento integral de esta especie. El presente estudio de mercado de la carne de paiche en Bolivia ha sido realizado en las capitales de departamentos Cobija, Trinidad, Cochabamba, Santa Cruz, La Paz / El Alto, Oruro, Potosí, Sucre y Tarija, además en Riberalta. Se aplicó una metodología innovadora que permitió obtener estimaciones estocásticas de las cantidades de pescado comercializadas en cada mercado. En este marco, se estima que la demanda de carne de pescado en las nueve capitales de Bolivia y en Riberalta es de aproximadamente 27 762 toneladas por año. De la demanda total estimada, 952 toneladas (3.43%) corresponden a la demanda anual de carne de paiche y 26 810 t/año (96.57%) son demanda nacional de otras especies de pescado. La carne de paiche tiene demanda en seis de las diez ciudades de Bolivia donde se realizó el estudio, y está concentrada en los principales mercados de Riberalta, Santa Cruz y Cochabamba con 412, 318 y 162 t/año respectivamente, que representan en conjunto 93.8% de su demanda total. El mayor centro de procedencia de paiche es Riberalta. La introducción del paiche al norte amazónico de Bolivia y el incremento de las capturas de esta especie ha resultado en una reactivación de la pesca comercial en Riberalta y la apertura de nuevos mercados en el interior. Sin embargo, la explotación de esta especie tiene todas las características de un "boom", con el riesgo de insostenibilidad, ya que se trata de una especie que fácilmente es sobre-explotada. El precio de la carne de paiche en el mercado nacional tiene valores considerablemente altos en comparación con otras especies, particularmente en las ciudades de Santa Cruz y Cochabamba, que son las que mayor demanda registran para esta especie. Asimismo, el precio del paiche en La Paz y El Alto es el tercero más alto de 17 especies que

se comercializan en ese potencial mercado nacional. Se recomienda que las bases de datos, metodologías y modelo de innovación tecnológica generadas en el presente estudio sean consideradas por los actores públicos a nivel municipal y departamental para su complementación, actualización posterior y aplicación permanente, ya que pueden constituirse en herramientas de apoyo a la toma de decisiones, tomando en cuenta que los precios y valores actuales y proyectados de consumo y demanda de carne de pescado a nivel nacional por especies, son indicadores clave para la planificación estratégica de la acuicultura y la pesca en el país.

La **PARTE VII (RECOMENDACIONES) (capítulo 19)** presenta recomendaciones dirigidas a actores directos e indirectos de la cadena productiva del paiche.

# PARTE I

## INTRODUCCIÓN

---







## INTRODUCCIÓN

El paiche (*Arapaima gigas*) es una de las especies más grandes de agua dulce del mundo, alcanzando 3-4 m y más de 200 kg (Nelson 2006; Carvajal-Vallejos *et al.* 2011). Habita principalmente las lagunas de várzea y ríos de baja corriente. A nivel regional es comúnmente conocido con el nombre de pirarucú, paiche o arapaima. De manera natural, el paiche se encuentra mayormente en la cuenca del Amazonas, donde ocupa alrededor de 2 millones de km<sup>2</sup>, en Brasil, Perú, Colombia, Ecuador y Venezuela (Saavedra *et al.* 2005). Hasta el momento de su introducción a través del río Madre de Dios, no ocurrió naturalmente en nuestro país, debido a que las cascadas entre Porto Velho y, respectivamente, Guayaramerín (río Mamoré) y Cachuela Esperanza (río Beni) representaban una barrera natural para la especie.

La invasión del paiche en Bolivia representa una de los casos más espectaculares y sorprendentes de introducción de una especie no-nativa en una subcuenca amazónica. El caso del paiche es particularmente interesante porque la especie ha demostrado ser muy vulnerable a la extinción en su rango natural de distribución en la Amazonía, y particularmente en Perú y Brasil (Castello *et al.* 2006), donde ha sido diezmada por la explotación comercial. En cambio, en Bolivia, donde la pesca comercial es de menor escala, la especie ha llegado a ocupar un importante segmento de la cadena de valor del pescado en el norte amazónico, de tal manera que se habla frecuentemente de un "boom" en la comercialización de la especie. En un plazo de dos décadas, esta especie invasora ha podido ocupar un papel preponderante en la pesca comercial de la región y en algunos mercados urbanos del interior.

En los últimos 10 años el caso del paiche ha llamado la atención de varias agencias de cooperación y de investigadores, que han aportado informaciones permitiendo conocer los beneficios y riesgos de la introducción de esta especie en la Amazonía boliviana. Producto del proyecto Peces para la Vida I, financiado por la Cooperación canadiense (IDRC), dentro del marco del proyecto CIFSRSF, Coca Méndez *et al.* (2012) publicaron un libro que resumió el entonces conocimiento sobre la especie. Por otra parte, un conjunto de insti-

tuciones de desarrollo, a través del proyecto Peces para la Vida II (2013-2016), financiado por el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (International Development Research Centre – IDRC), Ottawa, Canadá, y con el soporte financiero del gobierno de Canadá, a través del Departamento de Asuntos Externos, Comercio y Desarrollo (Department of Foreign Affairs, Trade and Development – DFATD), profundizó el conocimiento acerca de la especie y pretende en la actualidad mejorar la contribución de la especie a la seguridad alimentaria en el país.

Los impactos de la especie en la cadena de valor y su potencial contribución a la seguridad alimentaria son de tal magnitud que el Estado Plurinacional de Bolivia también decidió avanzar hacia la investigación para poder mejorar la toma de decisiones relacionadas a su manejo. El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) en 2013 decretó una resolución ministerial que por primera vez introdujo herramientas y normativas para la gestión de las pesquerías del paiche y la protección de la ictiofauna nativa, que podría estar afectada negativamente por la especie invasora. Al mismo tiempo, el Instituto Nacional de Innovación Agraria y Forestal (INIAF), reconociendo la necesidad de disponer de bases técnicas para el manejo de la especie, a través del apoyo financiero del Estado Plurinacional de Bolivia y el Banco Mundial, inició el subproyecto "Bases Técnicas para el Aprovechamiento Integral del paiche (*Arapaima gigas*) en el Norte del Departamento del Beni", ejecutado por FAUNAGUA, que contempló entre otras acciones, la publicación del presente libro actualizado sobre el tema.

Este libro es fruto de los esfuerzos en conjunto de la plataforma Peces para la Vida y del proceso apoyado por INIAF. Está compuesto de siete partes. La primera parte (I) presenta datos sobre la diversidad de los peces de la Cuenca Amazónica de Bolivia. En la segunda parte (II), se explora sobre los patrones de invasión y la distribución actual del paiche en Bolivia. En la tercera parte (III), se resume el conocimiento actual sobre la biología y la genética de las poblaciones de la especie en Bolivia. En la parte IV, se describen los beneficios y riesgos para el consumo de la carne del paiche, enfocando la problemática del mercurio. Luego, en la parte V, se presentan nuevos datos sobre la importancia de la pesca para

sostener los medios de vida en comunidades indígenas del norte amazónico de Bolivia. En la parte VI se presenta información sobre las cadenas de valor del paiche. Finalmente, en la parte VII, se presentan recomendaciones para el manejo de la especie, dirigidas a los actores directos e indirectos de la cadena de valor.

Este libro no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional de los representantes de los eslabones de la cadena del pescado en Riberalta y alrededores, particularmente la FEU-PECOPINAB (Federación Única de Pescadores, Comercializadores y Piscicultores del norte de la Amazonía boliviana) y la CIRABO (Central Indígena de la Región Amazónica de Bolivia). Dedicamos el mismo a los pescadores, que son el sustento de los medios de vida en la Amazonía boliviana.

