

Evaluación de la calidad ecológica del agua en la cuenca alta del río Imaza (Perú)

Evaluation of the ecological quality of water in the upper basin of river Imaza (Peru)

^aFernando Corroto¹, Jeimis Royler Yalta Meza², Héctor Vladimir Vásquez Pérez³ y Oscar Andrés Gamarra Torres^{1*}

RESUMEN

Las actividades agropecuarias y el consumo de agua de las poblaciones humanas producen una serie de contaminantes que disminuyen la calidad del agua de los cuerpos superficiales. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar integralmente la calidad fisicoquímica, biológica e hidromorfológica de la cuenca alta del río Imaza, con la idea de conocer la calidad ecológica en la que se encuentra. Se realizaron análisis fisicoquímicos y colectas de macroinvertebrados acuáticos a lo largo de 14 estaciones de muestreo, cuyos resultados constataron la contaminación existente en el área y las principales causas de la misma. El deterioro de la vegetación de ribera y la modificación de los microhábitats existentes en cada estación de muestreo estuvieron significativamente relacionados con las estaciones de referencia evaluadas, por lo que se concluye que estas son las principales razones por las que los valores de los índices bióticos, ABI y BMWP-Col, fueron en promedio “Aceptable” y “Muy Bueno”, respectivamente.

Palabras clave: Macroinvertebrados acuáticos, hidromorfología, condiciones de referencia, QBR-And

ABSTRACT

Agricultural and livestock activities, and water consumption of human populations produce a number of contaminants which decrease the quality of surface water bodies. This research aimed to evaluate physicochemical, biological and hydromorphological quality of the upper basin of the Imaza river, with the idea of meeting the ecological quality in which it is been. Physicochemical analysis and collections of aquatic macroinvertebrates were made along 14 sampling stations, and its results verified that it existed pollution in the area and the main causes of it. The decline of riparian vegetation and the alteration of existing microhabitats in each sampling station were significantly related with the reference stations evaluated, so these are the reason why the values of biotic index, ABI and BMWP-Col, were on average “Acceptable” and “Very Good”, respectively.

Keywords: aquatic macroinvertebrates, hydromorphology, reference conditions, QBR-And

¹Biólogo. Docente de la UNTRM.

²Ingeniero Agroindustrial. Investigador del INDES-CES, UNTRM. e-mail: ryalta@indes-ces.edu.pe

³Ingeniero Zootecnista. Investigador del INDES-CES, UNTRM. E-mail: hvasquez@indes-ces.edu.pe

^ae-mail: fcorroto@indes-ces.edu.pe

*Autor de correspondencia: ogamarra@indes-ces.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

Los ríos altoandinos se caracterizan por presentar formas y aspectos muy diversos, desde ríos con fuertes pendientes y cascadas, a lagunas en relieves más suaves (Jacobsen, 2008). Cada vez es más claro que este escenario de montañas conforma una de las áreas con mayor riqueza en especies de flora y fauna en el mundo (Reynel, 2009) y resulta de especial relevancia cuando hablamos de cabeceras de cuenca, debido a la repercusión que tienen las alteraciones en esta parte de la cuenca hidrológica sobre los tramos inferiores de la misma. La razón es que todos, y cada uno de los elementos que conforman una cuenca hidrológica, actúan de manera conjunta e interrelacionados, que crea un ambiente natural definido (Maderey y Jiménez, 2001). Sin embargo, los conflictos entre la explotación y la preservación de los ecosistemas son frecuentes en América del Sur, y en particular su efecto sobre los ecosistemas acuáticos es incluso más dramático (Prat *et al.*, 2009). Por esta razón, se hace indispensable el monitoreo de estos cursos con la mayor asiduidad posible para evitar alteraciones irreparables en los mismos, y con el objetivo de encontrar los motivos que han provocado las perturbaciones, en caso de haberlas, para tratar de subsanarlas.

Esta situación es compleja cuando se deben definir los parámetros a tener en cuenta, considerando que a medida que se avanza en la comprensión del comportamiento de ríos y arroyos, se está haciendo sobre sistemas sujetos a una degradación y/o modificación de su estado natural (Gergel *et al.*, 2002; Palma *et al.*, 2009).

La mayoría de los parámetros utilizados para la evaluación de la calidad de las aguas son de carácter físico-químico, especialmente los basados en la composición química (Alba-Tercedor, 1996). Sin embargo, desde hace dos décadas, ha cobrado especial importancia la evaluación biológica de la calidad de los ecosistemas fluviales, así como el ajuste de sus fundamentos teóricos y metodológicos a las particularidades de cada región o país (Medina-Tafur *et al.*, 2008).

