

ARTÍCULO / ARTICLE

# Respuesta de los macroinvertebrados acuáticos a la calidad del agua y a las variaciones estacionales en la cuenca baja del río Cañete, Perú

## Response of aquatic macroinvertebrates to water quality and seasonal variations in the lower basin of the Cañete River, Peru

Wilder Aurelio Abad-V  lchez<sup>1\*</sup>

   0000-0002-1786-7714,  
wabad31@gmail.com

Katherine Lourdes Sánchez-Caycho<sup>1</sup>

   0000-0002-7233-6772,  
kiscaycho36@gmail.com

Daniel Ramos-Ramos<sup>1</sup>

   0009-0001-6963-6993,  
1670765808@undc.edu.pe

Gelver Romero-Delgado<sup>2</sup>

   0000-0003-0743-1033,  
gromero@lamolina.edu.pe

Leidy Milady Ramos-Alarcón<sup>3</sup>

   0000-0002-7568-0421,  
leidy.ramos@unica.edu.pe

Raúl Augusto Loayza-Muro<sup>4</sup>

   0000-0002-1312-311X,  
raul.loayza@upch.pe

1. Laboratorio de Biología, Escuela Profesional de Agronomía, Universidad Nacional de Cañete, Calle Canal María Angola S/N, Urb. Santa Rosa de Hualcar  , San Vicente de Cañete, Lima, Perú.
2. Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n, Lima, Perú.
3. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Av. de los Maestros, Ica, Perú.
4. Laboratorio de Ecotoxicología, Facultad de Ciencias y Filosofía, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Av. Honorio Delgado N   430, San Martín de Porres, Lima, Perú.

\* Autor de correspondencia

Recibido / Received: 29/04/2024

Aceptado / Accepted: 26/06/2025

**Citación / Citation:** Abad-V  lchez, A.V.; Ramos-Ramos, D.; Romero-Delgado, G.; Ramos-Alarcón, L.M.; Loayza-Muro, R.A. 2026. Respuesta de los macroinvertebrados acuáticos a la calidad del agua y a las variaciones estacionales en la cuenca baja del río Cañete, Perú. Bol. Invest. Mar. Cost., 55(1): 10-36

### RESUMEN

Los macroinvertebrados son bioindicadores sensibles a cambios estacionales y a la calidad del agua. Este estudio evaluó cómo responde su comunidad ante variaciones fisicoquímicas y estacionales en cinco estaciones del río Cañete: Catapalla, San Jerónimo, Socsi, Puente Clarita y Boca del Río, durante temporadas lluviosa y seca. Se midieron variables como pH, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos disueltos totales, temperatura, además de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y fósforo. Los macroinvertebrados se identificaron a nivel de familia y se analizaron índices de riqueza, dominancia, densidad y similaridad. Análisis univariados y multivariados, como ANDEVA y ACP, mostraron diferencias significativas entre estaciones y temporadas, especialmente en Catapalla y Boca del Río. Se identificaron dos grupos de estaciones según la similitud en su composición biológica: uno conformado por Catapalla, San Jerónimo y Socsi y otro por Puente Clarita y Boca del Río. El oxígeno disuelto y la temperatura influyen positivamente en la abundancia y riqueza, mientras que altos niveles de sólidos disueltos, amonio y fósforo tienen efectos negativos. Además, algunas familias, como Tricorythidae, se presentaron solo en temporada lluviosa, evidenciando el efecto de la estacionalidad sobre la biodiversidad acuática.

**Palabras claves:** bioindicadores, riqueza, dominancia, densidad, variables fisicoquímicas

### SUMMARY

Macroinvertebrates are bioindicators sensitive to seasonal changes and water quality. This study evaluated how its community responds to physicochemical and seasonal variations at five stations of the river: Catapalla, San Jerónimo, Socsi, Puente Clarita, and Boca del Río, during rainy and dry seasons. Parameters such as pH, dissolved oxygen, conductivity, total dissolved solids, temperature, as well as NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, and phosphorus were measured. Macroinvertebrates were identified at the family level and indices of richness, dominance, density, and similarity were analyzed. Univariate and multivariate analyses, such as ANOVA and PCA, showed significant differences between stations and seasons, especially in Catapalla and Boca del Río. Two groups of stations were identified based on the similarity in their biological composition: one consisting of Catapalla, San Jerónimo, and Socsi, and another of Puente Clarita and Boca del Río. Dissolved oxygen and temperature positively influence abundance and richness, while high levels of dissolved solids, ammonium, and phosphorus have negative effects. Furthermore, some families, such as Tricorythidae, appeared only in the rainy season, demonstrating the effect of seasonality on aquatic biodiversity.

**Keywords:** bioindicators, richness, dominance, density, physicochemical parameters

## INTRODUCCIÓN

Los ríos de la costa peruana tienen su origen en los Andes, a una altitud que supera ~4000 m.s.n.m., con condiciones ambientales únicas que desafían la supervivencia y persistencia de las comunidades biológica (Stern y Echavarría, 2013). Los ambientes lóticos se caracterizan por una marcada dinámica hidrológica, con un flujo de agua rápido y turbulento que dificulta el establecimiento y migración de algunos organismos (Jacobsen, 2008). Además, los factores fisicoquímicos naturales de cada sistema fluvial, sumados a su heterogeneidad y a la vegetación ribereña, tienen influencia sobre la presencia o ausencia de estos organismos en zonas altas y bajas (Miserendino, 2001).

Las actividades antrópicas también pueden ejercer un impacto significativo sobre las comunidades de macroinvertebrados alterando su estructura, composición y diversidad (Rivera-Usme et al., 2013). Los vertimientos de desechos domésticos, el uso de agroquímicos en la agricultura y el pastoreo intensivo, entre otros factores antrópicos, modifican las condiciones fisicoquímicas de los cuerpos de agua, afectando la turbidez, la salinidad y los sólidos suspendidos, lo que determina una mayor dominancia de ciertas especies tolerantes a la contaminación, como Chironomidae y Physidae y una disminución de la abundancia, densidad y diversidad (Arroyo y Jiménez, 2011; Rivera-Usme et al., 2013). En este contexto, el área de estudio no es ajena a la problemática ambiental por actividades antrópicas, debido a que lo largo de la cuenca baja del río recibe elementos contaminantes que provienen de la cuenca alta del río Cañete, producto de la industria minera dedicada a la explotación de plomo, cobre y zinc (Ministerio de Cultura del Perú, 2015).

Las condiciones climatológicas también influyen en la respuesta de las comunidades de macroinvertebrados; así, en temporada seca la disminución del caudal y el aumento de la temperatura pueden resultar en una menor disponibilidad de hábitats adecuados para estos organismos. Asimismo, la alteración de las condiciones fisicoquímicas del agua afectan la diversidad y abundancia (Vörösmarty et al., 2010) y las especies con alto potencial de colonización y ciclos de vida cortos dominan la fauna acuática durante esta temporada, lo que disminuye la equidad en la comunidad (Flecker y Feifarek, 1994).

En la temporada lluviosa, la variación de las variables fisicoquímicas restringe el establecimiento y migración de los organismos, como

## INTRODUCTION

The rivers of the Peruvian coast originate in the Andes, at an altitude exceeding ~4000 m above sea level, with unique environmental conditions that challenge the survival and persistence of biological communities (Stern and Echavarría, 2013). Lotic environments are characterized by a marked hydrological dynamic, with a fast and turbulent water flow that hinders the establishment and migration of some organisms (Jacobsen, 2008). Furthermore, the natural physicochemical factors of each river system, combined with its heterogeneity and riparian vegetation, influence the presence or absence of these organisms in high and low (Miserendino, 2001) areas.

Anthropogenic activities can also have a significant impact on macroinvertebrate communities by altering their structure, composition, and diversity (Rivera-Usme et al., 2013). The discharge of domestic waste, the use of agrochemicals in agriculture, and intensive grazing, among other anthropogenic factors, alter the physicochemical conditions of water bodies, affecting turbidity, salinity, and suspended solids. This leads to a greater dominance of certain species tolerant to pollution, such as Chironomidae and Physidae, and a decrease in abundance, density, and diversity (Arroyo and Jiménez, 2011; Rivera-Usme et al., 2013). In this context, the study area is not unfamiliar with environmental issues caused by human activities, as the lower basin of the river receives pollutants originating from the upper basin of the Cañete River, a result of the mining industry dedicated to the extraction of lead, copper, and zinc (Ministerio de la Cultura Perú, 2015).

