

Análisis de la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados presentes en el Dique de los Mecánicos del río Chilcayacu

Analysis of water quality using physicochemical parameters and macroinvertebrates present in the Mecánicos Dam of the Chilcayacu River

Jorge Alexander Macias Cisneros¹, Andrea Carolina Beltrán Conlago¹

<https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAMB2324ep06-53>



Resumen

La ejecución de diferentes actividades antropogénicas en la Amazonía ecuatoriana se ha convertido en una amenaza no solo para la biodiversidad y la calidad del agua, sino también para las culturas y economías locales. Por esto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos, macroinvertebrados acuáticos y la integridad ecológica, en el Dique de los Mecánicos del río Chilcayacu, de la parroquia Diez de Agosto, provincia de Pastaza. Por lo que se empleó una metodología mixta que combinó técnicas cuantitativas y cualitativas, esto permitió caracterizar las propiedades fisicoquímicas del agua, evaluar su calidad mediante macroinvertebrados acuáticos, y una valoración ecológica. Los resultados sugirieron una tendencia al deterioro de las condiciones ambientales. Asimismo, se observó una variación en la diversidad y abundancia de macroinvertebrados entre las zonas muestreadas, apuntando a que el dique afecta su distribución y abundancia en el río. Los índices ecológicos IPA, QBR e IHF indicaron que la presión antropogénica es baja, la calidad de la vegetación ribereña y el hábitat fluvial fueron afectados, por lo que la calidad ambiental fue regular. La combinación de los índices determinó que la integridad ecológica, tanto aguas arriba como aguas abajo fue regular. Determinándose así, que el dique tiene un impacto positivo respecto a la calidad del agua y negativo en la biodiversidad acuática, por lo que se recomienda un monitoreo frecuente y el control de fuentes de contaminación para la preservación de la vida acuática y su uso recreativo. Además, se destacó la importancia de implementar medidas de conservación y restauración para mejorar la calidad del agua y la biodiversidad del río Chilcayacu.

Palabras claves

biodiversidad; contaminación; conservación; diversidad; ríos; valoración ecológica

Abstract

The execution of different anthropogenic activities in the Ecuadorian Amazon has become a threat not only to biodiversity and water quality, but also to local cultures and economies. Therefore, this research aimed to evaluate the water quality through physicochemical parameters, aquatic macroinvertebrates, and ecological integrity, in the Mechanics' Dam of the Chilcayacu River, in the parish of Diez de Agosto, province of Pastaza. A mixed methodology was used that combined quantitative and qualitative techniques, this allowed to characterize the physicochemical properties of the water, evaluate its quality through aquatic macroinvertebrates, and an ecological assessment. The results suggested a trend towards the deterioration of environmental conditions. Likewise, a variation in the diversity and abundance of macroinvertebrates was observed among the sampled areas, pointing out that the dam affects their distribution and abundance in the river. The ecological indices IPA, QBR and IHF indicated that anthropogenic pressure is low, the quality of riparian vegetation and river habitat were affected, so the environmental quality was regular. The combination of the indices determined that the ecological integrity, both upstream and downstream was regular. Thus, it was determined that the dam has a positive impact on water quality and negative on aquatic biodiversity, so frequent monitoring and control of pollution sources are recommended for the preservation of aquatic life and its recreational use. In addition, the importance of implementing conservation and restoration measures to improve the water quality and biodiversity of the Chilcayacu River was highlighted

Keywords

biodiversity; pollution, conservation; diversity, rivers; ecological valuation.

Direcciones

¹ Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. email: ja.maciasc@uea.edu.ec; ac.beltranc@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Jorge Alexander Macias Cisneros. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. email: ja.maciasc@uea.edu.ec

Como citar

MACIAS CISNEROS, Jorge Alexander and BELTRÁN CONLAGO, Andrea Carolina, 2024. Análisis de la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados presentes en el Dique de los Mecánicos del río Chilcayacu. PrePrint UEA. 2024. Vol. FOR2324, p. ep06-53. DOI <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAMB2324ep06-53>

Editores Académicos

Mario Javier Barrera Castro

Editorial

Editorial de la Universidad Estatal Amazónica
2025

Copyright:

Derechos de autor 2023-2025 UEA | PrePrint UEA

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0. 
Los autores del artículo autorizan a PrePrint UEA, a que este artículo se distribuya y sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0)

1. Introducción

El agua es un recurso indispensable para la vida, cuya cantidad es limitada y su demanda es creciente. Según datos de la ONU, el 2,5% del agua de la Tierra es dulce,

y el 97% restante es salada (UNESCO 2021). Actualmente la escasez del agua afecta a más del 40% de la población mundial. Según datos del Banco Mundial, se proyecta que para el año 2050 la producción agrícola aumentará un 50%, misma que hoy consume 70% del recurso hídrico, esto debido al acelerado crecimiento poblacional. Además, el cambio climático provocado por la contaminación altera los ciclos hidrológicos, haciendo impredecible la disponibilidad de agua (Banco Mundial 2021).

Ecuador es un país con una gran riqueza hídrica en todas sus regiones. Las fuentes hídricas poseen una importancia ecológica, social y económica, ya que proveen de diversos servicios ambientales a los pobladores de la zona, entre los que se encuentra el uso recreativo (MAATE 2015). Sin embargo, este recurso enfrenta desafíos significativos debido a la contaminación que afectan su calidad y disponibilidad, actividades como la minería, el petróleo, la ganadería, el uso de fertilizantes y pesticidas para la agricultura industrial y la descarga de aguas residuales sin tratamiento a los ríos, son las principales causantes de la degradación del agua (Antúnez y Guanoquiza 2019). Estas actividades generan impactos negativos en la salud humana, la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos (Palacios 2019).

