
Degradación de la microcuenca Chuchuchir (Ecuador): Evaluación de la calidad ecológica mediante el protocolo CERA-S

Degradation of the Chuchuchir micro-watershed (Ecuador): Assessment of ecological quality using the CERA-S protocol

Alonso Cartuche¹, Josselyn Balcazar², Roberth Yaguana³, Erick Angamarca³, Darío Veintimilla⁴

¹Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y Biodiversidad “CITIAB”, Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Loja.

²Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Loja

³Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y Biodiversidad “CITIAB”, Universidad Nacional de Loja.

⁴Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y Biodiversidad “CITIAB”, Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja.

Resumen

Las microcuencas altoandinas son fundamentales para el abastecimiento de agua, la conservación de la biodiversidad, la protección del suelo y la regulación hidrológica, siendo esenciales para la seguridad hídrica y el bienestar de las comunidades. La microcuenca Chuchuchir, ubicada en Saraguro, abastece de agua para consumo humano y riego, pero enfrenta una creciente degradación debido a la deforestación, el cambio de uso del suelo, la expansión agropecuaria y el crecimiento poblacional. Este estudio evaluó la calidad ecológica de la microcuenca utilizando el protocolo CERA-S, que combina la evaluación hidromorfológica (ICH) y el Índice Biótico Andino (ABI) basado en macroinvertebrados bentónicos. Se tomaron muestras en 15 puntos distribuidos a lo largo de la microcuenca, en las zonas alta, media y baja. Los resultados mostraron que en la zona alta predominan familias de macroinvertebrados bioindicadores de buena calidad del agua, como *Perlidae*, *Leptophlebiidae*, *Baetidae* y *Xiphocentronidae*. En las zonas media y baja, se encontraron familias como *Chironomidae*, *Tipulidae* y *Simuliidae*, indicativas de mala calidad del agua. La calidad ecológica de toda la microcuenca es moderada. Se estableció una relación significativa entre la diversidad de macroinvertebrados y el ABI (p -valor = 0.0001). Este análisis revela una marcada degradación en la microcuenca debido a las actividades humanas, que afectan negativamente la calidad del agua. Los resultados del estudio destacan la necesidad urgente de implementar estrategias de conservación y restauración para preservar la integridad ecológica y garantizar la calidad del agua en la microcuenca Chuchuchir.

Palabras clave: Microcuenca, Calidad ecológica, protocolo CERA-S, Macroinvertebrados bentónicos, Bioindicadores, Índice biótico andino.

Recibido: 1 de agosto 2025 – Revisión aceptada: 20 de noviembre 2025 – Fecha de publicación: 29 de diciembre 2025

Correspondiente al autor: victor.cartuche@unl.edu.ec

Abstract

High Andean micro-watersheds are fundamental for water supply, biodiversity conservation, soil protection, and hydrological regulation, making them essential for water security and the well-being of communities. The Chuchuchir micro-watershed, located in Saraguro, provides water for human consumption and irrigation, but faces increasing degradation due to deforestation, land-use change, agricultural expansion, and population growth. This study assessed the ecological quality of the micro-watershed using the CERA-S protocol, which combines hydromorphological assessment (ICH) and the Andean Biotic Index (ABI) based on benthic macroinvertebrates. Samples were taken at 15 points distributed along the micro-watershed, in the upper, middle, and lower zones. The results showed that in the upper zone, families of macroinvertebrates that are bioindicators of good water quality predominate, such as *Perlidae*, *Leptophlebiidae*, *Baetidae*, and *Xiphocentronidae*. In the middle and lower zones, families such as *Chironomidae*, *Tipulidae*, and *Simuliidae* were found, indicative of poor water quality. The ecological quality of the entire micro-basin is moderate. A significant relationship was established between macroinvertebrate diversity and the ABI ($p\text{-value} = 0.0001$). This analysis reveals marked degradation in the micro-basin due to human activities, which negatively impact water quality. The study results highlight the urgent need to implement conservation and restoration strategies to preserve ecological integrity and ensure water quality in the Chuchuchir micro-basin.

Key words: Micro-watershed, Ecological quality, CERA-S protocol, Benthic macroinvertebrates, Bioindicators, Andean biotic index.

Introducción

Las microcuencas altoandinas son ecosistemas importantes, desde el punto de vista de los servicios ambientales (Hampel et al. 2023). Por lo tanto, su conservación contribuye al bienestar de la población, mediante almacenamiento de carbono, regulación de ciclos hídricos, provisión de agua dulce, depuración de contaminantes, estabilización climática, entre otros servicios (Llambí et al., 2012). Actualmente, estos ecosistemas están bajo presión debido al avance de la frontera agropecuaria y los cambios en el uso del suelo,

los mismos que impactan de manera negativa a sus funciones ecológicas (Armijos-Arcos et al., 2025).

La microcuenca Chuchuchir presenta altitudes entre 2199 y 3275 m s.n.m., y se compone de ecosistemas de bosque andino montano alto y bajo. Su sistema hídrico está formado por diversas vertientes que confluyen en el río Paquishapa (Cando y Cango, 2023). Actualmente la microcuenca está experimentando un acelerado deterioro ambiental, producto de la expansión urbana sin un enfoque de ordenamiento del territorio,

lo cual ha generado un incremento de la demanda de recursos y servicios ecosistémicos. Como consecuencia, el uso no sostenible de los recursos naturales deteriora los suelos, la cobertura vegetal, la biodiversidad y la calidad del agua (Perez et al., 2018). A pesar de esta situación, la microcuenca es la principal fuente de agua para consumo humano y riego de 9679 habitantes de la parroquia Saraguro (INEC, 2022).

En este sentido, uno de los bioindicadores más eficientes son los macroinvertebrados, organismos acuáticos ampliamente utilizados para evaluar la calidad del agua debido a su participación en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos (Villamarín et al., 2020). Por lo tanto, las alteraciones en su ambiente son reflejadas en cambios de su estructura y composición poblacional (Macchi et al., 2020). Existen varios tipos de métodos cualitativos y cuantitativos que permiten evaluar la calidad del agua a partir de la presencia o ausencia de familias de macroinvertebrados (Bersosa y Ulloarie, 2018). El Índice Biológico Andino (ABI) es un índice biótico ampliamente utilizado para evaluar la calidad ecológica de los sistemas acuáticos andinos, el cual se basa en la identificación de familias de macroinvertebrados (Meneses-Campo et al., 2019).

El protocolo de Calidad Ecológica de Ríos Andinos Simplificado (CERA-S) es una herramienta que integra una evaluación de la calidad hidromorfológica (Índice de Calidad Hidromorfológica) y el índice ABI. La implementación de este protocolo se ha realizado en países como Ecuador y Perú.

Su desarrollo, responde a la preocupación por el estado ecológico de las cuencas alto andinas (Gamarra et al., 2018). El análisis de cada componente del protocolo permite identificar los aspectos que se deben mejorar para restaurar la calidad ecológica de una cuenca. La valoración hidromorfológica evalúa la calidad de ribera o el canal del río con la calidad biológica (macroinvertebrados) (Encalada et al., 2015).

En este contexto, esta investigación se fundamentó en el estudio de la calidad ecológica de la microcuenca Chuchuchir mediante el protocolo CERA-S. La integración de este protocolo permite obtener un diagnóstico integral del estado ecológico de la microcuenca. Por lo tanto, esta información permitirá a los gobiernos locales, comunidades y gestores ambientales diseñar e implementar estrategias de manejo sostenible, conservación, restauración de las zonas degradadas y garantizar la calidad y cantidad de agua promoviendo así su preservación y uso responsable de los recursos hídricos.