## REFERENCIAS

Carvajal-Vallejos FM, Van Damme PA, Córdova L, Coca C (2011) La introducción de *Arapaima gigas* (paiche) en la Amazonía boliviana. pp. 367-395. En: Van Damme PA, Carvajal-Vallejos FM, Molina Carpio J (Eds.). Los Peces y Delfines de la Amazonía boliviana: hábitats, potencialidades y amenazas. Edit. INIA, Cochabamba, Bolivia, 470 p.

Castello L, Arantes CC, McGrath DG, Stewart DJ, Sarmiento de Sousa F (2016) Understanding fishing-induced extinctions in the Amazon. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, doi: 10.1002/aqc.2491

Coca Méndez C, Rico López G, Carvajal-Vallejos FM, Salas Peredo R, Wojchiechowski JM, Van Damme PA (2012) La cadena de valor del pescado en el norte amazónico de Bolivia: contribución de especies nativas y de una especie introducida (paiche *Arapaima gigas*). Editorial PIEB, La Paz, Bolivia. 167 p.

Nelson JS (2006) Fishes of the world. John Wiley and Sons, Inc., 4<sup>th</sup> editions, New York.

Saavedra EA, Quintero LG, Pinto CA (2005) Distribución geográfica, hábitat y aspectos ecológicos. pp. 9-17. En: Sanabria AI, Beltrán IC, Victoria P (Eds.). Biología y cultivo del pirarucú *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) (Pisces: Arapaimatidae): bases para un aprovechamiento sostenible. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá.

# Diversidad de los peces en la Cuenca Amazónica boliviana

Fernando M. Carvajal-Vallejos<sup>1,2,3,8</sup>, Rémy Bigorne<sup>4</sup>, América J. Zeballos Fernández<sup>3</sup>, Jaime Sarmiento<sup>5</sup>, Soraya Barrera<sup>5</sup>, Takayuki Yunoki<sup>6</sup>, Marc Pouilly<sup>4</sup>, José Zubieta<sup>1,8</sup>, Evans De La Barra<sup>4</sup>, Michel Jegú<sup>4</sup>, Mabel Maldonado<sup>2</sup>, Paul A. Van Damme<sup>1,8</sup>, Ricardo Céspedes<sup>7</sup>, Thierry Oberdorff<sup>4</sup>



<sup>1</sup> FAUNAGUA, Instituto de investigaciones aplicadas de los recursos acuáticos, final Av. Max Fernández s/n, zona Arocagua Norte, Sacaba, Cochabamba, Estado Plurinacional de Bolivia.

<sup>2</sup> Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos (ULRA), Facultad de Ciencias y Tecnología (FCyT), Universidad Mayor de San Simón (UMSS), calle Sucre frente al Parque La Torre s/n, Cochabamba, Estado Plurinacional de Bolivia

<sup>3</sup> ECOSINTEGRALES SRL (Estudios Ecológicos y Servicios Integrales para el Desarrollo Sostenible y la Conservación Ambiental), calle Carlos Müller 211, Cochabamba, Estado Plurinacional de Bolivia.

<sup>4</sup> UMR 'BOREA', IRD 207/CNRS 7208/MNHN/UPCM, DMPA, Museum National d'Histoire Naturelle, 43 rue Cuvier, 75231 Paris Cedex, Francia.

<sup>5</sup> Museo Nacional de Historia Natural - Instituto de Ecología, Colección Boliviana de Fauna (CBF), c. 27s/n Campus Universidad Mayor de San Andrés, Cota Cota, La Paz, Estado Plurinacional de Bolivia.

<sup>6</sup> Centro de Investigaciones de Recursos Acuáticos (CIRA), Universidad Autónoma del Beni José Ballivián (UABJB), Trinidad, Beni, Estado Plurinacional de Bolivia.

<sup>7</sup> Museo Alcides D'Orbigny, Av. Potosí #1458, zona Queru Queru, Cochabamba, Estado Plurinacional de Bolivia.

<sup>8</sup> Plataforma Peces para la Vida (PPV), Bolivia-Canadá.



## INTRODUCCIÓN

Los peces bolivianos son diversos y abundantes. Sin embargo, a pesar de su importancia para los medios de subsistencia locales, se ha prestado poca atención a este grupo de vertebrados (Van Damme *et al.* 2009). Por consiguiente, los peces siguen siendo el grupo de vertebrados menos conocidos en Bolivia, y la información sobre su distribución y/o biología es escasa y dispersa. En la última década, el gobierno boliviano y la comunidad científica han centrado su atención en este importante recurso natural que podría verse afectado en un futuro próximo al aumentar las amenazas tales como la contaminación del agua, las represas y la introducción de especies (Carvajal-Vallejos *et al.* 2011; Van Damme *et al.* 2011; Van Damme & Carvajal-Vallejos 2012).

El presente documento se centró exclusivamente en la parte boliviana de la cuenca del río Amazonas.

Las listas de registros de especies de peces de la Cuenca Amazónica boliviana (CAB) comenzaron con el trabajo pionero de Pearson (1924), describiendo 26 nuevas especies y presentando una distribución longitudinal y altitudinal de 160 especies recolectadas principalmente en la cuenca del río Beni y en algunas partes de la cuenca del río Mamoré. Posteriormente, este mismo autor publicó una lista con 275 especies de peces presentes en las cuencas del Beni y Mamoré (Pearson 1937).

Más de cinco décadas después de este trabajo innovador, Lauzanne *et al.* (1991), basado en un extenso trabajo de muestreo, publicó una lista provisional de 389 especies de peces de la CAB a las cuales Sarmiento (1998), Chernoff & Willink (1999), Lasso *et al.* (1999), y Chernoff *et al.* (2000), añadieron respectivamente 21, 91 y 3 especies adicionales, llegando a un total de 504 especies.

Más recientemente, Pouilly *et al.* (2010), Carvajal-Vallejos & Zeballos Fernández (2011), y Hablützel *et al.* (2013), que consideraron información sobre las especies de peces presentes en las tierras bajas de la CAB (hasta 300 m sobre el nivel del mar), registraron entre 721 y 994 especies para esta porción de la cuenca.

Con base en esta breve revisión, está claro

que el número de nuevos registros de peces para la CAB está en constante aumento, pero sigue siendo muy variable dependiendo de los autores. Las razones de esta variabilidad son múltiples, pero en su mayoría proceden de la compilación parcial de los datos disponibles, la inclusión de especies dudosas y la ausencia de verificación sistemática de las sinonimias de especies.

El objetivo del presente estudio fue, por lo tanto, compilar una base de datos de peces para la parte boliviana de la cuenca amazónica intentando, en la medida de lo posible, evitar estos inconvenientes mencionados anteriormente. El trabajo incluye información disponible en artículos publicados, libros, literatura gris, bases de datos en línea, museos extranjeros (22, mencionados en Pouilly *et al.* (2010) y Jégu *et al.* (2012)) y nacionales (2), y universidades. Para cada especie registrada se revisó la confiabilidad y consistencia sistemática.

Este trabajo en esencia es la traducción de una publicación realizada hace pocos años (Carvajal-Vallejos *et al.* 2014), y tiene la intención de difundir datos recientes y hacer más accesible la información sobre la riqueza de los peces en Bolivia en el ámbito nacional.

