

Calidad Ecológica de las Cuencas Abastecedoras de Agua en la Ciudad de Loja – Ecuador

Martínez, Fabiola^{1,*} ; Prieto, Cristhian¹ ; Martínez, Paulina¹ ; Ochoa, Pablo² 

¹Instituto Superior Tecnológico Sudamericano (ISTS), Tecnología Superior en Desarrollo Ambiental, Loja, Ecuador

²Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Loja, Ecuador

Resumen: La calidad del agua superficial en cuencas con baja oferta y alta demanda de este recurso, debe evaluarse principalmente en países en desarrollo. Sin embargo, por la disponibilidad de recursos, únicamente se ha venido considerando a los parámetros fisicoquímicos para hacerlo, por lo que el relacionar elementos bióticos y abióticos permitirá conocer el estado ecológico, como una lectura más integral de la salud o calidad del ecosistema acuático. Por ello, el objetivo de este estudio fue estimar la calidad ecológica en microcuencas con diverso estado de conservación del suelo y que abastecen con agua para su potabilización en la ciudad de Loja al Sur del Ecuador. Para ello, fueron usados diversos índices bióticos, partiendo desde los más comunes como los índices de diversidad, el índice ABI (Andean Biotic Index) basado en el BMWP (Biological Monitoring Working Party), el EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera); y el índice de calidad de hábitat SVAP (Stream Visual Assessment Protocol). Los resultados de estos índices ubican a las tres microcuencas que abastecen actualmente de agua (San Simón, El Carmen y Mendieta) con buena calidad; sin embargo, no se deben descuidar sus condiciones de uso, manejo y conservación. Para las dos microcuencas restantes, se estimó una calidad de agua dudosa debido al impacto de ciertas actividades antrópicas que se presentan en ellas. Por esta razón, usar el índice de calidad ecológica (ICE) en cuencas abastecedoras de agua, puede ser muy útil para la gestión integral de cuencas, el ordenamiento territorial, o generar normativa por parte de los gobiernos autónomos descentralizados (GAD) con una visión más holística y prospectiva.

Palabras clave: Calidad del agua, macroinvertebrados, ABI-BMWP, EPT, SVAP, ICE

Ecological Quality of the Water Supply Basins in the City of Loja – Ecuador

Abstract: The quality of surface water in basins with low supply and high demand for this resource must be evaluated, mainly in developing countries. However, due to the availability of resources, only the physicochemical parameters have been considered to do it, in order that relating biotic and abiotic elements will allow knowing the ecological status, as a more comprehensive reading of the health or quality of the aquatic ecosystem. Therefore, the objective of this study was to estimate the ecological quality in micro-basins with different soil conservation status and that supply water for its purification in the city of Loja in southern Ecuador. For this, various biotic indices were used, starting from the most common as diversity indices, the ABI (Andean Biotic Index) based on the BMWP (Biological Monitoring Working Party), the EPT (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera); and the habitat quality index SVAP (Stream Visual Assessment Protocol). The results of these indices place the three micro-basins that currently supply water (San Simón, El Carmen and Mendieta), with good quality; however, their conditions of use, management and conservation should not be neglected. For the two remaining micro-basins, a doubtful water quality was estimated due to the impact of certain anthropic activities that occur in them. For this reason, using the ecological quality index (EQI) in water supply basins can be very useful for integral management watersheds, territorial ordering, or to generate regulations by decentralized autonomous governments (DAG), with a more holistic and prospective vision.

Keywords: Water quality, macroinvertebrates, ABI-BMWP, EPT, SVAP, EQI

1. INTRODUCCIÓN

En las cuencas hidrográficas, se integran sistemas biofísicos, socioeconómicos y político-administrativos, importantes para

el diseño de políticas enfocadas al desarrollo rural y al manejo integral y sostenible de los ecosistemas (Damián-Carrión et al., 2017). Estas soportan servicios ambientales que demanda la sociedad; uno de ellos el recurso hídrico, indispensable para

*fzmartinez@tecnologicosudamericano.edu.ec

Recibido: 20/01/2023

Aceptado: 01/06/2023

Publicado en línea: 14/11/2023

10.33333/rp.vol52n2.08

CC 4.0

varias actividades como el desarrollo urbano, agrícola, industrial entre otras (Padilla-García & Franco Higuaita., 2021). Por ello, es necesario evaluar el impacto de estas actividades antrópicas sobre los recursos hídricos; y, para conseguir este fin de acuerdo con las condiciones socioeconómicas actuales, es recomendable aplicar metodologías que permitan obtener un diagnóstico sencillo y al mismo tiempo fiable de los recursos naturales, principalmente los que son usados para consumo humano (Rodríguez-Badillo et al., 2016). Por otro lado, el crecimiento poblacional ha traído como consecuencia una alta demanda de los recursos agua y suelo, por su cambio de uso a infraestructura urbana; y como resultado de estos cambios el incremento de vertidos contaminantes sobre los cursos de agua (Osejós Merino et al., 2020).

La subcuenca Zamora Huayco está ubicada junto a una ciudad intermedia al sur de Ecuador, y recibe esta presión urbana. Por lo que se han venido desarrollando estudios relacionados con la cobertura del suelo y sus efectos en el riesgo de erosión hídrica (Ochoa et al., 2015), en la producción de sedimentos (Mejía et al., 2019), y en el modelamiento hidrológico y recarga de acuíferos (Mera et al., 2021). Sin embargo, es importante desarrollar estudios complementarios que determinen específicamente la calidad del agua, frente a las diferentes coberturas del suelo, al ser abastecedora del líquido vital para esta ciudad.

Al hablar de calidad ecológica en cuencas abastecedoras de agua para consumo humano, conviene contar no solo con los análisis fisicoquímicos y microbiológicos; porque muestran una instantánea del momento específico del muestreo. Por lo tanto, es necesario ampliar el horizonte en la obtención de información que represente el impacto atemporal de diferentes actividades antropogénicas, con organismos que ilustren condiciones de calidad del agua. El aplicar diferentes metodologías biológicas como indicadores de calidad, como por ejemplo los macroinvertebrados acuáticos, es lo recomendado; por usar técnicas de fácil acceso y con resultados eficientes (Urdanigo et al., 2019). Como describe la bibliografía, los macroinvertebrados bentónicos tienen una amplia distribución y un muestreo simple, y se atribuye su nombre al ser un grupo de “macroinvertebrados” es decir visibles para su identificación (Leaño-Sanabria & Pérez-Barriga, 2020). Además, éstos son muy sensibles a los cambios ambientales, viven en aguas muy limpias, y huyen o desaparecen cuando el agua presenta agentes extraños o contaminación; lo que los convierte en excelentes indicadores para evaluar calidad del agua (Iñiguez-Armijos et al., 2014).