Metodología

Área de estudio

El estudio se realizó en la microcuenca Chuchuchir ubicada al sur de la cabecera parroquial de Saraguro, provincia de Loja. Esta cuenca tiene un área total de 2009 hectáreas y está formada por una cadena montañosa con bosques y zonas de páramo en las partes altas, constituyendo una importante zona de recarga hídrica para agua de consumo humano y actividades agropecuarias del sector. Además, este sistema hídrico pertenece a la subcuenca

del río León dentro de la cuenca del río Jubones (GADMIS 2024).

En el aspecto sociocultural la microcuenca se encuentra en siete comunidades indígenas: Ilincho, Las Lagunas, Gunudel, Gulacpamba,

Namarín, Puente Chico y La Matara, caracterizadas por sus sistemas de organización local representada por un Gobierno comunitario y sus respectivas suborganizaciones (Calderón y Quezada, 2006).

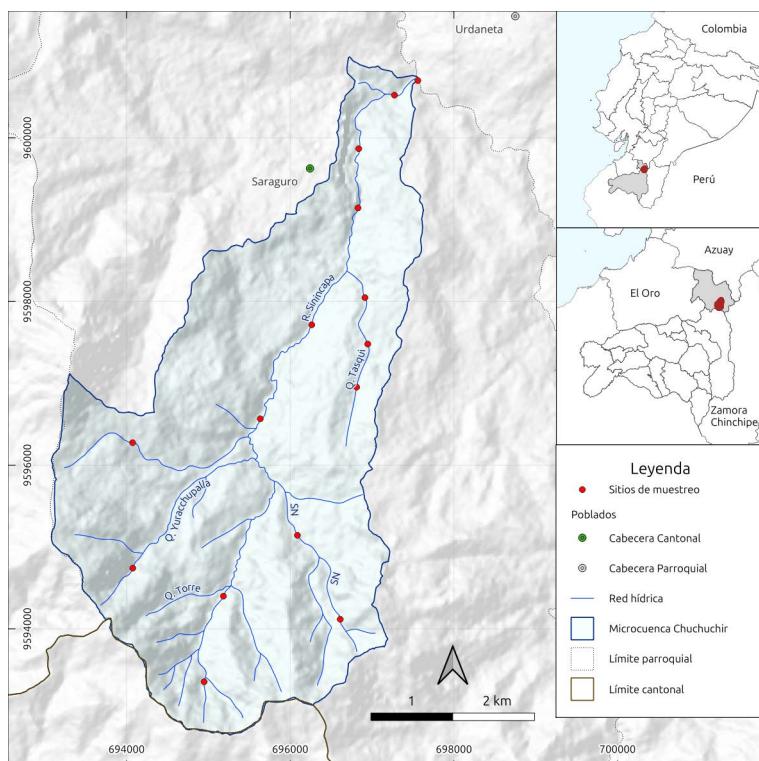


Figura 1. Ubicación del área de estudio microcuenca Chuchuchir, cantón Saraguro, provincia de Loja

Diseño del muestreo

Para el muestreo se establecieron un total de 15 puntos de monitoreo distribuidos en las zonas alta (2800 — 3220 m.s.n.m), media (2600 — 2800 m.s.n.m) y baja (2241 — 2600 m.s.n.m.) de la cuenca, con un total de 5 puntos de monitoreo por zona (Prat et al., 2000). Estos puntos fueron seleccionados de manera aleatoria utilizando el software QGIS 3.40. Los criterios considerados fueron: altitud y cobertura vegetal (Figura 1) (MAATE, 2023). A partir de estos criterios, mediante fotointerpretación de

imágenes satelitales, se identificaron las zonas de la microcuenca con mayor grado de intervención antrópica y vulnerabilidad a procesos erosivos y de degradación del suelo en los sectores alto, medio y bajo de la microcuenca, los cuales podrían incidir en el deterioro de la calidad del agua.

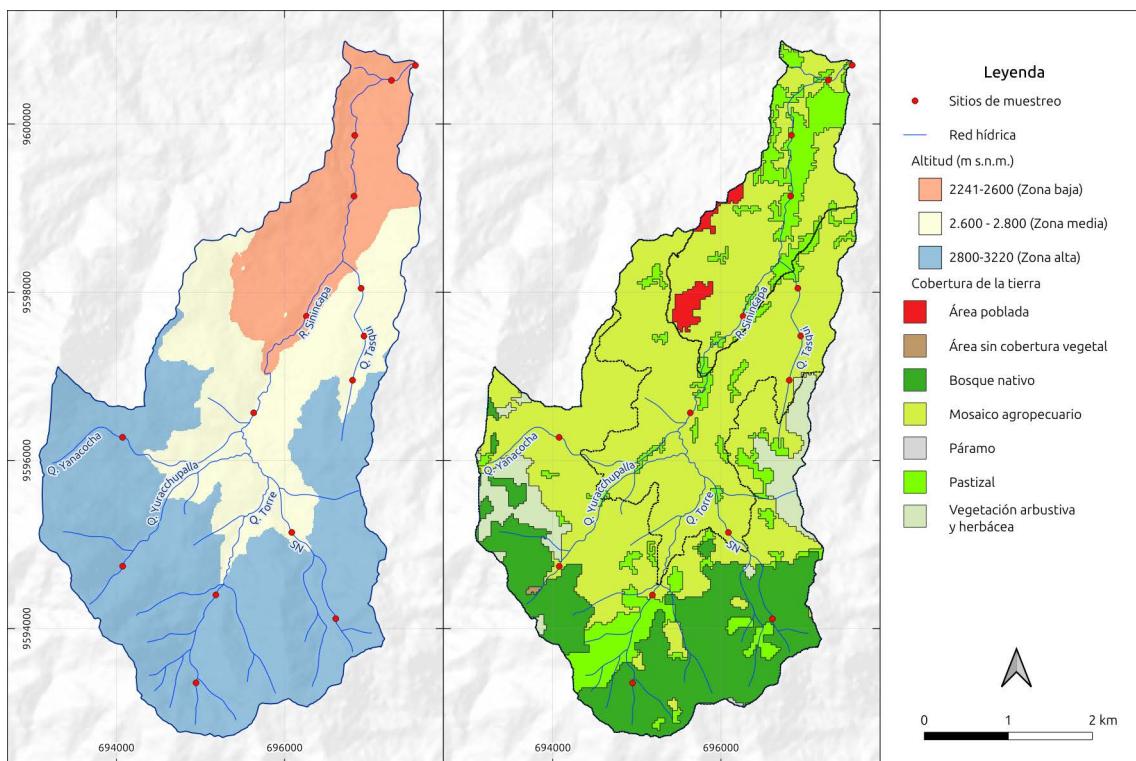


Figura 2. Mapa de gradientes altitudinales y cobertura del suelo como criterios para la selección de sitios de monitoreo

Índice de Calidad hidromorfológica

Se utilizó la metodología propuesta en el protocolo CERA-S. Los datos se analizaron en una ficha técnica, donde, se registró las características relacionadas con la vegetación ribereña y el cauce del río. La valoración se realizó en un transecto de 50 metros lineales que es donde ocurren

las interacciones entre el ecosistema acuático y terrestre. Los valores asignados se encuentran en una escala de 0 al 5, dependiendo del grado de intervención y degradación del punto de monitoreo. Para ello, se analizaron ocho aspectos ambientales descritos en la Tabla 1 (Acosta et al., 2009; Encalada et al., 2015).