## MÉTODOS

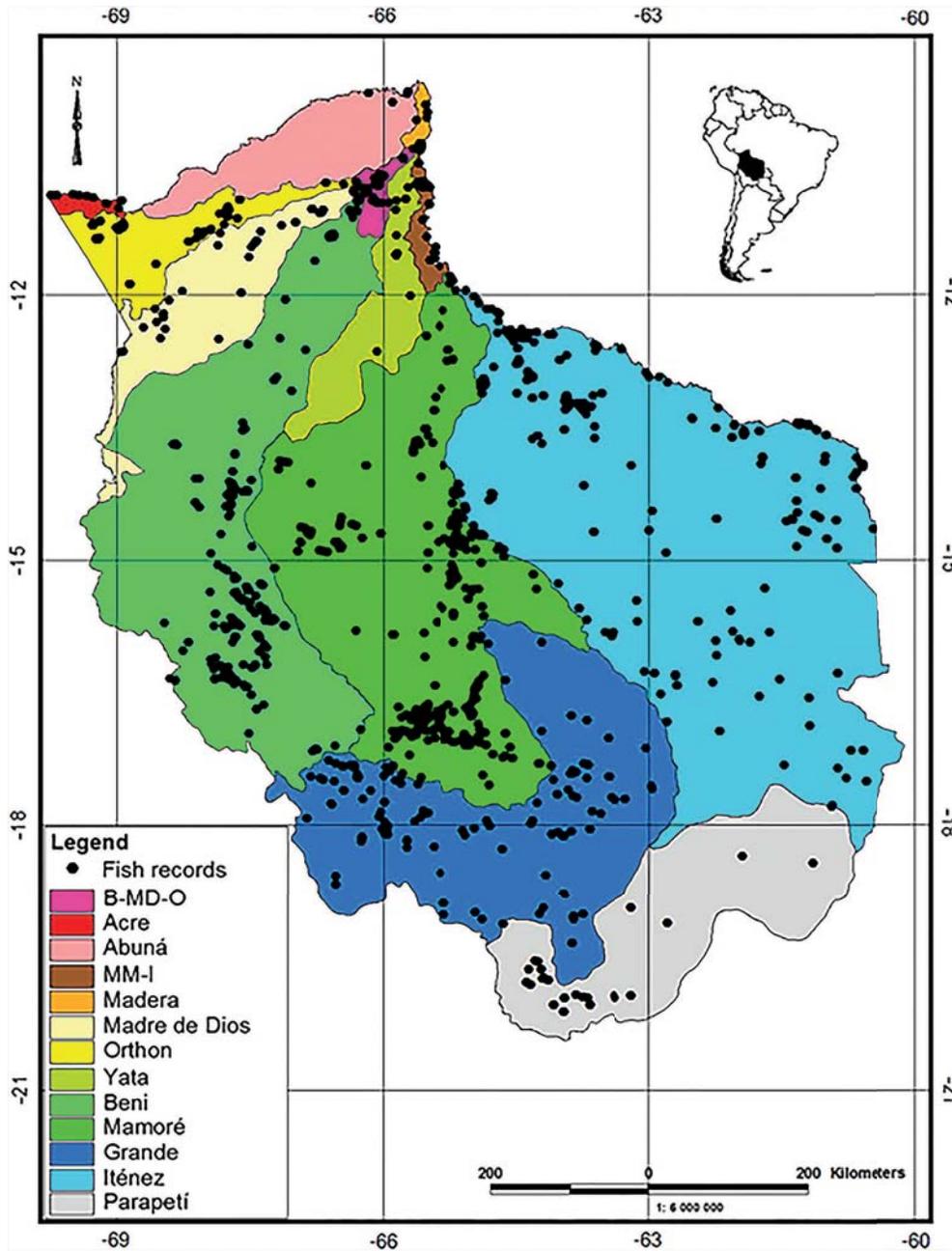
### Cobertura espacial

La CAB cubre 722 137 km<sup>2</sup> (el 65.7% del territorio boliviano) y está situada, de oeste a este, entre los Andes y la frontera suroeste del Escudo Brasileño. La CAB, aunque está compuesta principalmente por la cuenca del río Madera (denominado como río Madeira en Brasil), que cubre un área de 720 057 km<sup>2</sup> (65.5% del territorio boliviano), también está constituida por una pequeña porción de la cuenca del río Purus (río Acre), cubriendo una superficie de 1 851 km<sup>2</sup> (0.2% del territorio boliviano), y ubicada en la esquina noroccidental del país (Figura 1).

La cuenca del río Madera se dividió en 12 unidades hidrológicas correspondientes, respectivamente, a las subcuencas de Abuná, Orthon, Madre de Dios, Beni, Yata, Mamoré, Grande, Parapetí e Iténez (o Guaporé en Brasil), Beni-Madre de Dios-Orthon (B-MD-O), Mamoré-Iténez (MM-I), y el río Madera pro-

piamente (Figura 1). Las unidades hidrológicas fueron definidas siguiendo el diagrama hidrográfico (nivel 5) del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2010), y el mapa de los cuerpos de agua del Sistema de Información Territorial de Apoyo a la Producción - SITAP (2009) (disponible en el Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia, Departamento de Ecosistemas de Ciencias y Gestión, Universidad de Texas (<http://essm.tamu.edu/bolivia>)).

La latitud y longitud de las unidades hidrológicas fueron recolectadas de la literatura, Google Earth Pro versión 4.2 Beta, y de un mapa demográfico de Bolivia (INE 2001, disponible en <http://essm.tamu.edu/bolivia>). Además, se calculó la amplitud elevacional, longitud del eje principal del río y área de superficie de cada unidad hidrológica (Cuadro 1).



**Figura 1.** Mapa de la Cuenca Amazónica boliviana que muestra las 13 unidades hidrológicas y las localidades registradas (puntos) consideradas en la base de datos Fish-AMAZBOL. Los puntos pueden representar más de una localidad (localidades próximas).

### Recopilación de datos

Los datos fueron recogidos como una colaboración conjunta entre tres instituciones: la Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos (ULRA) de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS) - Cochabamba (Bolivia), FAUNAGUA (Cochabamba (Bolivia)) y el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) - Marsella (Francia). Se realizó una búsqueda exhaustiva de la literatura publicada entre 1855 y 2013, sobre especies de peces nativos y no nativos presentes en la CAB.

via; y en museos extranjeros y bases de datos internacionales (véase más adelante).

Los registros de especies de peces se incluyeron en la base de datos de acuerdo a los siguientes criterios: (a) ocurrencia en una revisión taxonómica o descripción de especies que incluye material de la CAB; (b) ocurrencia en la Colección Ictiológica UMSS - Museo D'Orbigny donde el material puede ser revisado, (c) ocurrencia en la base de datos y colección de peces de la CBF, (d) presencia en museos y universidades extranjeras citadas por Pouilly

**Cuadro 1.** Descripción general de la base de datos Fish-AMAZBOL para cada una de las 13 unidades hidrológicas definidas en la Cuenca Amazónica boliviana (véase el texto para la explicación de las variables)

Unidad hidrológica	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Amplitud elevacional msnm	Riqueza de especies de peces			
				Total	Nativa	No nativa	Exclusiva
Acre	1 851.2	72 156.7	184-343	38	38	0	4
Abuná	23 559.8	1 066.4	90-308	72	70	2	4
Madera	1 399.6	234.8	90-233	149	148	1	9
Orthon	18 387.9	1 041.4	144-360	245	244	1	3
Madre de Dios	30 924.4	1 442.9	105-3117	353	351	2	5
Beni	119 206.0	2 295.2	103-6404	419	416	3	31
Yata	19 849.8	1 030.2	99-225	32	31	1	0
Mamoré	129 955.2	2 229.8	116-4666	556	554	2	51
Grande	102 059.6	2 070.9	158-5141	133	127	6	13
Iténez	206 432.6	2 843.2	108-919	520	519	2	73
Parapetí	60 686.1	1 463.3	254-3713	30	30	0	6
B-MD-O	3 652.9	363.7	105-217	141	139	2	4
MM-I	3 602.6	570.6	107-184	143	142	1	1
total	721 567.7	-	90-6404	802	790	12	203

