



Artículo original / Original article

## Caracterización del servicio ecosistémico hidrológico de la quebrada Otilia del distrito de Tambopata, provincia de Tambopata, región de Madre de Dios - 2022

### Characterization of the hydrological ecosystem service of the Otilia stream in the Tambopata district, Tambopata province, Madre de Dios region - 2022

Miguel Macedo-Córdova<sup>1\*</sup> ; Adenka Estela Muñoz-Ushñahua<sup>2</sup> ; Gorky Flores-Castillo<sup>1</sup> ; Nancy Ramos-Maquera<sup>1</sup> ; Raúl Huamán-Cruz<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado - Perú

<sup>2</sup> Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana, Madre de Dios - Perú

\*Autor corresponsal: [mmacedoc@unamad.edu.pe](mailto:mmacedoc@unamad.edu.pe)

Recibido: 12/01/2023

Aceptado: 10/03/2023

Publicado: 20/06/2023

**Resumen:** El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar el servicio ecosistémico hidrológico de la quebrada Otilia. Se evaluaron parámetros físico-químicos, biológicos y microbiológicos en 2 puntos de muestreo por cada época. Los especímenes recolectados fueron identificados a nivel de orden y familia. Los límites de los ECAS fueron superados por el oxígeno disuelto en el punto de muestreo después del puente para la época seca. Asimismo, los nutrientes de fósforo superaron el umbral de ECA para la época seca. Los coliformes termotolerantes superaron los límites permitidos de ECA en el punto de muestreo después del puente para la época Seca. El Índice biótico evidenció que el punto de muestreo antes del puente para la época de lluvia tuvo una calificación de aguas ligeramente contaminadas. Mientras que, en los demás puntos y épocas, se calificaron como aguas limpias. Las concentraciones de mercurio no superaron los CEQC en ambos puntos y épocas.

**Palabras clave:** Otilia; Servicio ecosistémico hidrológico.

**Abstract:** The objective of this study was to characterize the hydrological ecosystem service of the Otilia stream. Physicochemical, biological and microbiological parameters were evaluated at 2 sampling points for each season. The collected specimens were identified at the order and family level. The ECAS limits were exceeded for dissolved oxygen at the sampling point after the bridge for the dry season. Likewise, phosphorus nutrients exceeded the ACE threshold for the dry season. Thermotolerant coliforms exceeded the allowed limits of ECA at the sampling point after the bridge for the Dry season. The biotic index showed that the sampling point before the bridge for the rainy season had a slightly contaminated water rating. While, in the other points and times, they were classified as clean waters. Mercury concentrations did not exceed CEQC at both points and times.

**Keywords:** Otilia; Hydrological ecosystem service

## 1. Introducción

Definimos a los servicios ecosistémicos como los beneficios que los seres humanos perciben de los ecosistemas que repercuten en su calidad de vida, entre ellos podemos mencionar a la dotación de oxígeno, de diversidad biológica, alimentos, agua, condiciones y preservación del suelo, captura de anhídrido carbónico, etc. Los servicios ecosistémicos son variados, por lo cual resulta pertinente clasificarlos de acuerdo a su utilidad en: servicios de provisión, de regulación, de valor cultural y de soporte. Los servicios ecosistémicos hidrológicos constituyen a la vez, servicios de provisión y servicios de soporte, pues son obtenidos de la naturaleza como un recurso indispensable para la humanidad a la vez que colaboran con el funcionamiento de los demás servicios ecosistémicos (Arellano et al., 2018).

Actualmente, la degradación de los ecosistemas en el mundo, constituye un grave problema que afecta la calidad y disponibilidad de los servicios ecosistémicos en general (Mauricio & Obeso, 2022). A nivel de los servicios hidrológicos, los recursos acuáticos continentales son vulnerables a contaminación por fuentes antropogénicas (Karakuş, 2020), mediante el vertimiento de contaminantes producidos comúnmente por poblaciones urbanas, y aguas residuales procedentes de la industria, agricultura, ganadería, minería, entre otras actividades económicas (Ibana-Lopez et al., 2021).

