



Parámetros fisicoquímicos del agua y su relación con macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua en la laguna Arapa, Puno 2023

Physicochemical parameters of water and its relationship with macroinvertebrates as indicators of water quality in the Arapa lagoon, Puno 2023

Adolfo Arratia Chambi^{1,*}

¹Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. E-mail: adolfoarratia2@gmail.com

Resumen

La calidad del agua se puede evaluar también mediante la presencia de los macroinvertebrados. El objetivo fue determinar la relación entre los parámetros fisicoquímicos del agua y los macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua en la laguna Arapa. La metodología fue bajo enfoque cuantitativo, alcance transversal, prospectivo y diseño correlacional, los parámetros se midieron con equipo multiparámetro y análisis de laboratorio, los macroinvertebrados fueron colectados e identificados a nivel de familia, el análisis estadístico fue por correlación canónica. Los resultados indican que la temperatura está dentro de lo normal, el pH superó el valor de referencia en una muestra (P1), la conductividad eléctrica dentro de lo normal, la turbidez por encima del valor de referencia, el oxígeno disuelto por debajo del valor establecido, el contenido de materia orgánica normal, la DBO tuvo una muestra que superó el valor de referencia, la DQO presentó una muestra por encima de lo establecido. Existe relación estadística entre los parámetros fisicoquímicos del agua con los macroinvertebrados, Daphniidae relacionada negativamente con la turbidez ($r=-0,589$), Hirudinidae positivamente relacionado con la DBO ($r=0,526$), Notonectidae relacionado positivamente con la DBO ($r=0,688$) y Aeshnidae relacionado negativamente con la DBO ($r=-0,653$). Según el D.S. 004-2017 MINAM para el ECA-4 se tiene tres puntos con mala calidad de agua (P-1, P-2 y P-5), presentando según el IPER un riesgo de impacto en la calidad de agua. Se concluye que los parámetros fisicoquímicos del agua están relacionados con los macroinvertebrados y se pueden utilizar como bioindicadores de calidad del agua.

Palabras clave: agua, calidad, correlación, macroinvertebrados, parámetros fisicoquímicos.

Abstract

Water quality can also be evaluated by the presence of macroinvertebrates. The objective was to determine the relationship between physicochemical parameters of water and macroinvertebrates as indicators of water quality in the Arapa lagoon. The methodology was under quantitative approach, cross-sectional, prospective and correlational design, the parameters were measured with multiparameter equipment and laboratory analysis, the macroinvertebrates were collected and identified at family level, the statistical analysis was by canonical correlation. The results indicate that temperature is within normal, pH exceeded the reference value in one sample (P1), electrical conductivity within normal, turbidity above the reference value, dissolved oxygen below the established value, organic matter content was normal, the BOD had one sample that exceeded the reference value, the COD had one sample above the established value. There is a statistical relationship between the physicochemical parameters of water with macroinvertebrates, Daphniidae negatively related to turbidity ($r=-0.589$), Hirudinidae positively related to BOD ($r=0.526$), Notonectidae positively related to BOD ($r=0.688$) and Aeshnidae negatively related to BOD ($r=-0.653$). According to the D.S. 004-2017 MINAM for ECA-4 there are three points with poor water quality (P-1, P-2 and P-5), presenting according to the HIRD a risk of impact on water quality. It is concluded that the physicochemical parameters of water are related to macroinvertebrates and can be used as bioindicators of water quality.

Keywords: water, quality, correlation, macroinvertebrates, physicochemical parameters.

Recibido: 22 my. 2024

Aceptado: 20 set. 2024

Publicado: 27 set. 2024

***Autor para correspondencia:** adolfoarratia2@gmail.com

Cómo citar: Arratia Chambi, A. (2024). Parámetros fisicoquímicos del agua y su relación con macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua en la laguna Arapa, Puno 2023. *Revista de Investigaciones*, 13(3), 147-158. <https://doi.org/10.26788/ri.v13i3.6302>

Introducción

La calidad del agua de un medio acuático, se puede evaluar de manera tradicional por análisis de sus parámetros fisicoquímicos (Burgos et al., 2019), pero también es posible realizarlo por la evaluación de los componentes vivos que habitan en ellos, como son los macroinvertebrados (Olarte & González, 2018), si bien se ha prestado un mayor interés por los primeros, en los últimos años se ha vuelto la mirada hacia los bioindicadores, como una medida adecuada para medir la calidad del agua en mares, ríos, lagos y lagunas (Pezo, 2018).

En la exploración de los ecosistemas acuáticos, la relación entre los parámetros fisicoquímicos del agua y la fauna de macroinvertebrados ha surgido como un área crucial de investigación (Apolinario & Araujo, 2018), en los últimos años diversos estudios han demostrado la utilidad de dichos organismos en la evaluación de calidad de aguas (Gallozo & Yauri, 2017). Por lo que se ha estudiado de manera rigurosa y sistemática cómo los parámetros fisicoquímicos, como temperatura, pH, concentración de oxígeno disuelto y otros, se relacionan con la distribución y diversidad de macroinvertebrados (Pontón, 2018), y cómo estos organismos actúan como indicadores fidedignos de la calidad del agua (Chavez, 2022).