El estado actual de los ríos de uso recreativo de la amazonía ecuatoriana es preocupante, debido a las amenazas que enfrentan por la deforestación, la construcción de represas hidroeléctricas, la erosión regresiva y el cambio climático (WWF 2023). Estos factores afectan la biodiversidad, la conectividad, el caudal y la calidad del agua de los ríos amazónicos, que son fuente de vida y cultura para los pueblos indígenas y las comunidades locales (Servindi 2021). Algunos de los ríos más importantes y atractivos de la región son el Aguarico, el Coca, el Curaray, el Huiririma, el Upano y el Nangaritza, que ofrecen paisajes hermosos y diversas actividades turísticas y recreativas (AmazoníaEcuatoriana 2023). Sin embargo, estos ríos también sufren las consecuencias de las lluvias intensas, las inundaciones, las sequías y los deslizamientos, que ponen en riesgo la infraestructura, la seguridad y el bienestar de las poblaciones ribereñas (El-Oriente 2021).

Las fuentes hídricas destinadas al uso recreativo son diversas como los ríos, lagos, embalses, mares y océanos. Permitiendo un desarrollo económico y social en las regiones. Además, es beneficioso para la salud física de las personas. Sin embargo, la falta de tratamiento de aguas residuales ha provocado la contaminación de las fuentes hídricas, esto representa un riesgo sanitario y ambiental por lo que es necesario tener un control de calidad del agua (FIBA 2016).

El presente estudio se centra en el análisis de la calidad del agua en el dique de “Los Mecánicos”, mediante los análisis fisicoquímicos y la utilización de indicadores biológicos, este dique se encuentra ubicado a 6km de Puyo en la vía a la parroquia Diez de Agosto, en la provincia de Pastaza Ecuador. Su preservación es esencial para la conservación del ecosistema acuático y la satisfacción continua de los visitantes. Por lo que se propone evaluar la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados presentes en el dique de los Mecánicos del río Chilcayacu, utilizando métodos de muestreo y clasificación taxonómica para determinar el estado hidrológico mediante la valoración ecológica del río.

2. Materiales y Metodología

2.1. Localización

El área de estudio se encuentra ubicada en el Dique de los Mecánicos a 6km de Puyo, vía Diez de Agosto, en la provincia de Pastaza Ecuador. Su afluente proviene del río Chilcayacu, lugar recreativo de los habitantes de la zona, donde se ofrecen actividades como: natación, indor, básquet y servicio de alimentos los fines de semana y feriados (Ríos, y otros 2021).

El clima del lugar es cálido y húmedo, con una temperatura promedio de 24°C y una precipitación anual de 4000 mm. Según la clasificación climática de Köppen, el dique se encuentra en una zona de clima ecuatorial lluvioso (Af) (GADM PASTAZA 2023). Las coordenadas geográficas del área de estudio son; X: 173638.43, Y: 9837811.48 zona 18S, en el sistema de coordenadas WGS 84 (Figura 1).



Figura 1 | Localización de la zona de estudio

2.2 Tipo de investigación

La investigación adoptó un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos. Se realizó una revisión documental para recopilar datos de diversas fuentes, lo que facilitó el desarrollo de una metodología para identificar macroinvertebrados usando claves dicotómicas y protocolos que evalúan la calidad del agua. Además, se analizaron las

propiedades fisicoquímicas del río Chilcayacu mediante herramientas matemáticas y estadísticas para describir fenómenos con precisión (Qualtrics 2021). Se tomaron mediciones de parámetros como temperatura, pH y oxígeno disuelto, y se recolectaron muestras de macroinvertebrados para evaluar el estado ecológico del río.

2.2.1 Caracterización de las propiedades fisicoquímicas

Muestreo de agua

Para evaluar la calidad del agua del río Chilcayacu, se realizó un muestreo sistemático durante tres semanas

consecutivas, recolectando una muestra semanalmente. Se establecieron dos puntos estratégicos para el muestreo: el primero, ubicado a 100 metros al norte del dique, y el segundo, a igual distancia hacia el sur (Figura 2). De esta manera, se pudo evaluar el efecto del dique sobre la calidad del en los puntos en cuestión. Esto se realizó siguiendo los protocolos establecidos por la normativa ambiental. Este procedimiento se aplicó durante tres semanas consecutivas considerando un mismo día para cada semana.