En el ámbito científico, los estudios sobre los servicios ecosistémicos están contribuyendo en gran medida a la comprensión de las interacciones entre la población y el entorno natural, así como al diseño e implementación de políticas e intervenciones destinadas a la sostenibilidad. Esto es trascendental en Latinoamérica porque esta zona geográfica alberga la mayor fracción de la diversidad biológica y cultural del mundo y presenta agudos contrastes culturales y socioeconómicos e interacciones seres humanos-naturaleza muy heterogéneas (Balvanera et al., 2020). Asimismo, se conoce que en la amazonia latinoamericana, el cauce de las quebradas, arroyos y riachuelos presentan caudal y profundidad bajos; entonces, estos ecosistemas lóticos, a través de la escorrentía generan redes de drenaje de agua producto de las precipitaciones (Aguilar et al., 2021), influyendo directamente en el establecimiento de diversas especies de flora y fauna. Así, los ecosistemas junto a los seres vivos que la conforman y su funcionamiento dependen de la calidad del agua para la supervivencia (Esquivel & Tapia, 2021). Sin embargo, la minería artesanal y de pequeña escala (MAPE) es una actividad económica común en esta zona del mundo, opera de manera legal o ilegal a través de operaciones pequeñas o grandes con mucha mano de obra y técnicas rudimentarias para procesar y extraer minerales, haciendo uso del mercurio, un metal altamente peligroso, cuyos remanentes son vertidos al medio ambiente derivando en vías fluviales lo que ocasiona un grave problema de índole ambiental y social (Rodríguez-Novoa & Holley, 2023). Específicamente, en la provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios-Perú, la minería aurífera está ocasionando incrementos desmesurados de las tasas de deforestación, problemas sociales derivados de la informalidad y graves problemas de salud por el uso de mercurio, ya que este contaminante viene afectando la calidad del agua de sus principales ríos y quebradas (Leiva, 2022). En tal sentido, el presente estudio analizó la calidad del agua en dos épocas estacionales marcadas (época de lluvias y estiaje) en la quebrada Otilia, ubicado en el eje carretero que conecta los centros poblados de El Prado y Otilia en Madre de Dios, por medio de mediciones de parámetros fisicoquímicos y su comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). De igual manera, se presenta los resultados de diversidad ictiológica en la quebrada evaluada.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1 Área de estudio y muestreo**

En área de estudio fue la quebrada Otilia, colindante al Centro Poblado de Otilia, en el distrito y provincia de Tambopata en la región de Madre de Dios. Los puntos de muestreo se georreferenciaron con equipo GPS Garmin 64S. La quebrada Otilia se encuentra en la carretera que conecta los centros poblados de El Prado y Otilia.

### **2.2 Parámetros fisicoquímicos del agua**

La evaluación de la calidad del agua se efectuó in situ en cada uno de los puntos de muestreo, realizando tres repeticiones en cada caso, se consideraron las variables de temperatura (°C), Ph y conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) evaluadas mediante una sonda multiparamétrica Hanna modelo HI-98129; asimismo, el oxígeno disuelto (mg/L) se evaluó a través de un kit de prueba de la marca LaMotte, empleando el método Winkler; la turbiedad del agua se midió con un equipo Thermo Scientific Turbidímetro Orion AQUAfast AQ3010.

### **2.3 Análisis Microbiológico**

El análisis microbiológico se realizó por medio de la detección de coliformes en el laboratorio de la Dirección Regional de Madre de Dios (DIRESA), mediante la técnica de filtración por membrana para detección de coliformes fecales por número más probabilístico (NMP).

### **2.4 Análisis de macroinvertebrados (bentos)**

Para el muestreo de especies macroinvertebradas o bentos se empleó la metodología de Alba-Tercedor et al., (2005), para lo cual se utilizaron mallas suber en la recolección y se separaron los bentos de la materia orgánica que pueda contener con la ayuda de pinzas, luego se clasificaron las especies según tamaños para luego colocarlos en frascos de soluciones con formol. Asimismo, la identificación de las especies bentónicas se efectuó en el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en el Departamento de Entomología. Con la identificación a nivel de familia se determinó el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), modificado para Colombia, para determinar la calidad del agua. Se calculó este índice sumando las puntuaciones asignadas a las distintas familias encontradas en las muestras de macroinvertebrados, se ordenó en una lista elaborada la cual está determinado por la tolerancia a la contaminación de los taxones.

### **2.5 Análisis de fauna ictiológica**

Para la captura de especies ictiológicas, se empleó la combinación de dos métodos de pesca debido al reducido tamaño de la quebrada. En tal sentido, se utilizó una red de arrastre alevinera de 10 x 2 m de tamaño, con una abertura de 0,6 mm y un tamaño de hilo de 1mm y una red Calcal o red de mano con un tamaño de malla de 5 mm, según la metodología recomendada por Samanez et al., (2014). El procesamiento e identificación taxonómica de los peces se llevó a cabo en la Colección Científica de Ictiología de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (CCI-UNAMAD).