La base de datos se obtuvo de 146 fuentes bibliográficas, incluyendo trabajos publicados, libros, tesis y literatura gris (informes y datos no publicados). La lista completa de referencias utilizadas para compilar la base de datos Fish-AMAZBOL se presenta como material suplementario en línea (ver Apéndice 1 del material suplementario en la red del trabajo doi:10.1007/s10750-014-1841-5) y la bibliografía original está disponible en la ULRA y FAUNAGUA. También se incluyó, si es válido (ver abajo), registros de peces depositados en la Colección Boliviana de Fauna (CBF) en La Paz, Bolivia; en la Colección Ictiológica de la UMSS - Museo D'Orbigny, Cochabamba, Boli-

*et al.* (2010) y Jégu *et al.* (2012) (p.e. El Museo Americano de Historia Natural de Nueva York, EE.UU.; la Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia, EE.UU.; la Universidad de Auburn, Departamento de Zoología-Entomología, EE.UU.; la Academia de Ciencias de California, EE.UU.; el Museo de Vertebrados de la Universidad de Cornell, EE.UU.; el Museo de Historia Natural de Florida, EE.UU.; el Museo de Historia Natural de Campo, Chicago, EE.UU.; la Universidad de Kansas, EE.UU.; el Museo de Zoología de la Universidad de Michigan, EE.UU.; la Institución Smithsonian; EE.UU.; el Museo Nacional de Historia Natural, Washington, EE.UU.; el Museo Británico de Historia Natural, Reino Unido; el Museo de

Ciencias Naturales de Caracas, Venezuela; la Pontificia Universidad Católica del Río Grande do Sul, Museo de Ciencias de Porto Alegre, Brasil; el Museo de Nacional de la Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil; la Fundación Universidad Federal de Rondônia (UNIR), Brasil; el Museo de Zoología de la Universidad de São Paulo, Brasil; el Instituto Nacional de Pesquisas de la Amazônia, Manaus (Brasil) y el Instituto Nacional de Pesquisas de la Amazonía (Brasil); el Museo Nacional de Historia Natural, Francia; el Museo Sueco de Historia Natural, Suecia; El Museo Real de Ontario, Canadá; el Forschungsinstitut und Naturmuseum Frankfurt, Alemania; el Museo de Zoología de la Universidad de Amsterdam, Países Bajos), e) la presencia en bases de datos internacionales en línea (por ejemplo, Global Biodiversity Information Facility (GBIF), Neotropical Biodiversity Database (NEODAT) ), y f) ocurrencia en una lista de peces elaborada para una porción de la CAB.

Para cada registro, se revisó la distribución y el estado actual (nombre o sinónimo válido de la especie) usando preferentemente como autoridad de nomenclatura el Catálogo de Peces de la Academia de Ciencias de California (CAS) (Eschmeyer 2013), actualizado el 10 de diciembre de 2013, y ocasionalmente la versión de FishBase de octubre de 2013 (Froese & Pauly 2013). Cuando la presencia de un taxón fue inconsistente con su distribución real conocida y no hubo posibilidad de revisar el material, el registro se clasificó como dudoso. En algunos casos, los taxa identificados hasta el nivel de género (4% de la lista total de especies) fueron incluidos en la base de datos, pero sólo cuando el género estuvo ausente en la lista de especies registradas.

Algunas discrepancias fueron identificadas para los nombres de algunos taxa entre el CAS y FishBase. Cuando un conflicto fue notado entre las bases de datos de consulta, se retuvo el nombre propuesto por el CAS. Se observaron conflictos para las especies *Ageneiosus valenciennesi* (Bleeker 1864) (CAS) vs. *Ageneiosus militaris* (Valenciennes 1835) (Fish-Base), *Cheirodon stenodon* (Eigenmann 1915) (CAS) vs. *Odontostilbe stenodon* (Eigenmann 1915) (Fish-Base), *Galeocharax goeldii* (Fowler 1913) (CAS) y *Galeocharax gulo* (Cope 1870) (FishBase). Sin embargo, tres excepciones fueron realizadas: 1) consi-

derando Weitzman & Palmer (1997) se retuvo *Hyphessobrycon megalopterus* (Eigenmann 1915) en vez de *Megalampodus megalopterus* (Eigenmann 1915) (CAS), 2) siguiendo Britto (2003) *Brochis genus* fue considerado un sinónimo de *Corydoras genus*, y por lo tanto se tomó en cuenta *Corydoras multiradiatus* (Orce's V. 1960) en vez de *Brochis multiradiatus* (Orce's V. 1960) (CAS y FishBase), 3) según Lundberg *et al.* (2011) y Carvajal-Vallejos (2013), se retuvo *Platyne-matichthys notatus* (Jardine 1841) en cuenta de *Brachyplatystoma notatus* (Jardine 1841) (CAS).

Se consideraron tres descriptores de la riqueza dentro cada unidad hidrológica: nativa, no nativa y riqueza total. La riqueza nativa es el número de especies que actualmente se encuentran en la unidad, pero excluye especies no nativas que han sido introducidas directa o indirectamente en la cuenca. La riqueza no nativa o "exótica" es el número de especies no nativas (foráneas) que ocurren en cada unidad hidrológica. Consideramos como especies no nativas: (a) especies que no ocurrieron naturalmente en una unidad hidrológica dada, y (b) que aparentemente se han establecido exitosamente, por ejemplo, mantienen poblaciones que se reproducen en el medio natural. La riqueza total tiene en cuenta el número total de especies establecidas en una unidad hidrológica determinada y es, por lo tanto, la suma de la riqueza nativa y no nativa.

El estado no nativo de cada especie se verificó utilizando la literatura específica sobre introducciones (por ejemplo, Welcomme 1988; sitio web de la FAO [www.fao.org](http://www.fao.org) consultado en julio de 2013). Las familias se organizaron en orden sistemático siguiendo los criterios propuestos por Reis *et al.* (2003), quienes presentaron la posición de los nombres de las familias basados en las interrelaciones de la historia evolutiva. Para simplificar, se decidió utilizar la clasificación más aceptada de Reis *et al.* (2003), aunque se han propuesto nuevas relaciones y clasificación basadas en evidencias moleculares y morfológicas para miembros de la familia Characidae (Mirande 2009, 2010; Oliveira *et al.* 2011; Netto-Ferreira *et al.* 2013). Los géneros y las especies dentro de una familia se posicionaron en orden alfabético.

### Similitud de la fauna de peces en unidades hidrológicas

Utilizando la matriz de especies (presencia-ausencia) se calculó, para cada par de unidades hidrológicas, el componente de renovación del Índice de Disimilitud de Jaccard, tal como lo define Baselga (2012). Este índice se formula como  $b_{jtu} = 2 \min(b, c)/a + 2 \min(b, c)$ ; donde  $a$  es el número de especies comunes a ambas unidades hidrológicas,  $b$  es el número de especies que ocurren en la primera unidad pero no en la segunda,  $c$  es el número de especies que ocurren en la segunda unidad pero no en la primera. Utilizando el valor mínimo de disimilaridad de ensamblaje, el  $B_{jtu}$  explica la sustitución de especies, minimizando la influencia de las diferencias en la riqueza de especies (Leprieur & Oikonomou 2014), una propiedad altamente deseable en nuestro caso, ya que la riqueza de especies varía mucho entre unidades hidrológicas. Este índice va de 0 a 1 y es mínimo (sin disimilitud) cuando el conjunto más pobre está anidado en el conjunto más rico, y máximo cuando los dos conjuntos no tienen ninguna especie en común ( $a = 0$ ).

Aplicamos un análisis de agrupamiento jerárquico a nuestra matriz de disimilitud utilizando un método de enlace promedio (UPGMA), y una función de penalización Kelley-Gardner-Sutcliffe (KGS) para determinar el número óptimo de grupos de unidades hidrológicas.