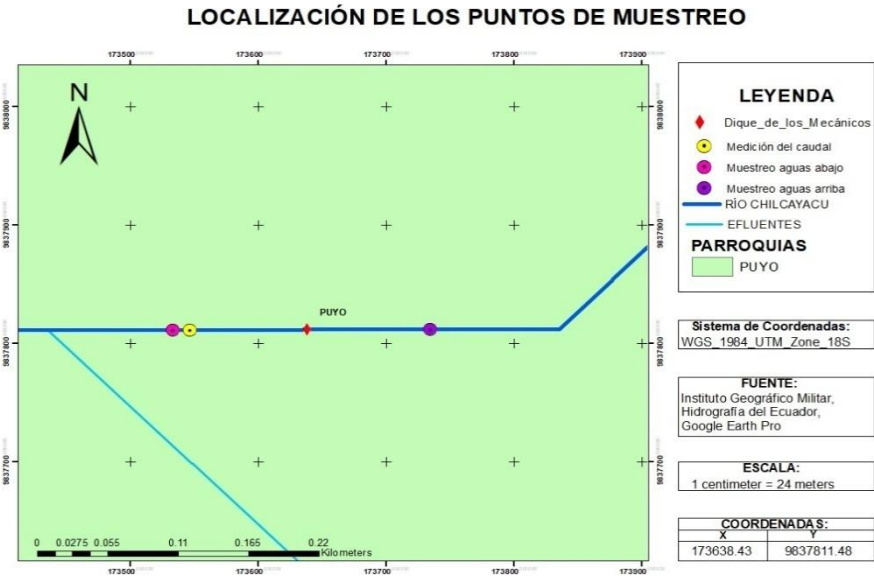


Figura 2 | Localización de los puntos de muestreo

Además, mediante la metodología establecida dentro de los Métodos Normalizados para Análisis de Aguas APHA-AWWA-WPCF, se realizó la recolección de 4 litro de agua para los análisis fisicoquímicos por tramo, en frascos previamente esterilizados. (APHA-AWWA-WPCF 2017). Donde, para la recolección de muestras de agua, se utilizó una metodología que integró tanto muestras simples como compuestas. Se obtuvo una muestra simple al recolectar agua directamente en un recipiente. Por otro lado, las muestras compuestas se generaron recolectando agua de manera periódica, cada dos horas durante cuatro intervalos, hasta completar el volumen de la botella. Este proceso se realizó tanto aguas arriba como aguas abajo del punto de interés, obteniendo así dos botellas de cuatro litros de muestras compuestas y dos botellas de muestras simples. La recolección se efectuó de forma sistemática durante tres semanas, seleccionando el mismo día de la semana para cada sesión de muestreo, garantizando la consistencia en los datos recogidos.

Análisis fisicoquímico

Las muestras de agua fueron transportadas al laboratorio de ambiental de la Universidad Estatal Amazónica, donde se realizaron análisis posteriores empleando diversas metodologías adaptadas a cada parámetro específico a examinar, tal como se detalla en la **Tabla 1**.

Tabla 1 | Metodología de los parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Metodología
Potencial hidrogeno pH	Standard Methods 4500 H+B
Conductividad Eléctrica	Standard Methods 2520 B
Oxígeno disuelto	Standard Methods 4500-O+G
Temperatura	Standard Methods 2520 A+B
Turbidez	Standard Methods 2130 B
Demanda Bioquímica de Oxigeno DBO	Standard Methods 5510 BOD
Sólidos Totales	2540 B Standard Methods 22 ND Ed
Sólidos Disueltos	2540 C Standard Methods 22 ND Ed

Los resultados de los análisis fisicoquímicos obtenidos en laboratorio se compararon con la tabla de límites máximos permisibles establecidos en la Tabla 2; Criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces frías o cálidas, y

en aguas marinas y de estuarios. Y la Tabla 6: Criterios de calidad para aguas con fines recreativos mediante contacto primario, establecido en el Anexo 1 Del Libro VI Del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, dentro del Acuerdo Ministerial 097-A Reformado en el Registro Oficial 387, del 4 de noviembre de 2015.

2.2.1 Muestreo de macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos son considerados como indicadores biológicos debido a su tolerancia a la contaminación. Considerando que algunos macroinvertebrados son más sensibles que otros a los cambios en el ambiente, su presencia o ausencia puede indicar la calidad del agua del río. Para lo que se consideró la existen diferentes índices bióticos que se basan en los macroinvertebrados para evaluar la calidad del agua, como el BMWP, el ASPT y el ABI. Estos índices asignan valores numéricos a las familias de macroinvertebrados según su sensibilidad y se suman o promedian para obtener un resultado que indica el grado de contaminación del agua (Rincón, y otros 2021).

Cabe mencionar que la presente investigación utiliza el índice BMWP y ASPT, para lo cual se realizaron 4 etapas:

1. Colecta

La recolección de macroinvertebrados acuáticos, es una técnica que permite evaluar la calidad del agua mediante el Índice AAMBI y ASPT. Por lo que se seleccionaron tres tramos lineales de 20m de largo, seguidamente se procedió a realizar el muestreo, mediante el método de patada, en un tiempo máximo de 15 min de muestreo por tramo. Complementario a este método, se utilizó una red tipo D, ya que esta permite obtener una mayor representatividad del hábitat. Los especímenes colectados se colocaron en frascos previamente etiquetados, esterilizados y llenados con alcohol al 70%, para su conservación (Encalada, y otros 2019).

2. Preparación de los macroinvertebrados

Las muestras colectadas de macroinvertebrados, se trasladaron a un lugar apropiado donde se utilizaron pinzas y recipientes blancos para su limpieza con agua, además se precedió a retirar todo el material extraño que provenía del río, como hojas, piedras, arena, etc. Una vez limpios los especímenes se colocaron en frascos con alcohol, previamente etiquetados según el número de tramo para su posterior identificación.

3. Identificación

Para la identificación de macroinvertebrados acuáticos colectados se utilizó diferentes claves dicotómicas

diseñando por los autores (Córdova, y otros 2009), (Palma 2013) y (Domínguez y Fernández 2009). Estas claves son herramientas que facilitan el reconocimiento de los organismos basándose en sus caracteres morfológicos, tanto macroscópicos como microscópicos, y permiten determinar la especie, el género, la familia o cualquier otra categoría taxonómica (García y Pérez 2018).

4. Evaluación de la calidad del agua

Para evaluar la calidad del agua se consideró el índice AAMBI (African Average Macroinvertebrate Biotic Index), ya que es una herramienta que permite evaluar la calidad del agua, mediante la asignación de valores numéricos del 1-10 según el grado de tolerancia de las familias, siendo 1 el valor con mayor tolerancia y el 10 el que posee la menor tolerancia (Encalada, y otros 2019).