## 2.6 Procesamiento y análisis de datos

Los parámetros fisicoquímicos del agua de las quebradas se compararon con el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para agua (ECA), categoría conservación del ambiente acuático ríos de selva y la concentración de metales pesados en sedimentos; asimismo, se contrastaron con los valores determinados en la Guía de Calidad Ambiental Canadiense – sedimentos de cuerpos de agua continental a través del ISQG (Interim Sediment Quality Guideline).

Se realizaron mapas sobre la descripción temática como, tipo de suelo, clima, cobertura vegetal, geología y fisiografía por medio del programa ArcGis con las capas elaboradas por el Ministerio de Agricultura; además, se realizó un mapa de los rangos de la pendiente en las áreas de estudio.

Para realizar el análisis de la cobertura vegetal ribereña en las quebradas se usaron imágenes satelitales SENTINEL y ASTER DEM para determinar su densidad. Para la generación del mapa y gráficos estadísticos se empleó el software de libre acceso

Para determinar la normalidad de los datos colectados se aplicó la Prueba de Shapiro-Wilk. En el análisis estadístico se realizó la prueba de t-student.

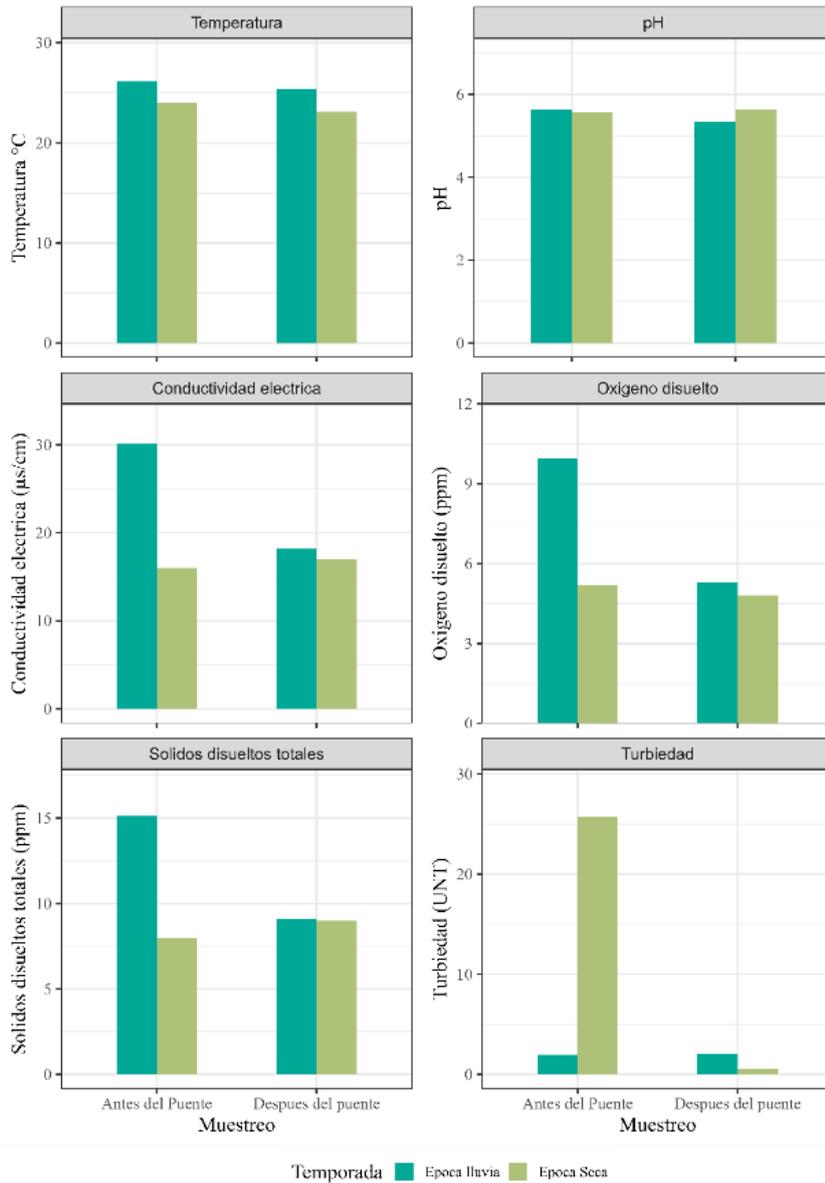
## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Resultados del análisis fisicoquímico de la quebrada Otilia