Tabla 1. Características consideradas para determinar la calidad hidromorfológica de la microcuenca

Letra	Características hidromorfológicas a evaluar
A	Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera
B	Continuidad de la vegetación de ribera a lo largo del río
C	Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje adyacente
D	Presencia de basuras y escombros
E	Naturalidad del canal fluvial
F	Composición del sustrato
G	Regímenes de velocidad y profundidad del río
H	Elementos de heterogeneidad

Fuente: Obtenido del protocolo CERA-S (Encalada et al., 2015)

Para determinar la calidad hidromorfológica, se sumaron los puntajes obtenidos de los ocho aspectos relacionados con la vegetación ribereña y el estado del canal del río (Tabla 1). El resultado de esta suma es el ICH, que tiene un rango de 0 a 35 puntos (Tabla 2). Si el resultado del ICH supera los 35, significa que la calidad del río es excelente (Acosta et al. 2009; Encalada et al. 2015).

Tabla 2. Índice ICH Escala de la evaluación cualitativa de la calidad hidromorfológica

Calidad hidromorfológica	Escala
Pésima	0-10
Mala	10-20
Moderada	20-28
Buena	28-35
Excelente	>35

Fuente: Obtenido del protocolo CERA-S (Encalada et al., 2015).

Evaluación de la calidad del agua mediante macroinvertebrados

Para la evaluación de la calidad del agua se estudiaron las comunidades de macroinvertebrados en época lluviosa durante los meses de Junio-Agosto del 2022. En cada punto de las zonas de estudio (alta, media y baja) se tomaron tres réplicas para obtener una muestra compuesta. La distancia de cada réplica fue de 0,50 m. La captura de macroinvertebrados se realizó con una red de patada de 1 m² con una malla de 0,25 mm. Para la recolección de macroinvertebrados se empleó el criterio multihabitad, siguiendo el Manual de Monitoreo de Macroinvertebrados propuesto por Carrera y Fierro (2018). Este enfoque considera diversos sustratos como piedras, hojarasca, orilla del río, vegetación acuática y sumergida.

Las muestras recolectadas se depositaron en una bandeja y se manipularon con pinzas entomológicas, utilizando un tamiz para filtrar los sedimentos. Seguido, se almacenaron en

frascos de vidrio con alcohol al 80% para su conservación y se etiquetaron con fecha, punto de muestreo, hora y coordenadas GPS. En el Centro de Investigaciones y Servicios de Análisis Químico (CISAQ) de la Universidad Nacional de Loja, los macroinvertebrados recolectados se separaron y se identificaron a un nivel de familia utilizando un estereoscopio OLYMPUS modelo SZ51 y claves taxonómicas propuestas por Roldán (2016), Encalada et al., (2011) y Rincon et al., (2017).

Índice Biótico Andino (ABI)

De acuerdo con Encalada y colaboradores (2015), el Índice Biótico Andino (ABI), evalúa la calidad del agua y la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos andinos. Para asignar el valor ABI se utiliza una escala de valores numéricos entre uno y diez a cada familia registrada, dependiendo de su nivel de tolerancia a la contaminación. La suma de los puntajes de todas las familias encontradas define el valor del ABI.

Tabla 3. Índice ABI, evaluación cualitativa de la calidad biológica del agua

ABI	Calidad del agua
>96	Excelente
56-96	Buena
35-58	Moderada
<35	Mala
Sin vida	Pésima

Fuente: Obtenido del protocolo CERA-S (Encalada et al., 2015).

Calidad ecológica de la microcuenca mediante la aplicación del protocolo CERA-S

Para la evaluación de la calidad ecológica (Figura 3), se combinaron los resultados del Índice de calidad hidromorfológica (ICH) y el índice Abiótico Andino (ABI) según la metodología propuesta por Encalada y colaboradores (2015). Si el resultado de la combinación corresponde al color azul, la

calidad ecológica del río es excelente, si es verde es una calidad buena, el amarillo es moderado, el

naranja es mala y por último si es roja es pésima (Acosta et al., 2009; Encalada et al., 2015).

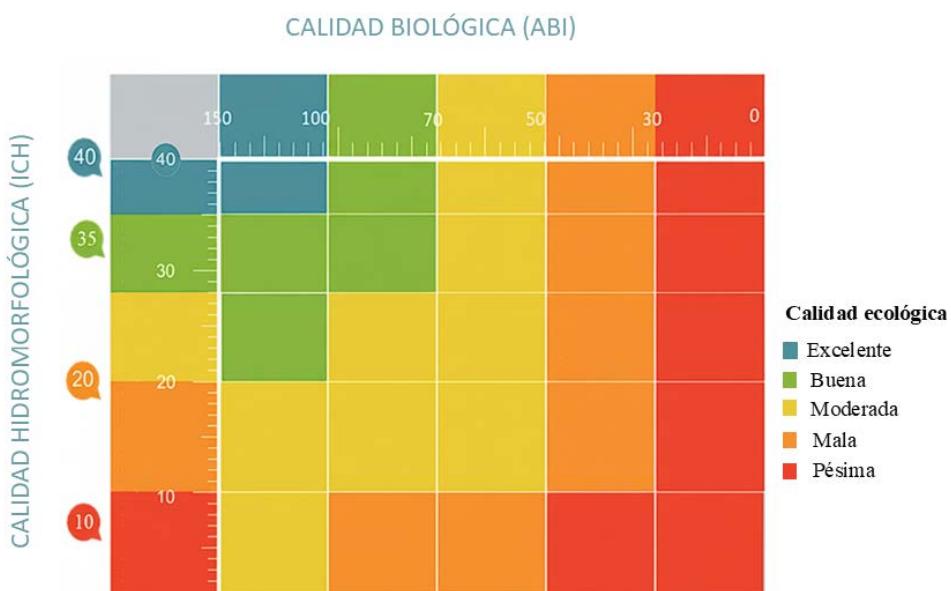


Figura 3. Matriz de evaluación ecológica de la microcuenca (Encalada et al., 2015)

Análisis estadísticos

La cuantificación de la abundancia de macroinvertebrados se realizó a partir de una curva de acumulación de familias, mediante el estimador no paramétrico CHAO2, para ello se ordenaron los especímenes presentes en cada punto de muestreo de acuerdo a su abundancia, para ser analizados en el software EstimateS versión 9.1.0. Utilizando el software R, se exploró los vínculos entre la diversidad de macroinvertebrados y la calidad de agua (ABI), determinando el coeficiente de correlación de Pearson. Adicionalmente se realizó una regresión lineal para modelar la influencia de la diversidad en el ABI, y se obtuvo el coeficiente de determinación (r^2) y el valor de la alfa.

Resultados

Índice de calidad hidromorfológica (ICH)

Desde una perspectiva general, la microcuenca Chuchuchir presenta una calidad hidromorfológica buena (ICH=31).