Parte de la percepción de que los análisis fisicoquímicos del agua, respecto a su calidad, pueden ser también complementados con un análisis de la vida que existe en el medio acuático que se desea evaluar (Cruz & Intriago, 2022), para ello se considera como idóneos a los macroinvertebrados por su alta capacidad indicadora de procesos de contaminación (Chibinda et al., 2017), además que por su tamaño (alrededor de 3 mm) pueden ser fácilmente identificables a simple vista o por el uso de una simple lupa (Escandón & Cáceres, 2022), lo cual permite que incluso sea posible su identificación como parte del trabajo de campo de evaluación ambiental de los recursos hídricos (Forero, 2017).

Tal es así que en un estudio se identificó que los sólidos suspendidos totales tuvieron una mayor relación con la gran mayoría de taxones (García & Endara, 2020), mientras que la calidad del agua cuando se encuentra en un rango de malo a

moderado, los resultados de los índices biológicos son sensibles a los parámetros físico-químicos de oxígeno disuelto, DBO₅, Demanda Química de Oxígeno (Machado et al., 2018).

Se ha reportado que, cuando la calidad de agua se encuentra extremadamente contaminada, la familia Chironomidae fue la más abundante (Alomía et al., 2017), debido a ser tolerante a diferentes grados de contaminación (Ortiz et al., 2017). Mientras que también se identificó que los parámetros del agua como turbidez, dureza, CE, OD y SDT se encuentran relacionados con la presencia de géneros de macroinvertebrados, entre ellos Baetodes, Camelobaetidius, Leptohyphes, Lumbricidae y Tubifex (Pin, 2021).

Otros estudios indican resultados respecto a los índices BMWP/Col y ASPT, que incorporan uso de macroinvertebrados, es así que cuando el agua se halla en categoría “crítica” y “muy crítica” (Garcés & Pacheco, 2020), las familias de macroinvertebrados dominantes fueron los oligoquetos y los quironómidos, indicadores de una mala calidad del agua (Pontón, 2018). De manera similar se identificó que las familias de Sphaeriidae y Physidae son indicadores que la calidad del agua se encuentra en un rango que va desde “moderadamente contaminado” hasta “fuertemente contaminado” (Rincón et al., 2021).

Así mismo se reconoce que cuando son abundantes los gasterópodos y artrópodos, el índice de calidad de agua indica un nivel “muy pobre” y “pobre” (Santillán & Guerrero, 2018), atribuible al proceso de eutrofización evidente (Canales et al., 2022). Dichos macroinvertebrados también fueron identificados cuando la calidad del agua se halla en rango de moderadamente contaminadas (Centurión & Mendez, 2018). También se halló relaciones de valores alterados de OD, DBO, DQO con la presencia de macroinvertebrados tolerantes como los hirudíneos (Chauca, 2022).

Del mismo modo se reconoce que el taxón Chironomidae es uno de los de mayor abundancia (Jauregui, 2019), además estos insectos presentan una mayor correlación con parámetros del agua como la dureza, cloro y conductividad (Leiva, 2018), además de haberse demostrado su elevada

capacidad de adaptación a medios acuático eutróficos (E. Sánchez, 2018).

Entre los parámetros fisicoquímicos del agua que aportan una mayor relación con los macroinvertebrados se tiene a la DBO y DQO (Yumbo et al., 2018), puesto que son indicadores específicos del contenido de oxígeno en el agua (Echeverría et al., 2021), además estos indicadores proporcionan una medida de la capacidad de una muestra para agotar el oxígeno y por tanto afecta la vida acuática (Matsumoto & Sánchez, 2016).

Otros macroinvertebrados cuyos estadios iniciales habitan medios acuáticos (Santillán & Guerrero, 2018), como el caso de Odonata aportan información sobre aguas con oxígeno suficiente para mantener la vida (Maya, 2016), además su carácter predador es propio de una abundancia de otros organismos acuáticos, considerando su papel de carnívoro en estos medios (La Matta, 2020).

Métodos

Ámbito o lugar de estudio

La laguna de Arapa se encuentra ubicada a una altitud de 3,820 msnm. al norte del lago Titicaca, en las coordenadas geográficas de 15° 06' -15° 13' LS; 69° 53'-70° 07' LW, en cercanías

de la desembocadura del río Ramis, en el distrito de Arapa y provincia de Azángaro. El área de esta laguna es de 133,2 km², con profundidad media de 23,4 y máxima de 66,9 m. (Dirección de infraestructura agraria y riego, 2020).

Frecuencia de muestreo

Los muestreos se realizaron de manera puntual, considerando cinco zonas que cubrían el ámbito de estudio, las especificaciones del muestreo y su ubicación geográfica fueron las siguientes (Tabla 1).

Toma de muestra de agua para el análisis fisicoquímico

Para la ejecución de la toma de muestras de agua, se consideró como referencia el protocolo nacional de monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales establecido por la Autoridad Nacional del Agua, especificado en la R. N° 010-2016-ANA, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

Inicialmente la persona encargada de la toma de muestras se colocó de forma adecuada los equipos de protección personal, es decir los guantes, casco y mascarilla, para que la calidad de la muestra sea la requerida y además de la prevención de algún accidente.

Tabla 1.