Climatic conditions also influence the response of macroinvertebrate communities; thus, in the dry season, the decrease in flow and the increase in temperature can result in a lower availability of suitable habitats for these organisms. Likewise, the alteration of the physicochemical conditions of the water affects diversity and abundance (Vörösmarty et al., 2010), and species with high colonization potential and short life cycles dominate the aquatic fauna during this season, which decreases equity in the community (Flecker and Feifarek, 1994).

During the rainy season, the variation of physicochemical parameters restricts the establishment and migration of organisms, such as fish and macroinvertebrates, favoring the persistence of the more adaptable ones (Miranda et al., 2020). In some studies, conducted in tropical rivers of Costa Rica and Colombia, it has been

peces y macroinvertebrados, favoreciendo la persistencia de los más adaptables (Miranda *et al.*, 2020). En algunos estudios realizados en ríos tropicales de Costa Rica y Colombia, se ha evidenciado que las características fisicoquímicas de la columna de agua (el pH y la conductividad) varían considerablemente entre las temporadas lluviosa y seca, lo que impacta la composición de los macroinvertebrados (Nguyen *et al.*, 2017; Atoche-Bazán *et al.*, 2024).

En el río Cañete, los estudios de macroinvertebrados desarrollados en su cuenca son escasos (Sifuentes, 2017), y los que existen se han enfocado en las comunidades en partes altas del río (2500 y 4000 m.s.n.m.). Estos estudios han registrado patrones de abundancia a nivel de familia considerando la influencia de la estacionalidad con la finalidad de evaluar la variabilidad espacial y temporal de las comunidades de macroinvertebrados (Acosta, 2009; Acosta y Prat, 2010; Ríos-Touma *et al.*, 2014). Asimismo, se ha analizado la relación entre los índices bióticos y datos históricos de las variables fisicoquímicas del agua (Villegas, 2021), concluyendo que la temporalidad no representa un factor determinante en la estructura de las comunidades, a diferencia de las condiciones fisicoquímicas de la columna de agua, que sí muestran una influencia significativa. En la cuenca baja del río Cañete no se han desarrollado estudios sobre macroinvertebrados ni otros organismos acuáticos, a pesar de que en esta área se llevan a cabo diversas actividades antrópicas que podrían generar un impacto significativo en las características físicas, químicas y biológicas del ecosistema acuático. Este estudio tuvo como objetivo determinar la composición, riqueza, dominancia, densidad relativa y similaridad de la comunidad de macroinvertebrados, que permita generar una aproximación a posibles alteraciones en la calidad de agua; asimismo, se quiso evaluar la respuesta de la comunidad de invertebrados, en términos de estructura, composición y diversidad, frente a las variables fisicoquímicas del agua y las variaciones temporales por estaciones de muestreo.

## ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca baja del río Cañete pertenece a los Andes del Centro (Argollo, 2006) y está situada en la región central y occidental del Perú, orientada de nororiente a suroccidente (11°58'19"-13°18'55" S, 75°30'26" – 76°30'46" W) (ONERN, 1970). El río Cañete pertenece a la vertiente occidental de los Andes; nace a 4830 m.s.n.m. a partir de los deshielos del nevado Ticlla en la

shown that the physicochemical characteristics of the water column (pH and conductivity) vary considerably between the rainy and dry seasons, which impacts the composition of macroinvertebrates (Nguyen *et al.*, 2017; Atoche-Bazán *et al.*, 2024).

In the Cañete River, studies of macroinvertebrates conducted in its basin are scarce (Sifuentes, 2017), and those that exist have focused on the communities in the upper parts of the river (2500 and 4000 m above sea level). These studies have reported abundance patterns at the family level considering the influence of seasonality in order to evaluate the spatial and temporal variability of macroinvertebrate communities (Acosta, 2009; Acosta and Prat, 2010; Ríos-Touma *et al.*, 2014). Likewise, the relationship between biotic indices and historical data of the physicochemical parameters of the water has been analyzed (Villegas, 2021), concluding that temporality does not represent a determining factor in the structure of the communities, unlike the physicochemical conditions of the water column, which do show a significant influence. In the lower basin of the Cañete River, no studies have been reported on macroinvertebrates or other aquatic organisms, despite the fact that various anthropogenic activities are carried out in this area that could generate a significant impact on the physical, chemical, and biological characteristics of the aquatic ecosystem. The aim of this study was to determine the composition, richness, dominance, relative density, and similarity of the macroinvertebrate community, which allows for an approximation of possible alterations in water quality; additionally, it sought to evaluate the response of the invertebrate community, in terms of structure, composition, and diversity, in relation to the physicochemical parameters of the water and the temporal variations by sampling stations.

## STUDY AREA

The lower basin of the Cañete River belongs to the Central Andes (Argollo, 2006) and is located in the central and western region of Perú, oriented from northeast to southwest (11°58'19"- 13°18'55" S, 75°30'26" – 76°30'46" W) (ONERN, 1970). The Cañete River belongs to the western slope of the Andes; it originates at 4,830 m above sea level. from the melting of the Ticlla snowcap in the Pichcahuajra mountain range. It travels approximately 219 km until it reaches its mouth on the central Pacific coast, with a basin area of 6062 km<sup>2</sup> (ONERN, 1970). The lower basin of the river up to 2000 m above sea level is characterized by its scarce or almost nonexistent rainfall, with temperatures ranging between 23.6 °C

cordillera Pichcahuajra. Recorre aproximadamente 219 km hasta llegar a su desembocadura en la costa central del Pacífico, con un área de cuenca de 6062 km<sup>2</sup> (ONERN, 1970). La cuenca baja del río hasta 2000 msnm, se caracteriza por su escasa o casi nula precipitación pluvial, con temperaturas que varían entre 23.6 °C y 16.3 °C (febrero y agosto), con una media anual de 19 °C. La humedad promedio mensual fluctúa entre 81 % y 87 %, para las épocas de sequía y lluvias, respectivamente.

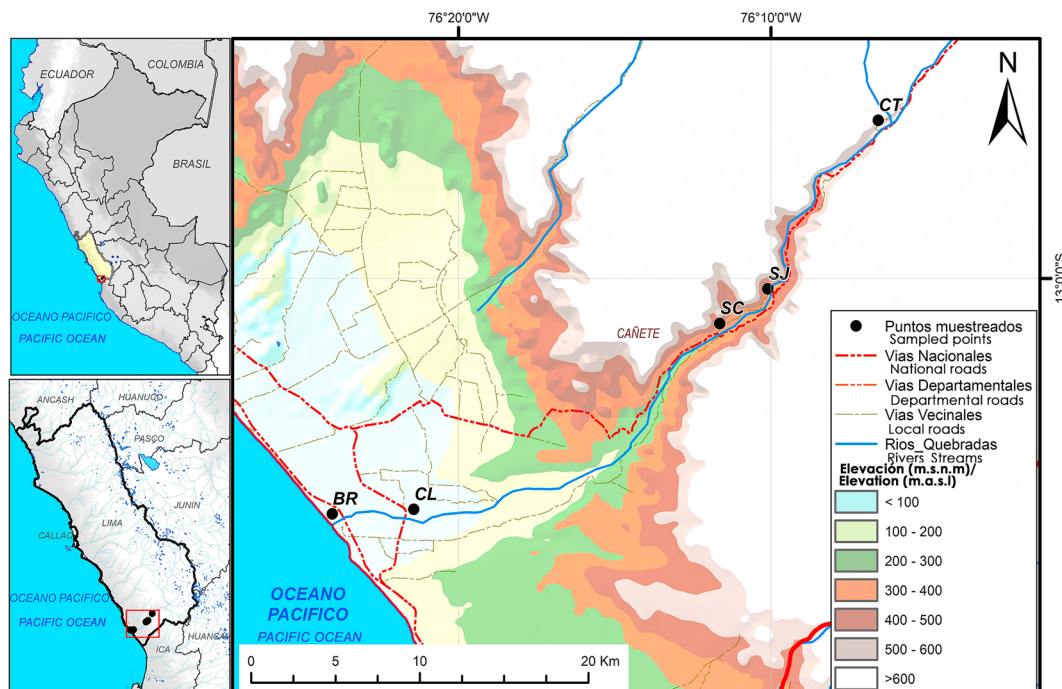
### Localidades de muestreo

El área de estudio comprendió la parte baja de la cuenca del río Cañete. El valle bajo inicia en la sección inferior del anexo de Socsi (distrito de Lunahuaná) y se extiende hasta el límite con el litoral (Ministerio de Cultura del Perú, 2015); en esta área se muestrearon cinco estaciones en dos temporadas: lluviosa (mayo) y seca (junio). Durante el recorrido del río, en especial en los puntos de muestreo, se observaron actividades económicas, productivas y sociales como agricultura, ganadería y turismo (canotaje); a diferencia de la cuenca alta, donde se realizan actividades mineras (Ministerio de Cultura del Perú, 2015) (Figura 1, Tabla 1). Con respecto a la vegetación en las estaciones de muestreo, se registraron los géneros *Gynerium*, *Acacia*, *Schinus*, *Salix*, *Cantua* y *Solanum* y en las zonas cercanas al mar se identificaron principalmente “grama salada” (*Distichlis spicata*), *Salicornia fruticosa* y totorales.

and 16.3 °C (February and August), with an annual average of 19 °C. The average monthly humidity fluctuates between 81% and 87% for the dry and rainy seasons, respectively.