Por esto, Trama et al. (2020) propone establecer diferentes sitios de muestreo, en los que se analice la variación de familias y órdenes de macroinvertebrados, usando índices bióticos, como los índices de diversidad que relacionan el número de especies observadas (riqueza, uniformidad) con el número de individuos (abundancia). Soria-Reinoso (2016) también menciona el estudio de la parte biótica, usando el índice EPT al ser uno de los más utilizados para valorar la abundancia en porcentaje de estos órdenes con respecto al total de organismos colectados; para determinar calidad de agua (Bravo-Chaves & Restrepo-Franco, 2021). También, Ramírez y Gutiérrez (2014) en un estudio para América Latina, resaltan la importancia del EPT como mecanismo para adoptar

medidas que eviten el deterioro de los ecosistemas acuáticos y contribuyan al equilibrio y funcionalidad ecológica. También, en estudios de evaluación de calidad del agua, el índice biótico andino (ABI) por sus siglas en inglés, que es una adaptación del BMWP para cuencas de altura, toma en cuenta la tolerancia de los macroinvertebrados o sensibilidad a la contaminación (Ríos-Touma et al., 2014).

Finalmente, para determinar la calidad ecológica de las cuencas hidrográficas es importante relacionar la parte biótica antes descrita, con las condiciones abióticas en las vertientes y ríos que forman parte de ellas. Con ese fin, Rodríguez-Valencia et al. (2018), propone usar el protocolo de evaluación visual de arroyos (SVAP).

Por lo anteriormente expuesto, en este estudio se propone evaluar la calidad ecológica de ríos altoandinos, que son fuentes de abastecimiento de agua para ciudades intermedias. Información clave para generar propuestas de gestión integral de cuencas en los GAD, y de apoyo en las estrategias de manejo, monitoreo y control.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

El estudio fue desarrollado en las microcuencas que conforman la subcuenca Zamora Huayco, misma que está ubicada al suroriente de la ciudad de Loja, en el cantón Loja al Sur de Ecuador; entre las coordenadas UTM 955962 – 9548415 S, y 708180 – 698895 E (Figura 1). Esta subcuenca nace en las estribaciones occidentales de la cordillera Real de los Andes, y forma parte del sistema fluvial del río Zamora que vierte sus aguas en el río Marañón hacia el Amazonas. La subcuenca limita al norte con la microcuenca San Cayetano, al sur con la microcuenca Namanda, al este con el Parque Nacional Podocarpus (PNP), y al oeste con el río Malacatos en la hoya de Loja.

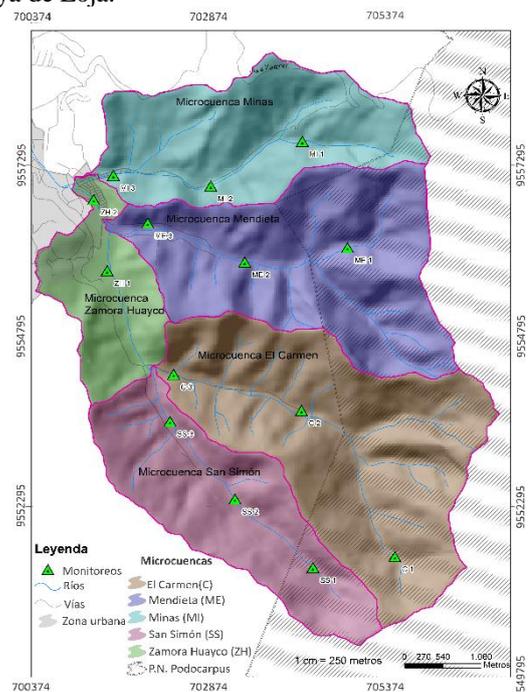


Figura 1. Microcuencas de estudio y las estaciones de muestreo

El rango de elevación de la subcuenca Zamora Huayco va desde los 2560 hasta los 3380 m.s.n.m., misma que está conformada por las microcuencas tributarias: El Carmen, San Simón, Mendieta, Minas y Zamora Huayco como microcuenca receptora. Las tres primeras microcuencas nombradas son fuentes de abastecimiento directo de agua para la ciudad de Loja con cerca del 50% del caudal diario para su potabilización. Las lluvias están presentes durante todo el año, pero los meses en los que se registran eventos fuertes de precipitación van de diciembre a abril. En la estación meteorológica del INAMHI “La Argelia”, se ha registrado un valor de 65.4 mm como máxima diaria en 24 horas, y los meses menos lluviosos son septiembre y octubre. La media anual de precipitación es de 877 mm en la parte baja y 1947 mm en la cabecera de la cuenca (Ochoa et al., 2015).

2.2 Puntos de muestreo

Como el objetivo de este estudio es determinar la calidad ecológica del agua superficial, para conocer la oferta hídrica para esta ciudad, fueron elegidas las microcuencas antes mencionadas; por tener un caudal conocido de baja oferta y alta demanda (50% del caudal requerido para la ciudad). Estas microcuencas reciben una baja presión directa dentro de su territorio, pero por su cercanía con la ciudad de Loja gran parte de las diferentes actividades socioeconómicas dependen de su adecuado manejo y conservación, por ello fueron elegidas 14 estaciones o puntos de muestreo, ubicados geográficamente como los muestra la Tabla 1 y Figura 1.

Tabla 1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo

Código	Latitud UTM	Longitud UTM	Altitud m snm	Punto de muestreo
C1	706117	9551437	2717	Estación 1
C2	704403	9553614	2290	Estación 2
C3	701983	9554403	2205	Estación 3
SS1	704077	9551753	2643	Estación 4
SS2	702623	9553110	2416	Estación 5
SS3	702017	9554333	2228	Estación 6
ZH1	701446	9555751	2128	Estación 7
ZH2	700915	9557159	2118	Estación 8
ME1	703701	9555882	2224	Estación 9
ME2	702587	9556283	2152	Estación 10
ME3	701466	3556403	2107	Estación 11
MI1	702475	9557121	2337	Estación 12
MI2	703032	9557164	2243	Estación 13
MI3	701025	9557130	2134	Estación 14

2.3. Colecta de macroinvertebrados acuáticos

La composición y abundancia de los macroinvertebrados fueron determinadas con el análisis de las muestras tomadas con tres repeticiones en cada uno de los 14 puntos de muestreo; distribuidos en la parte alta media y baja de las microcuencas, y codificadas con relación al nombre de estas, así: Mendieta (ME), Minas (MI) El Carmen (C), San Simón (SS) y Zamora Huayco (ZH). La campaña de muestreo inició en diciembre 2021 y finalizó en marzo 2022, al inicio de la temporada lluviosa que incrementa el caudal en las vertientes.

Para la colecta de los macroinvertebrados fueron aplicadas dos técnicas en todos los puntos, siguiendo la metodología descrita en la guía metodológica de peritaje ambiental para el Ecuador (PRAS, 2020). La colecta con la *red Surber*, que tiene un marco metálico de 30 x 30 cm, y se usa removiendo el fondo acuático por un minuto, con 10 repeticiones en promedio a lo largo de 30 metros de extensión en el lecho del río. Y la colecta con *red de patada*, que tiene 1 m² aproximadamente, para ello al igual que el otro método se removió el fondo del cuerpo de agua, moviendo troncos, piedras y arena. Las mallas de colecta de ambas redes usadas fueron de 0,5 mm. El tiempo de muestreo en total fue de 30 minutos en cada estación, o hasta cubrir un área aproximada de 6 m².