Esquema de distribución de las muestras

Zona de muestreo	Coordenadas	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Total
Zona 1	383116.00 m E 8326188.00 m S	1	1	1	3
Zona 2	384125.00 m E 8326927.00 m S	1	1	1	3
Zona 3	385344.00 m E 8328011.00 m S	1	1	1	3
Zona 4	391327.00 m E 8324510.00 m S	1	1	1	3
Zona 5	393622.00 m E 8322771.00 m S	1	1	1	3
Total		5	5	5	15

Nota. Zona 19L.

Luego se identificaron los puntos de muestreo, para ello se utilizó un equipo GPS para su georreferenciaron.

En el mismo lugar se tomó una muestra de 1000 ml en un envase de primer uso y con las especificaciones técnicas adecuadas, antes de tomar la misma se realizó el enjuague del envase por dos veces.

Los envases fueron rotulados para luego colocarlos en un cooler transportador con una temperatura adecuada para la conservación de las muestras de agua, y su posterior envío al laboratorio para su análisis respectivo.

Toma de muestras e identificación de macroinvertebrados

Se aplicó el método de colecta de organismos acuáticos, mediante el uso de una Red D-Net para monitoreo (Niño de Guzman, 2018). Se siguieron los siguientes pasos:

La persona encargada se colocó los equipos de protección personal.

En el mismo punto donde se tomó la muestra de agua, se colectaron los macroinvertebrados con la Red D-Net, para lo cual se realizaron movimientos horizontales y de ser necesario se removieron los sedimentos y algas.

Al retirar la Red D-Net, fuera del agua, se volcó todo el contenido en una bandeja blanca, la cual fue traspasada a un frasco debidamente rotulado.

Con una pinza entomológica, se tomaron los macro invertebrados de forma individual, de ser necesario se realizó un lavado con una piseta de agua destilada (M. Sánchez & García, 2018).

Todos los individuos separados de la muestra original, fueron conservados en un frasco con alcohol al 70% de concentración.

La identificación de los especímenes se realizó con el apoyo de un profesional en biología, mediante la utilización de claves taxonómicas dicotómicas (Tarrillo, 2020).

Análisis de laboratorio

Los análisis de los parámetros fisicoquímicos, que se midieron en laboratorio, fueron el contenido de oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), para lo cual se solicitó los servicios del laboratorio BHIOS y del laboratorio LAQUAMEQ E.I.R.L.

Materiales

Se utilizaron los siguientes equipos:

GPS (sistema de posicionamiento global marca Garmin): se utilizó para georreferenciar los puntos de toma de las muestras de agua y de los macroinvertebrados.

Equipo multiparámetro marca Hanna Instruments: fue utilizado para la medición de los parámetros fisicoquímicos del agua, como pH, temperatura.

Cámara fotográfica digital Nikon: se utilizó para tomar imágenes de los puntos de muestreo.

Lupa de mano de 10X: se utilizó para la identificación de los macroinvertebrados en sus principales formas y características.

Microscopio estereoscopio marca Olympus: Se utilizó para identificar los macroinvertebrados en características de menor tamaño y mayor detalle de estructuras.

Red D-net: Se utilizó para capturar los macroinvertebrados en el medio acuático.

Los materiales fueron los siguientes:

Cooler de transporte: fue utilizado para mantener la temperatura de las muestras de agua.

Bandejas de plástico color blanco: para realizar la individualización de los especímenes de macroinvertebrados.

Pinzas entomológicas: se utilizaron para aislar individuos de macroinvertebrados que se hallaban en algas, sedimentos y otros.

Frascos de diferentes tamaños: para aislar los individuos de macroinvertebrados según orden taxonómico.

Variables analizadas

La primera variable fue los parámetros fisicoquímicos del agua, como son: turbidez, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno. Mientras que la segunda variable de macroinvertebrados fue de las siguientes familias: Daphniidae, Hirudinidae, Planorbidae, Hyalellidae, Notonectidae, Aeshnidae, Sphaeriidae, Chironomidae y Tipulidae. Las variables fueron medidas y descritas para cumplir los dos primeros objetivos, mientras que en el tercer objetivo ambas intervinieron para dar cumplimiento al objetivo general.

Prueba estadística aplicada

Para realizar el análisis estadístico inferencial se aplicó, las pruebas de correlación, tanto a nivel bivariado como multivariado, para el primer caso se utilizó la correlación lineal de Pearson y en el segundo la correlación canónica, la cual corresponde al análisis multivariante, ambas se aplicaron con un nivel de 95% de confianza $\alpha=0.05$ (Walpole et al., 2012).

Resultados y Discusión

Parámetros fisicoquímicos del agua

Se exponen los resultados de la medición de los parámetros fisicoquímicos de los cinco puntos de muestreo en la laguna Arapa. Respecto al estándar de calidad de agua ECA-4, se tiene que las variaciones de temperatura se hallan dentro de los valores normales propios para la estación de primavera (mes de setiembre) en donde se tomaron las muestras. El pH en las cinco muestras, se halla dentro de los valores normales, excepto para una muestra P1 que registró un valor de 9.12 unidades. Las conductividades eléctricas en las cinco muestras se hallan dentro de los valores normales, por lo que no existe afectación de este parámetro. El oxígeno disuelto muestra afectación importante para todos los puntos, puesto que se hallan por debajo de los 5 mgL^{-1} que es valor de referencia. La materia orgánica no se halla especificado para dicha categoría de agua, sin embargo, se conoce que 20 mgL^{-1} es un valor aceptable. Para la DBO se observa que una muestra en el P2 presentó el valor de 6 mgL^{-1} por encima de la referencia, mientras que todos los puntos restantes estuvieron por debajo de dicho valor. Para la DQO se observa que una muestra en el P1 presentó el valor de 48 mgL^{-1} , mientras que todos los puntos restantes estuvieron por debajo del valor referencial (Tabla 2).