En este sentido, y en consonancia con la ecorregión en cuestión, se han desarrollado índices de calidad bioló-

gica en el marco de la elaboración del Protocolo de Evaluación de Calidad Ecológica de Ríos Andinos (CERA) para los ríos situados sobre los 2000 m s. n. m., que propone el protocolo para Calidad de Bosque de Ribera Andino (QBR – And) y el Índice Biótico Andino (ABI), para el biomonitoreo con macroinvertebrados acuáticos (Acosta *et al.*, 2009).

La presente investigación pretende evaluar integralmente la calidad físico-química, biológica e hidromorfológica de la cuenca alta del río Imaza, uno de los principales tributarios del río Marañón, en la región Amazonas.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Zona de estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca alta del río Imaza, tributario del río Marañón. Este recorre, de sur a norte, una distancia de 185 km aproximadamente (Figura 1). El área de su cuenca es de 355 758 ha, que representan el 8,46 % del territorio de la región Amazonas. Posee un caudal muy variable, con un promedio de 10 m³/s. En su recorrido, da sustento a muchas comunidades nativas que dependen en cuanto a alimentación, bebida, aseo y actividades recreativas.

Esta investigación fue realizada durante los meses de enero y febrero del año 2014. Se establecieron 14 estaciones de muestreo a lo largo de la cuenca principal y tributarios más importantes (Figura 2). Dentro de la provincia de Chachapoyas se trabajó en los distritos de Granada (Estación de muestreo Alto Imaza: EAI-02 y EAI-03), Olleros (EAI-05, EAI-07 y EAI-08), Quinjalca (EAI-01 y EAI-04) y Asunción Goncha (EAI-06 y EAI-09); mientras que en la provincia de Bongará, los distritos muestreados a lo largo de los cuales transcurría el río fueron Jumbilla (EAI-11 y EAI-12), Chishquilla (EAI-10) y Corosha (EAI-13 y EAI-14).

Se realizó la recopilación y análisis de la información satelital a través de imágenes auxiliares del Google Earth Pro 4.3, previamente georreferenciadas, y cartografía de la zona de estudio (cartas nacionales 11g, 11h, 12g, 12h y 13h del IGN escala 1:100 000).

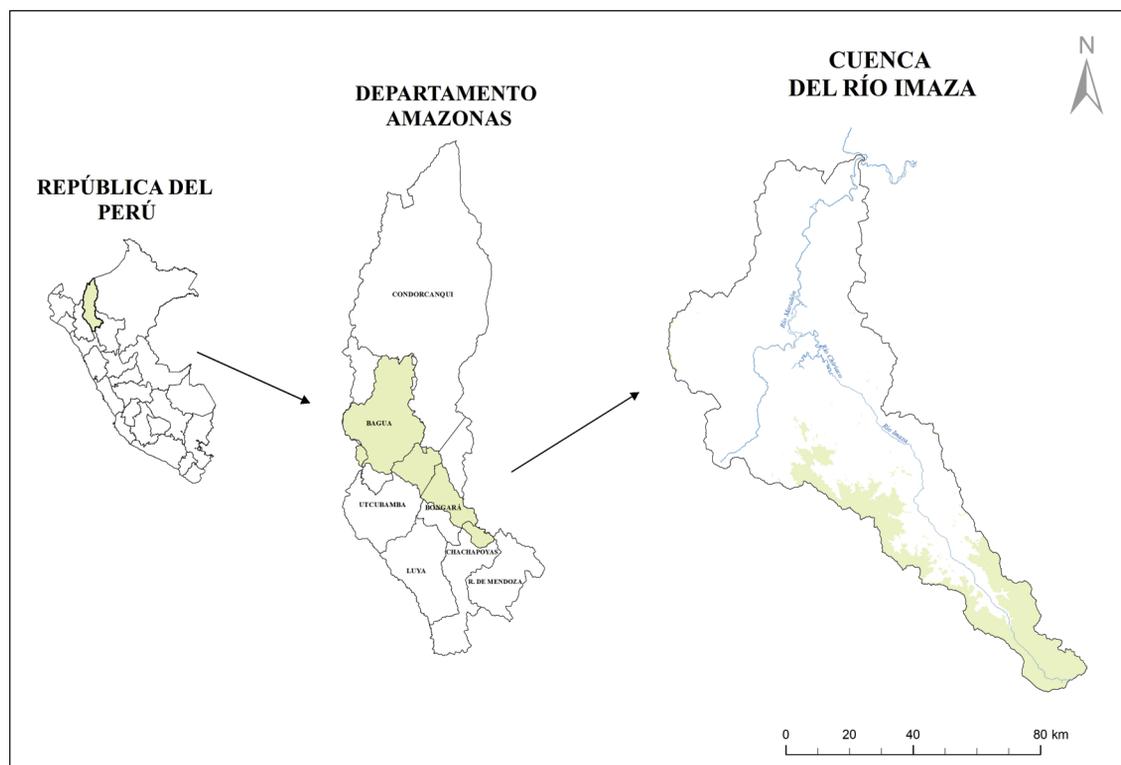


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio, en la cuenca del río Imaza, departamento Amazonas

Asimismo, se empleó el software ArcGIS v.10.1 para delimitar la cuenca alta del río Imaza. Esta información sirvió para planificar las actividades en la etapa de levantamiento de información en campo.