La sumatoria de los valores asignados permite evaluar la calidad del agua según la siguiente **Tabla 2**:

Tabla 2 | Clasificación del agua de acuerdo al índice AAMBI. Tomado de (Encalada, y otros 2019)

AAMBI	Integridad ecológica	Color
>121	Excelente	
90-120	Muy Buena	
50-89	Buena	
36-49	Regular	
<35	Mala	

También, se consideró El valor ASPT (Average Score per Taxon), mismo que varía entre 0 y 10, según la calidad del agua (**Tabla 3**). Si el valor de ASPT es bajo, significa que el agua está muy contaminada. Este índice mide la calidad del agua mediante la combinación con el índice AAMBI, ya que se obtiene dividiendo el valor AAMBI, por el número de familias identificadas, como se muestra en la siguiente formula donde se combina los índices (**Tabla 3**).

$$ASPT = \frac{AAMBI}{\# \text{ de familias}} \quad (1)$$

Tabla 3 | Clasificación del agua de acuerdo al índice ASPT tomado de (Encalada, y otros 2019)

Clase	Calidad	Valor del ASPA	Significado	Color
I	Buena	> 9-10	Aguas muy limpias	
		> 8-9	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	> 6.5-8	Ligeramente contaminada: se evidencia efectos de contaminación	
III	Dudosa	> 4.5-6.5	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	> 3-4.5	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	1-3	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	

2.2.3 Estado hidrológico del río mediante la valoración ecológica

El Índice de Presión Antropogénica (IPA) es una herramienta clave para evaluar cómo las actividades humanas alteran los ecosistemas fluviales. Para aplicarlo, primero se completa una hoja de registro con datos de las posibles presiones, basándose en la metodología de Encalada (2019), que contempla 15 categorías de impacto humano como la deforestación y la urbanización. Luego, se califica cada presión con un valor de 0 a 3, reflejando su severidad. Finalmente, se suman estos valores para determinar el grado de intervención antropogénica del río, con respecto a los criterios de evaluación (Tabla 4).

Tabla 4 | Criterios de evaluación IPA. Tomado de (Encalada, y otros 2019)

Presión Antropogénica	Valores IPA
Baja	0-17
Media	18-35
Fuerte	36-53
Muy fuerte	>54

Caudal y nivel del río a lo largo del tiempo

Para estimar el caudal de un río, se selecciona un sitio de estudio y se determina el área del río registrando el ancho y la profundidad. Luego, se mide la velocidad del flujo utilizando un objeto flotante que recorre una sección de 10 m del río. El tiempo que tarda en recorrer esta distancia se registra varias veces para calcular un tiempo promedio, que se utiliza en una fórmula para determinar la velocidad del flujo del río como se establece en la metodología propuesta por Encalada (2019). Este proceso, requiere herramientas básicas como una regla graduada, una cámara, una libreta de campo y un lápiz, esto permite obtener datos esenciales para comprender la dinámica fluvial.

$$v = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}} \quad (2)$$

Y para determinar el caudal, se aplicó la siguiente formula:

$$Q = \text{área} * \text{velocidad} \quad (3)$$

Donde: v= velocidad; Q= caudal

Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

El Índice de Hábitat Fluvial (IHF) es una metodología desarrollada para evaluar la calidad del hábitat en ríos. Según Encalada et al. (2019), el proceso comienza con la selección de un segmento de 100 metros del río, dividido en diez partes iguales. Se utiliza una ficha de registro para documentar variables clave como ancho y profundidad del cauce, velocidad de la corriente, diversidad del sustrato, vegetación acuática y de ribera, estabilidad de las orillas, conectividad lateral, diversidad de hábitats y calidad del agua. Los datos obtenidos se analizaron para determinar la condición

del hábitat fluvial. Esta evaluación es crucial para entender y gestionar la salud ecológica de los ríos.

Por último, se aplicaron los cálculos para clasificar el estado del hábitat fluvial, conforme a la siguiente **Tabla 5**.

Tabla 5 | Ponderación IHF. Tomado de (Encalada, y otros 2019)

Categoría	Ponderación
Excelente	176-200
Bueno	151-175
Regular	126-150
Malo	101-125
Muy Malo	<100

Índice de la calidad de la vegetación de ribera (QBR)

El Índice de Calidad de la Ribera (QBR) es una herramienta de evaluación ambiental que mide la calidad de la vegetación ribereña y su impacto en la calidad del agua y el hábitat acuático. Se basa en cuatro parámetros: cobertura vegetal, estructura y composición, continuidad del bosque ribereño y alteración humana. Cada parámetro se califica de 0 a 25, sumando hasta 100 para el QBR total. Un QBR alto indica una vegetación ribereña de baja calidad y protección del ecosistema fluvial. Para aplicarlo, se selecciona un tramo de río de 100 m, se divide en márgenes y sectores, se evalúan los parámetros y se calcula un valor promedio (Encalada, y otros 2019). Finalmente, se compara con los criterios de ponderación establecidos en la **Tabla 6**, para determinar la calidad de la vegetación.

Tabla 6 | Ponderación QBR. Tomado de (Encalada, y otros 2019)

Categorías	Ponderación
Muy mala	0-25
Mala	25-50
Regular	50-75
Buena	75-90
Muy buena	>90

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas

La **Figura 3** muestra una variación significativa en los parámetros analizados en cada semana. Los sólidos totales y los sólidos disueltos alcanzaron su máximo valor en la tercera semana y el mínimo en la primera. Contrario a lo que sucede con el oxígeno disuelto donde el valor más alto se presentó en la semana 1 y el más bajo en la semana 3. La turbidez y la conductividad eléctrica siguieron un patrón similar, con picos en la semana 3 y valores mínimos en la semana 1. Comparados la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la temperatura y el pH se mantuvieron estables, es decir no presentan mayores variaciones de sus resultados entre las tres semanas de muestreo.