Tabla 2

Parámetros fisicoquímicos del agua

Puntos de muestreo	Unidad	P1	P2	P3	P4	P5
Temperatura	°C	20,17	18,87	19,17	19,40	19,17
pH	Unidad	9,04	8,44	8,52	8,32	8,67
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	871,67	882,67	905,33	906,67	903,33
Turbidez	NTU	2,87	2,86	2,63	2,72	6,31
Oxígeno disuelto	mgL^{-1}	2,71	2,28	2,38	2,52	1,61
Materia orgánica	mgL^{-1}	20,00	17,67	12,67	20,00	19,67
Demanda bioquímica de oxígeno	mgL^{-1}	2,33	3,00	2,00	2,33	2,67
Demanda química de oxígeno	mgL^{-1}	30,33	20,33	16,33	19,00	19,00

Respecto a los parámetros que sí presentaron valores por encima o por debajo de los recomendado según el ECA-4, se tiene que el pH elevado se presenta por presencia de iones hidroxilo y es considerada básica, en general cuando el pH tiende a la alcalinidad (valores por encima de 8,5) se atribuye básicamente a la

actividad de los microorganismos que participan en el ciclo del dióxido de carbono, como es el caso de los moluscos y bivalvos que liberan cantidades importantes de carbonatos cuando mueren (Centurión & Mendez, 2018), esto explica los resultados del presente estudio en donde se halló en un punto una muestra con un pH elevado.

La turbidez fue otro parámetro fisicoquímico del agua que presentó un valor elevado en un punto de muestreo, por tanto, se evidencia que en dicho lugar existe diferentes partículas suspendidas, las cuales provocan que la luz se disperse y no se transmita a través de dicha suspensión, dichos sólidos dispersos y las partículas en suspensión en el agua turbia, pueden ser indicadores de alguna forma de contaminación por contenido orgánico y microbiológico (Chibinda et al., 2017), por lo cual es un indicador de que en esta zona de la laguna de Arapa se tiene un indicador de un proceso inicial de contaminación del agua.

Así mismo el oxígeno disuelto estuvo por debajo del valor establecido para todos los puntos de muestreo, lo cual se atribuye a que las muestras fueron de agua superficial, considerando que el oxígeno disuelto del agua tiene su origen en el intercambio con la atmósfera, puesto que al entrar en contacto el aire con el agua, el oxígeno se difunde en el agua hasta conseguir un balance de presión entre ambos, también parte del oxígeno del agua se debe al proceso de la fotosíntesis, la cual proviene de la actividad de las plantas acuáticas y algas, el factor que explica esta bajo nivel de oxígeno es que su solubilidad tiende a disminuir cuando la temperatura se incrementa, también disminuye cuando existe un proceso de eutrofización de un cuerpo de agua con el crecimiento desmedido de algas, plantas acuáticas y con elevadas concentraciones de materia orgánica (Apolinario & Araujo, 2018), de lo observado en el ámbito de estudio se indica que la temperatura fue el factor relacionado, puesto que las muestras fueron tomadas de forma superficial y por ende la temperatura del agua fue elevada.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) fue otro parámetro que presentó un valor por encima de lo señalado en el ECA-4 para un punto de muestreo, esto indica que la cantidad de oxígeno que es consumida en el proceso de degradación bioquímica de la materia orgánica, la cual se produce por procesos biológicos aerobios (por bacterias y protozoarios), esto se produce porque los niveles de oxígeno disueltos son bajos, puesto que las bacterias están consumiendo ese oxígeno

en una gran cantidad, cuando esto sucede es un claro indicador de una mala calidad del agua (Organización de las Naciones Unidas, 2020), por lo que para este punto P2 se viene produciendo un proceso inicial de eutrofización.

La demanda química de oxígeno (DQO) fue otro parámetro que al menos en un punto de muestreo evidenció un valor elevado, considerando que representa la cantidad de oxígeno requerido para oxidar químicamente la materia orgánica presente a través de procesos químicos (Yumbo et al., 2018), por tanto, se evidencia los inicios de un proceso de contaminación orgánica.

La DQO se refiere a la cantidad de sustancias químicas presentes en una muestra que tienen la capacidad de consumir oxígeno durante una reacción química controlada, esta medición se utiliza comúnmente en el análisis de agua para evaluar la carga de contaminación orgánica (Echeverría et al., 2021), por lo tanto, se identifica que, en este punto de muestreo en particular, se viene produciendo una etapa inicial de contaminación orgánica.

