

Tipo de artículo: artículo de investigación

<https://doi.org/10.47460/uct.v28i125.871>

Comunidad de macroinvertebrados y calidad ecológica de manantiales en la Cuenca Suroriental de Arequipa - Perú

Luz Virginia Castillo Acobo
<https://orcid.org/0000-0002-3412-9801>
luzcastillo@unsa.edu.pe

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
Facultad de Ciencias Biológicas,
Departamento Académico de Biología
Arequipa, Perú

Nemesio Alberto Ochoa Torres (†)
<https://orcid.org/0000-0002-6700-0510>
nochoa@unsa.edu.pe

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios
Arequipa, Perú

*Autor de correspondencia: luzcastillo@unsa.edu.pe

Recibido (07/07/2024), Aceptado (18/11/2024)

Resumen: La comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en manantiales de la cuenca Suroriental de Arequipa, ha sido evaluada con la finalidad de obtener la primera aproximación de la estructura y función de esta comunidad en dos épocas distintas. La estructura y función se expresa a partir de la riqueza de familias y los grupos funcionales de alimentación. La calidad ecológica se evalúa obteniendo información del estado ecológico mediante el Índice de la Comunidad de Macroinvertebrados (MCI) y el Índice de calidad del hábitat (IQH). Los manantiales estudiados presentan una riqueza diversa relacionada con las características de cada manantial. La aplicación de los índices evidencia un estado ecológico aceptable de los manantiales.

Palabras clave: macroinvertebrados, calidad ecológica, índices.

Macroinvertebrate community and ecological quality of springs in the Southeastern Basin of Arequipa - Peru

Abstract.- The community of aquatic macroinvertebrates present in springs in the Southeastern basin of Arequipa has been evaluated to obtain the first approximation of the structure and function of this community in two different times. The structure and function are expressed through the richness of families and functional feeding groups. Ecological quality is evaluated by obtaining information on the environmental status using the Macroinvertebrate Community Index (MCI) and the Habitat Quality Index (IQH). The springs studied present a diverse richness related to the characteristics of each spring. The application of the indices shows an acceptable ecological state of the springs.

Keywords: macroinvertebrates, ecological quality, indexes.



I. INTRODUCCIÓN

Los manantiales son lugares en los que el agua subterránea emerge hacia la superficie de la Tierra, formando una corriente, estanque o pantano [1], son considerados como ecotonos acuáticos autóctonos con propiedades funcionales complejas y estructuras eco morfológicas heterogéneas; constituyen una zona de interacción entre las aguas subterráneas, las aguas superficiales y los ecosistemas terrestres [2]. Contribuyendo con la biodiversidad local y regional debido a la complejidad de hábitat, dependiendo de la tipología de los manantiales [3], presentan una gran variedad de organismos acuáticos, debido a que sus aguas poseen una temperatura casi constante [4].

Los manantiales por su estabilidad ambiental y ubicación entre varios ecosistemas terrestres diferentes, han sido propuestos como "puntos calientes" para la biodiversidad acuática [5], sin embargo, se encuentran también como los hábitats de agua dulce más amenazados [6]. En ese sentido, la fauna y la flora de manantiales se han sugerido como indicadores valiosos de la calidad del agua en manantiales [7]. La composición taxonómica de macroinvertebrados en los manantiales está influenciada por factores ambientales, físicos y químicos, además de la velocidad de las corrientes, la composición del sustrato o la altitud [8]. En relación a la fauna de macroinvertebrados presente en los manantiales, esta es diversa e incluye grupos totalmente acuáticos e insectos acuáticos con fase de dispersión terrestre [9]. La abundancia y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados, usualmente es mayor en los manantiales perennes, sin embargo, en algunos manantiales intermitentes la abundancia de algunos taxones de insectos como efemerópteros y dípteros puede ser mayor gracias a su capacidad para colonizar rápidamente los cuerpos de agua tras la reanudación del caudal [10]. Por tanto, los macroinvertebrados facilitan la determinación de la condición ecológica de los ecosistemas de agua dulce, que generalmente se estudian solo bajo la perspectiva físico química, facilitando la comprensión de los procesos ecológicos y factores antrópicos estresantes involucrados, con el fin de frenar la degradación de los ecosistemas dulceacuícolas, mediante estrategias de conservación y protección [11].