### Sampling locations

The study area comprised the lower part of the Cañete River basin. The lower valley begins in the lower section of the Socsi annex (Lunahuaná district) and extends to the boundary with the coast (Ministerio de la Cultura, Perú, 2015); in this area, five stations were sampled in two seasons: rainy (May) and dry (June). During the course of the river, especially at the sampling points, economic, productive, and social activities such as agriculture, livestock farming, and tourism (canoeing) were observed; unlike the upper basin, where mining activities are carried out (Ministerio de la Cultura, Peru, 2015) (Figure 1, Table 1). Regarding the vegetation at the sampling stations, the genera *Gynerium*, *Acacia*, *Schinus*, *Salix*, *Cantua*, and *Solanum* were recorded, and in the areas near the sea, “salt grass” (*Distichlis spicata*), *Salicornia fruticosa*, and reed beds were mainly identified.



**Figura 1.** Estaciones de muestreo en la cuenca baja del río Cañete, Lima-Perú (CT: Catapalla, SJ: San Jerónimo, SC: Socsi, CL: Puente Clarita, BR: Boca del Río).

**Figure 1.** Sampling stations in the lower basin of the Cañete River, Lima-Peru (CT: Catapalla, SJ: San Jerónimo, SC: Socsi, CL: Puente Clarita, BR: Boca del Río).

**Tabla 1.** Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo Catapalla (CT), San Jerónimo (SJ), Socsi (SC), Puente Clarita (CL), Boca del Río (BR) en la cuenca baja del río Cañete, Lima-Perú**Table 1.** Geographical coordinates of the sampling stations Catapalla (CT), San Jerónimo (SJ), Socsi (SC), Puente Clarita (CL), Boca del Río (BR) in the lower basin of the Cañete River, Lima-Peru.

| Estación de muestreo/<br>Sampling station | Coordenadas geográficas/<br>Geographic coordinates |                    | Altitud (m.s.n.m)/<br>Altitude (m.a.s.l) | Actividad Antrópica/Anthropic activity                                                                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | Latitud/Latitude                                   | Longitud/Longitude |                                          |                                                                                                                               |
| CT                                        | 12° 55' 05.3328" S                                 | 76° 06' 33.2771" W | 554                                      | Turismo-Canotaje/<br>Tourism-Canotaje                                                                                         |
| SJ                                        | 13° 00' 19.4436" S                                 | 76° 10' 05.4735" W | 362                                      | Turismo-Canotaje/<br>Tourism-Canotaje                                                                                         |
| SC                                        | 13° 01' 23.9268" S                                 | 76° 11' 37.9231" W | 320                                      | Turismo-Canotaje/ Tourism-Canotaje                                                                                            |
| CL                                        | 13° 07' 10.4340" S                                 | 76° 21' 25.3799" W | 70                                       | Actividad agrícola, actividad ganadera y desechos domésticos/<br>Agricultural activity, livestock activity and domestic waste |
| BR                                        | 13° 07' 18.9984" S                                 | 76° 24' 02.0229" W | 11                                       | Confluencia de residuos de la zona anterior del río/ Confluence of waste from the upstream area of the river                  |

## MATERIALES Y METODOS

### Muestreo e identificación de macroinvertebrados acuáticos

En cada estación de muestreo se seleccionaron tres microhábitats (áreas con vegetación incipiente o raíces sumergidas, áreas con exposición al sol e intersticios entre rocas). En áreas poco profundas y de sustrato pedregoso, se empleó una red Surber de 250 µm durante 5 min (Needham y Usinger, 1956) y en áreas de corriente fuerte se usó la red tipo D (Sermeño-Chicas *et al.*, 2010). Las muestras se tomaron por triplicado, se colocaron en frascos de 50 mL y se transportaron a 4 °C al laboratorio para su análisis posterior. Las muestras se tamizaron (500 µm) y se conservaron en etanol (70%) y la identificación taxonómica de los organismos se realizó a nivel de familia, mediante las claves de Roldán (1996) y Domínguez y Fernández (2009).

### Índices de riqueza, diversidad, dominancia, equidad, densidad relativa y similitud

La valoración de las diferencias en la composición de las comunidades de macroinvertebrados entre las estaciones de muestreo y las temporadas del año se realizó mediante la aplicación de índices de diversidad (Shannon), riqueza (Margalef), dominancia (Simpson), equidad (Pielou) y similitud (Bray-Curtis), este último para determinar la semejanza de la abundancia de familias y variables fisicoquímicas por estaciones y temporadas. Estos análisis se hicieron con el paquete estadístico PAST

## MATERIALS AND METHODS

### Sampling and identification of aquatic macroinvertebrates

At each sampling station, three microhabitats were selected (areas with incipient vegetation or submerged roots, areas exposed to the sun, and interstices between rocks). In shallow areas with rocky substrate, a 250 µm Surber net was used for 5 minutes (Needham and Usinger, 1956), and in areas with strong currents, a D-type net (Sermeño-Chicas *et al.*, 2010) was used. The samples were taken in triplicate, placed in 50 mL bottles, and transported at 4 °C to the laboratory for further analysis. The samples were sieved (500 µm) and preserved in ethanol (70 %), and the taxonomic identification of the organisms was carried out at the family level, using the keys of Roldán (1996) and Domínguez and Fernández (2009).

### Richness, diversity, dominance, equity, relative density, and similarity indices

The assessment of differences in the composition of macroinvertebrate communities between sampling stations and seasons of the year was conducted using diversity indices (Shannon), richness (Margalef), dominance (Simpson), evenness (Pielou), and similarity (Bray-Curtis), the latter to determine the similarity of family abundance and physicochemical variables by stations and seasons. These analyses were conducted using the statistical package PAST (PAleontological STatistics) (Hammer *et al.*, 2001). The density was determined by obtaining the

(*PAleontological STatistics*) ([Hammer et al., 2001](#)) La densidad se determinó obteniendo la densidad de deriva (abundancia / tiempo, velocidad del caudal, área,  $D = (Ab)/(T.V. \cdot A)$ ) ([Smok, 1996](#)).

### Variables fisicoquímicas

Se realizaron mediciones *in situ* por triplicado de pH, oxígeno disuelto (OD, %), conductividad eléctrica (CE,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sólidos totales disueltos (STD, ppm) y temperatura del agua ( $^{\circ}\text{C}$ ) en cada estación, con una sonda multiparámetros (Hanna HI9829-03041). Paralelamente, se recolectaron muestras de agua por triplicado en frascos de plástico de 500 mL y se conservaron a  $4^{\circ}\text{C}$  para medir algunos nutrientes. La determinación de los nutrientes se realizó de acuerdo con la siguiente metodología: nitrógeno en forma de nitrógeno nítrico ( $\text{NO}_3^-$ , ppm) por el método SM4500-N03-1-D y la técnica electrométrica ([Rice y Bridgewater, 2012](#)); nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ , ppm) por el método UNE 77028:1983 y la determinación de fósforo total (P, ppm) por el método SM4500-P B, E ([AENOR, 2002](#)).

### Análisis estadístico

La evaluación de las diferencias de las variables fisicoquímicas entre las temporadas lluviosa y seca y entre las estaciones de muestreo se realizó mediante un ANOVA de dos factores con interacción para determinar posibles diferencias significativas, utilizando paquete estadístico PAST. Se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) para determinar las asociaciones entre la abundancia de macroinvertebrados, las variables fisicoquímicas y las temporadas climáticas se empleó el IBM SPSS Statistics – Versión 31.