Macroinvertebrados

Se muestran las ponderaciones para la obtención del índice biótico andino (ABI), este índice presenta ponderaciones elevadas para familias de macroinvertebrados menos tolerantes a la contaminación de aguas, es así que por ejemplo Hyalellidae tiene el valor de 6, así como Aeshnidae también con valor de 6, las cuales son familias características de medios acuáticos en buen estado de calidad de agua, mientras que especies tolerantes a la contaminación como es Hirudinidae tiene una ponderación menor de 3, así también como Chironomidae con 2 puntos, ambas familias reconocidas como tolerantes a medios acuáticos contaminados o con algún nivel del mismo. Realizando los cálculos respectivos para las familias identificadas en cada punto de muestreo en la laguna Arapa, se tiene que la totalidad de los mismos se ubican en la calificación de aguas con moderada calidad, si bien los puntajes fueron desde los 27 a 30 puntos (Tabla 3).

Tabla 3

Índice de calidad de agua por macroinvertebrados en muestras de agua en la laguna de Arapa

Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5	
Familia	Puntaje	Familia	Puntaje	Familia	Puntaje	Familia	Puntaje	Familia	Puntaje
Hirudinidae	3	Hirudinidae	3	Planorbidae	3	Planorbidae	3	Hirudinidae	3
Hyaellidae	6	Hyaellidae	6	Hyaellidae	6	Hyaellidae	6	Planorbidae	3
Notonectidae	5	Notonectidae	5	Notonectidae	5	Notonectidae	5	Hyaellidae	6
Aeshnidae	6	Aeshnidae	6	Aeshnidae	6	Aeshnidae	6	Notonectidae	5
Sphaeriidae	3	Chironomidae	2	Sphaeriidae	3	Sphaeriidae	3	Aeshnidae	6
Chironomidae	2	Tipulidae	5	Chironomidae	2	Tipulidae	5	Chironomidae	2
Tipulidae	5			Tipulidae	5			Tipulidae	5
Total	30		27		30		28		30
Calificación	Moderado		Moderado		Moderado		Moderado		Moderado

Al respecto un estudio reporta que la familia Chironomidae fue la más frecuente dentro de los macroinvertebrados hallados, enfatizando que la misma es un claro indicador biológico de una calidad del agua “crítica a dudosa”, se relaciona con una evidente perturbación del medio acuático por aguas servidas provenientes de la población circundante, en el presente estudio también se reporta la presencia de esta familia, sin embargo, no fue la más abundante. Mientras que (Escandón & Cáceres, 2022) reportan un número mayor de familias de macroinvertebrados a las halladas en el presente estudio, lo cual se explica por la ubicación geográfica, pero también porque las condiciones de dicho estudio indicaron aguas de buena calidad, lo que permite una mayor diversidad de organismos en dicho medio.

Así mismo (García & Endara, 2020) en su estudio señala que la familia Chironomidae fue la más abundante con 80 % de la abundancia, claro indicador de que el medio acuático evaluado presenta en un rango de malo a moderado, por lo que se corresponde con el indicador biológico de contaminación. Mientras que (Machado et al., 2018) indica que en su estudio el estado de calidad ecológica fue moderada, con bioindicadores frecuentes de la familia Leptophlebiidae.

También (Ortiz et al., 2017) señalan que la calidad de agua se encuentra como extremadamente contaminado, la familia Chironomidae fue la más abundante debido a ser tolerante a diferentes grados de contaminación, confirmando que como se ha indicado en el presente estudio, este díptero se halla presente en medios acuáticos en procesos

iniciales de contaminación. Así también (Pontón, 2018) señala que en la microcuenca de estudio se halla en categoría “crítica” y “muy crítica”, las familias de macroinvertebrados dominantes fueron los oligoquetos y los quironomidos, indicadores de una mala calidad del agua, como también se indica para el presente estudio.

En concordancia con lo señalado (Alomía et al., 2017) establecen que las familias Chironomidae y Baetidae, se hallan presentes en medios acuáticos con un cierto grado de perturbación. Al respecto (Jauregui, 2019) obtuvo un número mayor de familias presentes en un medio acuático calificado como de aceptable calidad, lo que indica que una mayor diversidad de macroinvertebrados es indicador de aguas en buen estado.

Relación entre parámetros fisicoquímicos del agua y macroinvertebrados

Se muestran los resultados del análisis de correlación canónica, este método estadístico multivariado de ordenación, permitió reducir tanto los factores fisicoquímicos del agua así como la composición de macroinvertebrados, es así que se observa que los ejes generados explican esta relación en el 56,96 % con el primero, mientras que el segundo 29,9 % y el tercero 8,487 %, que acumulados estos tres ejes, explican el 95,347 % de la relación observada, de lo cual se interpreta que sí existe relación entre ambos factores. Los ejes factoriales permitieron resumir la contribución de cada variable, sin embargo, no todos presentan un porcentaje similar, para lo cual se procede a graficarlos y explicarlos (Tabla 4).