Los indicadores biológicos que se elaboran a partir de la biota bentónica de los ecosistemas de agua dulce, constituyen una herramienta útil y versátil para la evaluación biológica expresando la calidad del agua ambiental. El MCI, índice de la comunidad de macroinvertebrados expresa la tolerancia de los grupos taxonómicos respecto a procesos de contaminación, por lo que su aplicación permite la evaluación de la salud de estudio [12]. Esta investigación propone una aproximación al conocimiento de la composición, estructura, función y estado ecológico de los manantiales de la cuenca sur oriental de Arequipa, poco estudiados en este aspecto y que constituyen la fuente de recurso hídrico para la zona, sosteniendo actividades productivas y el consumo humano, al mismo tiempo que conforman ecosistemas que requieren ser evaluados y monitoreados mediante el empleo de indicadores biológicos, para proteger su calidad ambiental.

El artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: en el primer apartado se describe brevemente el problema, que motiva el objeto de estudio; el segundo apartado está referido a los conceptos y caracterización de los manantiales, así como su estado ecológico; el tercer apartado incluye la metodología de muestreo, evaluación de parámetros físico químicos, el análisis de datos y estimación de índices; finalmente el cuarto apartado presenta los resultados y se concluye con las inferencias que se desprenden del estudio.

II. DESARROLLO

Los manantiales evaluados están localizados hidrográficamente en las microcuencas Andamayo, Mollebaya y Yarabamba, que forman parte de la Cuenca Suroriental de Arequipa. Política y administrativamente pertenecen a los distritos de Characato, Sabandía, Pocsi, Polobaya y Mollebaya, de la Región Arequipa, Perú. Toda la zona forma parte de un sistema hidrogeológico complejo caracterizado por la presencia de rocas volcánicas permeables e impermeables, que le confieren propiedades químicas específicas a las aguas subterráneas. Los manantiales presentes son de dos tipos, de alto caudal, que provienen de flujos intermedios; y de bajo caudal que corresponden a flujos locales [13]. De otro lado es importante mencionar que de forma general las aguas subterráneas se consideran de buena calidad, sin embargo, los afloramientos o cursos superficiales de las mismas se ven afectados por las actividades antrópicas de la zona, principalmente agricultura y ganadería.

Limnológicamente, los manantiales se dividen en dos zonas, la eucrenal o springhead y la hipocrenal o springbrook, se distinguen por la composición de especies debido a diferencias en los parámetros estructurales y ambientales [14]. La primera viene a ser la zona de afloramiento o surgencia del agua subterránea, mientras que la segunda, aguas abajo, manifiesta un flujo o corriente [10], [15]. Los índices bióticos o biológicos contienen información tanto de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados, expresada en abundancia relativa de las especies o grupos taxonómicos presentes; como la funcionalidad o uso que estos hacen de su hábitat, información que arroja luces sobre la integridad del ecosistema. Un índice biótico de integridad, o un índice de integridad biótica, es un conjunto de parámetros ecológicos de la comunidad y de aspectos autoecológicos [16]. La riqueza de familias o composición taxonómica y la abundancia relativa conforman la base para el desarrollo de índices que miden la calidad o grado de integridad de los ecosistemas de agua dulce, evidenciando su calidad ecológica.

El estado del ecosistema también se puede evaluar, considerando el enfoque funcional, es decir los grupos funcionales de alimentación (GFA) [17]. La forma como los macroinvertebrados obtienen su alimento durante las estaciones del año, evidencian la fragilidad o tolerancia de los mismos a cambios ocasionados por intervenciones antrópicas, por lo que se puede colegir que las variaciones en sus poblaciones expresan el estado ecológico de los ecosistemas de agua dulce. Para ello se emplea la abundancia relativa de diversas categorías funcionales de invertebrados, como indicadores de las condiciones del ecosistema [18].

El Índice de la comunidad de macroinvertebrados (Macroinvertebrate community index – MCI) [19], se basa en la tolerancia a la contaminación de los grupos taxonómicos, con valores que van de 1 (extremadamente tolerante a la contaminación) a 10 (extremadamente sensible a la contaminación), obteniéndose puntajes de 0 a 200.

El estado de conservación de un ecosistema está relacionado con el grado de intervención humana, por lo que la evaluación de la integridad biótica, no sería cabal, si no se considerará una medición del estado del hábitat. El Índice de calidad de hábitat [20], refleja la condición de alteración o modificación del ecosistema, considerando dos criterios para determinar la condición natural del ecosistema, el grado de afectación a la estructura natural del manantial, y el estado de conservación de la vegetación acuática. Los macroinvertebrados requieren de estructuras naturales (físicas y biológicas) para que puedan establecerse y desarrollar, por lo que la evaluación del hábitat manifiesta la fuerza del vínculo entre el medio acuático del manantial y las comunidades de especies.