Geomorfología de la cuenca

Entre las localidades de Granada y Asunción Goncha, el lecho del río presenta una morfología meandriforme, la que, conforme pierde altitud, antes de llegar al distrito de Jumbilla, comienza a hacerse más lineal.

Desde un punto de vista fitogeográfico, según León *et al.* (2006), el área muestreada está enmarcada dentro de las regiones ecológicas de los Bosques Muy Húmedos Montanos (BMHM), y la ecorregión Mesoandina (MA). De la estación EAI-01 a la EAI-09, se engloban dentro de la primera región ecológica, mientras que la segunda comprende de la EAI-10 a la EAI-14.

El clima en la cuenca alta está relacionado con la altitud; en el área correspondiente a la provincia de Chapapoyas, es relativamente frío, con temperaturas medias anuales de 10,83 °C, y está definido por una precipitación y una humedad media anual de 703,8 mm y de 86,9 %, respectivamente. Estos datos fueron obtenidos de la Estación meteorológica del Instituto

de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, situada en el distrito de Olleros. Por otra parte, y para concretar más los datos climatológicos a lo largo de la cuenca alta del río Imaza, se extrajo información de la Estación Meteorológica, ubicada en el distrito de Agua Dulce (provincia de Bongará) por la misma institución. Esta estación se corresponde climatológicamente con los puntos de muestreo situados en la provincia de Bongará. De este modo, los datos obtenidos fueron de 13,16 °C de temperatura media anual, 682,2 mm de precipitación, y 83,7 % de humedad relativa, para las estaciones de muestreo situadas en esta segunda provincia.

Índices de calidad de agua

Macroinvertebrados Acuáticos

Para la ubicación de las estaciones de muestreo se siguió la “Metodología F.E.M. para la evaluación del estado ecológico de los ríos Mediterráneos” (Prat *et al.* 2012), adaptando algunas características a la realidad existente en esta área. Dentro de esta metodología se usó el protocolo GUADALMED (Jaimez-Cuéllar *et al.*, 2002) para la captura de macroinvertebrados acuáticos, con el objetivo de obtener datos

semicuantitativos. Además, el empleo de este protocolo permite usar los índices BMWP-Col (Roldán, 2003), y ABI (Acosta *et al.*, 2009). Por lo tanto, se usó una Red tipo D manteniendo el mismo esfuerzo de muestreo, tanto en tiempo como en área,

en cada uno de los microhábitats seleccionados en cada estación. La identificación en laboratorio de los ejemplares colectados se hizo mediante el uso de claves taxonómicas (Domínguez y Fernández, 2009).