## RESULTADOS

### Composición y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados

La composición de los macroinvertebrados se agrupó en 5 clases, 7 órdenes y 30 familias. La clase Insecta presentó el mayor número de órdenes y familias, con el predominio de los órdenes Diptera y Trichoptera, cada uno con siete familias. Se colectaron 4541 individuos, de los cuales 1493 se registraron en la temporada lluviosa, destacando por su abundancia las familias Leptohyphidae (497 individuos), Chironomidae (378), Leptophlebiidae (307) e Hydropsychidae (164). En la temporada seca se obtuvieron 3048 individuos, con una mayor abundancia

drift density (abundance / Time). Flow rate. Area;  $D = (Ab)/(T.V. \cdot A)$ ) ([Smok, 1996](#)).

### Physicochemical parameters

*In situ* measurements were taken in triplicate for pH, dissolved oxygen (DO, %), electrical conductivity (EC,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), total dissolved solids (TDS, ppm), and water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) at each station, using a multiparameter probe ([Hanna HI9829-03041](#)). Simultaneously, water samples were collected in triplicate in 500 mL plastic bottles and stored at  $4^{\circ}\text{C}$  to measure certain nutrients. The determination of nutrients was carried out according to the following methodology: nitrogen in the form of nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^-$ , ppm) by the SM4500-N03-1-D method and the electrometric technique ([Rice and Bridgewater, 2012](#)); ammoniacal nitrogen ( $\text{NH}_4^+$ , ppm) by the UNE 77028:1983 method and the determination of total phosphorus (P, ppm) by the SM4500-P B, E method ([AENOR, 2002](#)).

### Statistical analysis

The evaluation of the differences in physicochemical parameters between the rainy and dry seasons and between the sampling stations was conducted using a two-factor ANOVA with interaction to determine possible significant differences, utilizing the PAST statistical package (*PAleontological STatistics*). A principal component analysis (PCA) was applied to determine the associations between the abundance of macroinvertebrates, physicochemical parameters, and climatic seasons using IBM SPSS Statistics - Version 31.

## RESULTS

### Composition and abundance of the macroinvertebrate community

The composition of the macroinvertebrates was grouped into 5 Classes, 7 orders, and 30 families. The class Insecta presented the largest number of orders and families, with the predominance of the orders Diptera and Trichoptera, each with seven families. A total of 4541 individuals were collected, of which 1493 were recorded in the rainy season, with the families Leptohyphidae (497 individuals), Chironomidae (378 individuals), Leptophlebiidae (307 individuals), and Hydropsychidae (164 individuals) standing out for their abundance. During the dry season, 3,048 individuals were obtained, with greater abundance in the families Tricorythidae (1,113 individuals), Elmidae (806 individuals), Leptohyphidae (408

en las familias Tricorythidae (1113 individuos), Elmidae (806), Leptohiphidae (408) e Hydropsychidae (272). Por otro lado, los Oligochaeta, Turbellaria y Gastropoda fueron los taxones menos representativos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Composición y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados.

| Clase/Class | Orden/Order     | Familia/Family    | Abundancia por temporada/<br>Seasonal abundance |              |     |
|-------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------------------|--------------|-----|
|             |                 |                   | Lluviosa/<br>Rainy                              | Seca/<br>Dry |     |
| Oligochaeta |                 |                   | 3                                               | 0            |     |
| Turbellaria |                 | Planariidae       | 4                                               | 0            |     |
| Gastropoda  |                 | Physidae          | 0                                               | 55           |     |
| Malcostraca | Amphipoda       | Hyalellidae       | 0                                               | 1            |     |
| Insecta     | Coleoptera      | Dytiscidae        | 0                                               | 3            |     |
|             |                 | Elmidae           | 96                                              | 806          |     |
|             |                 | Gyrinidae         | 0                                               | 4            |     |
|             |                 | Hydrophilidae     | 0                                               | 5            |     |
|             |                 | Ceratopogonidae   | 1                                               | 6            |     |
|             |                 | Chironomidae      | 378                                             | 128          |     |
|             | Diptera         | Culicidae         | 0                                               | 1            |     |
|             |                 | Dolichopodidae    | 0                                               | 2            |     |
|             |                 | Empididae         | 0                                               | 1            |     |
|             |                 | Simuliidae        | 9                                               | 29           |     |
|             |                 | Tipulidae         | 0                                               | 1            |     |
|             |                 | Ephemeroptera     | Baetidae                                        | 24           | 158 |
|             | Leptohyphidae   |                   | 497                                             | 408          |     |
|             | Leptophlebiidae |                   | 307                                             | 4            |     |
|             | Tricorythidae   |                   | 0                                               | 1113         |     |
|             | Hemiptera       |                   | Corixidae                                       | 0            | 2   |
|             |                 |                   | Veliidae                                        | 0            | 2   |
|             | Megaloptera     |                   | Corydalidae                                     | 0            | 1   |
|             | Odonata         | Coenagrionidae    | 0                                               | 4            |     |
|             | Trichoptera     | Glossosomatidae   | 3                                               | 0            |     |
|             |                 | Hydropsychidae    | 164                                             | 272          |     |
|             |                 | Hydroptilidae     | 6                                               | 35           |     |
|             |                 | Leptoceridae      | 0                                               | 1            |     |
|             |                 | Limnephylidae     | 1                                               | 3            |     |
|             |                 | Odontoceridae     | 0                                               | 2            |     |
|             |                 | Polycentropodidae | 0                                               | 1            |     |
| Subtotal    |                 |                   | 1493                                            | 3048         |     |
| Total       |                 |                   | 4541                                            |              |     |

**Table 2.** Composition and abundance of the macroinvertebrate community.

### Índices de riqueza, diversidad y dominancia

Los mayores valores de los índices de riqueza de Margalef ( $D_{Mg}$ ) y de diversidad de Shannon ( $H'$ ) se registraron en la temporada seca con 27 taxones diferentes y 3049 individuos, pero con menor equitatividad en la distribución e igual dominancia para ambas temporadas (Tabla 3).

### Richness, diversity, and dominance indices

The highest values of Margalef's richness index ( $D_{Mg}$ ) and Shannon's diversity index ( $H'$ ) were recorded in the dry season with 27 different taxa and 3,049 individuals, but with lower evenness in distribution and equal dominance for both seasons (Table 3).

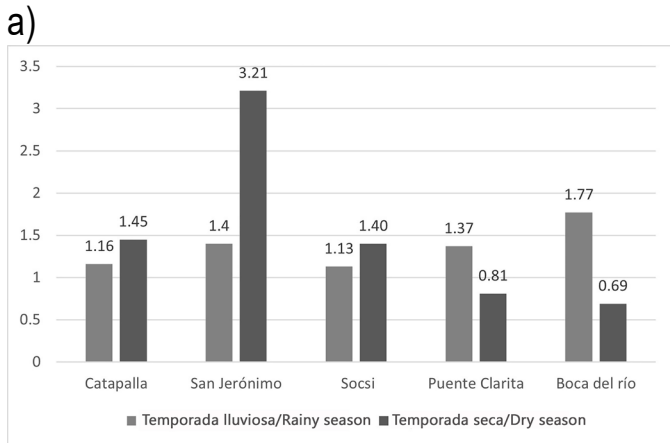
En las Figuras 2a y 2b, se observa que, en la temporada lluviosa, la mayor riqueza de especies se registró en Boca del Río (D Mg = 1.77) y la menor en Socsi (D Mg = 1.13); en cuanto a la mayor dominancia, se destacó Puente Clarita (D = 0.49), mientras que la menor ocurrió en Boca del Río (D = 0.23). En la temporada seca, San Jerónimo presentó la mayor riqueza y dominancia de especies (D Mg = 3.21; D = 0.59), en tanto que en Boca del Río se observó la menor riqueza de especies (D Mg = 0.69) y en Puente Clarita la menor dominancia (D = 0.27).