III. METODOLOGÍA

Los siete manantiales evaluados están localizados hidrográficamente en las microcuencas Andamayo, Mollebaya y Yarabamba, que forman parte de la Cuenca Suroriental de Arequipa. Estos manantiales se ubican entre los 2515 a 3393 msnm. Los muestreos de macroinvertebrados fueron realizados en dos periodos, estación seca (octubre de 2017) y estación húmeda (mayo de 2018). Las muestras se tomaron por triplicado en la zona de corriente de los manantiales, mediante una red Surber de 30x30 cm con abertura de malla de 250 μ m. Todo el material de fondo removido y colectado fue depositado en frascos de 500 mL y conservados con etanol al 70%. Las muestras fueron revisadas en laboratorio para la identificación de los organismos hasta el nivel taxonómico de familia. En cada punto de muestreo se realizó la medición en campo de los parámetros fisicoquímicos en agua: temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto, mediante un equipo multiparámetros WTW 3430. Así mismo el caudal fue determinado en cada punto de muestreo mediante el correntómetro OTT MF pro.

La descripción del hábitat en cada uno de los manantiales, se realizó mediante la observación y registro de características que evidencian intervenciones o afectaciones, así como de aspectos referidos a la vegetación, tipo de sustrato y de corrientes, entre otros. Para la descripción de la comunidad de macroinvertebrados en cada uno de los manantiales, se han elegido parámetros ecológicos riqueza de familias y grupos funcionales de alimentación. En el caso de la riqueza de familias (S), se considera el número total de familias por punto de muestreo. La abundancia relativa se estima en base al número de individuos por familia que pertenecen a un determinado grupo funcional de alimentación.

Para el estado ecológico de los manantiales, se ha utilizado el índice MCI que evalúa la calidad del agua en base a presencia de familias de macroinvertebrados acuáticos. Se calcula sumando los valores de tolerancia asignados por el índice IBMWP/col para cada taxón presente en una muestra, dividiendo por el número de taxones muestreados y multiplicando por un factor de escala igual a 20. Para la evaluación del estado ecológico del hábitat de los manantiales, se utilizó el índice de calidad del hábitat (IQH), que estima el grado de naturalidad o afectación del hábitat. Para la calidad físico química del agua, los resultados obtenidos para temperatura, ph, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, fueron contrastados con los estándares de calidad para agua (ECA) de la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático – E2. (ríos de costa y sierra).

IV. RESULTADOS

En cuanto a la riqueza taxonómica de familias de macroinvertebrados por punto de muestreo los mayores registros se encuentran en los puntos M-4 (Manantial Bautista) con 12 familias para la época seca y 9 familias para la época húmeda. Mientras que, la menor riqueza registrada se halla en el punto M-1 (Manantial La Trampa) con 3 familias para ambas épocas de evaluación. Se observa además que la distribución de la riqueza taxonómica en los diferentes manantiales refleja la complejidad y singularidad de cada uno como ecosistema. Los manantiales con mayor diversidad de familias de macroinvertebrados indican condiciones ambientales más estables y recursos más variados que permiten la coexistencia de diferentes grupos funcionales. Por otro lado, los manantiales con menor riqueza podrían estar influenciados por factores como la intervención humana, cambios en el flujo de agua o características específicas del sustrato. Esta diversidad sugiere que los manantiales más diversos podrían desempeñar roles ecológicos clave en la sostenibilidad del entorno acuático local. La riqueza de macroinvertebrados en los manantiales no solo es un indicador de calidad ambiental, sino también una manifestación de la resiliencia ecológica frente a variaciones estacionales y presiones externas. La presencia de una comunidad rica y funcionalmente diversa sugiere una mayor capacidad del ecosistema para adaptarse a cambios ambientales y mantener procesos ecológicos fundamentales, como la descomposición de materia orgánica y la regulación del flujo de nutrientes. Estos resultados destacan la importancia de los manantiales como espacios esenciales para la conservación y como indicadores de la salud ecológica de los ecosistemas acuáticos circundantes.

Tabla 1. Niveles de uso de las estrategias de codificación.