### RESULTADOS

La base de datos Fish-AMAZBOL contiene 802 especies (entre ellas 145 especies fueron descritas para la CAB, sobre un número inicial de 160), distribuidas en 15 órdenes, 50 familias y 326 géneros (ver Anexo 1 del presente libro para la lista de órdenes, familias y especies). La fauna de peces estuvo dominada por Characiformes (CHA, 331 spp.), Siluriformes (SIL, 312 spp.), Perciformes (PER, 68 spp.) y Gymnotiformes (GYM, 46 spp.). Las familias más importantes en términos de número de especies fueron los Characidae (177 spp. - CHA), Loricariidae (71 spp. - SIL), Cichlidae (63 spp. - PER), Callichthyidae (46 spp. - SIL), Pimelodidae (45 spp. - SIL), y Curimatidae (31 spp. - CHA).

Siguiendo la metodología propuesta, la pre-

sencia de 45 especies fue considerada dudosa por ahora. Estas especies pertenecen principalmente a los órdenes Characiformes (25) y Siluriformes (14) (ver Anexo 1). Se registraron 38 especies para la parte boliviana sobre la cuenca del río Purus (Acre), y 798 especies para todo el resto de la CAB. En la cuenca alta del río Madera, la unidad del río Mamoré fue la unidad conteniendo el mayor número de especies (556), mientras que la unidad del Parapetí mostró el número más bajo (30). Las unidades Iténez (520 especies), Beni (419), Madre de Dios (353) y Orthon (245) también mostraron una importante riqueza de peces. La unidad hidrológica con los registros exclusivos más altos fue el Iténez (73 especies), seguida de las unidades Mamoré (51), Beni (31) y Grande (13) (Cuadro 1). Obsérvese que estas especies exclusivas no representan especies necesariamente endémicas (es decir, especies restringidas a una unidad hidrológica), ya que eventualmente pueden estar presentes en otras partes de la CAB.

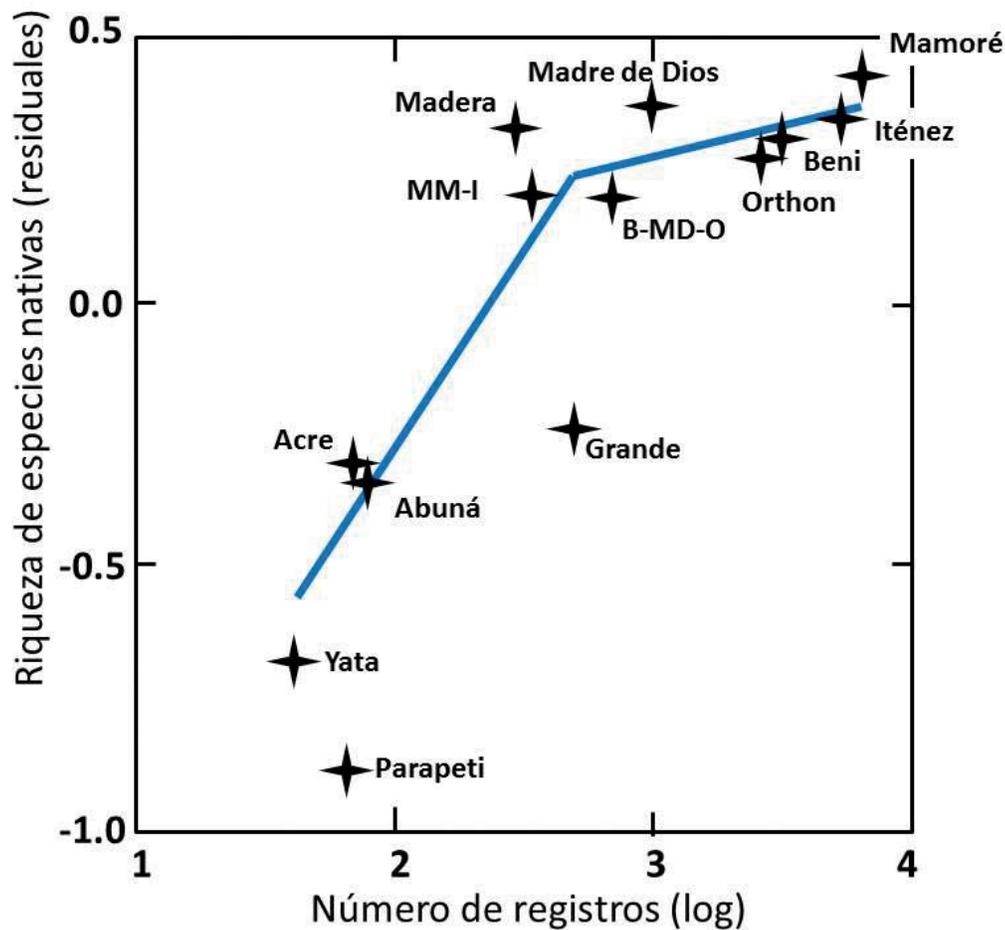
Doce especies no nativas, correspondientes a siete órdenes, también se registraron en la CAB. Entre estos órdenes, solo los Cyprinodontiformes tienen tres representantes no nativos (*Poecilia reticulata* Peters 1859; *Gambusia affinis* Baird & Girard 1853; y *G. holbrooki* Girard 1859). Otras introducciones notables conciernen a la trucha arco iris *Onchorhynchus mykiss* (Walbaum 1792) y la trucha europea *Salvelinus fontinalis* (Mitchell 1814) (Salmonidae, Salmoniformes), las cuales se registraron en la parte andina de las unidades Beni y Mamoré, y la especie gigante del Amazonas paiche o paichi (Bolivia) *Arapaima gigas* (Schinz 1822) que se registró en las tierras bajas del norte de Bolivia (ver Anexo 2).

Para evaluar la influencia del esfuerzo de muestreo en la riqueza de especies nativas de las unidades hidrológicas, se graficó la relación entre la riqueza de especies nativas y el número de registros, después de controlar el efecto del tamaño de la unidad hidrológica (por ejemplo usando residuales de (1) la relación entre la riqueza de especies nativas (log) y la superficie de las unidades hidrológicas (log), y (2) la relación entre el número de registros (log) y la superficie de las unidades hidrológicas (log)). Los resultados muestran que, después de tomar en cuenta el tamaño