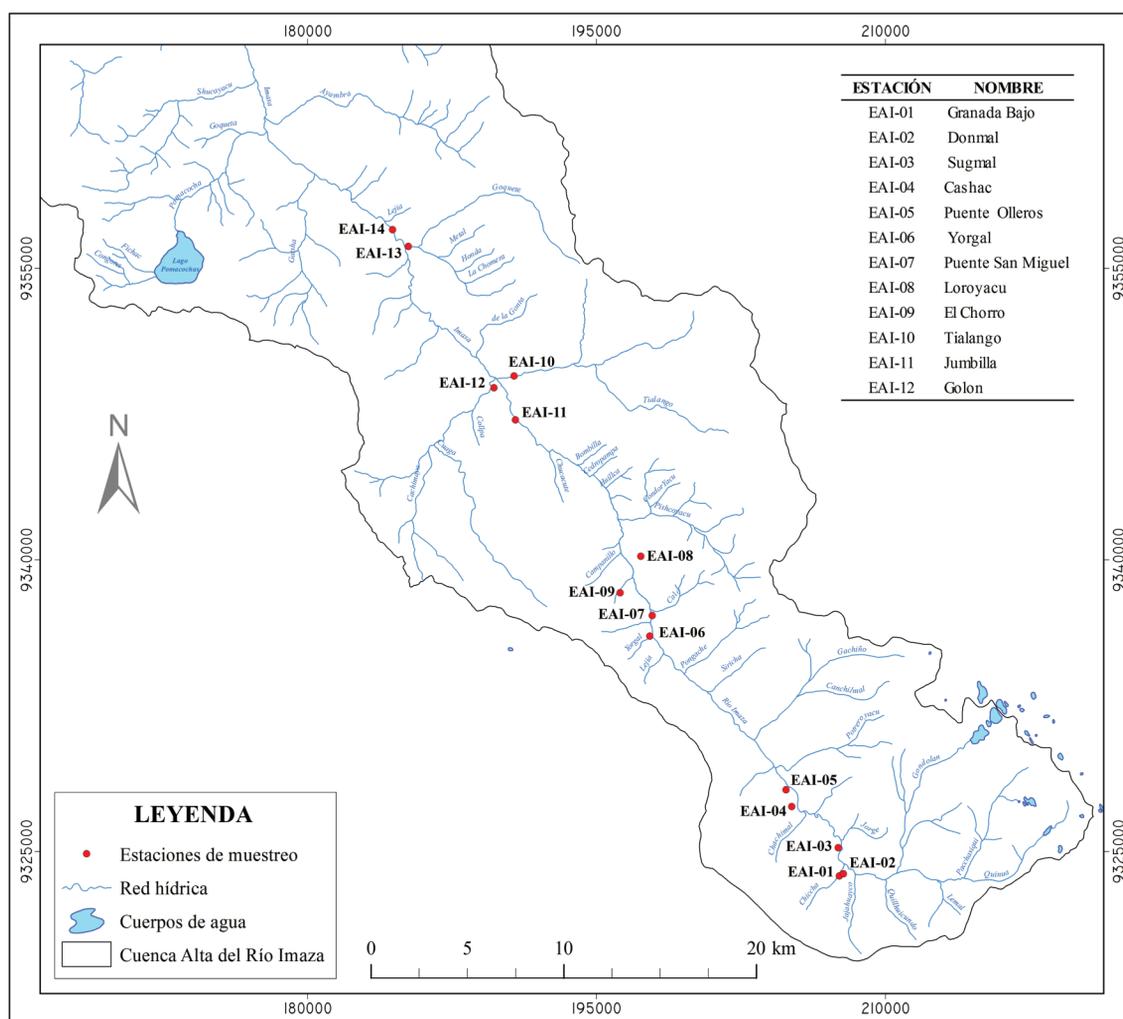


Figura 2. Situación de los puntos de muestreo establecidos a lo largo de la cuenca alta del río Imaza

Análisis Físicoquímicos

Simultáneamente al muestreo de macroinvertebrados, y siguiendo de nuevo la Metodología F.E.M., se realizaron los análisis físicoquímicos recomendados en campo (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura del agua), y se colectaron muestras de agua para su análisis *a posteriori* en el laboratorio (dureza, nitratos y fosfatos). Los datos físicoquímicos del agua fueron evaluados a partir de su comparación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA) (MINAM, 2008).

Índices de calidad del entorno

QBR-And

Para cuantificar la calidad ambiental de las riberas, se utilizó en cada punto de muestreo de la cuenca alta del río Imaza una adaptación del QBR (Munné *et al.*, 1998; Munné *et al.*, 2003), desarrollado por Acosta *et al.* (2009), y denominado QBR-And, que en su forma más completa incluye cuatro apartados: grado de cubierta de la ribera, estructura de la cubierta, calidad de la cubierta y grado de naturalidad del canal fluvial.

IHF

El índice de hábitat fluvial (IHF) se utilizó con el fin de valorar la capacidad del hábitat físico para albergar una fauna determinada (Pardo *et al.*, 2002). Este índice consta de siete bloques en los que se valora, de manera independiente, la presencia de distintos componentes en el cauce fluvial. Entre ellos, aspectos físicos del cauce relacionados con la heterogeneidad de hábitats y que dependen en gran medida de la hidrología y del sustrato existente.

Condiciones de Referencia

Para la evaluación de la calidad ecológica de un río es necesario contar con información de estaciones de muestreo de referencia. De esta manera, y con el objetivo de establecer comparaciones entre estas estaciones de referencia con un buen estado de conservación y las estaciones que presentaban una alteración perceptible, se utilizó el protocolo desarrollado por Acosta *et al.* (2009) de "Condiciones de referencia en ríos andinos".

Análisis de Datos

Los puntajes para cada estación obtenidos a través de los índices usados (BMWP-Col, ABI, QBR-And, IHF y Condiciones de Referencia en Ríos Andinos) se almacenaron en una tabla Excel. Posteriormente, se realizaron los análisis estadísticos para determinar la relación entre las estaciones de referencia y la puntuación obtenida para el QBR-And, el IHF, el BMWP-Col y el ABI. Por otro lado, para definir si existían diferencias significativas en los puntajes obtenidos para los índices de entorno y de macroinvertebrados y el de condiciones de referencia, se realizó una prueba T de Student. Estos análisis fueron realizados usando el programa estadístico SPSS, versión 22.0.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**Macroinvertebrados Acuáticos**