**Tabla 3.** Índices de riqueza, diversidad y dominancia de la comunidad de macroinvertebrados.

|                          | Temporada/Season |          |
|--------------------------|------------------|----------|
|                          | Lluviosa/Rainy   | Seca/Dry |
| Taxones_S/Taxa_S         | 13               | 27       |
| Individuos/Individuals   | 1493             | 3049     |
| Dominancia_D/Dominance_D | 0.2              | 0.2      |
| Shannon_H                | 1.628            | 1.759    |
| Margalef_D Mg            | 1.642            | 3.241    |
| Equidad_J/Equity_J       | 0.635            | 0.534    |

In Figures 2a and 2b, it is observed that, during the rainy season, the greatest species richness was recorded in Boca del Río (D Mg = 1.77) and the lowest in Socsi (D Mg = 1.13); regarding the highest dominance, Puente Clarita stood out (D = 0.49), while the lowest occurred in Boca del Río (D = 0.23). In the dry season, San Jerónimo showed the greatest species richness and dominance (D Mg = 3.21; D = 0.59), while Boca del Río exhibited the lowest species richness (D Mg = 0.69) and Puente Clarita the lowest dominance (D = 0.27).

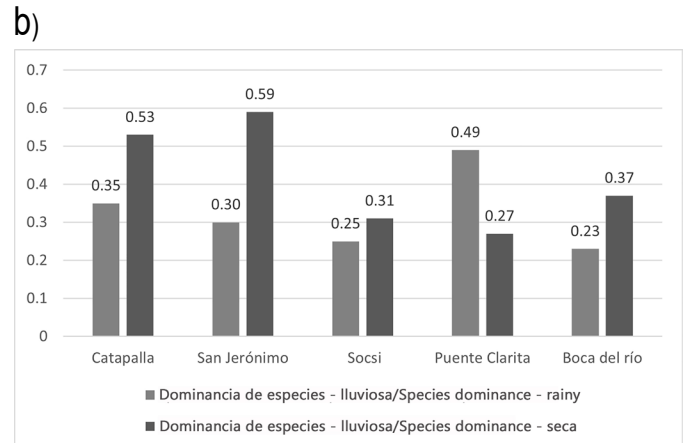
**Table 3.** Indices of richness, diversity and dominance of the macroinvertebrate community



**Figura 2.** Índices de diversidad y dominancia de las comunidades de macroinvertebrados. **a)** Índices de Riqueza de especies de Margalef; **b)** Índices de Dominancia de Simpson.

## DENSIDAD

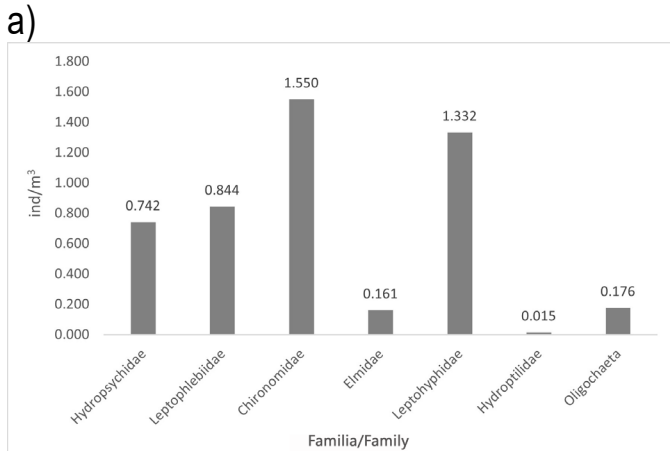
En relación con la densidad, de las 29 familias de macroinvertebrados reconocidas en el estudio, 12 se recolectaron en la temporada lluviosa, con las mayores densidades, en orden decreciente, para Chironomidae, Leptohyphidae e Hydropsychidae (Figura 3a). Durante la temporada seca se reconocieron 27 de las 29 familias registradas en el estudio, siendo las de mayor densidad relativa Tricorythidae, Elmidae, Leptohyphidae, Hydropsychidae, Baetidae y Chironomidae (Figura 3b).



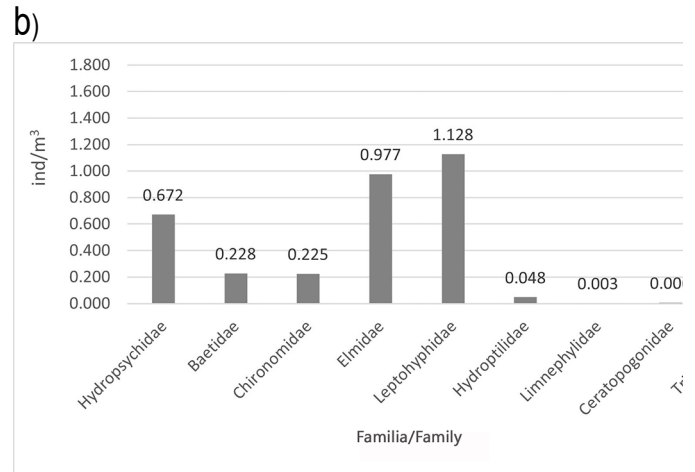
**Figure 2.** Diversity and dominance indices of macroinvertebrate communities. **a)** Margalef species richness indices; **b)** Simpson dominance indices.

## DENSITY

In relation to density, of the 29 families of macroinvertebrates identified in the study, 12 were collected during the rainy season, with the highest densities, in decreasing order, for the families Chironomidae, Leptohyphidae, and Hydropsychidae (Figure 3a). During the dry season, 27 of the 29 families recorded in the study were recognized, with the highest relative density being Tricorythidae, Elmidae, Leptohyphidae, Hydropsychidae, Baetidae, and Chironomidae (Figure 3b).



**Figura 3.** Distribución de la densidad en las familias de macroinvertebrados. **a)** Densidad en temporada lluviosa; **b)** Densidad en temporada seca.



**Figure 3.** Distribution of density in macroinvertebrate families. **a)** Density in the rainy season; **b)** Density in the dry season.

En la temporada lluviosa la familia Chironomidae registró la mayor densidad acumulada en los cinco puntos de muestreo (1.550 ind/m<sup>3</sup>); sin embargo, en Catapalla y San Jerónimo, Leptohyphidae obtuvo la mayor densidad (0.531 ind/mL y 0.675 ind/m<sup>3</sup>, respectivamente). En Socsi y Puente Clarita sobresalió la familia Chironomidae con 0.354 ind/m<sup>3</sup> y 0.675 ind/m<sup>3</sup>, respectivamente, y en Boca del Río Hydropsychidae llegó a 0.294 ind/m<sup>3</sup> (Tabla 4).

**Tabla 4.** Densidad relativa en temporada lluviosa (ind/m<sup>3</sup>).

|                 | Catapalla | San Jerónimo | Socsi | Puente Clarita | Boca del Río | Densidad relativa acumulada (ind/m <sup>3</sup> )/<br>Cumulative relative density (ind/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-----------|--------------|-------|----------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hydropsychidae  | 0.091     | 0.059        | 0.167 | 0.130          | 0.294        | 0.742                                                                                                   |
| Baetidae        | 0.017     | 0.021        | 0.014 | 0.006          | 0.000        | 0.058                                                                                                   |
| Leptophlebiidae | 0.194     | 0.215        | 0.247 | 0.071          | 0.118        | 0.844                                                                                                   |
| Chironomidae    | 0.137     | 0.091        | 0.354 | 0.675          | 0.294        | 1.550                                                                                                   |
| Planariidae     | 0.017     | 0.002        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.019                                                                                                   |
| Simuliidae      | 0.011     | 0.003        | 0.010 | 0.000          | 0.000        | 0.025                                                                                                   |
| Elmidae         | 0.000     | 0.134        | 0.022 | 0.006          | 0.000        | 0.161                                                                                                   |
| Leptohyphidae   | 0.531     | 0.472        | 0.181 | 0.089          | 0.059        | 1.332                                                                                                   |
| Hydroptilidae   | 0.000     | 0.003        | 0.006 | 0.006          | 0.000        | 0.015                                                                                                   |
| Limnephylidae   | 0.000     | 0.002        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.002                                                                                                   |
| Glossosomatidae | 0.000     | 0.000        | 0.000 | 0.018          | 0.000        | 0.018                                                                                                   |
| Ceratopogonidae | 0.000     | 0.000        | 0.000 | 0.000          | 0.059        | 0.059                                                                                                   |
| Oligochaeta     | 0.000     | 0.000        | 0.000 | 0.000          | 0.176        | 0.176                                                                                                   |

During the rainy season, the Chironomidae family recorded the highest accumulated density at the five sampling points (1.550 ind/m<sup>3</sup>); however, in Catapalla and San Jerónimo, Leptohyphidae achieved the highest density (0.531 ind/mL and 0.675 ind/m<sup>3</sup>, respectively). In Socsi and Puente Clarita, the Chironomidae family stood out with 0.354 ind/m<sup>3</sup> and 0.675 ind/m<sup>3</sup>, respectively, and in Boca del Río, Hydropsychidae reached 0.294 ind/m<sup>3</sup> (Table 4).