Los resultados evidencian que las zonas altas de la microcuenca (Tabla 4) presentan una calidad hidromorfológica excelente con una vegetación de ribera dominada por bosque montano natural con especies nativas como Weinmannia sp., Eugenia sp. y Myrcianthes sp. La vegetación se mantuvo continua sin interrupciones por pastizales o cultivos, y la ribera mostró una alta conectividad con el paisaje adyacente, compuesto en su mayoría

por bosque nativo. No se registraron elementos urbanos, residuos sólidos, ni escombros en los puntos de muestreo, y el cauce de la quebrada no mostró alteraciones estructurales evidentes. El lecho fluvial estuvo conformado por piedras, cantos rodados, grava, arcilla y lodo. Se identificaron tres regímenes de velocidad y profundidad: rápido-somero, rápido-profundo y lento-profundo. La heterogeneidad del hábitat en la zona alta estuvo determinada por la presencia de troncos, ramas, raíces sumergidas, hojarasca, diques naturales y vegetación acuática.

La zona media (Tabla 4) presentó una calidad hidromorfológica moderada en la mayor parte de los puntos de monitoreo (P3-P5). La vegetación ribereña presentó arbustos y árboles introducidos como *Pinus radiata* D. Don; *Pinus patula* Schiede ex Schtdl & Cham.; *Eucalyptus globulus* Labill.; *Acacia melanoxylon* R.Br., con riberas no continuas y parches de cultivos y pastizales. La vegetación adyacente consistió en pastizales y cultivos, y se encontró algo de basura fácilmente removible.

Los sustratos fueron arena, lodo y arcilla, con regímenes de velocidad y profundidad del río lento-profundo y lento-somero. Los elementos de heterogeneidad incluían troncos, raíces sumergidas y plantas acuáticas.

En la zona baja (Tabla 4) se obtuvo una calidad ecológica moderada (P2-P5). La vegetación de ribera consistió en matorrales, pastizales y árboles introducidos, con parches interrumpidos por cultivos y pastizales. El paisaje adyacente estuvo compuesto por una combinación de bosques nativo y mosaico agropecuario. Se observó poca basura y algunas modificaciones antrópicas del río por terrazas. Particularmente, en el quinto punto de estudio, la vegetación ribereña estaba conformada principalmente por pastizales y especies forestales como *Pinus radiata* D. Don; *Pinus patula* Schiede ex Schtdl & Cham.; *Eucalyptus globulus* Labill.; *Acacia melanoxylon* R.Br., interrumpida por cultivos y elementos urbanos como viviendas y muros. Se encontró basura a lo largo de la quebrada y un tramo del río modificado por una estructura sólida.

Tabla 4. Resultados de la evaluación de la calidad hidromorfológica de la microcuenca Chuchuchir mediante el índice ICH

	Quebrada	Puntos de muestreo	Índice ICH	Valoración
<i>Zona alta de la microcuenca</i>	Torre	P1	39	Excelente
	Torre	P2	37	Excelente
	Yurachupalla	P3	38	Excelente
	Yanacocha	P4	37	Excelente
	SN	P5	36	Excelente
	SN	P1	35	Excelente

<i>Zona media de la microcuenca</i>	Chuchuchir	P2	32	Buena
	Tasqui	P3	27	Moderada
	Tasqui	P4	27	Moderada
	Tasqui	P5	24	Moderada
	Sinicapac	P1	32	Buena
<i>Zona baja de la microcuenca</i>	Sinicapac	P2	26	Moderada
	Sinicapac	P3	24	Moderada
	Sinicapac	P4	24	Moderada
	Sinicapac	P5	25	Moderada
<i>Calidad hidromorfológica de la microcuenca Chuchuchir</i>		31		Buena

Análisis de la calidad biológica del agua mediante macroinvertebrados

La curva de acumulación de familias (Figura 4) basada en el estimador CHAO2 indicó

una riqueza esperada de 42 familias. Según los resultados de este estudio se obtuvo un esfuerzo de muestreo del 90% con un total de 38 familias encontradas, lo cual se cataloga como un muestreo eficiente.

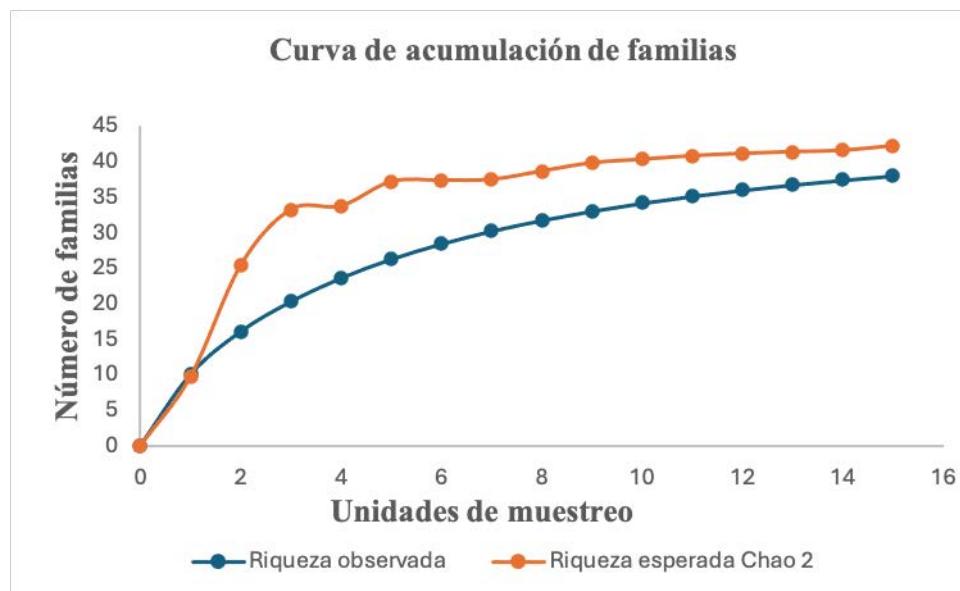


Figura 4. Curva de acumulación de familias de macroinvertebrados en la microcuenca Chuchuchir

Se colectaron 733 individuos, distribuidos en 7 clases, 11 órdenes y 38 familias. De las familias identificadas, las que presentaron mayor frecuencia fueron: Baetidae (15,55%), Chironomidae (11,32 %), Tipulidae (8,73

%), Perlidae (7,23 %) y Elmidae (5,18 %). A continuación, se proporcionan los datos de las familias de macroinvertebrados identificadas en los puntos de muestreo ubicados en las tres zonas de la microcuenca (Tabla 5).

Tabla 5. Listado de Familias de macroinvertebrados identificadas en la microcuenca Chuchuchir

ORDEN	FAMILIA	ZONA ALTA					ZONA MEDIA					ZONA BAJA				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
Veneroida	Sphaeriidae						x									
Oligochaeta	Tritogeniidae	x	x	x	x		x			x	x	x			x	
Coleoptera	Athericidae						x	x								
	Elmidae	x	x	x	x				x	x						
	Psephenidae	x				x										
	Ptilodactylidae	x	x	x	x	x	x									
	Scirtidae	x	x	x	x	x		x	x	x		x		x		
	Staphylinidae						x					x		x		
	Ceratopogonidae		x										x	x		
Diptera	Chironomidae			x									x	x		
	Culicidae			x												
	Dolichopodidae	x				x	x	x				x	x	x		
	Empididae	x	x		x							x	x	x		
	Gyrinidae	x	x	x	x							x				
	Limoniidae	x					x			x			x			
	Simuliidae		x			x	x	x				x				
Ephemeroptera	Syrphidae	x					x	x	x			x			x	
	Tabanidae	x		x	x			x		x		x		x		
	Tipulidae	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	
	Baetidae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Leptophlebiidae	x	x			x										
	Leptohyphidae	x	x	x	x	x										
	Oligoneuriidae	x			x											
Trichoptera	Calamoceratidae	x			x											
	Hydrobiosidae		x					x			x		x			
	Hydropsychidae											x	x	x		
	Leptoceridae		x													
Odonata	Philopotamidae	x			x	x										
	Polycentropodidae			x					x			x				
	Xiphocentronidae	x	x		x	x	x	x	x	x	x					
Hemíptera	Aeshnidae					x	x									
	Vellidae			x												
Plecoptera	Perlidae	x	x	x	x	x	x	x	x			x				
	Lepidoptera sp											x				
Amphipoda	Hyalellidae	x	x			x										
Tricladida	Planariidae	x									x	x				

Índice Biótico Andino (ABI)

En general, la calidad biológica de la microcuenca Chuchuchir fue moderada (ABI= 53) (Tabla 6). Los puntos ubicados en la zona alta obtuvieron una calidad biológica entre excelente y buena en comparación a las zonas media y baja, las cuales presentaron una calidad biológica mala en la mayor parte de los puntos de monitoreo.