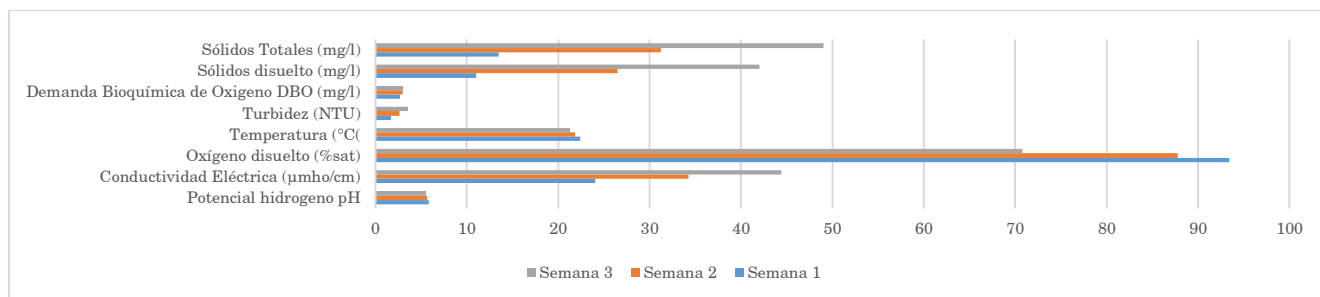


Figura 3 | Muestreo aguas arriba

La **Figura 4** ilustra que los valores de sólidos totales y disueltos alcanzaron su pico máximo en la tercera semana, mientras que los valores más bajos se registraron en la primera semana. En contraposición, el oxígeno disuelto mostró su concentración más alta en la semana 1 y la más baja en la semana 3. Tanto la turbidez como la conductividad eléctrica exhibieron un comportamiento similar, con incrementos notorios en

la tercera semana y disminuciones en la primera. Por otro lado, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y el pH se mantuvieron constantes, sin presentar fluctuaciones relevantes durante el periodo de muestreo. La comparación de estos datos con los expuestos en la **Figura 3** revela una ausencia de diferencias significativas entre los valores obtenidos a lo largo del muestreo continuo.

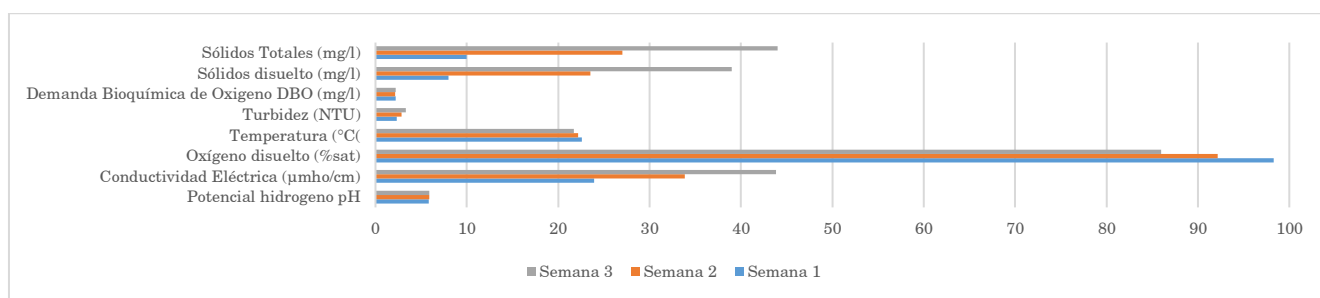


Figura 4 | Muestreo aguas abajo

A continuación, la **Tabla 7** muestra los parámetros que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la norma de calidad

ambiental ecuatoriana, según los criterios de calidad correspondientes.

Tabla 7 | Verificación del cumplimiento de la normativa ambiental vigente. **Nota.** - En relación con el criterio de calidad de agua para fines recreativos de contacto primario, el pH se mantuvo bajo el límite máximo permisible (LMP) durante todas las semanas de muestreo, mientras que el oxígeno disuelto cumplió con el LMP en todos los puntos de muestreo, salvo en la semana 3 aguas arriba del dique. Por otro lado, según el criterio de preservación de la vida acuática, la turbidez y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se situaron dentro del LMP, al igual que los sólidos totales en la semana 1, pero superaron el LMP en las semanas 2 y 3

Ubicación	Parámetros	Unidad	Normativa Criterio	LMP	Resultados			Cumplimiento		
					M_S1	M_S2	M_S3	M_S1	M_S2	M_S3
Aguas arriba	Potencial hidrogeno pH		Fines recreativos	6,5-8,3	5,805	5,67	5,535	No cumple	No cumple	No cumple
	Oxígeno disuelto	%sat	mediante contacto primario	>80	93,45	87,8	70,8	Cumple	Cumple	No cumple
	Turbidez	NTU	Preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces	máx. incremento de 5 % de la condición natural	1,67	2,605	3,54	Cumple	Cumple	Cumple
	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO	mg/L		20	2,7	2,95	3,05	Cumple	Cumple	Cumple
	Sólidos Totales	mg/L		máx. incremento de 10 % de la condición natural	13,5	31,25	49	cumple	No cumple	No cumple
	Conductividad Eléctrica	µmho/cm		---	24,065	34,25	44,435	---	---	---
	Sólidos disueltos	---		---	11	26,5	42	---	---	---
Aguas abajo	Temperatura	°C		---	22,4	21,85	21,3	---	---	---
	Potencial hidrogeno pH		Fines recreativos	6,5-8,3	5,855	5,8725	5,89	No cumple	No cumple	No cumple
	Oxígeno disuelto	%sat	mediante contacto primario	>80	98,3	92,15	86	Cumple	Cumple	Cumple
	Turbidez	NTU	Preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces	máx. incremento de 5 % de la condición natural	2,35	2,84	3,33	Cumple	Cumple	Cumple
	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO	mg/L		20	2,2	2,175	2,2	Cumple	Cumple	Cumple
	Sólidos Totales	mg/L		máx. incremento de 10% de la condición natural	10	27	44	Cumple	No cumple	No cumple
	Temperatura	°C		---	22,6	22,15	21,7	---	---	---
	Conductividad Eléctrica	µmho/cm		---	23,9	33,855	43,81	---	---	---
	Sólidos disueltos	---		---	8	23,5	39	---	---	---

2. Muestreo de macroinvertebrados acuáticos

Se analizó la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en dos zonas del río aguas arriba y aguas abajo del dique. Los resultados mostraron que la composición de las familias varió según el sitio de muestreo.