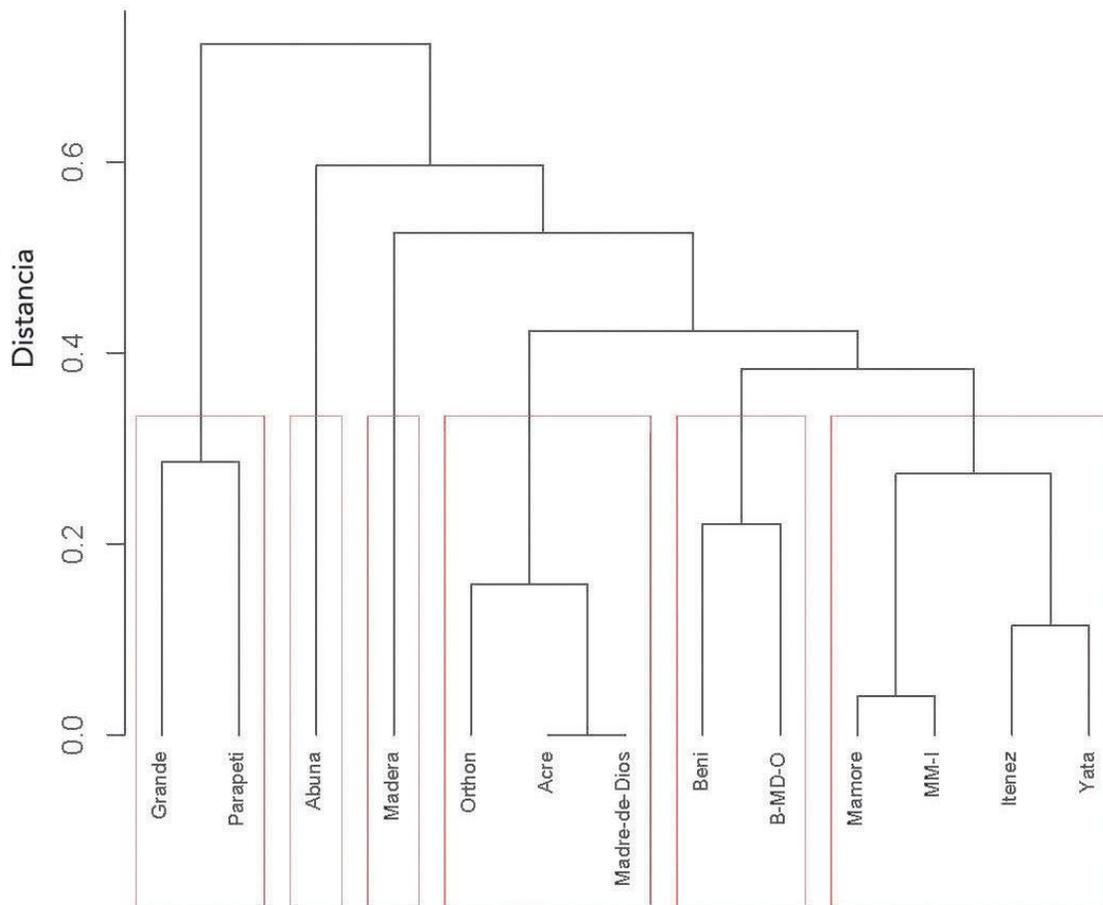
de las unidades, la riqueza de especies nativas aumenta linealmente con el número de registros a un nivel significativo para un mayor número de registros. Esto significa que algunas de las unidades están sub-muestreadas y deben albergar un mayor número de especies, en relación a las que actualmente se conocen (p.e. Parapetí, Yata, Abuná, Acre, y Grande), mientras que la riqueza en las unidades restantes (Madre de Dios, Mamoré, Iténez, Madera, Beni, Orthon, MM-I y B-MD-O) parece más precisa en la medida que se ven independientes del número de registros (Figuras 1 y 2).

Este resultado nos lleva a concluir que el número de especies en la Amazonía boliviana es mayor que lo que podemos documentar en la actualidad y que se necesitan más estudios de campo para obtener una imagen confiable de la ictiofauna de la región y más específicamente en el Parapetí, Yata, Abuná, Acre y Grande (Ver Figura 2).

Los resultados del análisis de agrupamiento jerárquico ponen de manifiesto una clara separación de las unidades hidrológicas más australes (p.e. las unidades Parapetí y Grande) de las restantes, indicando una fauna de peces distinta para esta área. Además, las unidades de Abuná y Madera parecen albergar una fauna de peces distinta. En contraste, nuestros resultados muestran similitudes faunísticas entre (1) las unidades hidrológicas Grande y Parapetí, (2) unidades Orthon, Acre y Madre de Dios, (3) unidades Mamoré, Iténez, Yata y MM-I, y (4) unidades Beni y B-MD-O; siendo los dos últimos grupos próximos uno del otro. El patrón general de (di)similitud faunística parece seguir un gradiente de proximidad geográfica desde el noroeste al este de Bolivia (o al revés) (Figura 3).



**Figura 2.** Relación entre la riqueza de especies nativas y el número de registros, después de controlar el tamaño de las unidades hidrológicas (ver sección de resultados para una mayor explicación). Curva ajustada (tensión = 0.8).



**Figura 3.** Dendrograma de las unidades hidrológicas de acuerdo a la (di)similitud a nivel de la composición de su ictiofauna. El análisis de agrupamiento jerárquico fue realizado utilizando un ligamiento promedio (UPGMA). Los rectángulos en rojo corresponden a los grupos óptimos de unidades hidrológicas de acuerdo a la función de penalización de KGS (véase el texto para mayor explicación)

## DISCUSIÓN

Siguiendo un patrón de composición taxonómica general previamente observado en los sistemas principales del ámbito Neotropical (Reis *et al.* 2003; Buckup *et al.* 2007), los Characiformes, Siluriformes, Perciformes y Gymnotiformes dominan la diversidad de peces de la CAB.

Los mayores niveles de diversidad de peces se registraron en las unidades hidrológicas del Mamoré, Iténez, Beni y Madre de Dios, las cuales son las más grandes en términos de área, además de ser las más estudiadas en la CAB. Otras unidades hidrológicas más pequeñas (por ejemplo, Yata, Grande, Parapetí, Abuná, Acre y MM-I), necesitan claramente una atención especial y más evaluaciones de campo para mejorar el conocimiento de su fauna de peces.

La parte boliviana de la Cuenca del Amazonas está representada principalmente por la cuenca alta del río Madera, una subcuenca semi-aislada debido a rápidos y cataratas en la zona aguas arriba comprendida entre Porto Velho, Brasil, y Guayaramerín, Bolivia. La cuenca alta del río Madera contribuye en torno al 25% de la descarga total de la cuenca del río Madera en su conjunto, esta última contribuyendo con el 10% de la descarga del río Amazonas (Carvalho & Albert 2011). La base de datos FISH-AMAZBOL contiene información sobre 802 especies de peces (12 no nativas) que habitan las 13 unidades hidrológicas de la CAB. Para poner este número en perspectiva, la ictiofauna de la CAB representa alrededor del 14% de la ictiofauna Neotropical (Albert & Reis 2011), y alrededor del 6% de todos los peces de agua dulce que habitan en el planeta (Lévêque *et al.* 2008).

Este valor de 802 especies cae entre los valores propuestos anteriormente por Pouilly *et al.* (2010) y Carvajal-Vallejos & Zeballos Fernández (2011) para la misma zona. Estos autores encontraron 973 y 714 especies, respectivamente. La diferencia en la riqueza de especies entre el presente estudio y las dos anteriores proviene de 1) la inclusión de especies dudosas y la falta de verificación sistemática de los sinónimos de las especies, y 2) la compilación parcial de datos disponibles en estos trabajos previos. En el presente estudio se realizó una revisión detallada tomando en cuenta bibliografía especializada y dos bases de datos digitales en línea (catálogo de peces – CAS, y FishBase), para generar la lista de registros de peces más completa y precisa. En este sentido, Fish-AMAZBOL pretende ser una línea de base de referencia que podría ser completada progresivamente con nuevos datos de campo y nueva bibliografía.

La CAB permanece relativamente intacta (Josse *et al.* 2013) en comparación con otros países sudamericanos que comparten la cuenca del Amazonas (p.e. Brasil, Perú y Colombia). La presión humana sigue siendo baja y aún no se ha convertido en una amenaza seria para los recursos acuáticos, aunque algunas poblaciones de peces comienzan a mostrar signos de sobreexplotación (p.e. *Colossoma*, Carvajal-Vallejos *et al.* 2009). La amenaza más aparente a corto plazo para los peces y las pesquerías de la CAB, parecen ser los proyectos de represas hidroeléctricas en la frontera boliviana con Brasil y en la porción brasileña de la cuenca alta del río Madera. Estas represas pueden bloquear las rutas migratorias o transformar los ambientes acuáticos, pero también pueden facilitar la introducción de especies de peces no deseados. Debido a que más del 99% de la CAB drena hacia el río Madera, es necesario predecir los efectos potenciales que estas presas y sus embalses asociados podrían producir en las comunidades de peces y las pesquerías. En este sentido, la base de datos Fish-AMAZBOL ayudará a desarrollar programas regionales de conservación y contribuir al manejo a gran escala de ecosistemas acuáticos.