**Table 4.** Relative density in the rainy season (ind/m<sup>3</sup>).

Durante la temporada seca, las mayores densidades relativas por familia y estación de muestreo se registraron en Catapalla, con 0.714 ind/m<sup>3</sup> de la familia Elmidae; en San Jerónimo, Tricorythidae alcanzó una densidad de 0.757 ind/m<sup>3</sup>; Sosci y Boca del Río tuvieron densidades de 0.410 y 0.471 ind/m<sup>3</sup>, respectivamente, ambas correspondientes a Leptohyphidae; y en Puente Clarita, Hydropsychidae registró una densidad de 0.324 ind/m<sup>3</sup>. La mayor densidad relativa acumulada correspondió a las familias Tricorythidae, con 1.572 ind/m<sup>3</sup> y Leptohyphidae con 1.128 ind/m<sup>3</sup> (Tabla 5).

**Tabla 5.** Densidad relativa en temporada seca (ind/m<sup>3</sup>).

|                   | Catapalla | San Jerónimo | Sosci | Puente Clarita | Boca del Río | Densidad relativa acumulada (ind/m <sup>3</sup> ) / Cumulative relative density (ind/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|-----------|--------------|-------|----------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hydropsychidae    | 0.003     | 0.001        | 0.013 | 0.324          | 0.330        | 0.672                                                                                                 |
| Baetidae          | 0.002     | 0.128        | 0.067 | 0.031          | 0.000        | 0.228                                                                                                 |
| Leptophlebiidae   | 0.000     | 0.004        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.004                                                                                                 |
| Chironomidae      | 0.061     | 0.005        | 0.071 | 0.079          | 0.009        | 0.225                                                                                                 |
| Planariidae       | 0.000     | 0.000        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.000                                                                                                 |
| Simuliidae        | 0.028     | 0.001        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.029                                                                                                 |
| Elmidae           | 0.714     | 0.026        | 0.061 | 0.000          | 0.177        | 0.977                                                                                                 |
| Leptohyphidae     | 0.002     | 0.016        | 0.410 | 0.229          | 0.471        | 1.128                                                                                                 |
| Hydroptilidae     | 0.020     | 0.006        | 0.006 | 0.015          | 0.000        | 0.048                                                                                                 |
| Limnephylidae     | 0.000     | 0.003        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.003                                                                                                 |
| Glossosomatidae   | 0.000     | 0.000        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.000                                                                                                 |
| Ceratopogonidae   | 0.000     | 0.006        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.006                                                                                                 |
| Oligochaeta       | 0.000     | 0.000        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.000                                                                                                 |
| Tricorythidae     | 0.137     | 0.757        | 0.353 | 0.320          | 0.006        | 1.572                                                                                                 |
| Physidae          | 0.031     | 0.023        | 0.006 | 0.000          | 0.000        | 0.061                                                                                                 |
| Leptoceridae      | 0.001     | 0.000        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.001                                                                                                 |
| Corydalidae       | 0.001     | 0.000        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.001                                                                                                 |
| Dolichopodidae    | 0.000     | 0.002        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.002                                                                                                 |
| Coenagrionidae    | 0.000     | 0.004        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.004                                                                                                 |
| Dytiscidae        | 0.000     | 0.003        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.003                                                                                                 |
| Odontoceridae     | 0.000     | 0.002        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.002                                                                                                 |
| Culicidae         | 0.000     | 0.001        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.001                                                                                                 |
| Empididae         | 0.000     | 0.001        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.001                                                                                                 |
| Hyalellidae       | 0.000     | 0.001        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.001                                                                                                 |
| Polycentropodidae | 0.000     | 0.001        | 0.000 | 0.000          | 0.000        | 0.001                                                                                                 |
| Vellidae          | 0.000     | 0.001        | 0.003 | 0.000          | 0.000        | 0.004                                                                                                 |

During the dry season, the highest relative densities by family and sampling station were recorded in Catapalla, with 0.714 ind/m<sup>3</sup> of the Elmidae family; in San Jerónimo, Tricorythidae reached a density of 0.757 ind/m<sup>3</sup>; Sosci and Boca del Río had densities of 0.410 and 0.471 ind/m<sup>3</sup>, respectively, both corresponding to Leptohyphidae; and in Puente Clarita, Hydropsychidae recorded a density of 0.324 ind/m<sup>3</sup>. The highest accumulated relative density corresponded to the families Tricorythidae, with 1,572 ind/m<sup>3</sup> and Leptohyphidae, with 1,128 ind/m<sup>3</sup> (Table 5)

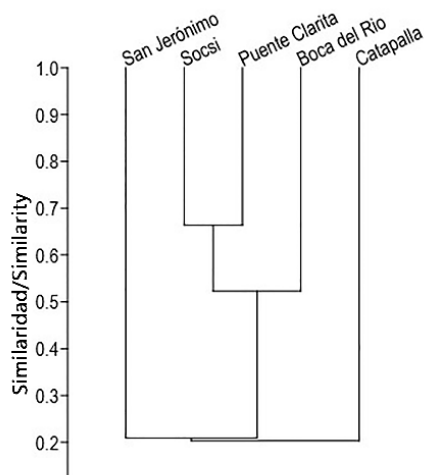
**Table 5.** Relative density in the dry season (ind/m<sup>3</sup>).

|               |       |       |       |       |       |       |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Corixidae     | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 |
| Gyrinidae     | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.004 |
| Hydrophilidae | 0.000 | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 0.006 | 0.016 |
| Tipulidae     | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 |

## ANÁLISIS DE SIMILARIDAD

La temporada lluviosa mostró, a través del dendograma de similitud de Bray-Curtis (Figura 4a), que la composición y abundancia de los macroinvertebrados en las estaciones San Jerónimo, Socsi y Catapalla fueron similares, mientras que Puente Clarita y Boca del Río las abundancias difirieron en cada estación (Figura 4a). Por otro lado, los valores de los parámetros fisicoquímicos en Socsi, Catapalla y San Jerónimo resultaron similares, mientras que Puente Clarita y Boca del Río presentaron diferencias notables (Figura 4b).

a)



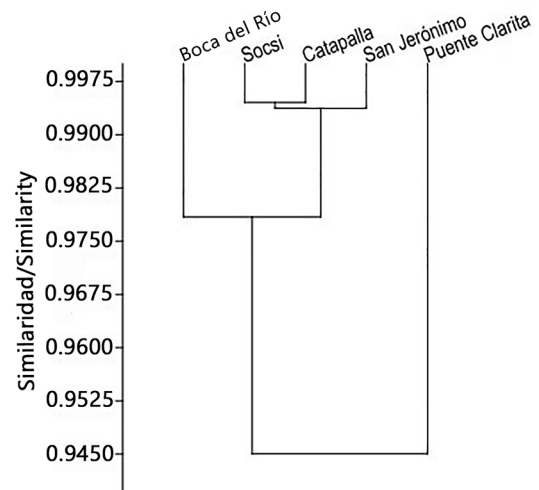
**Figura 4.** Dendograma de similitud para la temporada lluviosa. **a)** Respecto a la abundancia de los macroinvertebrados por estación de muestreo; **b)** Respecto a los parámetros fisicoquímicos por estación de muestreo.

En la temporada seca, el dendograma de similitud Bray-Curtis mostró que las estaciones de Socsi y Puente Clarita presentaron la mayor similitud en cuanto a la abundancia por familia, seguidas por Boca del Río. En contraste, Catapalla y San Jerónimo se diferenciaron del resto de las estaciones de muestreo (Figura 5a). Los valores de las variables fisicoquímicas fueron similares entre Puente Clarita y Boca del Río, así como entre San Jerónimo, Socsi, y Catapalla (Figura 5b).

## SIMILARITY ANALYSIS

The rainy season showed, through the Bray-Curtis similarity dendrogram (Figure 4a), that the composition and abundance of macroinvertebrates at the San Jerónimo, Socsi, and Catapalla stations were similar, while at Puente Clarita and Boca del Río the abundances differed at each station (Figure 4a). On the other hand, the values of the physicochemical variables in Socsi, Catapalla, and San Jerónimo were similar, while Puente Clarita and Boca del Río showed notable differences (Figure 4b).