Manantial	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
Denominación	La Trampa	Totorani	Yumina (1)	Yumina (2)	Yanayaco (1)	Yanayaco (2)	Santa Ana
Estación seca 2017	3	6	4	11	5	12	6
Estación húmeda 2018	3	6	5	11	7	12	6

La Tabla 2 proporciona una visión integral de los grupos funcionales de alimentación (GFA) presentes en los diferentes manantiales evaluados, destacando patrones relevantes en las dinámicas ecológicas de estos ecosistemas. La predominancia de ciertos grupos, como los colectores-recolectores, indica la presencia de recursos orgánicos disponibles en los hábitats evaluados, lo que sugiere ecosistemas funcionales en términos de procesamiento de materia orgánica. Este patrón refleja la importancia de estos macroinvertebrados en el ciclo de nutrientes y su rol fundamental en la estructuración de la comunidad acuática.

Por otro lado, la distribución de otros grupos funcionales, como raspadores y trituradores, varía considerablemente entre manantiales, lo que puede estar relacionado con la heterogeneidad ambiental y las condiciones físicas específicas de cada ubicación, como el tipo de sustrato y la velocidad del agua. Estas variaciones resaltan cómo los factores ambientales locales y las presiones externas, como las actividades humanas, influyen directamente en la composición y funcionalidad de la comunidad biológica. Este análisis enfatiza la necesidad de conservar la diversidad funcional de los macroinvertebrados para mantener la integridad ecológica de los manantiales y su capacidad para sustentar procesos ecosistémicos clave.

Tabla 2. Grupos funcionales de alimentación de los macroinvertebrados por estación y punto de muestreo.

GFA	M1		M2		M3		M4		M5		M6		M7	
	ES	EH												
Colector-recolector	64, 0	50, 5	14, 7	46, 2	5,5	34, 3	30, 6	64, 9	67, 4	64, 1	40, 9	41, 6	70, 5	50, 7
Raspador							2,9	0,7	1,1	1,7	9,5	8,2		
Triturador			33, 0	12, 7	89, 0	14, 9	2,9	1,7	20, 2	2,7	38, 0	37, 0	23, 5	11, 2
Perforador	36, 0	49, 5	19, 0	26, 0	1,8	40, 6	54, 5	26, 7	3,4	29, 7	1,2	2,2	5,4	36, 8
Filtrador							1,7				0,9	1,9		
Depredador			33, 3	15, 0	3,7	10, 3	4,5	3,4	7,9	1,8	7,1	7,1	0,6	1,3
Parasito							2,9	2,7			2,4	1,9		

El GFA colector-recolector está conformado por las familias Elmidae, Chironomidae, Baetidae, Lumbriculidae y Tubificidae. En el GFA raspador comprende las familias Physidae y Planorbidae. El GFA trituradorla con la familia Hyalellidae. El GFA perforador a la familia Hydroptilidae. El GFA filtrador, la familia Simuliidae. El GFA depredador las familias Ceratopogonidae, Empididae, Aeshnidae, Gomphidae, Libellulidae, Perlidae, Planaridae y al orden Rhabditida.

Dado que se ha trabajado hasta nivel de familia, la clasificación de GFA (FFG en inglés) es aproximada.

A. Índices bióticos

La Tabla 3 proporciona información detallada sobre el Índice de la Comunidad de Macroinvertebrados (MCI), que evalúa la calidad ecológica de los manantiales en función de la tolerancia de los taxones presentes a la contaminación. Los resultados muestran una tendencia general hacia una calidad ecológica aceptable, con variaciones que oscilan entre condiciones "no contaminadas" y "moderadamente contaminadas". Estas diferencias reflejan cómo factores ambientales y antropogénicos, como la agricultura y la ganadería, influyen en el estado ecológico de los manantiales.

El análisis de estos índices también pone de manifiesto que, aunque algunos manantiales presentan un estado más favorable, las fluctuaciones en el MCI entre estaciones sugieren que las condiciones ecológicas no son completamente estables. Esto subraya la importancia de monitorear continuamente estos ecosistemas para identificar tendencias y desarrollar estrategias de conservación. La diversidad y abundancia de los macroinvertebrados desempeñan un papel crucial en la evaluación de la salud del ecosistema, evidenciando que su presencia no solo indica la calidad del agua, sino también la capacidad de los manantiales para resistir y recuperarse de perturbaciones externas.