Los individuos colectados fueron separados del exceso de lodo y hojarasca adherida a las redes, y posteriormente fueron colocados en recipientes de boca ancha, etiquetados y que contengan etanol al 90% para su preservación inicial. Luego en el laboratorio de gestión ambiental del ISTS-Loja, se procedió con la clasificación e identificación de los macroinvertebrados, usando las claves taxonómicas y descriptores de identificación disponibles para Sudamérica; y apoyados de la instrumentación básica como son el microscopio y estereoscopio para su observación (Peña et al., 2019).

2.4. Calidad ecológica

Para evaluar la calidad ecológica de las microcuencas abastecedoras de agua para la ciudad de Loja fueron usados algunos índices bióticos, los más comunes son los de diversidad de Margalef, dominancia de Simpson y equidad de Shannon-Wiener, también los índices EPT, ABI-BMWP; y como apoyo de la parte abiótica el protocolo de evaluación visual de arroyos SVAP. Finalmente, se analizará la calidad ecológica de las microcuencas a través de una relación numérica que integre en partes iguales los índices bióticos y abióticos mencionados anteriormente.

2.4.1. Índice abiótico SVAP

Para el SVAP, siglas en inglés de “Stream Visual Assessment Protocol”; se tomó como referencia la guía para la evaluación de calidad de agua superficial propuesta por Rodríguez-Valencia et al. (2018). En este estudio se proponen 15 variables con su puntuación específica dependiendo de las condiciones. El protocolo SVAP fue aplicado en las catorce estaciones de muestreo, siguiendo la fórmula: *Puntaje total / número de criterios evaluados*.

Las condiciones ecológicas fueron evaluadas “in situ” a través de observación directa, apoyados en la identificación visual del estado actual del cauce de cada una de las microcuencas, obteniendo puntajes relacionados con el hábitat ripario y calidad hídrica. En cada estación, fueron determinados los valores promedio, mismos que fueron ubicados dentro de un rango de calidad cualitativo de cinco categorías para su interpretación. Estas categorías van desde 1 que sería muy mala calidad, hasta 10 con excelente calidad. La tabla completa de categorías, así como la lista de variables para

determinar calidad de agua según el índice SVAP se puede revisar con mayor detalle en Rodríguez-Valencia et al. (2018).

2.4.2. Índice biótico EPT

Para calcular el índice de EPT se tomó en cuenta el total de individuos de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, dividido para la abundancia poblacional total de cada una de las estaciones; y este resultado multiplicado por 100 para obtener los porcentajes indicativos de la calidad del agua (PRAS, 2020). La interpretación de los resultados está descrita en cuatro categorías con valores que van desde la cuarta clase desde 0 a 25%, considerada como mala calidad; hasta la primera clase que va de 75 a 100% que es considerada muy buena calidad de agua.

2.4.3. Índice biótico ABI-BMWP

Para el cálculo del índice ABI-BMWP; se asignan valores de 1 a 10 a los macroinvertebrados identificados a nivel de familia (Ríos-Touma et al., 2014). Las familias que no toleran disminución de la calidad de agua tienen puntajes altos, mientras que las familias que toleran la pérdida de calidad tienen puntajes bajos (Soria-Reinoso, 2016). La suma total ponderada de puntajes de todas las familias encontradas en cada estación, proporciona el valor de la calidad del agua en relación con su sensibilidad, de las cuales se tiene cinco categorías de calidad. Estudios como los de Alzate-Gamboa y Moreno-Gutiérrez (2021) y el de Leñaño-Sanabria & Pérez-Barriga, (2020), muestran el puntaje y la interpretación para determinar calidad de agua con este índice.

2.4.4. Índices bióticos de diversidad

Para estimar los índices de diversidad de los macroinvertebrados asociados a todos los puntos de muestreo, se usaron los índices de dominancia de Simpson, de diversidad de Margalef y de equidad de Shannon – Wiener (Soria-Reinoso, 2016). Para analizar la composición de macroinvertebrados de las cinco microcuencas de estudio se realizó un análisis clúster, tomando en cuenta el índice de Simpson, y la matriz de Bray-Curtis para el análisis de similitud entre familias (Iñiguez-Armijos et al., 2014). Las diferencias de la riqueza taxonómica en los cuerpos de agua fueron probadas por medio de un test ANOVA de una vía, en el que se aplicó como factor las estaciones muestreadas, seguido por una prueba de Tukey con p=0.05, para estos análisis se usó el software Past 4.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan a continuación en el orden en el que se describió la metodología, partiendo desde el índice abiótico SVAP hasta los índices bióticos.

3.1 SVAP

Los resultados del índice SVAP utilizado para determinar la salud ambiental se observan en la Tabla 2, junto con la superficie total y de áreas protegidas (AP) que tienen las microcuencas. Zamora Huayco, Minas y El Carmen presentan

condiciones regulares producto de alteraciones antrópicas sobre las condiciones ecológicas naturales de su territorio. La deforestación con prácticas de tala y quemas, agricultura, ganadería, presencia de granjas avícolas y porcinas en la parte media y adicionalmente el vertido de aguas servidas con el lavado de vehículos en la parte baja son las principales alteraciones al ecosistema natural que se observa en las cuencas, muchas de estas por efectos de cercanía con áreas urbanas (Rodríguez et al., 2022). Específicamente la microcuenca Minas presenta impactos adicionales a los mencionados, por facilidad de acceso al limitar con la vía interprovincial Loja – Zamora Chinchipe, lo que ha favorecido a un mayor crecimiento suburbano y construcción de viviendas que aún no cuentan con sistemas sanitarios. Por el contrario, Mendieta y San Simón muestran baja intervención antrópica, y buen manejo de la cobertura natural del suelo; con niveles bajos de erosión, contando con un indicador que podría ser recuperable simplemente con adoptar medidas preventivas, ya que la puntuación de calidad ecológica de estas microcuencas es buena.

La importancia de conservar una buena calidad de agua en estas cuencas radica en la alta demanda para los diferentes usos consuntivos por parte de la población de la ciudad de Loja, que en los últimos años es la que presenta uno de los mayores crecimientos urbanos del país. Por este motivo, se recomienda ordenar el territorio de estas cuencas, y ejercer un mayor control aplicando la normativa local con medidas correctivas que eviten que los impactos sean irreversibles a futuro (Santamaría & Bernal, 2016; Mera et al., 2021).