La quebrada Torre y la quebrada Yanacocha, ubicadas en la zona alta, presentaron valoraciones ABI de 99, 123 y 110 respectivamente, lo cual corresponde a una notable calidad biológica del agua. Las quebradas Yurachupalla y SN también pertenecen a la zona alta de la microcuenca y presentaron valores ABI de 74 y 64 respectivamente, lo cual corresponde a una buena calidad biológica (Figura 5).

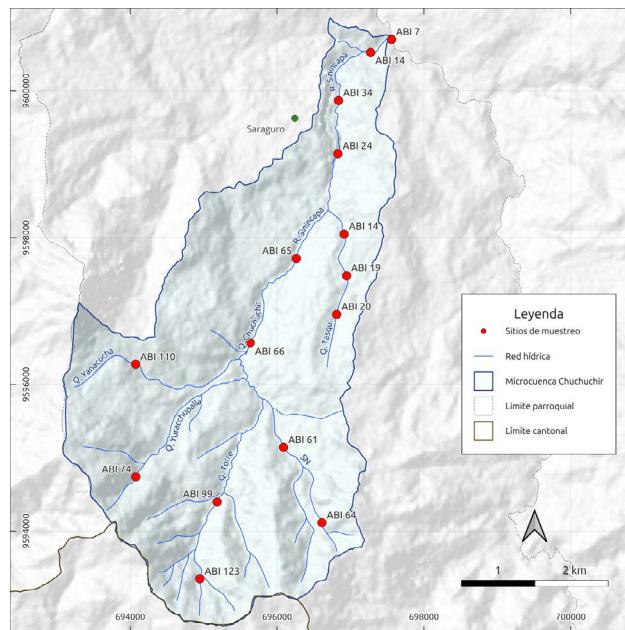


Figura 5. Distribución Espacial de la Calidad Biológica del Agua según el Índice Biótico Andino (ABI)

En la zona media de la microcuenca, los puntos ubicados en las quebradas, Chuchuchir y SN, obtuvieron una buena de la calidad biológica del agua, mientras que los puntos ubicados en la quebrada Tasqui obtuvieron una mala calidad

del agua debido a la influencia de actividades agrícolas. Por otro lado, en la zona baja de la microcuenca, la quebrada Sinicapac obtuvo los valores ABI más bajos indicando una mala calidad del agua.

Tabla 5. Calidad biológica del agua

	Quebrada	Punto de muestreo	Índice ABI	Valoración
Zona alta de la microcuenca	Torre	P1	123	Excelente
	Torre	P2	99	Excelente
Chuchuchir	Yurachupalla	P3	74	Buena
	Yanacocha	P4	110	Excelente
	SN	P5	64	Buena

Zona media de la microcuenca	SN	P1	61	Buena
Chuchuchir	Chuchuchir	P2	66	Buena
	Tasqui	P3	20	Mala
	Tasqui	P4	19	Mala
	Tasqui	P5	14	Mala
Zona baja de la microcuenca	Sinicapac	P1	65	Buena
Chuchuchir	Sinicapac	P2	24	Mala
	Sinicapac	P3	34	Buena
	Sinicapac	P4	14	Mala
	Sinicapac	P5	7	Mala
Calidad biológica del agua de la microcuenca Chuchuchir		53	Moderada	

Calidad ecológica de la microcuenca

Como lo establece el protocolo CERA-S, al correlacionar la calidad biológica (ABI) con la calidad hidromorfológica, los 15 puntos de muestreo se ubicaron dispersamente en los distintos cuadrantes indicando que la calidad ecológica varía en cada punto. En general al correlacionar el promedio de los índices de calidad hidromorfológica y calidad biológica se pudo obtener el valor de la calidad ecológica de

la microcuenca Chuchuchir.

El valor promedio del índice ICH es de 31 y el valor promedio del índice ABI es de 53, al correlacionar estos dos valores nos marca el cuadrante amarillo, lo cual indica que la calidad ecológica de toda la microcuenca es moderada. En la figura 6 se puede observar las valoraciones en cada punto de muestreo, mientras que el valor total de la microcuenca está representado un punto color rojo.

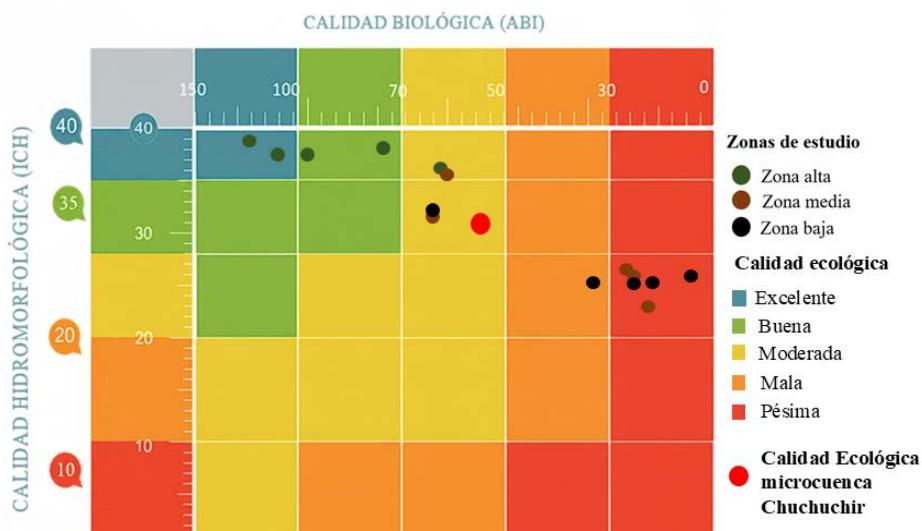


Figura 6. Correlaciones entre la Calidad Hidromorfológica (ICH) y el índice de calidad biológica (ABI) de cada punto de la microcuenca Chuchuchir

Relaciones entre la diversidad de macroinvertebrados y el Índice Biótico Andino (ABI)

La Figura 7, muestra una correlación positiva

entre la diversidad de macroinvertebrados y el Índice Biológico Andino (ABI) de la microcuenca Chuchuchir. Se determinó un coeficiente de correlación fuerte entre las variables ($r=0.84$). Mientras que el coeficiente de determinación

sugiere que el 71% de la variabilidad del índice ABI puede explicar la diversidad de macroinvertebrados. Además, se obtuvo un

p-valor estadísticamente significativo (p -valor = 0.0001) que respalda la relevancia estadística de la relación.