## RECOMENDACIONES

La Cuenca Amazónica en Bolivia posee una elevada diversidad de peces como se ha mos-

trado en el presente trabajo. A pesar que la presión humana es todavía baja en relación a otros países que comparten la cuenca, hay un incremento progresivo de demandas y planificación de proyectos que pueden tener un notable impacto negativo sobre la diversidad de peces y el aprovechamiento pesquero que sostienen varias de ellas. No se conoce con certeza el efecto potencial que puede generar cada intervención de desarrollo que modifique el ambiente acuático, pero se estima que el mayor impacto puede venir de proyectos hidroeléctricos que se están planificando en Bolivia y algunos que han sido puestos en marcha en Brasil sobre el río Madera. La construcción de represas y sus zonas de embalse pueden generar efectos a diferentes escalas espaciales, y pueden promover otros impactos colaterales como la introducción de especies de peces a través de la piscicultura o estructuras que forman parte del complejo posicionado para la misma represa (p.e. pasos para peces).

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a Adalid Argote, Federico Machicao, Daniel Barrozo, Jimena Camacho, Tamara Pérez, Alfredo Arteaga, Guido Miranda (WCS), y personal de la ULRA que permitió acceso a su colección de peces y apoyo técnico. Agradecemos a Carolina Doria (UNIR, Brasil), William Ohara (UNIR, Brasil), Gislene Torrente Vilara (UFAM, Brasil) y Ariana Ribeiro (UNIR, Brasil) por brindar datos sobre la región transfronteriza de la cuenca del río Madera. Agradecemos a Fabien Leprieur por el asesoramiento estadístico, y a Sergio Villafán por su colaboración en la traducción del texto al Castellano. Este trabajo fue financiado por el IRD a través del Proyecto Europeo BioFresh-Contrato No. 226874 (<http://www2.freshwaterbiodiversity.eu/>). Los datos también están disponibles a través del portal BioFresh. <http://data.freshwaterbiodiversity.eu/>.

## REFERENCIAS

La bibliografía completa sobre peces amazónicos de Bolivia se encuentra en [www.faunagua.org/publicaciones](http://www.faunagua.org/publicaciones)

- Albert J, Reis R (2011) Introduction to Neotropical freshwaters. pp. 3–19. En: Albert JS, Reis RE (Eds.). Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes. University of California Press, London, UK.
- Baselga A (2012) The relationship between species replacement, dissimilarity derived from nestedness, and nestedness. *Global Ecology and Biogeography*, 21: 1223–1232.
- Britto MR (2003) Phylogeny of the subfamily Corydoradinae (Siluriformes: Callichthyidae), with a definition of its genera. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 153: 119–154.
- Buckup PA, Menezes NA, Ghazzi MS (Eds.) (2007) *Catálogo das Espécies de Peixes de Água Doce do Brasil. Série Livros 23*, Museu Nacional, Rio de Janeiro.
- Carvajal-Vallejos FM (2013) Phylogeny and population genetics of the fish performing the largest migration known in freshwater, the Amazonian catfish *Brachyplatystoma rousseauxii*: revelations from the Upper Madera. Unpublished PhD Dissertation, Montpellier II University, Montpellier, France.
- Carvajal-Vallejos FM, Zeballos Fernández AJ (2011) Diversidad y distribución de los peces de la Amazonía boliviana. pp. 101–147. En: Van Damme PA, Carvajal-Vallejos FM, Molina Carpio J (Eds.). *Los peces y delfines de la Amazonía Boliviana: hábitats, potencialidades y amenazas*. Editorial INIA, Cochabamba, Bolivia.
- Carvajal-Vallejos FM, Van Damme PA, Jégu M, Torrico JP (2009) *Colossoma macropomum*. pp. 69–70. En: Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Eds.). *Libro rojo de la fauna silvestre de vertebrados de Bolivia*. La Paz, Bolivia.
- Carvajal-Vallejos FM, Van Damme PA, Córdova L, Coca C (2011) La introducción de *Arapaima gigas* (paiche) en la Amazonía boliviana. pp. 367–395. En: Van Damme PA, Carvajal-Vallejos FM, Molina Carpio J (Eds.). *Los peces y delfines de la Amazonía Boliviana: hábitats, potencialidades y amenazas*. Editorial INIA, Cochabamba, Bolivia.
- Carvalho TP, Albert JS (2011) The Amazon-Paraguay divide. pp. 193–202. En: Albert JS, Reis RE (Eds.), *Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes*. University of California Press, London, UK.
- Chernoff B, Willink PW (Eds.) (1999) A biological assessment of the aquatic ecosystems of the Upper Río Orthon basin, Pando, Bolivia. *Bulletin of Biological Assessment* 15. Conservation International, Washington D.C, USA.
- Chernoff B, Machado-Allison A, Willink P, Sarmiento J, Barrera S, Menezes N, Ortega H (2000) Fishes of three Bolivian rivers: diversity, distribution and conservation. *Interciencia*, 25: 273–283.
- Eschmeyer WN (Ed.) (2013) *Catalog of Fishes*. California Academy of Sciences. <http://research.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Electronic version updated December 10/2013.
- Froese R, Pauly D (2013) FishBase. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), version (October/ 2013).
- Hablützel PI, Yunoki T, Torres Velasco L (2013) Update on the checklist of fish species of the Bolivian Amazon. *Check List*, 9: 208–210.
- Jégu M, Queiroz LJ, Camacho Terrazas J, Torrente-Vilara G, Carvajal-Vallejos FM, Pouilly M, Yunoki T, Zuanon JAS (2012) Catálogo de los peces de la cuenca Iténez (Bolivia y Brasil). pp. 111–156. En: Van Damme PA, Maldonado M, Pouilly M, Doria CRC (Eds.). *Aguas del Iténez o Guaporé: recursos hidrobiológicos de un patrimonio binacional (Bolivia y Brasil)*. Editorial INIA, Cochabamba, Bolivia.
- Josse C, Young R, Lyons-Smyth T, Brooks T, Frances A, Comer P, Petry P, Balslev H, Bassuner B, Goettsch B, Hak J, Jørgensen P, Larrea-Alcázar D, Navarro G, Saatchi S, Sanchez de Lozada A, Svenning JC, Tovar LA, Moscoso A (2013) Desarrollo de insumos para la toma de decisiones de conservación en la cuenca amazónica occidental. *Ecología Aplicada*, 12: 45–65.
- Kelley LA, Gardner SP, Sutcliffe MJ (1996) An automated approach for clustering an ensemble of NMR derived protein structures into conformationally related subfamilies. *Protein Engineering*, 9: 1063–1065.
- Lasso C, Castelló V, Canales-Tilve T, Cabot-Nieves J (1999) Contribución al conocimiento de la ictiofauna del río Paraguá, cuenca del Río Iténez o Guaporé, Amazonía boliviana. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 152: 89–103.
- Lauzanne L, Loubens G, Le Guennec B (1991) Liste commentée des poissons de l'Amazonie bolivienne. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 24: 61–76.
- Leprieur F, Oikonomou A (2014) The need for richness independent measures of turnover when delineating biogeographical regions. *Journal of Biogeography*, 41: 417–420.
- Lévêque C, Oberdorff T, Paugy D, Stiassny MLJ, Tedesco PA (2008) Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 545–567.
- Lundberg JG, Sullivan JP, Hardman M (2011)