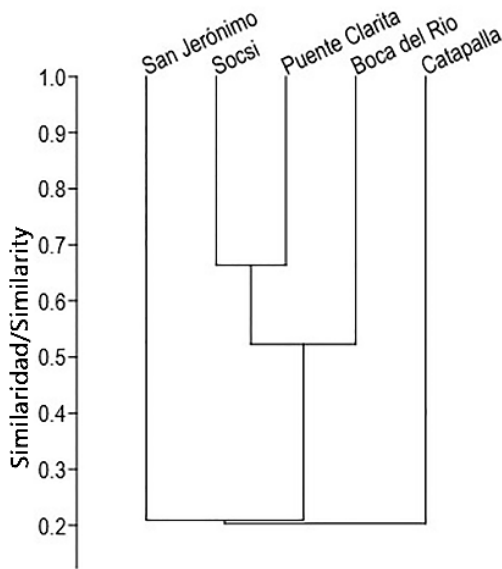
b)



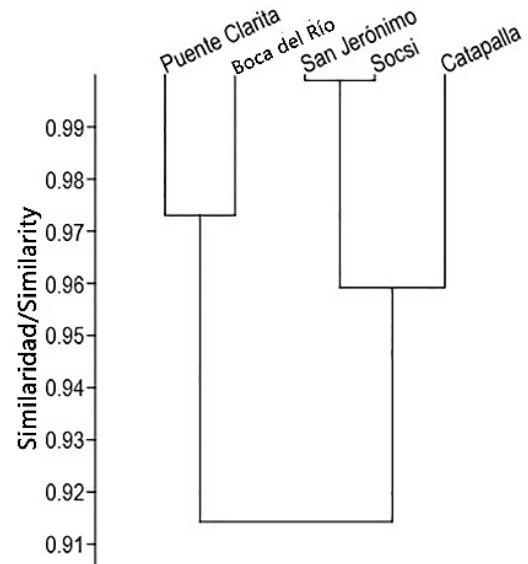
**Figure 4.** Similarity dendrogram for the rainy season. **a)** Regarding the abundance of macroinvertebrates by sampling station; **b)** Regarding the physicochemical parameters by sampling station.

In the dry season, the Bray-Curtis similarity dendrogram showed that the Socsi and Puente Clarita stations had the greatest similarity in terms of abundance by family, followed by Boca del Río. In contrast, Catapalla and San Jerónimo differed from the rest of the sampling stations (Figure 5a). The values of the physicochemical variables were similar between Puente Clarita and Boca del Río, as well as between San Jerónimo, Socsi, and Catapalla (Figure 5b).

a)



b)



**Figura 5.** Dendrograma de similitud para la temporada seca. **a)** Respecto a la abundancia de los macroinvertebrados por estación de muestreo; **b)** Respecto a las variables fisicoquímicas por estación de muestreo.

**Figure 5.** Similarity dendrogram for the dry season. **a)** Regarding the abundance of macroinvertebrates by sampling station; **b)** Regarding the physicochemical parameters by sampling station.

## CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL ECOSISTEMA ACUÁTICO

El análisis de varianza (ANDEVA) evidenció diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la mayoría de las variables fisicoquímicas entre las estaciones de muestreo y entre las temporadas climáticas (Tabla 6). Los valores del pH se mantuvieron estables en las temporadas lluviosa y seca; Puente Clarita presentó un pH diferente (ligeramente ácido) a las demás estaciones para la temporada lluviosa, mientras que en la época seca Catapalla mostró un valor distinto a las demás estaciones. El oxígeno disuelto (OD) fue mayor en la temporada lluviosa en comparación con la temporada seca. En ambas temporadas, Puente Clarita y Boca del Río mostraron valores similares. La conductividad eléctrica (CE) en San Jerónimo y Socsi fue similar entre temporadas, pero fue diferente a la de las demás estaciones. Los valores más altos para STD se registraron en Boca del Río y en Puente Clarita para ambas temporadas. En la temporada lluviosa, Catapalla, San Jerónimo y Socsi no mostraron diferencias significativas, mientras que, en la temporada seca, San Jerónimo y Socsi mantuvieron valores similares.

La temperatura registró mayores valores en la temporada seca. Socsi y Puente Clarita tuvieron registros similares en la temporada

## PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE AQUATIC ECOSYSTEM

The analysis of variance (ANOVA) showed significant differences ( $p < 0.05$ ) in most physicochemical variables between the sampling stations and between the climatic seasons (Table 6). The pH values remained stable during the rainy and dry seasons; Puente Clarita showed a different pH (slightly acidic) compared to the other stations during the rainy season, while in the dry season Catapalla exhibited a different value from the other stations. Dissolved oxygen (DO) was higher in the rainy season compared to the dry season. In both seasons, Puente Clarita and Boca del Río showed similar values. Electrical conductivity (EC) in San Jerónimo and Socsi was similar between seasons, but it was different from that of the other stations. The highest values for STD were recorded in Boca del Río and Puente Clarita for both seasons. During the rainy season, Catapalla, San Jerónimo, and Socsi did not show significant differences, while in the dry season, San Jerónimo and Socsi maintained similar values.

The temperature recorded higher values in the dry season. Socsi and Puente Clarita had similar records in the rainy season, while in the dry phase, thermal similarity occurred in San Jerónimo and Socsi. For  $\text{NO}_3^-$ , no significant differences were detected

lluviosa, mientras que, en la fase seca la similaridad térmica ocurrió en San Jerónimo y Socsi. Para el  $\text{NO}_3^-$ , no se detectaron diferencias significativas entre estaciones durante la época lluviosa, pero en la temporada seca, San Jerónimo presentó valores que difirieron del resto de sitios. El nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) se mantuvo estable, tanto entre estaciones como entre temporadas. El fósforo (P) no presentó deferencias entre estaciones, pero si por fases climáticas (Tabla 6). En la temporada seca se registraron valores más altos de temperatura y  $\text{NO}_3^-$ , mientras que los niveles de OD y P fueron más bajos. En la temporada lluviosa estos patrones se invirtieron.

**Tabla 6.** Parámetros fisicoquímicos en muestras de agua de las estaciones de muestreo Catapalla (CT), San Jerónimo (SJ), Socsi (SC), Puente Clarita (CL) y Boca del Río (BR) en dos temporadas. Se reportan los valores promedio  $\pm$  el error estándar. Se incluyen las comparaciones entre medias, en donde diferentes letras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