Las características fisicoquímicas encontradas en la quebrada Otilia se muestran en la Tabla 1, estos resultados se contrastaron con los ECA para agua de la categoría 4 (Conservación del ambiente acuático). Las cifras halladas reflejaron que la temperatura y el pH son similares en las dos épocas estacionales; sin embargo, el valor de pH se encuentra ligeramente por debajo de los Límites Máximos Permisibles – LMP (6,5 – 9,0). Por otro lado, la conductividad eléctrica LMP (<1000), oxígeno disuelto LMP ( $\geq 5$ ) y los sólidos suspendidos totales ( $\leq 400$ ), mostraron un incremento en el punto de muestreo antes del puente en la época de lluvias, no obstante, no exceden los LMP (Figura 2). La turbiedad presenta un significativo incremento en el punto de muestreo antes del puente en época de estiaje. La temperatura es de 24 °C para época seca, por lo contrario, para la estación de lluvias se pudo registrar un aumento a 26 °C en el punto después del puente, no obstante, podemos observar que la temperatura antes del puente es menor y varía entre 23 a 25,41°C, este valor es común para zonas tropicales del suroeste de la amazonia peruana según (SENAMHI, 2020).

**Tabla 1.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en la quebrada Otilia.

| Parámetros fisicoquímicos | Época Lluvia     |                    | Época Seca       |                    |
|---------------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
|                           | Antes del puente | Después del puente | Antes del puente | Después del puente |
| T (°C)                    | 25,40 ± 0,01 a   | 26,08 ± 0,08 b     | 23,2 ± 0,1 a     | 24,03 ± 0,15 b     |
| pH                        | 5,33 ± 0,01 a    | 5,62 ± 0,02 b      | 5,63 ± 0,01 a    | 5,57 ± 0,01 b      |
| CE                        | 18,10 ± 0,10 a   | 30,07 ± 0,06 b     | 17 ± 0,2 a       | 16 ± 0,1 b         |
| OD                        | 5,27 ± 0,01 a    | 6,96 ± 0,01 b      | 5,2 ± 0,01 a     | 4,8 ± 0,01 b       |
| SDT                       | 9,05 ± 0,05 a    | 15,08 ± 0,07 b     | 8 ± 0,1 a        | 9 ± 0,1 b          |
| TURB                      | 2,07 ± 0,01 a    | 1,96 ± 0,02 b      | 25,7 ± 0,01 a    | 0,57 ± 0,01 b      |
| Nitrato                   | 0,23 ± 0,01 a    | 0,09 ± 0,01 b      | 0,26 ± 0,01 a    | 0,11 ± 0,01 b      |
| Nitrito                   | 0,49 ± 0,01 a    | 0,12 ± 0,01 b      | 0,13 ± 0,01 a    | 0,05 ± 0,01 b      |
| Fosfato                   | 0,25 ± 0,01 a    | 0,13 ± 0,01 b      | 0,28 ± 0,01 a    | 0,13 ± 0,01 b      |



**Figura 2.** Parámetros fisicoquímicos del agua de la quebrada Otilia en dos temporadas.

Asimismo, las concentraciones de mercurio en los puntos de muestreo no sobrepasaron los valores de CEQC (Interim Sediment Quality Guideline), por lo tanto, no se evidenciaron posibles efectos biológicos adversos. Sin embargo, se logró observar una mayor concentración de mercurio en el punto de muestreo después del puente con una mayor concentración en la época seca (Figura 3).

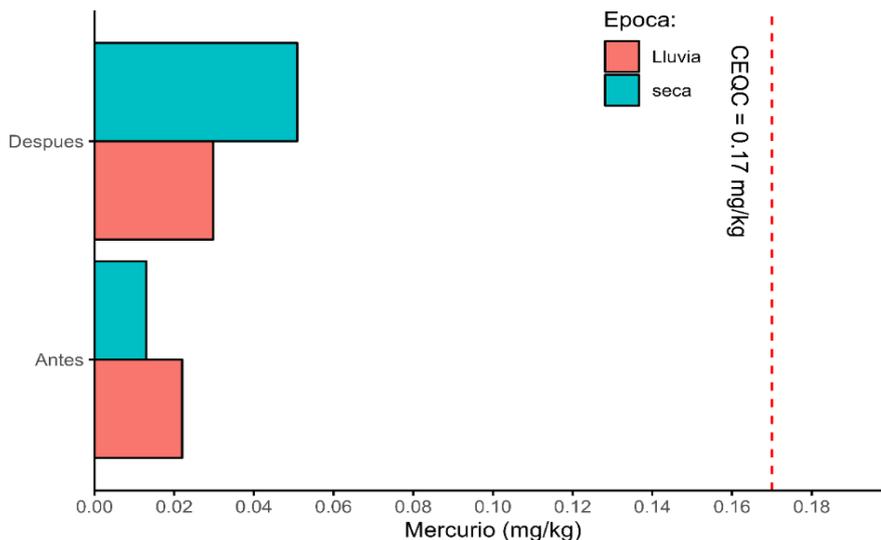


Figura 3. Concentración de mercurio en épocas diferentes.