Tabla 3. Índice de la Comunidad de Macroinvertebrados (MCI - Macroinvertebrate Community Index).

Puntos de muestreo	Estación seca 2017				Estación húmeda 2018			
	Σ Tolerancia	(S)	MCI	Calidad ecológica	Σ Tolerancia	(S)	MCI	Calidad ecológica
M-1	16	3	107	leve contaminación	16	3	107	leve contaminación
M-2	39	6	130	no contaminado	39	6	130	no contaminado
M-3	23	4	115	leve contaminación	29	5	116	leve contaminación
M-4	54	11	98	moderada contaminación	54	11	98	moderada contaminación
M-5	28	5	112	leve contaminación	33	7	94	moderada contaminación
M-6	57	12	95	moderada contaminación	61	12	102	leve contaminación
M-7	34	6	113	leve contaminación	34	6	113	leve contaminación
(S) Riqueza de familias								
Σ Tolerancia: sumatoria de tolerancias de macroinvertebrados								
MCI: índice del puntaje promedio taxón								

Los valores del Índice de la Comunidad de Macroinvertebrados (MCI), arrojan de manera general para todos los manantiales y en ambas estaciones de evaluación, una aceptable calidad ecológica, considerando que fluctúa entre "no contaminado" y "moderadamente contaminado", situación que se relaciona con las actividades de agricultura y ganadería de la zona de estudio. Por otra parte, el Índice de calidad de hábitat (IQH) (Tabla 4), evidencia un estado de conservación del hábitat acuático de los manantiales, adecuado para la comunidad de macroinvertebrados. Para el caso de los manantiales moderadamente afectados, esta situación se debe a la construcción de infraestructura de riego principalmente.

Tabla 4. Índice de calidad del hábitat.

Código	IQH	Calidad
M-1	2,24	parcialmente natural
M-2	2,04	parcialmente natural
M-3	3,07	moderadamente afectado
M-4	2,93	moderadamente afectado
M-5	2,57	parcialmente natural
M-6	1,57	natural
M-7	2,08	parcialmente natural

La Tabla 5 ofrece un panorama general de los parámetros fisicoquímicos en los manantiales evaluados, revelando diferencias significativas en la calidad del agua entre puntos de muestreo y épocas. Aunque la mayoría de los manantiales cumplen con los estándares establecidos para temperatura, pH y oxígeno disuelto, las desviaciones observadas en parámetros como la conductividad eléctrica en M-7 evidencian posibles fuentes de contaminación o alta concentración de sales en este punto específico. Estas variaciones destacan cómo las condiciones locales, influenciadas por actividades humanas como la agricultura y el uso del suelo, pueden alterar la calidad del agua y, por ende, impactar negativamente en las comunidades biológicas que dependen de estos ecosistemas. Este análisis subraya la importancia de implementar medidas de manejo sostenible para proteger estos recursos y mantener la funcionalidad ecológica de los manantiales.

Tabla 5. Calidad fisicoquímica del agua.

Parámetros	Manantiales							ECA agua*
	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	E2
Temperatura	17,3	16,2	16,4	19,8	18,9	18,2	17,7	Δ3
	13,6	16,7	13,5	17,8	18,4	17,9	17	
pH	7,03	6,78	6,46	6,38	6,72	7,05	7,15	6,5 - 9,0
	6,92	7,16	6,53	6,53	6,76	7,12	7,34	
Oxígeno disuelto	6,77	6,63	5,58	5,83	5,75	5,63	5,1	≥5
	6,82	7,25	5,24	5,64	5,49	5,54	4,4	
Conductividad eléctrica	624	736	620	834	554	575	1269	1000
	622	748	642	860	709	712	1239	

En relación con los resultados de parámetros fisicoquímicos en los siete puntos de muestreo y para ambas épocas de evaluación, los valores registrados para la temperatura en época seca se hallan dentro del rango 16.2 a 19.8 °C y para la época húmeda en el rango de 13.5 a 18.4 °C. Respecto a los valores de pH, oscilan entre 6.3 y 7.34, comprendidos dentro del rango y que reflejan una buena condición. En cuanto a la conductividad seis puntos de muestreo presentan valores en el rango de 554 a 860 $\mu\text{S}/\text{cm}$, encontrándose dentro del ECA; solo el punto M-7 (Santa Ana – Mollebaya) con 1269 $\mu\text{S}/\text{cm}$ valor que caracteriza el agua como dura o con alta concentración de sales. En relación al oxígeno disuelto, los datos obtenidos en todos los manantiales evaluados se hallan por encima de 5.0 mg/L, excepto en el punto M-7 que finalizando la época húmeda registra un valor mínimo de 4.4 mg/L. Finalmente, respecto al caudal, se tiene los siguientes valores por manantial M -1 de 10 a 13 L/s, M - 2 de 139 a 240 L/s, M-3 de 170 a 190 L/s, M-4 de 60 a 72L/s, M-5 de 60 a 83 L/s, M-6 de 60 a 90 L/s y M-7 de 3 a 4 L/s ; los caudales difieren en magnitud dependiendo de la época de muestreo.