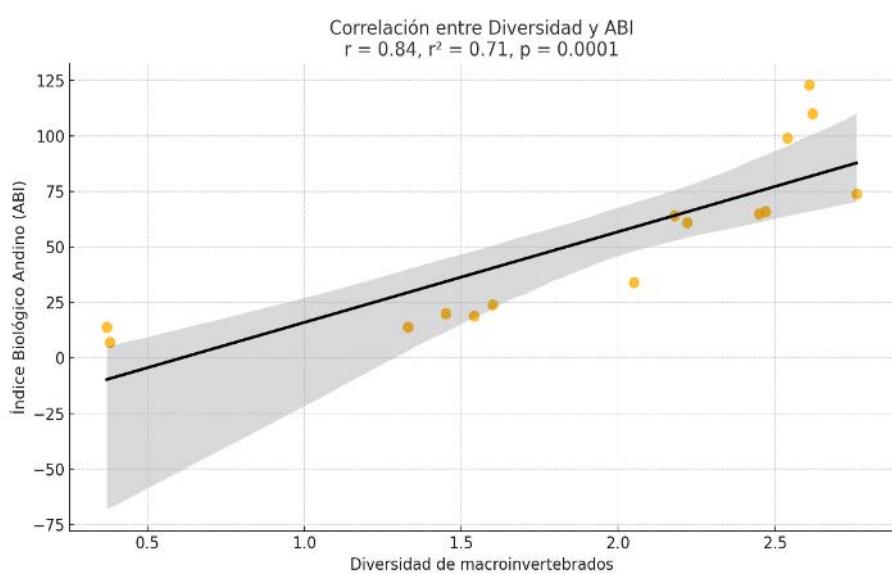


Figura 7. Correlación entre la diversidad de macroinvertebrados de las zonas de estudio y el Índice Biótico Andino.

Discusión

La evaluación de la calidad ecológica de la microcuenca Chuchuchir revela que la expansión de las actividades antrópicas tienen un impacto directo en la calidad del agua. A pesar de esto, es crucial reconocer que estas actividades son fundamentales para el sustento económico de las familias locales. Según lo manifestado por Ordoñez y Ochoa (2020), cerca de la mitad de la población del cantón Saraguro es económicamente activa y se vincula a actividades como la agricultura, artesanía y comercio. En la microcuenca Chuchuchir, la agricultura y la ganadería predominan como base productiva local. Sin embargo, estas actividades, aunque esenciales para la economía, generan presiones sobre los sistemas hídricos, al modificar la cobertura vegetal y alterar caudales y condiciones fisicoquímicas del agua. Esto evidencia que el dinamismo productivo puede comprometer la seguridad hídrica y el caudal ecológico, destacando la necesidad de prácticas de manejo más sostenibles. Las limitaciones derivadas de

la disponibilidad de recursos humanos, técnicos y financieros condujeron a que este estudio se desarrollara en un único momento temporal, con un enfoque transversal, por lo tanto, los resultados deben interpretarse como aproximaciones exploratorias que establecen una línea base robusta y un punto de partida para investigaciones futuras. Adicionalmente, el protocolo CERA-S empleado no incluye mediciones de variables fisico-químicas, no obstante, es ampliamente reconocido que las condiciones fisicoquímicas del medio acuático influyen decisivamente en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados (Arratia Chambi, 2024; Núñez & Fragoso-Castilla, 2020; Procel-Vidal et al., 2023), de manera que su análisis conjunto podría proporcionar una comprensión más completa de la calidad ecológica del agua

A pesar de estas restricciones, el estudio representa un esfuerzo pionero orientado a sustentar la creación de un observatorio de calidad de agua para esta microcuenca y para otros ecosistemas hídricos vinculados.

En General, los resultados muestran que la calidad del agua depende directamente del estado de conservación de las zonas de recarga hídrica, la integridad de la vegetación ribereña y el nivel de intervención humana. En las zonas altas, mejor conservadas, los indicadores hidromorfológicos y las comunidades de macroinvertebrados muestran condiciones ecológicas favorables. No obstante, la calidad disminuye en la zona media y baja conforme la microcuenca se degrada. En la parte baja los asentamientos humanos y lavadoras de autos ha causado pérdida de cobertura vegetal y alteración del cauce, afectando la calidad ecológica. En este contexto, el análisis de cada variable del protocolo CERA-S permitió determinar la calidad hidromorfológica y biológica de la microcuenca Chuchuchir en diferentes zonas. Se determinó que la calidad de la vegetación de ribera puede influir directamente en el desarrollo de las comunidades biológicas (macroinvertebrados) y la valoración hidromorfológica, siendo necesario evaluar la diversidad y endemismo de la vegetación adyacente.

Con respecto a la calidad hidromorfológica promedio de toda la microcuenca Chuchuchir resultó ser buena (ICH=de 31). Sin embargo, un análisis detallado por zonas (alta, media y baja) reveló que la calidad hidromorfológica disminuye de acuerdo con el grado de intervención de la población y sus actividades. Las zonas más cercanas a las actividades antrópicas presentaron una disminución en la valoración del índice de calidad hidromorfológica, lo cual afecta directamente a la calidad biológica del agua. Para investigadores como Gamarra et al. (2018) y Uvidia y Villagómez (2020), el ICH tiende a ser mayor en las zonas altas de las microcuencas, donde no hay intervenciones antrópicas que puedan afectar a la vegetación ribereña. En contraste, con los puntos bajos, donde la presencia de infraestructuras urbanas, la degradación de la vegetación ribereña evidencia una mala calidad hidromorfológica.

Por otra parte, investigadores como Caro-Borrero y colaboradores (2015) destacan la influencia significativa de infraestructuras como canales, presas y tuberías en la calidad hidromorfológica y la distribución de organismos acuáticos. Un ejemplo claro se observó en la zona baja de la microcuenca, donde se identificó un punto de captación de agua

para riego que recibió una calificación moderada según el ICH y una mala calidad biológica del agua. Esto indica que la infraestructura presente puede impactar tanto la calidad del agua como la presencia de organismos acuáticos en esa área específica.

En Ecuador, la aplicación de índices biológicos como el ABI es limitada. Sin embargo, investigadores como Vladimir (2016), consideran que este índice puede determinar el impacto de las presiones antrópicas en los ecosistemas acuáticos, independientemente del estado de conservación de la vegetación ribera y del hábitat fluvial. Este análisis contrasta con los resultados de esta investigación, donde las zonas media y baja, las actividades antrópicas como la urbanización, la introducción de especie exóticas y la deforestación influyeron en el valor del ABI, el cual reflejó una calidad de agua entre buena y mala.

De acuerdo con el Índice Biótico Andino (ABI) el análisis de la composición y distribución de las familias de macroinvertebrados en diferentes zonas de la microcuenca Chuchuchir, proporciona una evaluación detallada de la calidad del agua y el estado de los ecosistemas acuáticos. En la microcuenca Chuchuchir, se encontraron familias como Perlidae, que requieren concentraciones elevadas de oxígeno para vivir, lo que indica un buen estado del agua. Según Vásquez (2015), la presencia de Perlidae es un indicador confiable de aguas bien oxigenadas y de alta calidad. Sin embargo, también se encontró algunas familias como Tritogeniidae, Tipulidae, Scirtidae y Baetidae indicadoras de mala calidad del agua. Para Llavero y sus colaboradores (2020) estas familias tienden a habitar en ríos lóticos con poca oxigenación y aguas oligotróficas, lo que sugiere condiciones menos favorables para la vida acuática.