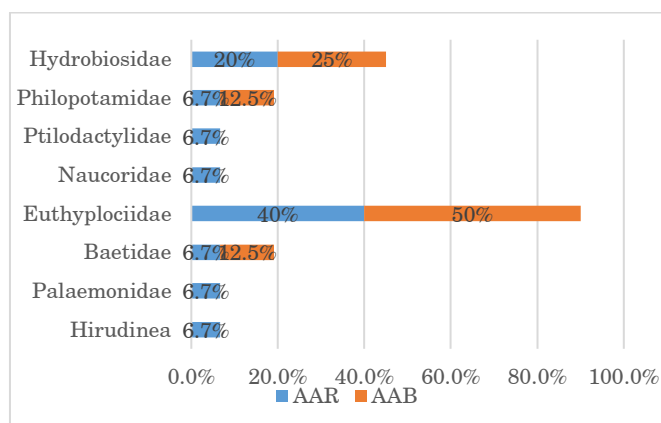


Figura 5 | Porcentaje de abundancia aguas arriba (AAR) y aguas abajo (AAB)

Los resultados mostraron una diferencia significativa en la riqueza y la abundancia de las familias de macroinvertebrados entre los dos sitios de muestreo. Aguas arriba, se encontraron 8 familias con un total de 15 individuos, mientras que aguas abajo solo se registraron 4 familias, con 8 individuos en total. Esto sugiere que el dique afecta la distribución y abundancia de los macroinvertebrados en el río.

En ambos puntos de muestreo se identificaron especímenes de las familias *Hydrobiosidae*, *Philopotamidae*, *Euthyplociidae* y *Batidae*, los cuales mostraron un índice AAMBI inferior a 4, sugiriendo así una posible alteración en la calidad del agua. Por otro lado, en el punto situado aguas arriba, se detectaron miembros de las familias *Naucoridae*, *Palaemonidae*, *Philopotamidae* e *Hydrobiosidae*. Estos últimos registraron un índice AAMBI superior a 8, lo cual indica una ausencia de contaminantes y, por ende, una calidad del agua considerablemente mejor. Esta variación en los valores AAMBI entre los dos puntos de muestreo podría reflejar diferencias significativas en términos de contaminación y calidad del agua.

3. Evaluación de la calidad del agua

La combinación del índice AAMBI y ASPT permitió determinar que la calidad del agua en el punto aguas arriba del dique era Dudosa, lo que indicaba una moderada contaminación por la actividad antrópica. En cambio, en el punto aguas abajo del dique, la calidad del agua era Aceptable, lo que señalaba una ligera contaminación. Esta disminución de la contaminación se debía a un proceso natural, la incorporación de nuevas fuentes hídricas y la escasa intervención antrópica (Tabla 8).

Tabla 8 | Clasificación del agua de acuerdo al índice AAMBI e ASPT

Punto	Valor AAMBI	Valor ASPT	Calidad ASPT	Clase	Significado
Muestreo aguas arriba	50	6,25	Dudosa	III	Aguas moderadamente contaminadas
Muestreo aguas abajo	26	6,5	Aceptable	II	Ligeramente contaminada: se evidencia efectos de contaminación

4. Valoración ecológica

El caudal del río Chilcayacu fue medido aguas abajo del dique de los Mecánicos, resultando en un área de perfil de 0.65m^2 y una velocidad de 0.082m/s , utilizando el método del flotador. Estos valores indican un caudal de $0.054\text{m}^3/\text{s}$. Sin embargo, es crucial considerar que estos datos pueden variar según las condiciones climáticas y geológicas, por lo que no representan las condiciones permanentes del río. Conforme los siguientes cálculos (Figura 6).

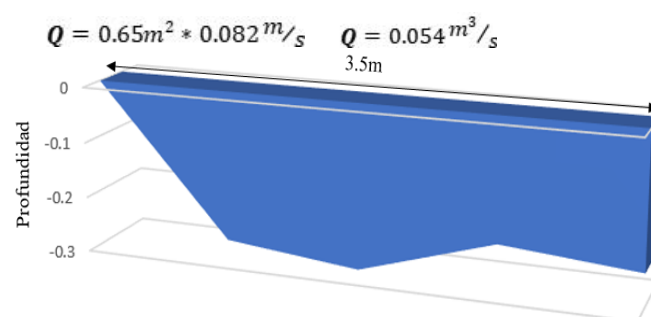


Figura 6 | Perfil del río

Índices de valoración ecológica

A continuación, se describe el estado hidrológico del río Chilcayacu, mediante la valoración ecológica, esto permite identificar las condiciones ambientales del río y los factores que afectan su calidad y cantidad de agua (Tabla 9).

Tabla 9 | Índices de valoración ecológica

Índice	Puntuación	Descripción
IPA	12	Según el criterio de evaluación se determinó que la presión antropogénica es Baja.
QBR	61	Según el criterio de evaluación se determinó que el estado de la vegetación presente en la ribera del río es Regular.
IHF	56	Según el criterio de evaluación se determinó que el hábitat fluvial esta categorizado como Muy Malo.

Los resultados demuestran que el índice IPA presenta una presión antropogénica baja, el índice QBR indicó una calidad de la vegetación ribereña regular y el índice IHF indicó un hábitat fluvial muy malo. Estos resultados se combinaron para obtener el índice de calidad ambiental (ICA), que clasifica el río en una escala de cinco categorías: excelente, muy buena, regular, malo y pésimo. El valor del ICA para el río Chilcayacu fue de 129 puntos, lo que corresponde a

una calidad ambiental regular. La **Figura 7** muestra el índice de calidad de agua, según su valoración de tipo regular.