### 3.2 Resultados del análisis microbiológico

Los resultados del análisis bacteriológico mostraron que, en la época seca, se presenta una mayor concentración de coliformes termotolerantes superando el umbral de los ECAs (2000 NMP/100) en el punto de muestreo que se realizó después del puente de la quebrada Otilia (Figura 4A). De igual manera, sucedió con *Escherichia coli* alcanzando una concentración de 120 NMP/100 (Figura 4B). Asimismo, se observa una baja concentración de los parámetros bacteriológicos en ambos puntos de muestreo recolectadas antes del puente de la quebrada, estos valores no superan los límites de los ECAs.

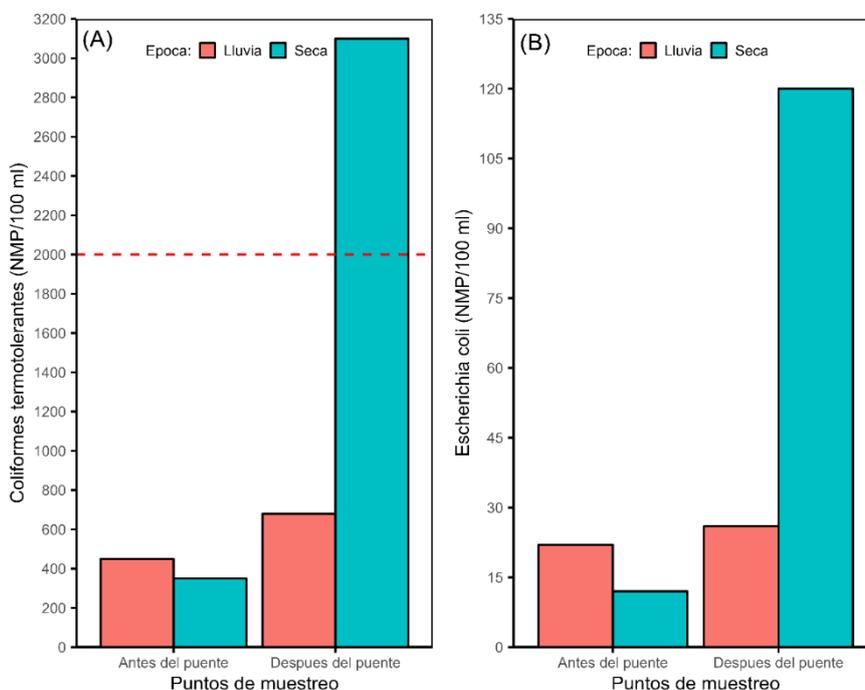


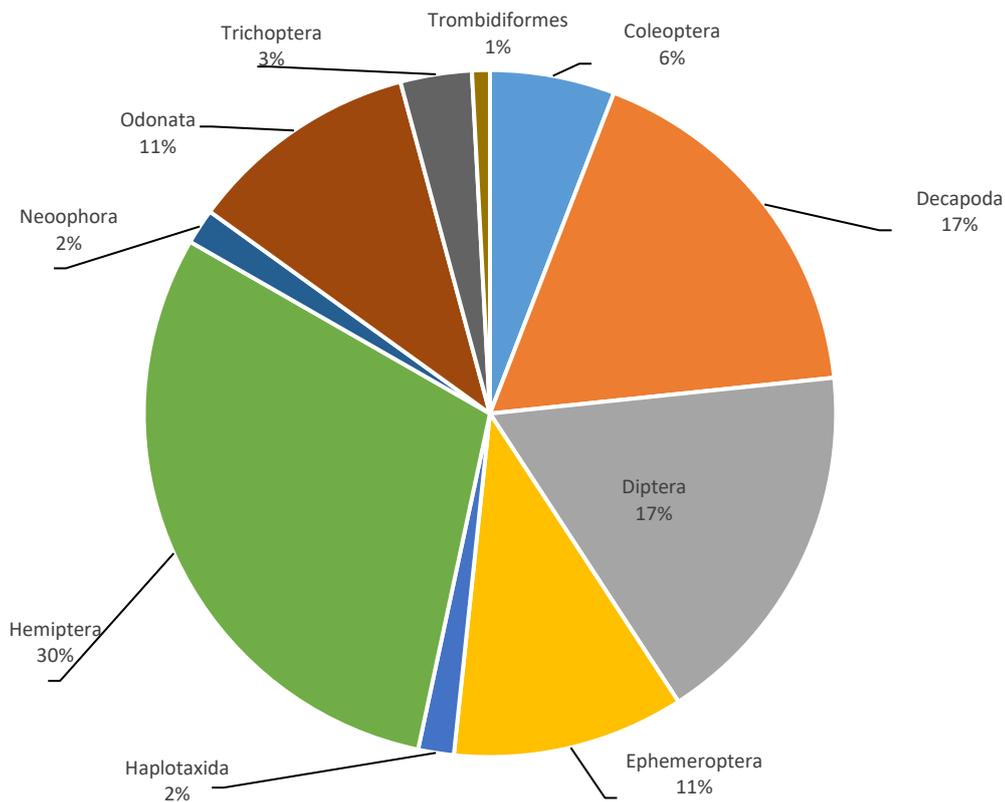
Figura 4. Parámetros bacteriológicos de la quebrada Otilia.