Tabla 2. SVAP y conservación del suelo de las microcuencas

Micro-cuenca	SVAP	Calidad	Área total (ha)	Área AP (ha)	A P (%)
Mendieta	7,64	Buena	920,75	506,96	55
San Simón	7,39	Buena	630,39	140,16	22
El Carmen	6,62	Regular	1122,91	655,25	58
Minas	6,62	Regular	680,97	30,93	5
Zamora Huayco	6,33	Regular	341,17	0,00	0

Para relacionar la calidad del agua con el uso y conservación del suelo del área de estudio, se usó la información del proyecto “Generación de Geo-información para la Gestión del Territorio a nivel Nacional” que está a escala 1:25000; disponible en: <https://sni.gob.ec/mapa-cobertura-uso>.

La Tabla 2 también muestra la cantidad de área natural protegida (AP) con que cuenta cada microcuenca. Las microcuencas que tienen más área conservada son El Carmen y Mendieta, con un 58% y 55% respectivamente de su superficie total. Esto es principalmente por la incidencia directa del área buffer del PNP (Ochoa et al., 2017). Es importante aclarar que, en este estudio la microcuenca Zamora Huayco es la microcuenca receptora de toda la subcuenca, o el lugar de desembocadura de las cuatro microcuencas tributarias; por este motivo no cuenta con un área protegida en sus 341 ha de superficie, lo que influye y guarda estrecha relación con los resultados del SVAP descritos anteriormente.

3.2 EPT

Los resultados cualitativos y cuantitativos del índice EPT se muestran en la Tabla 3. Este índice toma en cuenta las especies pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera, que son muy sensibles a la contaminación, y requieren aguas con muy buena oxigenación. Observándose un similar comportamiento con los resultados descritos por Montoya-Moreno y Escobar-Gutiérrez (2019) a mayor número de EPT la calidad del agua pasa de buena a muy buena.

Tabla 3. Registro de EPT cuantitativo y cualitativo por microcuencas

Microcuenca	Índice EPT (%)	Clase	Calidad
El Carmen	93,75	I	Muy buena
Zamora Huayco	79,97	I	Muy buena
San Simón	73,92	II	Buena
Mendieta	68,64	II	Buena
Minas	58,39	II	Buena

De acuerdo con estos resultados y la predominancia de los individuos, las aguas a nivel general son de buena calidad. La riqueza de taxones muestra el índice EPT (Iñiguez-Armijos et al., 2014). En este estudio la calidad del agua va de Buena a Muy Buena por los macroinvertebrados encontrados que corresponden a las tres familias y que se consideran sensibles a los factores estresantes como también lo resalta para cuencas Andinas (Chavez-Cruz, 2022).

3.3 ABI-BMWP

El ABI-BMWP estima los puntajes de acuerdo con la tolerancia a la contaminación orgánica, otorgando una puntuación de 10 para los grupos más sensibles y 1 para los más tolerantes a la contaminación (Leaño-Sanabria & Pérez-Barriga, 2020). Similar a lo descrito por Iñiguez-Armijos et al. (2022), en estas cuencas existe variación del ABI-BMWP entre las diferentes microcuencas.

Tabla 4. Calidad del agua y su significado ecológico de acuerdo con el índice ABI-BMWP

Microcuenca	ABI -BMWP	Clase	Calidad	Significado
San Simón	91	II	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas
Mendieta	72	II	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas
El Carmen	66	II	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas
Zamora Huayco	62	II	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas
Minas	54	III	Dudosa	Aguas contaminadas, dudosas

La Tabla 4 describe los valores de ABI-BMWP, que van disminuyendo en relación con el grado de afectación, desde San Simón hasta la microcuenca Zamora Huayco describe a las aguas como ligeramente contaminadas, y en la microcuenca Minas sus aguas están contaminadas, con calidad de agua dudosa.

Estos resultados, como se mencionó en el SVAP, se atribuyen a la evaluación del hábitat en las cuencas, relacionadas con su ubicación y cobertura del suelo. Sin embargo, pueden ser reversibles si se aplican buenas prácticas productivas en el área agrícola-ganadera, manteniendo una visión prospectiva del territorio por los diferentes servicios ecosistémicos que ofrecen estas cuencas (Mera-Parra et al., 2022).

3.4 Índices de diversidad

3.4.1. Diversidad de macroinvertebrados

Fueron colectados un total de 2 266 individuos, pertenecientes a 45 familias (Tabla 5), 11 órdenes, 5 clases (Malacostraca, Insecta, Rhabditophora, Arácnida y Clitellata), y 3 phylums (Artrópoda, Platelminfos y Anélidos). La clase Insecta fue el grupo más abundante con el 98,98%, es decir 2 243 del total de individuos; siendo las microcuencas con mayor número de individuos San Simón con 577 y El Carmen con 506. Este estudio presenta mayor diversidad y abundancia en comparación con lo desarrollado por Arce y Leiva (2009), que colectaron 1 868 individuos agrupados en 22 familias, 8 órdenes, y 6 clases, en 8 estaciones de muestreo (zona alta y baja del río Zamora Huayco). Este aumento puede ser un indicador del manejo adecuado de las zonas de recarga hídrica de las cuencas abastecedoras de agua para la ciudad de Loja, que se ha venido desarrollando entre el Gobierno Local y FORAGUA (Mera-Parra et al., 2022).

La presencia de los organismos colectados es típica de sistemas lóticos poco intervenidos, y se atribuye la abundancia de individuos y familias a dos tipos de sustratos: hojarasca y pedregosos (Morelli y Verdi, 2014); encontrados también en este estudio. Otro aspecto fundamental que se destaca en los estudios a nivel de orden, es la cobertura vegetal presente en los márgenes de las microcuencas (Urdanigo et al., 2019). En este estudio fueron encontradas coberturas con plantación forestal con *Pinus patula* y *Eucalyptus globulus* en los puntos de muestreo 2, 7, 8, 13 y 14, coberturas de bosque nativo en 1, 4 y 12, y coberturas agrícola-ganaderas en los puntos 3, 5, 6, 9 y 11 que describen las Tabla 1 y 2.

Los órdenes con mayor abundancia de macroinvertebrados fueron Plecoptera de la familia Perlidae con 513 individuos (21,4%). El segundo fue el orden Ephemeroptera de la familia Baetidae con 473 individuos (20,7%), en tercer lugar está el orden Leptohiphidae de la familia Ephemeroptera con 360 individuos (15,64%); según Moya et al., (2019), estos son los más intolerantes a la contaminación en cuencas Andinas. Luego están Hidropsychidae del orden Trichoptera con 194 individuos (9,11%), Glossosomatidae de la familia coleópteros con 132 individuos (6,98%), Trichoptera de la familia Leptophlebiidae con 116 individuos (5,91%). Estos órdenes mencionados son los más representativos en relación con el resto en cuanto a porcentajes.

3.4.2 Diversidad alfa

A los parámetros ecológicos evaluados espacialmente los muestra la Figura 2. El índice de diversidad de Shannon presenta valores que van desde 1,61 a 2,28. Se puede observar que la microcuenca San Simón es aquella que tiene mayor

diversidad de individuos. Soria-Reinoso (2016) también relaciona a este índice con el nivel de contaminación del agua, por lo que esta microcuenca tendría buena calidad de agua.