Tabla 4
Correlación canónica entre los parámetros fisicoquímicos del agua con los macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua

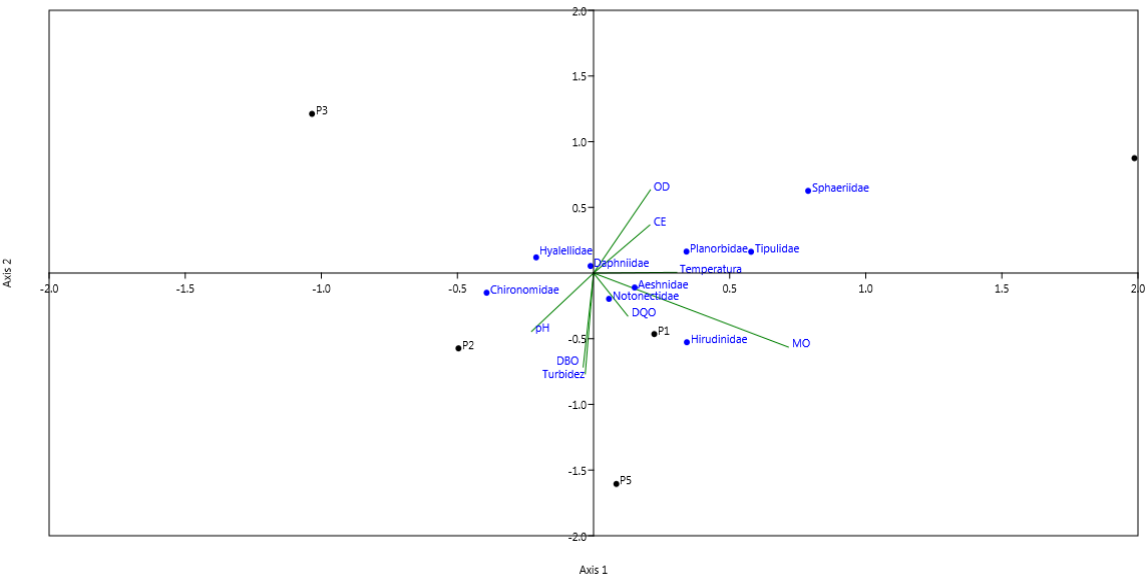
Ejes	Eigenvalue	% explicado	% acumulado
1	0,063516	56,96	49,05
2	0,033345	29,9	86,86
3	0,009463	8,487	95,347
4	0,005185	4,65	99,997

La Figura 1, muestra el primer plano, se observa que la familia Chironomidae se presenta relacionado a los parámetros de DBO y turbidez, indicando que como se conoce esta familia de dípteros presenta tolerancia y se adapta a medios acuáticos con turbidez y DBO relativamente elevadas, mientras

que Sphaeriidae propio de aguas limpias, se halla relacionado al oxígeno disuelto, mientras que Hirudinidae está relacionado con la DQO relativamente elevadas y por tanto se adapta a condiciones iniciales y medias de contaminación.

En el segundo plano, se observa que Daphniidae presenta una relación negativa con la turbidez del agua, mientras que Hirudinidae se muestra relacionado de forma positiva con la DBO y materia orgánica, puesto que se conoce que esta familia es tolerante a procesos iniciales de eutrofización, también se observa que Aeshnidae está relacionado negativamente con la DBO, puesto que se conoce que esta familia es representativa de aguas limpias.

Figura 1
Correlación canónica para eje 1 y 2 entre los parámetros de calidad de agua fisicoquímicos con los macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua



Al respecto (Santillán & Guerrero, 2018) concluyeron que los indicadores biológicos son eficientes para identificar la calidad del agua en el río Chicama, básicamente los macroinvertebrados cumplen ese rol de forma efectiva. Así también lo señala (M. Sánchez & García, 2018) quienes indican que los macroinvertebrados son buenos bioindicadores para evaluar la calidad del agua, además que se encuentra relacionados con los parámetros fisicoquímicos del agua, como también se ha señalado en el presente estudio.

En este mismo sentido (Ochoa, 2020) identificó una mayor correlación entre la

dureza, cloro, conductividad y alcalinidad con grupos taxonómicos específicos, concluye que existe correlación entre las características fisicoquímicas del agua y la composición y abundancia de los macroinvertebrados, así también fue señalado en este estudio, puesto que la calidad del agua determina la diversidad de estos macroinvertebrados. Así también lo indica (Leiva, 2018) quien sostiene que existe relación significativa entre los parámetros fisicoquímicos y la presencia de macroinvertebrados.

De manera similar (Jauregui, 2019) arriba a la conclusión que los indicadores fisicoquímicos del

agua se relacionan con los índices de calidad de agua, considerando la distribución y abundancia de los macroinvertebrados. También (Chauca, 2022) concluye que tanto los parámetros fisicoquímicos del agua como los macroinvertebrados son buenos indicadores de la calidad del agua, que concuerda y refuerza los resultados del presente estudio, en donde no se indica que uno de los dos sea un mejor indicador de la calidad del agua, sino que ambos se complementa en un diagnóstico efectivo.

Así mismo (Rincón et al., 2021) señalan que el análisis de correspondencia canónica indica una asociación entre ciertas familias de macroinvertebrados acuáticos y el oxígeno disuelto y pH, concluye que existe correlación entre los análisis fisicoquímicos y los biológicos para la calidad de agua, lo cual es concordante con los resultados reportados en la presente investigación, pues se ha demostrado la existencia de dicha relación mediante el uso de técnicas estadísticas robustas.