### 3.3 Distribución de macroinvertebrados acuáticos

Se registraron un total de 120 individuos, pertenecientes a 10 órdenes y 23 familias, 5 clases y 3 phylum de macroinvertebrados en los sitios de muestreo.

Los macroinvertebrados de los taxones:

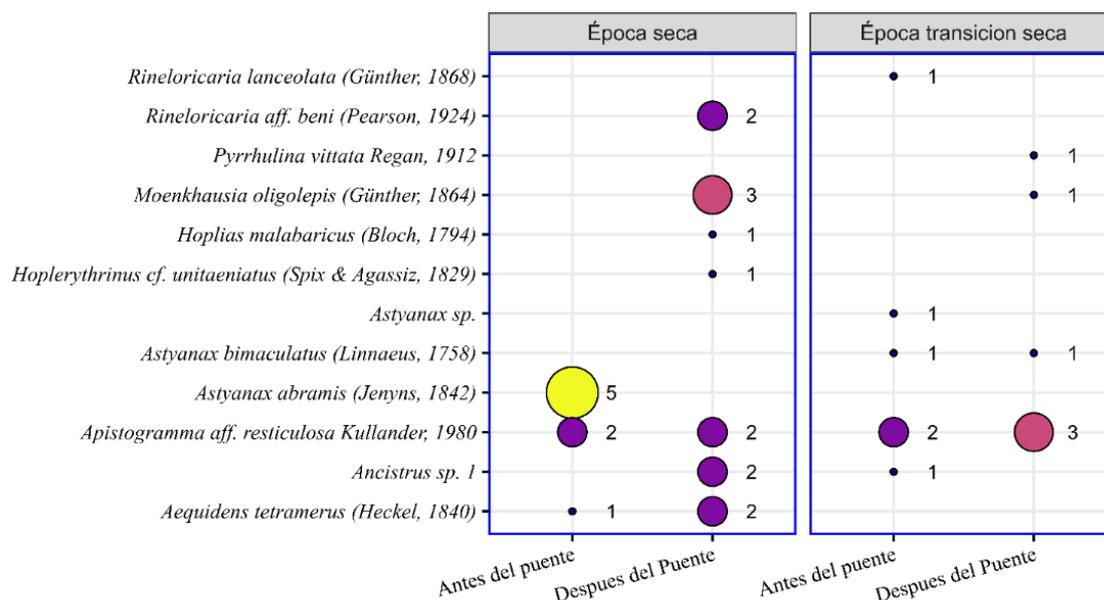
- Hemiptera, Decapoda y Diptera fueron los más abundantes, contribuyendo con un 30%, 17% y 17% respectivamente.
- Las familias más abundantes fueron Palaemonidae (18%) y Chironomidae (13%) respectivamente.
- Mientras que las menos abundante fueron Calamoceratidae, Coenagrionidae, Limnesiidae, Scirtidae (< 2%). Chironomidae que contribuye en un 13% del total de familias, es considerada a menudo tolerante a la contaminación (Alavaisha et al., 2019), y su presencia más abundante se registró en la época seca en el punto de muestreo antes del puente.