Índice de calidad ambiental				
0	100	200		
Pésimo	Malo	Regular	Muy bueno	Excelente

Figura 7 | Índice de calidad ambiental

Por último, se evaluó la integridad ecológica del río Chilcayacu (Figura 8), mediante la aplicación del Índice de Calidad Ambiental (ICA) y el Índice de Atributos Ambientales de los Macroinvertebrados Bentónicos (AAMBI). Los resultados mostraron que el río tiene una condición regular, tanto aguas arriba como aguas abajo del dique, con puntuaciones de 155 y 131 respectivamente. Esto indica que la calidad ecológica del río se deteriora por el efecto de las actividades humanas en la zona, tal como se ilustra en el **Figura 8**.

Índice de calidad ecológica				
Excelente	Muy Buena	Regular	Malo	Pésimo
>282	211-280	130-210	76-129	<75

Figura 8 | Índice de integridad ecológica

3.2 Discusión

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos del río Chilcayacu indican que la calidad del agua cumple parcialmente con los criterios de calidad dentro de la normativa ambiental vigente. El pH del agua estuvo por debajo de los límites máximos permisibles durante las tres semanas de muestreo volviéndola un poco ácida, según Cabrera (2019), un pH favorable para la vida piscícola varía entre 5-9, pero, la más recomendada para la biodiversidad acuática varía entre 6-7.2, ya que fuera de este rango la desnaturalización de las proteínas limita la supervivencia y el crecimiento de los organismos. Esto sugiere que el agua no cumple con los criterios de calidad para la ejecución de actividades recreativas de contacto primario y, además, reduce la diversidad de la vida acuática como muestran la **Tabla 7** y la Figura 3 y 4, tanto aguas arriba como aguas abajo.

Los resultados del muestreo de macroinvertebrados acuáticos muestran una diferencia significativa en la riqueza y la abundancia de las familias de macroinvertebrados entre los dos sitios de muestreo como se muestra en la Figura 5. Esto se le atribuye a la temperatura, la turbidez, la velocidad, la continuidad del agua, el pH y al oxígeno disuelto (OD). El OD, es un parámetro crucial para la vida acuática, además, Hanson, Springer y Ramírez (2010), manifiestan que los macroinvertebrados acuáticos dependen del oxígeno disuelto para su respiración (Hanson, Springer y Ramirez 2010). La **Tabla 7** muestra que este parámetro presenta una disminución temporal de la calidad del agua en zonas específicas, influyendo de forma directa en la distribución y abundancia de los macroinvertebrados.

Con respecto a los índices AAMBI y ASPT, se determinó que el punto de muestreo aguas arriba del dique presenta una calidad Dudosa, indicando una moderada contaminación del recurso. En cambio, aguas abajo del dique, presenta una calidad Aceptable, indicando una ligera contaminación (Tabla 8). Esto sugiere que las intervenciones humanas, como la construcción de diques, pueden tener un impacto significativo, en la calidad del agua y en la riqueza y abundancia de la diversidad acuática, ya que como menciona Ramírez y Gutiérrez (2014), los diques pueden alterar el hábitat natural de los macroinvertebrados, modificando la temperatura, el oxígeno, la turbidez, la velocidad y la continuidad del agua. Estos factores influyen en la distribución, la diversidad y la abundancia de los macroinvertebrados (Ramírez y Gutiérrez 2014).

Los resultados de los Índices IPA, QBR, IHF (Tabla 9), indican que el río Chilcayacu ha experimentado una serie de impactos ambientales que afectan su integridad ecológica. Esto se ha corroborado al determinar el ICA, mismo que presenta un valor de 129 puntos, indicando que, aunque la presión antropogénica es baja, por lo que la calidad de la vegetación ribereña y el hábitat fluvial es muy mala, la calidad ambiental es “regular”. Además, conjuntamente con el AAMBI, permitió evaluar la integridad ecológica del río, denotando que este presenta una condición “regular” tanto aguas arriba como aguas abajo del dique, con puntuaciones de 155 y 131 respectivamente. Esto indica que la calidad ecológica del río se deteriora por el efecto de las actividades de uso recreativos, el incremento de la urbanización en la zona. Lo cual concuerda con el criterio propuesto por Torres (2018), quien señala que la integridad ecológica es una metodología apropiada para evaluar la degradación de los ecosistemas en un tiempo específico, ya que considera variables bióticas y abióticas, como los macroinvertebrados acuáticos considerados como indicadores biológicos debido a su sensibilidad a los contaminantes.

4. Conclusiones

Al contrastar los resultados de los parámetros de calidad del agua del río Chilcayacu durante tres semanas consecutivas, se evidencio cambios en los parámetros analizados entre ambos puntos de muestreo. Esto indica la presencia de una fuente constante de contaminación que incide principalmente en los sólidos totales, disueltos y la conductividad eléctrica, afectando así el oxígeno disuelto necesario para los organismos acuáticos. En cuanto al criterio de calidad de agua para fines recreativos de contacto primario, el pH se mantuvo bajo los límites máximos permisibles (LMP) en todas las mediciones, mientras que el oxígeno disuelto cumple con el LMP en todos los puntos de muestreo, salvo en la semana 3 aguas arriba

del dique. Respecto al criterio de preservación de la vida acuática, la turbidez y el DBO se situaron dentro del LMP, al igual que los sólidos totales en la semana 1, pero superaron el LMP en las semanas 2 y 3. Se recomienda realizar un monitoreo más frecuente y extenso de los parámetros de calidad del agua, así como identificar y controlar las posibles fuentes de contaminación para preservar la vida acuática y su uso recreativo.

El estudio reveló que el dique tiene un impacto notable en la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el río, aguas arriba versus aguas abajo ya que existe una diferencia significativa entre la riqueza y abundancias de estos en los puntos de muestreo. Por otra parte, los índices AAMBI y ASPT determinaron que la calidad del agua en el punto aguas arriba del dique era Dudosa, indicando una moderada contaminación, en cambio, en el punto aguas abajo del dique, la calidad

del agua era Aceptable, lo que señalaba una ligera contaminación, esto sugieren que el dique genera un efecto contradictorio sobre el ecosistema acuático, que debe ser evaluado con más detalle para determinar sus implicaciones ambientales y sociales.