Finalmente, (Pontón, 2018) enfatiza que tanto la evaluación fisicoquímica como la de macroinvertebrados se relacionan, indicando una mala calidad de agua en la microcuenca de estudio, por tanto, la complementariedad tanto del uso de los parámetros fisicoquímicos del agua, así como los bioindicadores, son técnicas de diagnóstico válidas para medir la calidad del agua.

Conclusiones

Según el ECA-4, señala que la temperatura se halla dentro de lo normal, el pH superó el valor de referencia en una muestra del punto P1 cercano a la isla Arapa, la conductividad eléctrica se halla dentro de lo normal, la turbidez estuvo por encima del valor de referencia para el P5 cerca a la comunidad Jaboncilluni, el oxígeno disuelto estuvo por debajo del valor establecido para todos los puntos de muestreo, atribuible a que las muestras fueron de agua superficial, el contenido de materia orgánica estuvo dentro del rango normal, la DBO tuvo una muestra que superó el valor de referencia en el P2, la DQO presentó una muestra del punto P1 por encima de lo establecido, zona cercana a la isla Arapa. Las familias de macroinvertebrados presentes en muestras de agua en la laguna de Arapa, fueron Daphniidae, Hirudinidae,

Planorbidae, Hyalellidae, Notonectidae, Aeshnidae, Sphaeriidae, Chironomidae, Tipulidae, los cuales presentaron abundancias diferentes y entre ellos se tiene indicadores de aguas en proceso de inicio de contaminación y otras propias de aguas limpias, en general los cinco puntos de muestreo según el índice ABI se hallan en la categoría de contaminación moderada. Se determinó la existencia de relación estadística entre los parámetros fisicoquímicos del agua con los macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua en la laguna Arapa, se destaca la familia Daphniidae relacionada negativamente con la turbidez ($r=-0.589$), la familia Hirudinidae está positivamente relacionado con la DBO ($r=0.526$) siendo tolerante a menores concentraciones de oxígeno, de la misma forma la familia Notonectidae está relacionado positivamente con la DBO ($r=0.688$) y la familia Aeshnidae relacionado negativamente con la DBO ($r=-0.653$), siendo poco tolerante a bajos niveles de oxígeno. Según el D.S. 004-2017 MINAM para el ECA-4 se tiene tres puntos de muestreo con mala calidad de agua (P-1, P-2 y P-5), al haber presentado al menos un parámetro por encima de los establecido en dichos estándares, presentando según el IPER un riesgo básicamente de impacto en la calidad de agua.

Conflicto de interés

El autor Adolfo Arratia Chambi (AACH) manifiesta que no existe conflicto de interés de ninguna índole en la investigación.

Referencias

- Alomía, J., Iannaccone, J., Alvarino, L., & Ventura, K. (2017). Benthic macroinvertebrates for assessing water quality of the high river basin of the Huallaga river, Perú. *The Biologist*, 1(2), 65-84. <https://doi.org/10.24039/rtb2017151144>
- Apolinario, B., & Araujo, M. (2018). *Evaluación de la calidad del agua subterránea en 12 asentamientos humanos en los distritos de Calleria y Yarinacocha, Provincia Coronel Portillo, Departamento Ucayali, 2017*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ucayali.

- Burgos, C., Lafont, K., & Estrada, P. A. (2019). Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua del río Sinú municipio de Montería, Córdoba. *Modum*, 1(2), 55-64.
- Canales, H., Cabrera, C., & Arana, J. (2022). Aquatic macroinvertebrates and water quality in the Ventanilla Wetlands Regional Conservation Area, Callao. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 25(49), 295-301. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.23013>
- Centurión, M. G., & Mendez, R. S. (2018). *Determinación de calidad del agua mediante variables fisicoquímicas y las comunidades de macroinvertebrados bentónicos presentes en el río Chonta*. [Tesis de pregrado]. Universidad Privada del Norte.
- Chauca, C. (2022). *Calidad del agua y su relación con macro invertebrados bentónicos en la cuenca del río Mariño Distrito de Abancay – Apurímac, 2018*. [Tesis de pregrado]. Universidad Tecnológica de los Andes.
- Chavez, R. A. (2022). Water quality evaluation through bioindication of aquatic macroinvertebrates, in a section of the Toribio river, cienega Magdalena, Colombia. *Ciencia e Ingeniería*, 9(5), 14.
- Chibinda, C., Arada, M., & Pérez, N. (2017). Characterization for physicochemical methods and evaluation of the quantitative impact of the waters of the Well the Limestone Quarry. *Rev. Cubana Quím.*, 29(2), 303-321.
- Cruz, J., & Intriago, J. (2022). *Determinación de la calidad del agua mediante la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Mosca del cantón Junín*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.
- Dirección de infraestructura agraria y riego. (2020). *Informe de monitoreo de la red de aguas superficiales lago Titicaca (Crucero Hidroquímico)* (p. 120). PELT.
- Echeverría, I., Escalante, C., Saavedra, O., Escalera, R., Heredia, G., & Montoya, R. (2021). Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales basada en lagunas de estabilización acopladas a un reactor anaerobio compartimentado. *Investigacion & Desarrollo*, 21(1), 37-45. <https://doi.org/10.23881/idupbo.021.1-3i>
- Escandón, C., & Cáceres, M. (2022). *Análisis de la calidad del agua mediante parámetros físicos químicos y macroinvertebrados bentónicos, presentes en la microcuenca del río San Francisco-Gualaceo*. [Tesis de pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Forero, J. (2017). *Macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua en la cuenca alta del Río Frío (Tabio, Cundinamarca)*. [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Gallozo, A., & Yauri, J. (2017). *Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua, relacionados con metales pesados en la sub cuenca Yanayacu-Ancash, Setiembre 2015–Abril 2016*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo.
- Garcés, D., & Pacheco, L. (2020). *Análisis de la calidad del agua a partir de la correlación entre variables fisicoquímicas y macroinvertebrados en tres sectores del río Caney, Restrepo – Meta*. [Tesis de pregrado]. Universidad Santo tomás.
- García, C., & Endara, A. (2020). Assessment of water quality in the Alambrado River using benthic macroinvertebrates as bioindicators in Laguna de la Mica Reservoir. *Bionatura*, 5(4), 1380-1386. <https://doi.org/10.21931/rb/2020.05.04.17>
- Jauregui, D. (2019). *Determinación de la calidad del agua empleando macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en el río Sendamal, Celendín*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Cajamarca.
- La Matta, F. (2020). *Influencia del drenaje ácido de roca en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, índices bióticos de calidad de agua y grupos funcionales alimenticios en ríos y cabeceras de la cordillera blanca (subcuenca de Quillcay,*