Tabla 5. Número de familias de macroinvertebrados colectados en las microcuencas

FAMILIA	Microcuencas				
	C	SS	ZH	ME	MI
Gammaridae	0	3	0	0	0
Hyalellidae	0	1	0	0	0
Glossosomatidae	0	0	0	0	132
Elmidae	5	21	3	19	0
Ptilodactylidae	4	1	46	5	0
Psephenidae	1	0	0	3	0
Grynidae	0	6	0	0	0
Chrysomelidae	0	1	0	0	0
Curculionidae	0	14	0	0	0
Staphylinidae	10	9	0	3	0
Scirtidae	0	21	1	5	0
Dystiscidae	0	19	1	0	0
Limnichidae	0	0	0	7	0
Tabanidae	1	0	0	0	0
Tipulidae	4	12	0	5	13
Blephariceridae	3	0	0	0	0
Dolichoponidae	1	1	0	0	0
Limoniidae	1	1	2	0	0
Simuliidae	0	5	1	0	0
Empididae	0	0	0	46	0
Culicidae	0	0	0	0	2
Psychodidae	0	1	0	0	2
Chironomidae	0	2	31	7	0
Ceratopogonidae	0	9	0	0	0
Leptophlebiidae	13	0	2	18	83
Baetidae	139	119	127	80	8
Leptohyphidae	138	62	150	2	8
Oigoneuriidae	0	0	7	24	0
Caenidae	0	0	0	0	4
Veliidae	0	2	0	0	0
Gerridae	0	9	0	0	0
Mesoveliidae	0	0	1	0	0
Sialidae	0	1	0	0	0
Libellulidae	0	1	0	0	0
Lumbricidae	0	2	0	0	0
Perlidae	166	195	1	81	70
Xiphocentronidae	1	0	0	0	0
Leptoceridae	9	18	0	0	4
Hidropsychidae	10	39	22	79	44
Polycentropodidae	0	2	0	0	0
Hydroptilidae	0	1	0	0	0
Helicopsychidae	0	4	2	0	8
Philopotamidae	0	1	1	0	0
Planariidae	0	0	0	16	0
Hydrachnidae	0	1	0	0	0
TOTAL	506	584	398	400	378

Mientras que, el índice de dominancia de Simpson muestra valores que van desde 0,14 a 0,27, con una mayor dominancia en la microcuenca Zamora Huayco. El índice de diversidad específica o índice de riqueza de Margalef refiere a la microcuenca Minas con la menor diversidad específica (1,85), y a la San Simón con la mayor (4,87). En el índice de equidad de Pielou los valores están entre 0,58 hasta 0,79; con una mayor abundancia poblacional para la microcuenca Mendieta.

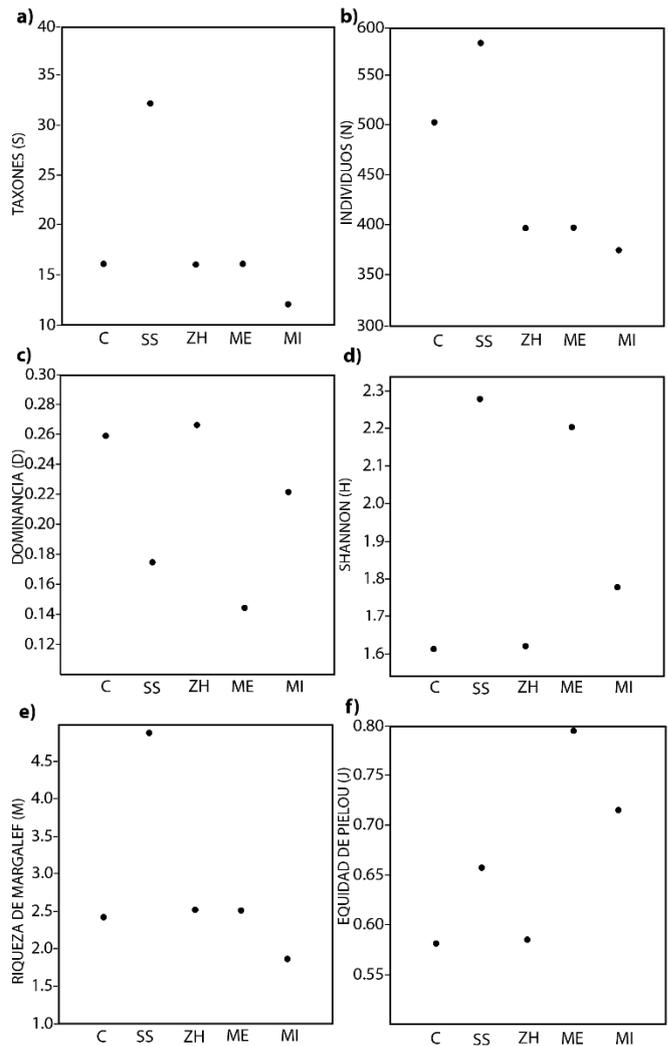


Figura 2. Representación gráfica del índice alfa a) Taxones, b) Individuos, c) Dominancia, d) Shannon, e) Margalef, f) Equitabilidad de Pielou

3.4.3 Densidad Beta

El análisis de similitud se muestra en la Figura 3, donde se observa la relación entre macroinvertebrados con las estaciones de muestreo de las microcuencas. Observándose mayor similitud entre las microcuencas San Simón y Zamora Huayco con un 81%; por el contrario. Una mayor disimilitud se observa en la microcuenca Minas con respecto a todas las demás con cerca del 55%. La Figura 4 muestra otro análisis de grupos usando la matriz de similitud de Bray-Curtis, donde se observan asociaciones entre los diferentes taxones; se evidencian seis grupos (I, II, III, IV, V y VI). El grupo I lo integran las familias (Glossosomatidae, Leptophlebiidae, Baetidae, Leptohyphidae, Perlidae, Hidropsychidae) las cuales fueron las de mayor abundancia en todo el estudio. Abundancia media presentaron: el grupo IV que incluye a las familias (Elmidae, Scirtidae, Dystiscidae, Staphylinidae, Leptoceridae, Tipulidae, Grynidae, Simuliidae, Curculionidae, Ceratopogonidae, Gerridae), y el grupo II que incluye a las familias (Ptilodactylidae, Chironomidae, Psephenidae, Limnichidae, Empididae, Oigoneuriidae, Planariidae). Finalmente, los grupos III, V y VI se caracterizaron por su escasa ocurrencia, ya que fueron taxones poco representados en las microcuencas y con una distribución restrictiva.