Fueron colectados un total de 4813 individuos pertenecientes a 36 familias y englobadas en 11 órdenes. Los órdenes con mayor representatividad dentro del estudio fueron Ephemeroptera (40,9 %), Diptera (22,8 %), Trichoptera (13,2 %) y Plecoptera (9,9 %). Dentro del orden Ephemeroptera hay que resaltar la gran cantidad de Baetidae encontrados (1700 individuos), una familia que se permite tolerancias amplias en relación a la temperatura y a la contaminación (Flowers y De la Rosa,

2010). Contrariamente ocurre con el orden Trichoptera, donde la gran mayoría de las especies son sensibles a la contaminación del agua y a la alteración de su hábitat, incluso en las zonas de las riberas (Springer, 2010). Entre los órdenes con mayor número de individuos hallados, se encuentra el orden Plecoptera, el cual posee la característica determinante de una rápida respuesta a cambios en el ambiente, ya que su sensibilidad, generalmente, los convierte en indicadores de excelente calidad del agua (Gutiérrez-Fonseca, 2010). Sin embargo, en este estudio, su presencia en 9 de las 14 estaciones de muestreo prueba una tendencia contraria a lo descrito en la teoría y en otras investigaciones (e.j. Giacometti y Bersosa, 2006; Xu *et al.*, 2014).

Por último, dentro de los órdenes más colectados se encuentra el orden Díptera, de los cuales, solo algunas familias se encuentran situadas en los índices entre los organismos más sensibles a los impactos negativos en el ambiente.

En cuanto a los índices ABI y BMWP-Col, los valores promedio finales fueron de una calidad de aguas "Muy Buena" para el primero, y de "Aceptable" para el segundo (Tabla 2), resultados análogos a los encontrados en otros estudios realizados en cabeceras de cuencas altoandinas sin influencia de explotaciones mineras en sus cuencas (Villamarín *et al.*, 2013; Papadaki *et al.*, 2016).

Análisis Físicoquímico

Los resultados de los análisis físicoquímicos realizados, tanto en campo como posteriormente en el laboratorio, están detallados en la Tabla 3. Como se aprecia en los datos, un gradiente altitudinal de aproximadamente 1000 metros de altitud entre la estación EAI-01 y la EAI-14 mostró una variación en la temperatura del agua de 3,1 °C. Este matiz es muy destacable ya que la temperatura regula, entre otras cosas, la solubilidad de O₂ y CO₂ en el agua y acelera la disolución de minerales (Butturini *et al.*, 2009). Los resultados del análisis demuestran que la conductividad, la dureza, el oxígeno disuelto, así como los nitratos y los fosfatos se encuentran dentro de los rangos permisibles establecidos en los ECA para agua en la categoría de conservación del ambiente acuático en ríos de sierra (MINAM, 2008), ya que las cabeceras de cuenca con pocas presiones mineras, industriales o agropecuarias suelen presentar niveles bajos de contaminantes (Chán

y Peña, 2015). La única excepción corresponde a la estación EAI-05, donde los valores de los fosfatos casi triplican el límite máximo permitido para la categoría anteriormente citada, estos podrían derivarse del uso de detergentes para el lavado de ropa procedentes de la cercana localidad de Cashac (distrito de Quinjalca). Con respecto al pH del agua, este superó los valores decretados por los ECA del agua en cuatro de los puntos (EAI-03, EAI-04, EAI-05 y EAI-09). Sin embargo, el hecho de que aparezcan estos valores en las aguas

naturales se debe a la naturaleza del terreno atravesado, y en este caso el área conocida como Alto Imaza está considerada como un espacio eminentemente calcáreo. Asimismo, el pH se ve alterado cuando hay degradación de materia orgánica (Malaver *et al.*, 2014), algo que podría ocurrir en las estaciones EAI-03, EAI-04 y EAI-05, donde el vertido de las aguas residuales al río, especialmente en la localidad de Cashac, pueden hacer esperables estos datos.

Tabla 2. Calidad de agua según los índices BMWP – Col y ABI en la cuenca del río Imaza

ESTACIÓN	BMWP - Col		ABI	
	Puntaje	Calidad de agua	Puntaje	Calidad de agua
AI-1	66	Aceptable	94	Muy Bueno
AI-2	72	Aceptable	98	Muy Bueno
AI-3	60	Dudosa	98	Muy Bueno
AI-4	59	Dudosa	89	Muy Bueno
AI-5	62	Aceptable	88	Muy Bueno
AI-6	45	Dudosa	63	Bueno
AI-7	51	Dudosa	77	Muy Bueno
AI-8	101	Buena	153	Muy Bueno
AI-9	68	Aceptable	120	Muy Bueno
AI-10	64	Aceptable	92	Muy Bueno
AI-11	51	Dudosa	67	Bueno
AI-12	65	Aceptable	89	Muy Bueno
AI-13	55	Dudosa	62	Bueno
AI-14	46	Dudosa	56	Bueno
PROMEDIO	62	Aceptable	89	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia – aplicación de los índices BMWP-Col y ABI

Por el contrario, estas justificaciones no son válidas para la estación EAI-09, situada aguas abajo de la catarata de Yumbilla, pero en la misma quebrada. En este caso, el origen de la contaminación es difuso. Los residuos sólidos y/o líquidos proceden de fuentes difíciles de identificar, generalmente en zonas amplias en las que coexisten múltiples focos de emisión. Se podrían definir como posibles fuentes de contaminación de origen difuso a la agricultura, la ganadería (generalmente extensiva en el

área) y las actividades forestales (Pardo *et al.*, 2012).