- Phylogenetics of the South American catfish family Pimelodidae (Teleostei: Siluriformes) using nuclear and mitochondrial gene sequences. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 161: 153–189.
- Mirande JM (2009) Weighted parsimony phylogeny of the family Characidae (Teleostei: Characiformes). Cladistics, 25: 574–613.
- Mirande JM (2010) Phylogeny of the family Characidae (Teleostei: Characiformes): from characters to taxonomy. Neotropical Ichthyology, 8: 385–568.
- Netto-Ferreira AL, Birindelli JL, Sousa L, Mariguela T, Oliveira C (2013) A new miniature Characid (Ostariophysi: Characiformes: Characidae), with phylogenetic position inferred from morphological and molecular data. PLoS ONE, 8: e52098.
- Oliveira C, Avelino GS, Abe KT, Mariguela TC, Benine RC, Ortí G, Vari RP, Castro RM (2011) Phylogenetic relationships within the speciose family Characidae (Teleostei: Ostariophysi: Characiformes) based on multilocus analysis and extensive in group sampling. BMC Evolutionary Biology, 11: 275.
- Pearson NE (1924) The fishes of the eastern slope of the Andes. I. The fishes of the Río Beni basin, Bolivia, collected by the Mulford Expedition. Indiana University Studies, 11: 1–83.
- Pearson NE (1937) The fishes of the Beni-Mamoré and Paraguay basin, and a discussion of the origin of the Paraguayan fauna. Proceedings of the Californian Academy of Sciences, 23: 99–114.
- Pouilly M, Jégu M, Camacho J, Quintanilla M, Miranda G, Zubieta JP, Yunoki T (2010) Lista actualizada y distribución de los peces en las tierras bajas de la Amazonía boliviana. Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental, 28: 73–97.
- Reis RE, Kullander SO, Ferraris Jr CJ (Eds.) (2003). Check list of the freshwater fishes of South and Central America. EDIPUCRS, Porto Alegre, Brazil.
- Sarmiento J (1998) Ichthyology of Parque Nacional Noel Kempff Mercado. pp. 168–180. En: Killeen TJ, Schulenber TS (Eds.). A Biological Assessment of Parque Nacional Noel Kempff Mercado. Appendix 5, RAP Working Papers 10, Washington, D.C., USA.
- Van Damme PA, Carvajal-Vallejos FM (2012) Los recursos hidrobiológicos en el río Iténez y sus tributarios: diversidad, aprovechamiento y manejo. pp. 401–420. En: Van Damme PA, Maldonado M, Pouilly M, Doria CRC (Eds.). Aguas del Iténez o Guaporé: recursos hidrobiológicos de un patrimonio binacional (Bolivia y Brasil). Editorial INIA, Cochabamba, Bolivia.
- Van Damme PA, Carvajal-Vallejos FM, Sarmiento J, Barrera S, Osinaga K, Miranda-Chumacero G (2009) Capítulo 2: Peces. pp.: 31–42. En: Aguirre LF, Aguayo R, Balderrama J, Cortez C, Tarifa T (Eds.). Libro rojo de la fauna silvestre de vertebrados de Bolivia. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad y Cambios Climáticos, La Paz, Bolivia.
- Van Damme PA, Carvajal-Vallejos FM, Pouilly M, Pérez T, Molina Carpio J (2011) Amenazas para los peces y las pesquerías de la Amazonía boliviana. pp. 327–365. En: Van Damme PA, Carvajal-Vallejos FM, Molina Carpio J (Eds.). Los peces y delfines de la Amazonía boliviana: hábitats, potencialidades y amenazas. Editorial INIA, Cochabamba, Bolivia.
- Weitzman SH, Palmer L (1997) A new species of *Hyphessobrycon* (Teleostei: Characidae) from the Neblina region of Venezuela and Brazil, with comments on the putative 'rosy tetra clade'. Ichthyological Exploration of Freshwaters, 7: 209–242.
- Welcomme RL (1988) International introductions of inland aquatic species. FAO Fish. Technical Paper No. 294. FAO, Rome.

# PARTE II

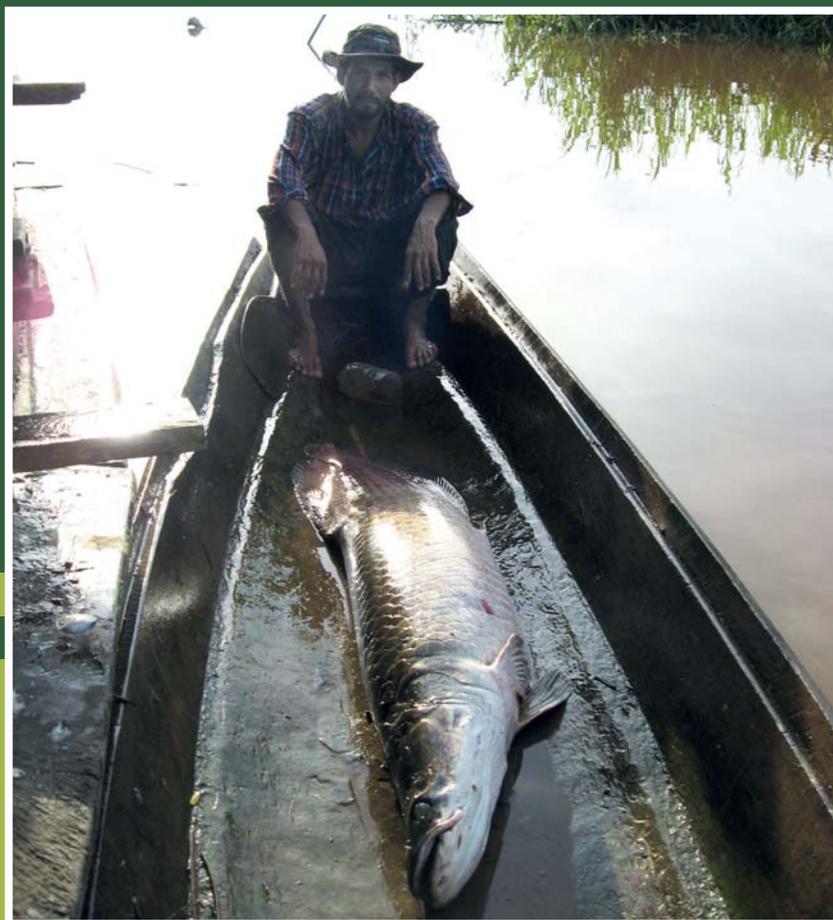
## INVASIÓN Y DISTRIBUCIÓN ACTUAL

---



# La introducción del paiche (*Arapaima gigas*) en la Cuenca Amazónica boliviana y síntesis del conocimiento

Fernando M. Carvajal-Vallejos<sup>1,2,3,5</sup>, Selva V. Montellano<sup>1,5</sup>, Dennis Lizarro<sup>4</sup>, Sergio Villafán<sup>1,5</sup>, América J. Zeballos<sup>3</sup>, Paul A. Van Damme<sup>1,5</sup>



<sup>1</sup> Asociación FAUNAGUA (Instituto de Investigaciones Aplicadas de Recursos del Agua), final Av. Max Fernández s/n, zona Arocagua Norte, Cochabamba, Estado Plurinacional de Bolivia.

<sup>2</sup> Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos (ULRA), Facultad de Ciencias y Tecnología (FCyT), Universidad Mayor de San Simón (UMSS), calle Sucre frente al Parque La Torre s/n, zona Las Cuadras, Cochabamba, Estado Plurinacional de Bolivia.

<sup>3</sup> ECOSINTEGRALES SRL (Estudios Ecológicos y Servicios Integrales para el Desarrollo Sostenible y la Conservación Ambiental), calle Carlos Müller 211, zona San Pedro, Cochabamba, Estado Plurinacional de Bolivia

<sup>4</sup> Centro de Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Autónoma del Beni "José Ballivián" (CIRA-UABJB), Campus "Dr. Hernán Melgar Justiniano", Trinidad, Beni, Estado Plurinacional de Bolivia.

<sup>5</sup> Plataforma Peces para la Vida (PPV), Bolivia Canadá.