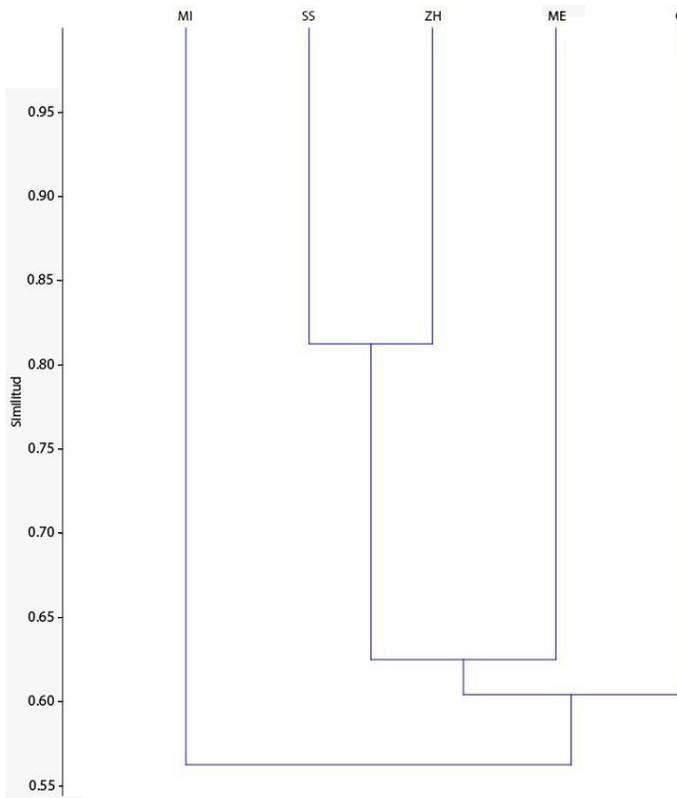


Figura 3. Índice de Simpson, de las estaciones de muestreo en las microcuencas

En el test ANOVA de una vía, para determinar si los valores medios de los 14 puntos de muestreo presentan diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%. La variable número de individuos por familia tuvo un valor de $p = 0,0031$, encontrando diferencias significativas entre la microcuenca San Simón con las microcuencas El Carmen, Zamora Huayco, Mendieta y Minas con un nivel de significancia del 0,05%.

Finalmente, la Tabla 6 muestra el índice de calidad ecológica (ICE) con una ponderación del 25% en los cuatro índices descritos en la metodología de este estudio, donde se resaltan las condiciones de buena calidad en las microcuencas San Simón y El Carmen alcanzando un puntaje de 0,79 y 0,70 respectivamente. A pesar de contar estas microcuencas con buena calidad, se debe mantener su cuidado monitoreando periódicamente su calidad más aún al ser fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad. De igual forma se puede observar que la microcuenca Mendieta está muy cerca de alcanzar un valor que la ubicaría en el rango de buena calidad ecológica; siendo esta última también proveedora de agua para Loja. En la que sus habitantes poseen una conciencia ambiental buena, en donde principalmente el GAD municipal con el apoyo de FORAGUA han desarrollado estrategias oportunas de manejo y conservación a través de ordenanzas para las cuencas de importancia hídrica y natural (Mera-Parra et al., 2022). Sin embargo, se debería continuar impulsando el cuidado con más propuestas y planes de manejo y conservación, para mejorar las condiciones en las demás microcuencas que rodean la ciudad y su interconexión con las parroquias del cantón Loja.

A pesar de que la Tabla 6 muestra la ponderación de los índices (SVAP, EPT, ABI-BMWP y DIVERSIDAD), que ubican

independientemente en los primeros lugares a las tres microcuencas abastecedoras de agua para la ciudad (del área de estudio). Adicionalmente, se evaluó lo sugerido por Moya et al. (2019), la relación entre los índices que integran el ICE, a través de un análisis de correlación de Pearson. Se observó una correlación positiva moderada (0,33) entre el ABI-BMWP y el SVAP, y una fuerte correlación positiva entre el índice de DIVERSIDAD con el ABI-BMWP (0,95), y el EPT (0,94).

En contraste con lo que describe la Tabla 2, que la microcuenca San Simón tiene el 22% de su área protegida, cuenta con el valor más alto del ICE. Por el contrario, la microcuenca Minas con una superficie total similar, tiene solamente el 5% de su área protegida, lo que a su vez genera el valor más bajo del ICE. Por lo que podemos decir que a nivel general se observa una disminución progresiva de la calidad ecológica en relación con el porcentaje de conservación de la cobertura del suelo de las microcuencas; por lo que se recomienda ampliar los programas de reforestación y restauración para todas las microcuencas. También es recomendable hacer monitoreos espacio-temporales, en los que se pueda incluir otras variables, como parámetros fisicoquímicos complementarios. Adicionalmente, se puede relacionar el ICE con los efectos de prácticas de conservación de suelos y condiciones climáticas (Arteaga-Marín et al., 2022). O relacionar este, con impactos antropogénicos específicos; por ejemplo, en cuencas con efluentes puntuales de contaminación como vertidos de granjas de animales, o áreas de producción agrícola intensiva que usan gran cantidad de pesticidas.

Tabla 6. Índice de calidad ecológica (ICE) de las microcuencas de estudio

Índices	El Carmen	San Simón	Zamora Huayco	Mendieta	Minas
SVAP	24,33	27,75	23,75	28,67	27,75
ABI-BMWP	16,50	22,67	15,38	18,00	13,42
EPT	23,44	18,48	19,99	17,16	14,60
DIVERSIDAD	5,40	10,20	5,43	5,63	4,34
ICE	0,70	0,79	0,65	0,69	0,60
Calidad	Buena	Buena	Media	Media	Media

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las microcuencas bajo estudio presentaron una dominancia en familias de macroinvertebrados que, demandan de buena calidad de agua y que son altamente sensibles a la contaminación.

Según el índice de diversidad, se pudo determinar que las microcuencas San Simón y El Carmen cuentan con una alta diversidad biológica. En todas las microcuencas se aprecia una relación entre las especies de macroinvertebrados y la cobertura vegetal protegida presente. En el análisis de similitud el menor peso es para la microcuenca Minas, que también tiene los valores más bajos de ICE y conservación de la cobertura vegetal natural.