**Figura 5.** Distribución de órdenes de macroinvertebrados en los puntos de muestreo.

### 3.4 Análisis de la fauna ictiológica

En la Figura 6 se observa la abundancia de peces registrados en las dos épocas de muestreo y en dos puntos en la quebrada Otilia. La composición taxonómica de peces está determinada por 5 órdenes para la época de transición seca, que para el punto antes del puente obtuvo 3 órdenes con 3 familias 6 individuos, para el caso de después del puente se observaron 2 órdenes con 2 familias y 6 individuos. Para el caso de la época seca se registró un total de 5 órdenes y 6 familias, donde el punto después del puente registro 3 órdenes, 4 familias y 13 individuos siendo está el mayor número en toda la quebrada, seguida por 2 órdenes, 2 familias y 8 individuos en el punto después del puente.



**Figura 6.** Peces encontrados en la quebrada Otilia en los dos puntos de muestreo, en época seca y época de transición seca.

### 4. Discusiones

Los resultados del análisis fisicoquímico encontrados en el presente estudio, difieren a los datos hallados por Fernández-Herrera et al., (2022) en la quebrada Chonta en cuanto a la temperatura y pH, en ambos casos, el estudio realizado por Fernández-Herrera et al., (2022) registra cifras mayores, esto se debe probablemente, a la diferencia de la ubicación de las quebradas y al uso del recurso por parte de la población. Sin embargo, los resultados de temperatura son cercanos a los registrados en el estudio de Ibana-Lopez et al., (2021) en la quebrada Loboyoc.

Por otra parte, en cuanto al análisis microbiológico, la época de mayor registro de coliformes termotolerantes son contradictorios a los reportados por Molina-Bolívar & Jiménez-Pitre, (2017) quienes encontraron mayor concentración de coliformes en época de lluvia. Sin embargo estos valores pueden variar en función a factores ambientales (Zhang et al., 2020). Por otra parte (Chán & Peña, 2015) mencionan que la contaminación del agua por coliformes no son aptas para el consumo humano sin antes tener una desinfección previa. Asimismo, el agua contaminada con

microorganismos, puede traer muchas enfermedades, siendo el caso de bacterias patógenas como *Escherichia coli* (Steven et al., 2022). Conocida por causar la diarrea sanguinolenta y el síndrome urémico hemolítico (Caprioli et al., 2005).

## 5. Conclusiones

Las características fisicoquímicas del agua de la quebrada Otilia se encuentran en el rango de los límites máximos permitidos de los Estándares de Calidad Ambiental del Perú. Asimismo, las concentraciones de mercurio halladas no sobrepasaron los valores de CEQC (Interim Sediment Quality Guideline), por lo tanto, se concluye que no se evidenciaron posibles efectos biológicos adversos en el tiempo que se realizó el estudio. De igual forma, los resultados del análisis bacteriológico evidenciaron bajas concentraciones de coliformes, por lo cual, se concluye que el agua de la quebrada Otilia en ambas zonas de muestreo presenta una calidad bacteriológica promedio; esta conclusión es respaldada por el hallazgo una cantidad menor de macroinvertebrados tolerantes a la contaminación. Finalmente, en este estudio se reveló que la diversidad ictiológica en la quebrada Otilia es baja, probablemente por la actividad de la pesca y el uso inadecuado del recurso.

## Financiamiento

Ninguno

## Conflicto de intereses

No se presentan conflictos de interés.

## Contribución de autoría

Conceptualización: Miguel Macedo Córdova, Adenka Estela Muñoz Ushñahua

Metodología: Miguel Macedo Córdova, Adenka Estela Muñoz Ushñahua, Gorky Flores Castillo

Administración del proyecto: Nancy Ramos Maquera, Raúl Huamán Cruz

## Referencias bibliográficas

- Aguilar, M. A. A., Mozombite, J. A. C., Vásquez, M. O., Orbe, R. A. I., & Koo, F. W. C. (2021). Distribución espacio - temporal de insectos acuáticos en quebradas de la llanura amazónica, loreto, Perú. *Folia Amazónica*, 30(2), Article 2. <https://doi.org/10.24841/fa.v30i2.565>
- Alavaisha, E., Lyon, S. W., & Lindborg, R. (2019). Assessment of water quality across irrigation schemes: A case study of wetland agriculture impacts in Kilombero Valley, Tanzania. *Water (Switzerland)*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/w11040671>
- Alba-Tercedor, J., Pardo, I., Prat, N., & Pujante, A. (2005). Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la confederación hidrográfica del Ebro: protocolos de muestreo y análisis para: fitoplancton. *Fitobentos*. <https://llibreria.diba.cat/es/libro/metodologia-para-el-establecimiento-del-estado->

ecologico-segun-la-directiva-marco-del-agua-en-la-confederacion-hidrografica-del-ebro-protocolos-de-nuestreo-y-analisis-para-fitoplancton-fitobentos-\_38223