El presente estudio revela una relación significativa entre la diversidad de macroinvertebrados bentónicos y la calidad del agua evaluada mediante el Índice Biológico Andino (ABI), a lo largo del gradiente altitudinal de la microcuenca Chuchuchir. Su resultado confirma lo que numerosos estudios han documentado: los macroinvertebrados son excelentes bioindicadores de la salud de los ecosistemas acuáticos, debido a su sensibilidad a cambios en la calidad del hábitat, la disponibilidad de oxígeno y la presencia de

contaminantes (Merritt et al., 2019; Domínguez & Fernández, 2021).

El hecho de que, el análisis de correlación entre la diversidad de macroinvertebrados y el ABI haya arrojado un coeficiente elevado ($r = 0.84$) y un valor de p valor significativo ($p < 0.05$) refuerza la idea de que la diversidad de macroinvertebrados no es solo una variable ecológica más, sino un reflejo directo del estado de salud del ecosistema fluvial. En este sentido, conservar la vegetación ribereña y garantizar la conectividad ecológica del río se presenta no solo como una acción ambiental necesaria, sino como una estrategia fundamental para asegurar la sostenibilidad hídrica de las comunidades locales.

Por otro lado, en ecosistemas altoandinos, la presencia de bioindicadores de la calidad del agua como los macroinvertebrados se ven influenciados por las condiciones ambientales, tales como, la altitud y la temperatura. Jacobsen y Marín (2008) encontraron que, en las partes altas, predominan los indicadores de buena calidad del agua, mientras que en las zonas bajas los indicadores de mala calidad. Sin embargo, algunas familias pueden adaptarse a condiciones más contaminadas a lo largo de la microcuenca.

Con respecto a las familias identificadas en esta investigación, la familia Leptophlebiidae registrada en la parte alta de la microcuenca, determinó una excelente calidad de agua. Para Vásquez, (2015) el registro de sus individuos es abundante en sistemas acuáticos sin alteraciones antrópicas. Mientras que la presencia de familias Chironomidae y Simuliidae en la parte baja de la microcuenca, suele ser abundante en aguas con elevadas cargas de nutrientes, especialmente de fosfato y nitrato. Además, la familia Simuliidae desempeña un papel crucial en los ambientes lóticos, ya que sus estadios larvales forman parte de la cadena alimenticia de otros organismos superiores (Rodríguez et al., 2021). Sin embargo, la presencia de la familia Simuliidae en la parte baja de la microcuenca puede constituir en vectores de enfermedades. Según investigadores como Ricoy-Llavero y sus colaboradores (2020), sus individuos pueden transmitir patógenos como virus, protozoos y nematodos.

El análisis de las condiciones morfométricas y biológicas de la microcuenca, permitió identificar

los problemas ambientales que están afectando la zona y, a partir de ello, se generan iniciativas para proponer medidas de mejora de las condiciones ecológicas del río Chuchuchir. Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos del biomonitoring se pueden establecer pautas para que las comunidades, junto con las autoridades y otros actores relevantes alrededor del agua, puedan definir estrategias y acciones coordinadas para mejorar la salud de la microcuenca de manera sostenible y participativa (Walteros, 2019).

De hecho, el Protocolo CERA-S permite establecer medidas de manejo y conservación de las cuencas hidrográficas garantizando un suministro de agua seguro y sostenible. En este contexto, las cuencas hidrográficas son sistemas complejos y dinámicos que pueden ser afectados por múltiples factores, incluyendo el cambio climático, la urbanización, la agricultura y la industria. La región Andina es rica en agua, las interacciones entre el océano, la Amazonía y los Andes originan un ciclo hidrológico dinámico y abundante, por ello, el agua se convierte en un factor de desarrollo y de bienestar social en la región.

La principal limitación de esta investigación es la ausencia de datos fisicoquímicos de la calidad del agua de la microcuenca Chuchuchir, tales como las concentraciones de oxígeno disuelto, la temperatura del agua, la conductividad eléctrica y otros parámetros, así como posibles enriquecimiento de nutrientes (nitratos y fosfatos). Para futuras investigaciones, es necesario medir las concentraciones de estas variables, para poder relacionarlas con los datos obtenidos mediante la aplicación del Protocolo CERA-S.

Conclusiones

Este estudio se llevó a cabo en un único momento temporal bajo un enfoque exploratorio, lo que no permitió evaluar la variabilidad estacional de la calidad ecológica del sistema. Además, la aplicación del protocolo CERA-S, que no incluye la medición de variables físico-químicas, limitó el análisis a la calidad hidromorfológica y a la estructura

de macroinvertebrados bentónicos. A pesar de que estos organismos ofrecen una visión sensible del estado ecológico, sus respuestas pueden estar influenciadas por condiciones físicas y químicas no evaluadas. Pese a estas limitaciones, el estudio constituye una línea base pionera que sustenta futuras iniciativas de monitoreo y observatorios de calidad de agua en la microcuenca.

El análisis de las variables hidromorfológicas y biológicas en los puntos de muestreo reveló una relación importante entre la perturbación de los ecosistemas y la vida acuática. En los sitios más conservados, se observó una mayor presencia de familias de macroinvertebrados tolerantes, lo que indica una buena calidad del agua. Sin embargo, cada sitio de estudio obtuvo valoraciones diferentes, y a pesar de formar parte del mismo sistema hidrológico, se identificaron quebradas con mala calidad ecológica. Las diversas actividades antrópicas que se llevan a cabo en las zonas media y baja pueden ocasionar un desequilibrio de la hidromorfología de la microcuenca.

Por lo tanto, la calidad hidromorfológica está directamente relacionada con la presencia de comunidades biológicas de macroinvertebrados y, por ende, con la calidad biológica del agua. En los puntos de muestreo donde se obtuvo una mayor valoración del índice ICH, también se identificó un mayor número de familias de macroinvertebrados, subrayando la importancia de conservar una vegetación ribereña natural. Para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos en la microcuenca Chuchuchir, es fundamental implementar estrategias de manejo que

minimicen las actividades antrópicas en las quebradas Tasqui (zona media) y Sinicapac (zona baja) que promuevan la conservación de hábitats ribereños. Además, la protección, manejo y restauración de estos ecosistemas requiere la participación activa de gestores públicos y privados competentes, así como el involucramiento de las comunidades locales, cuyas prácticas y comportamientos son cruciales para mejorar el estado ecológico de la microcuenca.