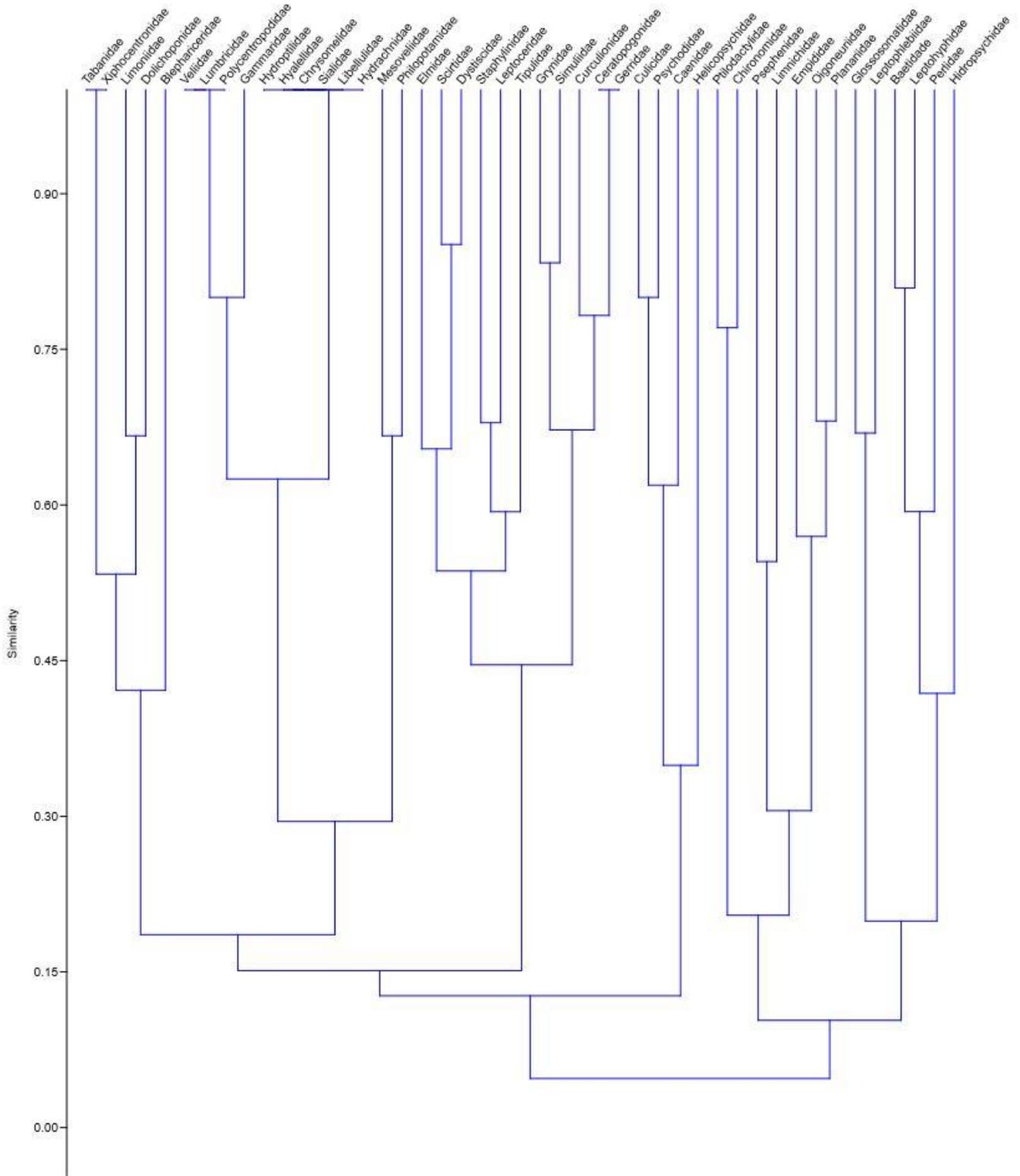


Figura 4. Dendrograma de similitud entre familias de macroinvertebrados

El ICE, es adecuado para evaluar el estado ecológico en cuencas abastecedoras de agua; por lo que se recomienda su uso para el diagnóstico de las mismas, y poder proponer la gestión integral de cuencas, en los que se establezca su monitoreo periódico o simulando diferentes escenarios ambientales ya sean climáticos, de uso, manejo y/o conservación.

REFERENCIAS

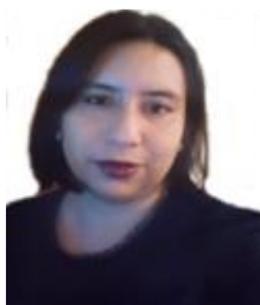
Alzate Gamboa, I. J., & Moreno Gutiérrez, L. N. (2021). Evaluación de la calidad del agua del Río Chisacá en la localidad de Usme mediante macroinvertebrados acuáticos empleando el índice BMWP/Col y el índice ASPT. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/29237>

- Arce, M.F., y Leiva, A. (2009). *Determinación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo* [Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica Particular de Loja]. RiUTPL. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/474>
- Arteaga-Marín J, Mejía-Ventimilla D, Ochoa-Cueva P. 2022. Estimación de la producción de sedimentos por prácticas de manejo de suelos en una cuenca transfronteriza. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 38: 1–12. <https://doi.org/10.20937/rica.54315>
- Bravo Chaves, L.R. & Restrepo Franco, G.M. (2021). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en dos ecosistemas lóticos en El Doncello, Caquetá. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 17(1), 57-71. <https://doi.org/10.18359/rfcb.5432>
- Chavez-Cruz, R. (2022). Evaluación de la calidad del agua mediante la bioindicación de macroinvertebrados acuáticos, en un tramo del río Toribio, Ciénaga, Magdalena, Colombia. *Ciencia e Ingeniería*, 9(2). <http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei>
- Damián-Carrión, D., Recalde Moreno, C., Marquez, C., Rodríguez Llerena, M., y Ayala, J. (2017). Priorización de microcuencas en los Andes ecuatorianos usando parámetros WSA y GIS. *Revista Geográfica Venezolana*, 58(1), 38-61. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347753792004>
- Íñiguez-Armijos, C., Leiva, A., Frede, H.G., Hampel, H., Breuer, L. (2014). Deforestation and Benthic Indicators: How Much Vegetation Cover Is Needed to Sustain Healthy Andean Streams? *PLoS ONE* 9(8), e105869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105869>
- Íñiguez-Armijos, C., Tapia-Armijos, M. F., Wilhelm, F., & Breuer, L. (2022). Urbanisation process generates more independently-acting stressors and ecosystem functioning impairment in tropical Andean streams. *Journal of Environmental Management*, 304, 114211. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114211>
- Leaño-Sanabria, J.J., & Pérez-Barriga, D. (2020). Determinación de la Calidad del Agua mediante el índice BMWP/BOL (bioindicadores ecológicos) del Río Trancas, Municipio de Entre Ríos-Tarija. *Acta Nova*, 9(4), 567-591. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892020000100007&script=sci_arttext
- Mejía, D., Ochoa, P., Samaniego, N., Félix, R., Arteaga, J., Crespo, P., Oñate, F., Fries, A. (2019). River Discharge Simulation in the high Andes of Southern Ecuador using high-resolution radar observations and meteorological station data. *Remote Sensing*, 11, 2804. <https://doi.org/10.3390/rs11232804>
- Mera, C., Oñate, F., Massa, P., Ochoa, P. (2021). Establishment of the Baseline for the IWRM in the Ecuadorian Andean Basins: Land Use Change, Water Recharge, Meteorological Forecast and Hydrological Modeling. *Land*, 10, 513. <https://doi.org/10.3390/land10050513>
- Mera-Parra, C., Massa-Sánchez, P., Oñate-Valdivieso, F., Ochoa-Cueva, P. (2022). Territorial Prospective to Sustainability: Strategies for Future Successful of Water Resource Management on Andean Basins. *Land*, 11, 1100. <https://doi.org/10.3390/land11071100>
- Moya, N., Santander, M., & Fernández, B. (2019). Evaluación de la calidad ecológica de los ríos Quirpinchaca y Cachimayu usando macroinvertebrados como bioindicadores de contaminación. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 17(19), 11-22. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2225-87872019000100002&script=sci_arttext
- Montoya-Moreno, Y., & Escobar-Gutiérrez, A.F. (2019). Los macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica del agua en una quebrada andina, Antioquia-Colombia. *Revista Politécnica*, 15(29), 65-81. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n29a6>
- Morelli, E., y Verdi, A. (2014). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 8(4), 1160-1170. <https://doi.org/10.7550/rmb.45419>
- Ochoa, P., Fries, A., Montesinos, P., Rodríguez, J.A., & Boll J. (2015). Spatial estimation of soil erosion risk by Land-cover change in the Andes of Southern Ecuador. *Land Degradation and Development*, 26, 565–573. <https://doi.org/10.1002/ldr.2219>
- Ochoa, P.A., Chamba, Y.M., Arteaga, J.G., Capa, E.D. (2017). Estimation of Suitable Areas for Coffee Growth using a GIS Approach and Multicriteria Evaluation in regions with Scarce Data. *Applied Engineering in Agriculture*, 33, 841–848. <https://doi.org/10.13031/aea.12354>
- Osejos, M., Merino, M., Merino, M., y Solis, J. (2020). Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua de la parte céntrica del río Jipijapa - Ecuador. *Recimundo*, 4(4), 454-467. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.454-467](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.454-467)
- Padilla García, C.A., & Franco Higueta, Y.A. (2021). Evaluación de la calidad del agua y su relación con factores antrópicos y del hábitat en el tramo medio del río Gaira en la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/4854>
- Peña, S.A., Bohórquez, H.A., Barrera, A.K., Salamanca, S.S., Jiménez, D.A. y Botello, W.A. (2019). Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La Calabozza (Yopal, Casanare), *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(25), 14-22. <https://doi.org/10.31908/19098367.4010>
- PRAS Programa de Reparación Ambiental y Social del Ministerio del Ambiente. (2020). Guía metodológica de peritaje ambiental – Herramienta para la reparación integral de daños ambientales, 2da. Edición. Quito: PRAS. <http://pras.ambiente.gob.ec/inicio>