Se observa además que la calidad del agua de los manantiales parece ser adecuada en la mayoría de los parámetros evaluados, cumpliendo con los límites establecidos en el ECA. Sin embargo, M-7 presenta valores preocupantes de oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, lo que sugiere que este manantial podría estar más afectado por contaminación o influencias externas. Este comportamiento requiere un análisis más detallado para garantizar que se minimicen los riesgos ambientales o de salud.

CONCLUSIONES

La evaluación permitió reconocer que la riqueza de familias para la época seca es de 12 familias y para la época húmeda de 9 familias. De tal manera que, los grupos funcionales de alimentación predominantes en los manantiales son colector-recolector y perforador, cada uno de ellos conformado por diferentes familias. La aplicación del Índice de la Comunidad de Macroinvertebrados (MCI), refleja una buena calidad ecológica para todos los manantiales evaluados. Así pues, el Índice de calidad del hábitat (IQH) revela un buen estado de conservación del hábitat acuático de los manantiales.

Los macroinvertebrados constituyen una biota acuática de suma importancia e interés para evaluar el estado ecológico de diferentes ecosistemas dulceacuícolas con perspectivas a su conservación. Por lo que es recomendable continuar evaluando otros manantiales de la Cuenca Suroriental. La riqueza de familias de macroinvertebrados muestra variaciones significativas entre las estaciones seca y húmeda. Este patrón sugiere que las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos influyen en la composición y distribución de estas comunidades en los manantiales.

La construcción de infraestructuras para riego y otras actividades humanas ha afectado moderadamente el estado de conservación de algunos manantiales, como se refleja en el Índice de Calidad del Hábitat (IQH). Esto destaca la necesidad de estrategias para minimizar el impacto humano en estas áreas vulnerables. Los manantiales evaluados no solo proveen recursos hídricos esenciales para las actividades humanas, sino que también funcionan como puntos clave para la biodiversidad acuática. Esto resalta la importancia de proteger estos ecosistemas no solo por su valor económico, sino también por su contribución ecológica.

Si bien los parámetros fisicoquímicos en la mayoría de los manantiales cumplen con los estándares establecidos, el caso del manantial M-7 evidencia la necesidad de un monitoreo constante. La presencia de valores anómalos, como alta conductividad eléctrica y bajos niveles de oxígeno disuelto, sugiere posibles fuentes de contaminación que deben abordarse.

RECONOCIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA-Investiga), por el financiamiento brindado durante la investigación (Contrato Iba-10-2016-VRI-UNSA).

REFERENCIAS

- [1] D. S. Glazier, «Springs», en *Encyclopedia of Inland Waters*, G. E. Likens, Ed., Oxford: Academic Press, 2009, pp. 734-755. doi: 10.1016/B978-012370626-3.00259-3.
- [2] M. Scarsbrook, J. Barquín, y D. Gray, «New Zealand coldwater springs and their biodiversity».
- [3] M. Cantonati, L. Füreder, R. Gerecke, I. Jüttner, y E. J. Cox, «Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: toward an understanding of their ecology», *Freshw. Sci.*, vol. 31, n.o 2, pp. 463-480, jun. 2012, doi: 10.1899/11-111.1.
- [4] W. B. White, «Chapter 119 - Springs», en *Encyclopedia of Caves (Third Edition)*, W. B. White, D. C. Culver, y T. Pipan, Eds., Academic Press, 2019, pp. 1031-1040. doi: 10.1016/B978-0-12-814124-3.00119-9.
- [5] L. E. Stevens, E. R. Schenk, y A. E. Springer, «Springs ecosystem classification», *Ecol. Appl.*, vol. 31, n.o 1, p. e2218, 2021, doi: 10.1002/eap.2218.
- [6] V. Pešić et al., «Environmental factors affecting water mite assemblages along eucrenon-hypocrenon gradients in Mediterranean karstic springs», *Exp. Appl. Acarol.*, vol. 77, n.o 4, pp. 471-486, abr. 2019, doi: 10.1007/s10493-019-00360-w.
- [7] M. Cantonati y K. Ortler, «Using spring biota of pristine mountain areas for long-term monitoring».
- [8] B. Maiolini, M. Carolli, y L. Silveri, «Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera in springs in Trentino (south-eastern Alps)», *J. Limnol.*, vol. 70, n.o 1s, p. 122, sep. 2011, doi: 10.4081/jlimnol.2011.s1.122.