- Arellano Monterrosas, J. L. L., Ruiz Meza, L. E., Arellano Monterrosas, J. L. L., & Ruiz Meza, L. E. (2018). Evaluación y tendencias de los servicios ecosistémicos hidrológicos de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas. *Investigaciones geográficas*, 95, 0-0. <https://doi.org/10.14350/rig.59467>
- Balvanera, P., Pérez-Harguindeguy, N., Perevochtchikova, M., Laterra, P., Cáceres, D. M., & Langle-Flores, A. (2020). Ecosystem services research in Latin America 2.0: Expanding collaboration across countries, disciplines, and sectors. *Ecosystem Services*, 42, 101086. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101086>
- Caprioli, A., Morabito, S., Brugère, H., & Oswald, E. (2005). Enterohaemorrhagic *Escherichia coli*: Emerging issues on virulence and modes of transmission Alfredo. *Veterinary Research*, 36, 289-311. <https://doi.org/10.1051/vetres:2005002>
- Chán, M., & Peña, W. (2015). Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala. *Junio*, 7(1), 19-23.
- Esquivel, B. D. A., & Tapia, C. F. C. (2021). La importancia de la economía del agua. *RD-ICUAP*, 7(21), Article 21.
- Fernández-Herrera, Y., Muñoz-Ushñahua, A., & Garate-Quispe, J. (2022). Evaluación de la calidad del agua de la quebrada Chonta mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos, Tambopata, Amazonía peruana. *Revista Biodiversidad Amazónica*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.55873/rba.v1i2.197>
- Ibana-Lopez, K., Sihuyay-Perales, M., Garate-Quispe, J., Araújo-Florez, J., Herrera-Machaca, M., Aguirre, G. A., & Rodriguez-Achata, L. (2021). Contaminación de agua superficial de la periferia urbana de Puerto Maldonado, al sureste de la amazonia peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(6), Article 6. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i6.20365>
- Karakuş, C. B. (2020). Evaluation of water quality of Kızılırmak River (Sivas/Turkey) using geostatistical and multivariable statistical approaches. *Environment, Development and Sustainability*, 22(5), 4735-4769. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00472-8>
- Leiva, J. D. (2022). Appropriate technologies and the geosocial evolution of informal, small-scale gold mining in Madre de Dios, Peru. *The Extractive Industries and Society*, 12, 101165. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101165>
- Mauricio, D. J. R., & Obeso, R. M. C. (2022). Valoración de la cuenca Jequetepeque para proponer mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos en Perú. *región y sociedad*, 34, 1655-1655. <https://doi.org/10.22198/rys2022/34/1655>
- Molina-Bolívar, G., & Jiménez-Pitre, I. (2017). Análisis de la contaminación por Coliformes Termotolerantes en el estuario del Río Ranchería, La Gúa Jira (Colombia). *Boletín Científico del Centro de Museos*, 21(2), 41-50. <https://doi.org/10.17151/bccm.2017.21.2.3>
- Rodríguez-Novoa, F., & Holley, E. (2023). Coexistence between large-scale mining (LSM) and artisanal and small-scale mining (ASM) in Perú and Colombia. *Resources Policy*, 80, 103162. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103162>
- Samanez, I., Rimarachin-Ching, V., Palma, C., Maestre, J., Ortega, H., Correa, V., & Hidalgo, M. (2014). Metodos de colecta, identificacion y análisis de comunidades

biologicas:Plancton.Departamento de Limnología, departamento de Ictiología-Lima: Ministerio del Ambiente, 2014. 75p.:il (pp. 14-27).

SENAMHI. (2020). Climas del Perú: Mapa de Clasificación Climática. <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/informes-publicaciones/2158106-climas-del-peru-mapa-de-clasificacion-climatica>

Steven, J. A. C., Thorn, R. M. S., Robinson, G. M., Turner, D., Lee, J. E., & Reynolds, D. M. (2022). The control of waterborne pathogenic bacteria in fresh water using a biologically active filter. *npj Clean Water*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00169-y>

Zhang, X., Zhi, X., Chen, L., & Shen, Z. (2020). Spatiotemporal variability and key influencing factors of river fecal coliform within a typical complex watershed. *Water Research*, 178, 115835. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115835>