QBR-And e IHF:

Los valores extraídos del uso de los índices de calidad del entorno (QBR e IHF) están expuestos en la Tabla 4. Dichos valores no siguen la tendencia que se esperaba al estudiar otros trabajos (Kutschker *et al.*, 2009; Palma *et al.*, 2009), donde los puntajes en las estaciones situadas aguas arriba son por lo general superiores a los que aparecen en estaciones aguas abajo.

Tabla 3. Resultados del análisis fisicoquímico del agua en la cuenca alta del río Imaza

Estación	Nombre del sector	C.E. (mS/cm)	pH	Temperatura (°C)	O.D. (mg/l)	Ca + Mg (meq/l)	NO ₃ -N (mg/l)	PO ₄ (mg/l)
EAI-01	Granada Bajo	0,15	8,19	12,5	7,80	2,80	0,33	0,03
EAI-02	Donmal	0,07	8,05	12,7	7,60	2,10	0,67	0,07
EAI-03	Sugmal	0,17	8,58	12,1	7,74	2,40	0,33	0,40
EAI-04	Cashac	0,12	8,60	13,9	7,69	2,60	0,50	0,33
EAI-05	Puente Olleros	0,10	8,66	15,1	7,19	2,20	0,50	1,45
EAI-06	Yorgal	0,13	8,11	13,4	7,52	3,00	1,17	0,23
EAI-07	Puente San Miguel	0,13	8,36	13,8	7,96	3,20	0,97	0,06
EAI-08	Loroyacu	0,04	8,01	13,2	7,94	1,20	0,33	0,03
EAI-09	El Chorro	0,18	8,58	12,6	7,89	2,60	0,50	0,03
EAI-10	Tialango	0,09	8,10	13,3	8,40	2,60	0,40	0,02
EAI-11	Jumbilla	0,13	8,34	15,5	7,94	2,20	1,00	0,15
EAI-12	Golon	0,18	8,40	16,2	7,81	2,20	0,50	0,18
EAI-13	Beirut	0,20	8,47	15,1	8,05	3,20	1,00	0,15
EAI-14	Vilcaniza	0,17	8,01	15,6	8,15	2,20	0,50	0,10

Fuente: Elaboración propia

En tal sentido, en los estudios revisados se analizaba la cuenca entera del río en cuestión. Sin embargo, en el caso del río Imaza, se ha muestreado exclusivamente la cuenca alta del mismo. Por consiguiente, se puede decir que a lo largo de toda esta cuenca alta, los resultados tanto para el QBR-And como para el IHF incluyen todas las calidades de ribera y tipos de hábitats dentro de los rangos posibles preestablecidos por los índices en cuestión, sin seguir un patrón definido. Sin embargo, al trascender los valores promedios de las 14 estaciones de la cuenca alta se obtiene para el QBR-And una “Calidad intermedia”, es decir un inicio de alteración importante (puntaje promedio: 60); por otro lado, para el IHF, los resultados son más benévolos (puntaje promedio: 68), situándose en el nivel de “Hábitat relativamente Heterogéneo”.

Por último, destacar el área comprendida entre las estaciones EAI-07 y EAI-10, en el cual las puntuaciones, tanto para el QBR-And como para el IHF, fueron las

más altas de toda la cuenca. Estos valores se deben a que estas estaciones están influenciadas por un relieve bastante accidentado, y un curso del río muy abrupto (Arias y Brix, 2016). Es destacable mencionar que las riberas y los hábitats fluviales se encontraban más degradados en las primeras estaciones, en parte debido a que la ganadería en estos puntos está situada a ambos lados de la cuenca principal favorecida en esta zona por un relieve poco escarpado y buenos pastizales de alta montaña (Baca, 2014). Asimismo, las puntuaciones para los índices de macroinvertebrados acuáticos (BMWP-Col y ABI) fueron altas en estos puntos, EAI-07 a EAI-10, lo que puede deberse a la gran variedad de microhábitats existentes en estas estaciones, caracterizadas por poseer una cobertura vegetal riparia bien conservada, por lo que estos tramos fluviales presentaron mayor diversidad de hábitat, relacionada con una mayor contribución del porcentaje de sombra en el cauce y de elementos de heterogeneidad (Pardo *et al.*, 2002).