- Ramírez, A., & Gutiérrez-Fonseca, P.E. (2014). Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 9-20. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000600001&lng=en&tlng=es
- Ríos-Touma, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, 249-273. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442014000600017&script=sci_arttext
- Rodríguez Valencia, N., Quintero Yepes, L. V., Gómez Zuluaga, G. A., Bohórquez Zapata, V. L., González Durán, C. M., Osorio Ocampo, A. F., de Miguel García, A., Harmsen, J., Wolters, W., & Miguel Ayala, L. (2018). *Guía para la evaluación de la calidad del agua superficial en microcuencas cafeteras de Colombia*. APC Columbia. 206 p.
- Rodríguez, S., Jaramillo, S., Zurita, D., Valdiviezo, A., & Choloquina, C. (2022). Evaluación de la Calidad del Agua de Riego Proveniente de la Acequia Tilipulo Enriquez-Cotopaxi Mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS). *Revista Politécnica*, 49(2), 55-64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.06>
- Rodríguez Badillo, L., Ríos Guayasamín, P., Espinosa Chico, M., Cedeño Loja, P. y Jiménez Ortiz, G. (2016). Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, en la Amazonía Ecuatoriana. *Hidrobiología*, 26(3), 497-507. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000300497&lng=es&tlng=es
- Soria-Reinoso, I.F. (2016). *Evaluación de la Calidad Ecológica del río Jatunhuayco en la zona asociada a la Captación Jatunhuayco (EPMAPS) utilizando comunidades de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua* [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital - EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16736>
- Santamaría, E.E, y Bernal, J.A. (2016). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua en la cuenca alta del río Chiriquí Viejo, provincia de Chiriquí, Panamá. *Tecnociencia*, 18(1), 5-24. <https://uptv.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/artic/view/129>
- Trama, F.A., Salcedo Gustavson, S.A., Demarcy, L., Erbure Cardozo, L.E., Jara Palomino, B.A., Muñoz Curo, F.E., Rios Alvarado, J.R. & Rizo Patrón Viale, F.L.S. (2020). Índices de calidad de habitat y macroinvertebrados en siete Cuencas del Parque Nacional Yanachaga Chemillén y su Zona de Amortiguamiento: conservación y manejo del bosque ribereño en el Perú. *Revista Peruana de Biología*, 27(2), 149-168. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v27i2.16730>

- Urdanigo, J.P., Díaz Ponce, M., Tay-Hing Cajas, C., Sánchez Fonseca, C., Yong Benítez, R., Armijo Albán, K., Guerrero Chuez, N., & Mancera-Rodríguez, N.J. (2019). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en quebradas con diferente cobertura ribereña en el bosque Protector Murocomba, Ecuador. *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 861-878. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i4.35190>

BIOGRAFÍAS



Fabiola, Martínez, Ingeniera en Gestión Ambiental por la Universidad Técnica Particular de Loja, Maestría en Ingeniería Ambiental y Seguridad Industrial en la Universidad Nacional de Piura. Experiencia en Monitoreo Ambiental, Estudios de Impacto Ambiental, Ecología, Biología de la conservación. Docente-investigador y asesora de proyectos de investigación de fin de carrera de pregrado en la Tecnología Superior en Desarrollo Ambiental del Instituto Superior Tecnológico Sudamericano.



Cristhian, Prieto, Ingeniero en Gestión Ambiental por la Universidad Técnica Particular de Loja, Magister en Seguridad Industrial con mención en Prevención de Riesgos Laborales. Experiencia en Sistemas de Información Geográfica, Estudios de Impacto Ambiental, Seguridad Industrial. Coordinador, docente-investigador de la Tecnología Superior en Desarrollo Ambiental del Instituto Superior Tecnológico Sudamericano.



Paulina, Martínez, Licenciada en Ciencias de la Educación con especialidad de Química y Biología, por la Universidad Nacional de Loja, Magister en Psicopedagogía del Centro Universitario Internacional de Madrid CUNIMAD. Cuenta con formación en análisis químico. Vicerrectora Académica, Coordinadora de Vinculación con la Sociedad y Docente-investigadora del Instituto Superior Tecnológico Sudamericano.



Pablo, Ochoa, PhD en Ciencias y Tecnologías Agrarias, de los Recursos Naturales y de Desarrollo Rural por las Universidades de Córdoba y Málaga (España). Ingeniero en Gestión Ambiental por la UTPL. Docente en esta Universidad desde el 2005 en las modalidades a distancia y presencial. Coordinador y participante en estudios relacionados con el impacto de uso, manejo y conservación del suelo y agua en cuencas hidrográficas.