Literatura Citada

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., y Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 35–64. <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-28-1-p-35.pdf>
- Armijos-Arcos, F., Salazar, C., Beltrán-Dávalos, A. A., Kurbatova, A. I., y Savenkova, E. V. (2025). Assessment of water quality and ecological integrity in an Ecuadorian Andean watershed. *Sustainability*, 17(8), 3684. <https://doi.org/10.3390/su17083684>
- Arratia Chambi, A. (2024). Parámetros fisicoquímicos del agua y su relación con macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua en la laguna Arapa, Puno. *Revista de Investigaciones*, 13(3), 147–158. <https://doi.org/10.26788/ri.v13i3.6302>

- Bersosa, F., y Ulloa, C. (2018). Utilización de índices evaluadores de la calidad del agua, basados en bioindicadores, en Ecuador. *Qualitas*, 15, 6–22. https://www.unibe.edu.ec/wp-content/uploads/2019/03/01_20171030_Salud-Integral_Bersosa_BIOINDICADORES-CALIDAD-DE-AGUA-OK.pdf www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56374.pdf
- Calderón, J., y Quezada, N. (2006). Valoración económico-ecológica del servicio ambiental hídrico de la microcuenca Chuchuchir, cantón Saraguro, Loja, Ecuador. 98. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/17250>
- Cando, J., y Cango, S. (2023). Rediseño hidráulico del sistema de riego Chuchuchir en la parroquia Saraguro, cantón Saraguro, provincia de Loja [Universidad Politécnica Salesiana]. En *Tesis*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1273/13/UPS-QT00803.pdf>
- Caro-Borrero, A., Carmona-Jiménez, J., González-Martínez, T., y Mazari-Hiriart, M. (2015). Hydrological evaluation of a peri-urban stream and its impact on ecosystem services potential. *Global Ecology and Conservation*, 3, 628–644. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.02.008>
- Carrera, C., y Fierro, K. (2018). Macroinvertebrados Acuáticos. In *Ecociencia* (Vol. 2). <http://>
- Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos, B., García, N., y Prat, N. (2015). Protocolo simplificados y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos altoandinos (CERAS-S). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 53(9), 1689–1699. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf%0Ahttps://hdl.handle.net/20.500.12380/245180%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.jprecamres.2014.12>
- Encalada, A. C., Rieradavall, M., Ríos-Touma, N., García, N., y Prat, N. (2011). Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S) (USFQ, UB,). http://www.ub.edu/riosandes/docs/CERA-S_finalLR.pdf
- GADMIS. (2024). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Actualización 2023- 2027 (pp. 1–507). <https://saraguro.gob.ec/wp/wp-content/uploads/2024/POA Y PAC 2024/PDOT - BORRADOR.pdf>
- Gamarra, Y., Restrepo, R., Cerón, A., Villamizar, M., Arenas, R., Vega, C. I., y Ávila, A. A. (2018). Aplicación del protocolo CERA-S para determinar la calidad ecológica de la microcuenca

- Mamarramos (cuenca Cane-Iguaque), Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 18(2), 11–30. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n02a02>
- Hampel, H., Vázquez, R. F., González, H., y Acosta, R. (2023). Evaluating the ecological status of fluvial networks of tropical Andean catchments of Ecuador. *Water*, 15(9), 1742. <https://doi.org/10.3390/w15091742>
- INEC (2022). VIII Censo de Población y VII de Vivienda 2022. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (Ecuador). <https://www.censoecuador.gob.ec/resultados-censo/>
- Jacobsen, D., y Marín, R. (2008). Bolivian Altiplano streams with low richness of macroinvertebrates and large diel fluctuations in temperature and dissolved oxygen. *Aquatic Ecology*, 42(4), 643–656. <https://doi.org/10.1007/s10452-007-9127-x>
- Llambí, L. D., Soto, A., Céller, R., De Bievre, B., Ochoa, B., y Borja, P. (2012). Ecología, Hidrología y Suelos de Páramos. *Proyecto Páramo Andino*, 1, 284. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56475.pdf>
- Macchi, P. A., Barnardis, A. M., Lavalle, A. L., Baeza, L., Encina, M., Mora, G. A., Navarro, M., y Saade, I. (2020). Invertebrados acuáticos como indicadores del estado ambiental del Río Negro. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, 9(1), 28–31.
- MAATE. (2023). Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra (CUT 2022) [Shapefile]. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
- Meneses-Campo, Y., Castro-Rebolledo, M., y Jaramillo-Londoño, A. (2019). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL. y ABI. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 299–310. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.70716>
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M. B. (2019). An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Kendall Hunt. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81: 593- 595.
- <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v81n2/v81n2a32.pdf>
- Núñez, J. C., & Fragoso-Castilla, P. J. (2020). Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en la cuenca media del río Guatapurí (Valledupar, Colombia). *Información Tecnológica*, 31(6), 207–216. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000600207>
- Ordoñez, A., y Ochoa, P. (2020). Ambiente, sociedad y turismo comunitario: La etnia Saraguro en Loja – Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(2), 191. <https://doi.org/10.31876/rcs.v26i2.32433>

- Perez, D., Ortega, J., Cabrera, P., Delgado Vargas, I., y Pompêo, M. (2018). Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9, 41–57. <https://doi.org/10.22490/21456453.2089>
- Prat, N., Rieradevall, M., & Fortuño, P. (2000). ECOSTRIMED . Protocol per determinar l'estat ecològic dels rius mediterranis . P . Fortuño Departament d ' Ecologia Universitat de Barcelona. November 2016. <https://www.researchgate.net/publication/264918172>
- Procel-Vidal, K. M., Zambrano, J. P. V., Luna-Florin, A. D., & Paredes-Morán, J. G. (2023). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad del agua de 4 islas del archipiélago de Jambelí. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 12(1). <https://doi.org/10.26423/rctu.v12i1.867>
- Ricoy-Llavero, E., Ortega, F., Guerrero, F., y Márquez, F. J. (2020). Estudio de la comunidad y del patrón de colonización de simúlidos (Diptera, Simuliidae) en ecosistemas fluviales mediterráneos de montaña. *Limnetica*, 39(1), 233–243. <https://doi.org/10.23818/limn.39.15>
- Rincon, J., Merchán, D., Rojas, D., Sparer, A., y Zarate, E. (2017). Macroinvertebrados de los Ríos del Parque Nacional Cajas. *Universidad del Azuay*.
- https://biología.uazuay.edu.ec/sites/biología.uazuay.edu.ec/files/public/Macroinvertebrados_Libro.pdf
- Rodríguez, J., Pinilla, G., y Moncada, I. (2021). Estructura de la comunidad de dípteros acuáticos en tramos de los cursos altos de los ríos Fucha y Bogotá. *Acta Biologica Colombiana*, 26(2), 147–159. <https://doi.org/10.15446/abc.v26n2.81916>
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamerica. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Uvidia, W., y Villagómez, E. (2020). Manejo integral de la microcuenca hidrográfica del río La Chimba para la captación del recurso hídrico para abastecimiento de agua de consumo humano de la parroquia Olmedo, cantón Cayambe. In Tesis.
- Vásquez, D. (2015). Ephemeroptera. In The Greenland Entomofauna. https://doi.org/10.1163/9789004261051_008
- Villamarín, C., Rieradevall, M., y Prat, N. (2020). Macroinvertebrate diversity patterns in tropical highland Andean rivers. *Limnetica*, 39(2), 677–691. [https://www.limnetica.net/Limnetica/Limne39/Limnetica%2039\(2\)_677.pdf](https://www.limnetica.net/Limnetica/Limne39/Limnetica%2039(2)_677.pdf)

Vladimir, L. (2016). Gestión y conservación de las cuencas de los ríos Guayllabamba y Blanco: aplicación de un índice multimétrico basado en la información existente sobre Macroinvertebrados Acuáticos. *In PUCE*: Vol. I (Issue 02, pp. 0–116). https://rraae.cedia.edu.ec/vufind/Record/PUCE_e006e8cdc5a36c6f07cc6e682b395593?sid=3238654&lng=sv

Walteros, J. (2019). Biomonitoring acuático participativo, una estrategia para promover la ciencia ciudadana. *Progress in Retinal and Eye Research*, 561(3), S2–S3. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=756159>