Tabla 4. Resultados de la aplicación de QBR-And e IHF en la cuenca alta del río Imaza

Sector	AI1	AI2	AI3	AI4	AI5	AI6	AI7	AI8	AI9	AI10	AI11	AI12	AI13	AI14
QBR - And	40	45	55	25	80	40	75	95	90	85	10	70	55	80
IHF	70	66	59	75	74	44	83	90	87	75	43	69	56	57

Fuente: Elaboración propia

Condiciones de Referencia

De las 14 estaciones de muestreo de la cuenca alta del río Imaza, la mitad de ellas fueron consideradas como puntos de referencia (Tabla 5). Así, las estaciones EIA-05, EIA-07, EIA-08, EIA-09, EIA-10, EIA-12 y EIA-14 (todas ellas de referencia) fueron comparadas con las de no referencia (EIA-01, EIA-02, EIA-03, EIA-04, EIA-06, EIA-11, EIA-13) en relación con los valores de todos los índices calculados en esta investigación.

El objetivo fue determinar si existían diferencias significativas entre los índices usados, tanto los de entorno como los de macroinvertebrados, y el de condiciones de referencia. A través de la prueba T de Student

para muestras independientes, se concluyó que existe significación ($p \geq 0,5$) entre los índices de entorno (QBR-And e IHF) y las estaciones de referencia. De tal modo, estos puntos de muestreo, que fueron clasificados a través de la metodología de Acosta *et al.* (2009) como puntos de referencia, en todos los casos, tenían puntuaciones altas para los dos índices de entorno y viceversa. Sin embargo, no se llegó a la misma conclusión al relacionar estas estaciones de referencia y los puntajes obtenidos de los índices de macroinvertebrados, donde no existieron diferencias significativas entre ambas variables, coincidiendo con los resultados obtenidos por Aazami *et al.* (2015) en el río Tajan (Irán).

Tabla 5. Condiciones de Referencia de Ríos Andinos en la cuenca alta del río Imaza

Estación	EAI-01	EAI-02	EAI-03	EAI-04	EAI-05	EAI-06	EAI-07
Puntaje	94	90	94	86	108	90	108
Estación	EAI-08	EAI-09	EAI-10	EAI-11	EAI-12	EAI-13	EAI-14
Puntaje	110	112	106	86	104	94	104

Fuente: Elaboración propia

IV. CONCLUSIONES

Se identificaron diferentes grados de alteración en los ambientes acuáticos de la cuenca alta del río Imaza, a partir del estudio de estructura comunitaria de macroinvertebrados acuáticos, de los análisis fisicoquímicos y de los índices de calidad del entorno. Según los índices bióticos de calidad de agua, BMWP-Col y ABI, la cuenca alta del río Imaza presenta un resultado promedio para sus aguas de “Muy bueno” y “Aceptable”, respectivamente. Esto se vio igualmente reflejado en la evaluación de la calidad del hábitat fluvial (IHF), que, en promedio, arrojó la calificación de “Hábitat relativamente Heterogéneo”.

En cuanto a las estaciones de referencia estudiadas, los resultados, extraídos a través de los análisis estadísticos, concluyen que existe una relación significativa entre estas y los puntajes de los índices QBR-And e IHF.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aazami, J., A. Esmaili-Sari, A. Abdoli, H. Sohrabi y P.J. Van den Brink. “Monitoring and assessment of water health quality in the Tajan River, Iran using physicochemical, fish and

macroinvertebrates indices”. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, Vol. 13 (2015):13-29.

Acosta, R., B. Ríos, M. Rieradevall y N. Prat. “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*, Vol. 28 (2009): 35-64.

Alba-Tercedor, J. “Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos”. *IV Simposio del Agua de Andalucía*. Almería: SIAGA. (1996): 203-213.

Arias, C.A. y H. Brix. “Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales”. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Vol. 13 (2003): 17-24.

Baca., A.E. “Reflexiones sobre los procesos de ocupación humana en los páramos. Situación actual del Páramo Volcán Chiles, Colombia”. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, Vol. 17 (2014): 217-226.

Butturini A., S. Sabater y A. Romani. *La química de las aguas. Los nutrientes*. En: Elosegi, A. y S. Sabater, editores. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA. España, 2009.