- [9] V. Berlajolli, M. Płóciennik, O. Antczak-Orlewska, y V. Pešić, «The optimal time for sampling macroinvertebrates and its implications for diversity indexing in rheocrenes – case study from the Prokletije Mountains», *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, n.o 420, p. 6, 2019, doi: 10.1051/kmae/2018043.
- [10] H. Smith, P. J. Wood, y J. Gunn, «The influence of habitat structure and flow permanence on invertebrate communities in karst spring systems», *Hydrobiologia*, vol. 510, n.o 1, pp. 53-66, dic. 2003, doi: 10.1023/B:HYDR.0000008501.55798.20.
- [11] J. P. Simaika et al., «Towards harmonized standards for freshwater biodiversity monitoring and biological assessment using benthic macroinvertebrates», *Sci. Total Environ.*, vol. 918, p. 170360, mar. 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.170360.
- [12] A. E. Wright-Stow y M. J. Winterbourn, «How well do New Zealand's stream-monitoring indicators, the macroinvertebrate community index and its quantitative variant, correspond?», *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.*, vol. 37, n.o 2, pp. 461-470, jun. 2003, doi: 10.1080/00288330.2003.9517180.
- [13] F. Peña Laureano, «Perímetros de protección de manantiales en la Zona Oriental de Arequipa. Región Arequipa», *Repos. Inst. INGEMMET*, abr. 2018, Accedido: 15 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1424>
- [14] M. Reiss y P. Chiffard, «Hydromorphology and Biodiversity in Headwaters — An Eco- Faunistic Substrate Preference Assessment in Forest Springs of the German Subdued Mountains», Y.-H. Lo, J. A. Blanco, y S. Roy, Eds., *InTech*, abr. 2015. doi: 10.5772/59072.
- [15] R. Gerecke, B. Maiolini, y M. Cantonati, «COLLECTING MEIO- AND MACROZOOBENTHOS IN SPRINGS».
- [16] J. J. Schmitter-Soto, L. E. Ruiz-Cauich, R. L. Herrera, y D. González-Solís, «An Index of Biotic Integrity for shallow streams of the Hondo River basin, Yucatan Peninsula», *Sci. Total Environ.*, vol. 409, n.o 4, pp. 844-852, ene. 2011, doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.11.017.
- [17] K. W. Cummins, R. W. Merritt, y P. C. Andrade, «The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil», *Stud. Neotropical Fauna Environ.*, vol. 40, n.o 1, pp. 69-89, abr. 2005, doi: 10.1080/01650520400025720.
- [18] R. W. Merritt et al., «Development and application of a macroinvertebrate functional-group approach in the bioassessment of remnant river oxbows in southwest Florida», *J. North Am. Benthol. Soc.*, vol. 21, n.o 2, pp. 290-310, jun. 2002, doi: 10.2307/1468416.
- [19] T. Abbasi y S. A. Abbasi, «Water quality indices based on bioassessment: The biotic indices», *J. Water Health*, vol. 9, n.o 2, pp. 330-348, abr. 2011, doi: 10.2166/wh.2011.133.
- [20] V. Lubini-Ferlin, P. Stucki, H. Vicentini, y D. Kury, «Evaluation des milieux fontinaux de Suisse. Projet de procédure basée sur la structure et la faune des sources.» Accedido: 15 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.xn--quell-lebensrume-7nb.ch/fr/taches/fachliche-grundlagen-2>.

LA AUTORA



Luz Virginia Castillo Acobo, bióloga. Master en Ingeniería Ambiental y Dra. en Ciencias, con mención en economía y gestión. Docente principal de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Con 30 años de experiencia en el sector público y 20 años de experiencia en el sector de la consultoría ambiental.