Por último, la combinación de los índices IPA, QBR e IHF, determinaron que el río Chilcayacu, presenta una calidad ambiental regular, debido a la presión antropogénica que ejercen las actividades humanas en la zona, ya que según los índices antes mencionados la presión antropogénica es baja, la calidad de la vegetación ribereña y el hábitat fluvial muy malo. Además, mediante la combinación del ICA y el AAMBI se determinó que la integridad ecológica del río es regular tanto aguas arriba como aguas abajo. Estos resultados sugieren la necesidad de implementar medidas de conservación y restauración del río, para mejorar la calidad ecológica del mismo.

Contribuciones de los autores **Jorge Alexander Macias Cisneros:** Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada
Andrea Carolina Beltrán Conlago: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada
Conflicto de intereses de los autores Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias Bibliográficas

- El-Oriente. Fuertes lluvias aumentaron el caudal de tres ríos en la Amazonía. 2021. <https://www.eloriente.com/articulo/fuertes-lluvias-aumentaron-el-caudal-de-tres-rios-en-la-amazonia/14649>.
- Amazonía Ecuatoriana. Ríos de la Amazonía ecuatoriana. 2023. <https://amazoniaecuadoriana.com/rios-de-la-amazonia-ecuadoriana/>.
- Antúñez, Alcides, y Lenin Guanoquiza. «La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador.» *Visión Contable*, n° 19 (2019): 64-101.
- APHA-AWWA-WPCF. «Standard methods for the examination of water and wastewater.» APHA, 2017.
- Banco Mundial. Gestión de recursos hídricos: Panorama general. 2021. <https://www.bancomundial.org/es/topic/waterresourcesmanagement> (último acceso: 29 de 01 de 2024).
- Cabrera, Jacqueline. «Determinación de la calidad del agua en los sitios de recreación turística: diques de Mera, Shell y Pambay de la provincia de Pastaza.» *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo)*, 2019: 20-31.
- Córdova, Salomé, Hernán Gaete, Fernanda Aránguiz, y Ricardo Figueroa. «Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos.» *Latin American Journal of Aquatic Research*, 2009: 199.
- Domínguez, Eduardo, y Hugo Fernández. *Macroinvertebrados bentónicos*. Argentina: Fundación Miguel Lillo, 2009.
- Encalada, Andrea, y otros. *LOS RÍOS DE LAS CUENCAS ANDINO-AMAZÓNICAS: HERRAMIENTAS Y GUÍA DE INVERTEBRADOS PARA EL DISEÑO EFECTIVO*. Quito: Universidad San Francisco de Quito, 2019.
- FIBA. «Directrices sanitarias para uso seguro de aguas recreativas.» 2016. <https://www.fiba.org.ar/wp-content/uploads/2016/03/uso-seguro-agua-ambiente.pdf>.
- GADMPASTAZA. *REACTIVAMOS EL DIQUE DE LOS MECÁNICOS CON LA MINGA CIUDAD CANELA* – Municipio de Pastaza. 2023. <https://puyo.gob.ec/reactivamos-el-dique-de-los-mecanicos-con-la-minga-ciudad-canela/>.
- García, A, y L Pérez. «Claves dicotómicas para la identificación de organismos.» *Editorial Universitaria*, 2018: 45-67.
- Hanson, P, M Springer, y A Ramírez. introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos.» *Biología Tropical* 58, n° 4 (2010): 3-14.
- MAATE. «REGLAMENTO LEY RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA - Ecuador.» 2015.

- <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/REGLAMENTO-LEY-RECURSOS-HIDRICOS-USOS-Y-APROVECHAMIENTO-DEL-AGUA.pdf> (último acceso: 18 de diciembre de 2023).
- Palacios, Alex. «Análisis económico de los servicios y usos del agua en Ecuador.» 2019. https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/42152/TFM_Palacios_Carranza_2019.pdf?sequence=1 (último acceso: 3 de 02 de 2024).
- Palma, Alejandro. GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUAICOS. Chile: 1era Edición., 2013.
- Qualtrics. Investigación cuantitativa: definición y procedimiento. 2021. <https://www.qualtrics.com/es/gestion-de-la-experiencia/investigacion/investigacion-cuantitativa/>.
- Ramírez, Alonso, y Pablo Gutiérrez. «Studies on Latin American freshwater macroinvertebrates: recent advances and future directions.» Revista de Biología Tropical 2, n° 62 (2014): 9-20.
- Rincón, M, F Soler-Romero, D Calderón-Rivera, R Sierra-Parada, y A Jaramillo-Londoño. «Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de agua en el río Chicú, Cundinamarca, Colombia. .» Hidrobiológica, 2021: 17-28.
- Ríos, Fabricio, Ricardo Abril, Edison Carvajal, Katherine López, y Henry Rodríguez. «Concentración de nitratos, fosfatos, tensoactivos y su relación con la calidad del agua en los diques del cantón Pastaza. .» Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 2021: 3-14.
- Servindi. Los Territorios de Vida y su aporte a la conservación de la biodiversidad. 12 de junio de 2021. <https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Los-Territorios-de-Vida-y-su-aporte-a-la-conservacion-de-la-biodiversidad> (último acceso: 2024).
- Torres, Marin. Integridad ecológica como una herramienta de evaluación en cuencas hidrográficas. Caso de estudio Microcuenca del Río Jalpan. Tesis, Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, 2018.
- UNESCO. El valor del agua | Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de 2021". 2021. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/> (último acceso: 30 de 01 de 2024).
- WWF. La Amazonia: ecosistemas de agua dulce en peligro. 2023. <https://www.wwf.org.ec/?244130/La-Amazonia-ecosistemas-de-agua-dulce-en-peligro>.