- Chán, M.L. y W. Peña. "Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala". *Cuadernos de Investigación UNED* 7, Vol. 1 (2015): 19-23.
- Domínguez, E. y H.R. Fernández. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Tucumán: Fundación Miguel Lillo, 2009.
- Flowers, R.W. y C. De la Rosa. "Capítulo 4: Ephemeroptera". *Revista de Biología Tropical*, Vol. 58 (2010): 63-93.
- Gergel, S.E., M.G. Turner, J.R. Miller, J.M. Melack y E.H. Stanley. "Landscape indicators of human impacts to riverine systems". *Aquatic Sciences*, Vol. 64 (2002): 118-128.
- Giacometti, J. y F. Bersosa. "Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi". *Boletín Técnico*, Vol. 6 (2006): 17-32.
- Gutiérrez-Fonseca, P.E. "Capítulo 6: Plecoptera". *Revista de Biología Tropical* 58, Vol. 4 (2010): 139-148.
- Jacobsen, D. "Tropical High-Altitude Streams". En *Tropical Stream Ecology*, de David Dudgeon, 219-256. San Diego: Academic Press, 2008.
- Jáimez-Cuéllar, P., S. Vivas, N. Bonada, S. Robles, A. Mellado, M. Álvarez, J. Avilés, J. Casas, M. Ortega, I. Pardo, N. Prat, M. Rieradevall, C.E. Sáinz-Cantero, A. Sánchez-Ortega, M.L. Suárez, M. Toro, M.R. Vidal-Abarca, C. Zamora-Muñoz y J. Alba-Tercedor. "Protocolo GUADELMED (PRECE)". *Limnetica* Vol. 21 (2002): 187-204.
- Kutschker, A., C. Brand y M.L. Miserendino. "Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra". *Ecología Austral*, Vol. 19 (2009): 13-34.
- León, B., N. Pitman y J. Roque. "Introducción a las plantas endémicas del Perú". *Revista Peruana de Biología*, Vol. 13 (2006): 9-22.
- Maderey, L.E. y A. Jiménez. "Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Vol. 45 (2001): 24-38.
- Malaver, N., M. Rodríguez, R. Montero, V.H. Aguilar y M. Salas. "Cambios espaciales y temporales en las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de la Laguna de Tacarigua, Estado Miranda, Venezuela". *Acta Biológica Venezuelica* 34, Vol. 1 (2014): 117-151.
- Medina-Tafur, C., M. Hora-Revilla, I. Asencio-Guzmán, W. Pereda-Ruiz y R. Gabriel-Aguilar. "El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. La Libertad. Perú. 2008". *SCIENDO*, Vol. 13 (2010): 1-15.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). *Estándares nacionales de Calidad Ambiental para Agua. D.S N° 002-2008-MINAM. Norma Legal*. Lima. 2008.
- Munné, A., M. A. Solá y N. Prat. "QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera". *Tecnología del agua*, Vol. 175 (1998): 20-37.
- Munné, A., N. Prat, C. Sola, N. Bonada y M. Rieradevall. "A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index". *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, Vol. 13 (2003): 147-163.
- Palma, A., R. Figueroa y V.H. Ruiz. "Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF". *Gayana* Vol. 73 (2009): 57-63.
- Papadaki, K., Y. Chatzinikolaou, M. Lazaridou, A. Ioannou y V. Artemiadou. *Water quality evaluation of the middle and lower reaches of Pinios river based on benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters during the low flow and high flow season*. Macedonia, 2016.
- Pardo, I., M. Álvarez, J. Casas, J.L. Moreno, S. Vivas, N. Bonada, J. Alba-Tercedor, P. Jáimez-Cuéllar, G. Moyá, N. Prat, S. Robles, M.L. Suárez, M. Toro y M.R. Vidal-Abarca. "El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice". *Limnetica*, Vol. 21 (2002): 115-133.

- Pardo, I., R. Abraín, C. Gómez-Rodríguez, E. García-Roselló. *Aplicación de los sistemas de evaluación del estado ecológico desarrollados para ríos en la aplicación de la Directiva Marco del agua en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico 2010*. Informe Técnico, Vigo: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012.
- Prat, N., B. Ríos, R. Acosta, M. Rieradevall. “Los Macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas”. En *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*, de E. Domínguez, 631-654. Tucumán: Fundación Miguel Lillo, 2009.
- Prat, N., M. Rieradevall, P. Fortuño. *Metodología F.E.M. para la evaluación del estado ecológico de los ríos Mediterráneos*. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2012.
- Reynel, C. y J. Marcelo. *Árboles de los ecosistemas forestales andinos: Manual de identificación de especies*. Lima: Serie Investigación y Sistematización No. 9. Programa Regional ECOBONA - Intercooperation, 2009.
- Roldán, G. A. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 2003.
- Springer, M. “Capítulo 7: Trichoptera”. *Revista de Biología Tropical*, Vol. 58 (2010): 151-198.
- Villamarín, C., M. Rieradevall, M.J. Paul, M.T. Barbour y N. Prat. “A tool to assess the ecological condition of tropical high Andean streams in Ecuador and Peru: The IMEERA index”. *Ecological indicators*, Vol. 29 (2013): 79-92.
- Xu, M., Z. Wang, X. Duan y B. Pan. “Effects of pollution on macroinvertebrates and water quality bioassessment”. *Hydrobiologia*, Vol. 729 (2014): 247-259.