- Ancash). [Tesis de pregrado]. Universidad Peruana Cayetano Heredia.
- Leiva, D. (2018). *Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con parámetros fisicoquímicos en la determinación de la calidad de agua de la microcuenca Atuén, del distrito de Leymebamba, Chachapoyas, Perú, 2017*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Machado, V., Granda, R., & Endara, A. (2018). Analysis of benthic macroinvertebrates and biotic indices to evaluate water quality in Sardina's River, Ecuadorian Chocó Andino. *Enfoque UTE*, 9(4), 154-167.
- Matsumoto, T., & Sánchez, I. (2016). Desempeño de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Sao Joao de Iracema. (*Brasil*), 21(2), 186.
- Maya, F. A. (2016). *Evaluación de la calidad del agua a través de macroinvertebrados acuáticos en la parte alta, media y baja de la quebrada la "Torura" municipio de Entrerrios-Antioquia*. [Tesis de pregrado]. Universidad Tecnológica de Antioquia.
- Niño de Guzman, M. (2018). *Desarrollo de un índice multimétrico para evaluar la calidad ecológica del agua, diseñado y propuesto para el río Guayuriba, Meta, Colombia*. [Tesis de Maestría]. Universidad de los Llanos.
- Ochoa, M. (2020). *Parámetros fisicoquímicos y su influencia en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de quebradas del área de influencia del eje carretero Iquitos, Nauta, Loreto, Perú, 2019*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- Olarte, A., & González, D. (2018). Determinación del tratamiento y la calidad de agua utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. *Revista Dinamica Ambiental*, 2(2), 9-26.
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Calidad del agua, Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida»*. Decenio del agua. <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Ortiz, C., Jofré, M., & Gonzáles, S. (2017). Aplicación de índices bióticos y variables físico-químicas para estimar calidad de agua en un río urbanizado de San Luis. *Proimca-Prodeca*, 1(1), 10.
- Pezo, M. (2018). *Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua para regadío del río Cumbaza*. [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional de San Martín.
- Pin, B. A. (2021). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua en el estero Mocache en la microcuenca baja del río Quevedo y su relación con los usos del suelo*. [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Pontón, M. (2018). *Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Piñas mediante los índices ICA y BMWP*. [Tesis de Pregrado]. Universidad de Cuenca.
- Rincón, M., Soler, F., Calderón, D., & Sierra, R. (2021). Aquatic macroinvertebrates as water quality bioindicators in Chicú river, Cundinamarca, Colombia. *Hidrobiologica*, 30(3), 17-29. <https://doi.org/10.24275/UAM/IZT/DCBS/HIDRO/2021V31N1/RINCON>
- Sánchez, E. (2018). *Determinación de la contaminación orgánica a través de macroinvertebrados bentónicos en un sector del río Chotano, distrito de Chota-2017*. [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Sánchez, M., & García, D. (2018). *Determinación del índice BMWP/Col, mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua, en el cauce del río Guachicos, que surte el acueducto del municipio de Pitalito*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Santillán, R., & Guerrero, A. (2018). Macroinvertebrates and phytoplankton as bioindicators of pollution in Chicama river basin, Perú. *Revista Tecnología*

en *Marcha*, 31(2), 97-110. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i4.3968>

Tarrillo, E. (2020). *Evaluación de macroinvertebrados acuáticos, como indicadores del estado ecológico del río Tingo, Provincia de Hualgayoc, Cajamarca – 2019*. Universidad [Tesis de Pregrado]. Nacional Autónoma de Chota.

Walpole, R., Myers, R., Myer, S., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (P. Educación, Ed.; 5.ª ed.).

Yumbo, K., Iler, V., Winston, E., & Campos, D. (2018). Determination of water quality by biological and physico-chemical indicators in the Pajan river, Manabí, Ecuador. *Departamento de Protección Vegetal. Agrocalidad, Guayaquil, Guayas, Ecuador*, 1(10), 32-40.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY) International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>