| Temporada/<br>Season | Estación de<br>muestreo/<br>Sampling<br>Station | pH                | OD (%)/<br>DO (%)  | CE (MS/<br>cm)/<br>EC (MS/cm) | STD (ppm)/<br>TDS (ppm) | Temperatura<br>(°C)/<br>Temperature | $\text{NO}_3^-$<br>(ppm) | $\text{NH}_4^+$<br>(ppm) | P (ppm)          |
|----------------------|-------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|
| Lluviosa/<br>Rainy   | CT                                              | $8.2 \pm 0.05a$   | $57.8 \pm 0.9bc$   | $432.7 \pm 24.88cd$           | $220.00 \pm 11.53bc$    | $17.13 \pm 0.29g$                   | $0.48 \pm 0.19bc$        | $0.35 \pm 0.15a$         | $0.09 \pm 0.01a$ |
|                      |                                                 |                   |                    | $437.67 \pm 25.33bcd$         | $219.67 \pm 11.84bc$    |                                     | $0.57 \pm 0.16bc$        | $0.35 \pm 0.15a$         | $0.08 \pm 0.00a$ |
|                      | SJ                                              | $7.95 \pm 0.43a$  | $56.00 \pm 2.89c$  | $434.33 \pm 25.67bcd$         | $218.33 \pm 11.67bc$    | $17.96 \pm 0.37f$                   | $0.58 \pm 0.17bc$        | $0.33 \pm 0.14a$         | $0.08 \pm 0.01a$ |
|                      |                                                 |                   |                    |                               |                         |                                     |                          |                          |                  |
|                      | SC                                              | $8.03 \pm 0.52a$  | $60.97 \pm 1.12b$  | $492.67 \pm 45.33abc$         | $246.33 \pm 22.67ab$    | $18.39 \pm 0.53ef$                  | $0.48 \pm 0.19bc$        | $0.53 \pm 0.24a$         | $0.08 \pm 0.01a$ |
|                      |                                                 |                   |                    |                               |                         |                                     |                          |                          |                  |
|                      | CL                                              | $7.38 \pm 0.64ab$ | $66.63 \pm 2.24a$  | $482.33 \pm 35.67abcd$        | $241.33 \pm 17.67abc$   | $18.60 \pm 0.26ef$                  | $0.59 \pm 0.30bc$        | $0.61 \pm 0.29a$         | $0.08 \pm 0.00a$ |
|                      |                                                 |                   |                    |                               |                         |                                     |                          |                          |                  |
|                      | BR                                              | $7.59 \pm 0.59a$  | $67.33 \pm 0.43a$  | $451.00 \pm 0.58bcd$          | $225.33 \pm 0.33bc$     | $18.77 \pm 0.21e$                   | $1.03 \pm 0.18ab$        | $0.37 \pm 0.09a$         | $0.01 \pm 0.01b$ |
|                      |                                                 |                   |                    |                               |                         |                                     |                          |                          |                  |
| Seca/Dry             | CT                                              | $6.55 \pm 0.10b$  | $30.20 \pm 0.35f$  | $422.00 \pm 0.00d$            | $211.00 \pm 0.00c$      | $19.95 \pm 0.01d$                   | $1.39 \pm 0.00a$         | $0.39 \pm 0.05a$         | $0.01 \pm 0.01b$ |
|                      |                                                 |                   |                    |                               |                         |                                     |                          |                          |                  |
|                      | SJ                                              | $7.60 \pm 0.01a$  | $39.93 \pm 0.52d$  | $422.00 \pm 0.00d$            | $211.00 \pm 0.00c$      | $24.90 \pm 0.05b$                   | $0.00a$                  | $0.05a$                  | $0.01b$          |
|                      |                                                 |                   |                    |                               |                         |                                     |                          |                          |                  |
|                      | SC                                              | $7.66 \pm 0.01a$  | $38.93 \pm 0.47de$ | $501.67 \pm 0.67ab$           | $250.67 \pm 0.67ab$     | $24.81 \pm 0.01b$                   | $1.03 \pm 0.18ab$        | $0.40 \pm 0.13a$         | $0.01 \pm 0.01b$ |
|                      |                                                 |                   |                    |                               |                         |                                     |                          |                          |                  |
|                      | CL                                              | $8.11 \pm 0.00a$  | $35.37 \pm 1.08e$  | $265.00 \pm 0.00a$            | $211.00 \pm 0.00c$      | $25.82 \pm 0.06a$                   | $1.03 \pm 0.18ab$        | $0.39 \pm 0.05a$         | $0.00 \pm 0.00b$ |
|                      |                                                 |                   |                    |                               |                         |                                     |                          |                          |                  |
|                      | BR                                              | $8.31 \pm 0.06a$  | $36.03 \pm 0.12e$  | $529.67 \pm 0.67a$            | $265.00 \pm 0.00a$      | $23.67 \pm 0.02c$                   | $1.03 \pm 0.18ab$        | $0.35 \pm 0.03a$         | $0.01 \pm 0.01b$ |

Nota: La misma letra indica que no existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Parámetros fisicoquímicos: potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), nitrógeno nítrico ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), fósforo (P).

between stations during the rainy season, but in the dry season, San Jerónimo showed values that differed from the rest of the sites. Ammoniacal nitrogen ( $\text{NH}_4^+$ ) remained stable, both between stations and between seasons. Phosphorus (P) did not show differences between seasons, but it did between climatic phases (Table 6). During the dry season, higher values of temperature and  $\text{NO}_3^-$  were recorded, while the levels of DO and P were lower. During the rainy season, these patterns were reversed.

**Table 6.** Physicochemical parameters in water samples from the sampling stations Catapalla (CT), San Jerónimo (SJ), Socsi (SC), Puente Clarita (CL), and Boca del Río (BR) in two seasons. The average values  $\pm$  the standard error are reported. Comparisons between means are included, where different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

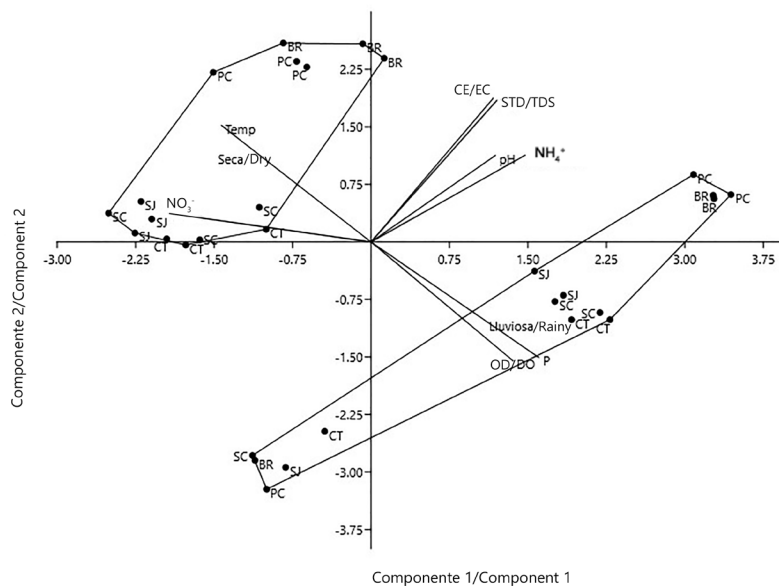
Note: The same letter indicates that there are no significant differences ( $p < 0.05$ ). Physicochemical parameters: hydrogen potential (pH), dissolved oxygen (DO), electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^-$ ), ammoniacal nitrogen ( $\text{NH}_4^+$ ), phosphorus (P).

El Análisis de Componentes Principales (ACP) aplicado a los parámetros fisicoquímicos y a las estaciones de muestreo mostró que los componentes 1 y 2 explicaron la varianza de los datos en un 83%. Este análisis evidenció una separación clara entre las temporadas lluviosa y seca, lo que indica una variación significativa de las condiciones fisicoquímicas según la fase climática del año. Los vectores para los parámetros fisicoquímicos tuvieron longitudes similares, por lo que la contribución a la variabilidad de las muestras fue similar entre ellos (Figura 6).

La temperatura y la concentración de  $\text{NO}_3^-$  se correlacionaron positivamente y se incrementaron en la temporada seca; en particular, el  $\text{NO}_3^-$  aumentó principalmente en las estaciones de San Jerónimo, Socsi y Catapalla, mientras que la temperatura se elevó de manera uniforme en todas las estaciones. El oxígeno disuelto (OD) y la concentración de P se correlacionaron de forma positiva y se incrementaron en la época lluviosa, en mayor medida en las estaciones de Socsi, Jan Jerónimo y Catapalla. La conductividad eléctrica (CE), los STD, el pH y la concentración de  $\text{NH}_4^+$  mostraron una correlación positiva y un incremento en las estaciones de Boca del Río y Puente Clarita. Sin embargo, estos parámetros no variaron significativamente entre temporadas. La temperatura y la concentración de  $\text{NO}_3^-$  disminuyeron a medida que aumentaron la concentración de P y el porcentaje de OD (Tabla 6, Figura 6).

Principal Component Analysis (PCA) applied to the physicochemical parameters and sampling stations showed that components 1 and 2 explained 83% of the data variance. This analysis showed a clear separation between the rainy and dry seasons, indicating a significant variation in physicochemical conditions according to the climatic phase of the year. The vectors for the physicochemical parameters had similar lengths, so the contribution to the variability of the samples was similar among them (Figure 6).

The temperature and the concentration of  $\text{NO}_3^-$  were positively correlated and increased during the dry season; in particular,  $\text{NO}_3^-$  increased mainly at the San Jerónimo, Socsi, and Catapalla stations, while the temperature rose uniformly at all stations. Dissolved oxygen (DO) and the concentration of P were positively correlated and increased during the rainy season, more significantly at the Socsi, Jan Jerónimo, and Catapalla stations. Electrical conductivity (EC), TDS, pH, and  $\text{NH}_4^+$  concentration showed a positive correlation and an increase at the Boca del Río and Puente Clarita stations. However, these parameters did not vary significantly between seasons. The temperature and the concentration of  $\text{NO}_3^-$  decreased as the concentration of P and the percentage of DO increased (Table 6, Figure 6).



**Figura 6.** Análisis de Componentes Principales (ACP) de los parámetros fisicoquímicos según estaciones de muestreo y temporadas (lluviosa y seca). Leyenda: PC (Puente Clarita), BR (Boca del río), SJ (San Jerónimo), SC (Socsi) CT (Catapalla), TDS sólidos totales disueltos, DO (oxígeno disuelto), EC (conductividad eléctrica) y P (fósforo).

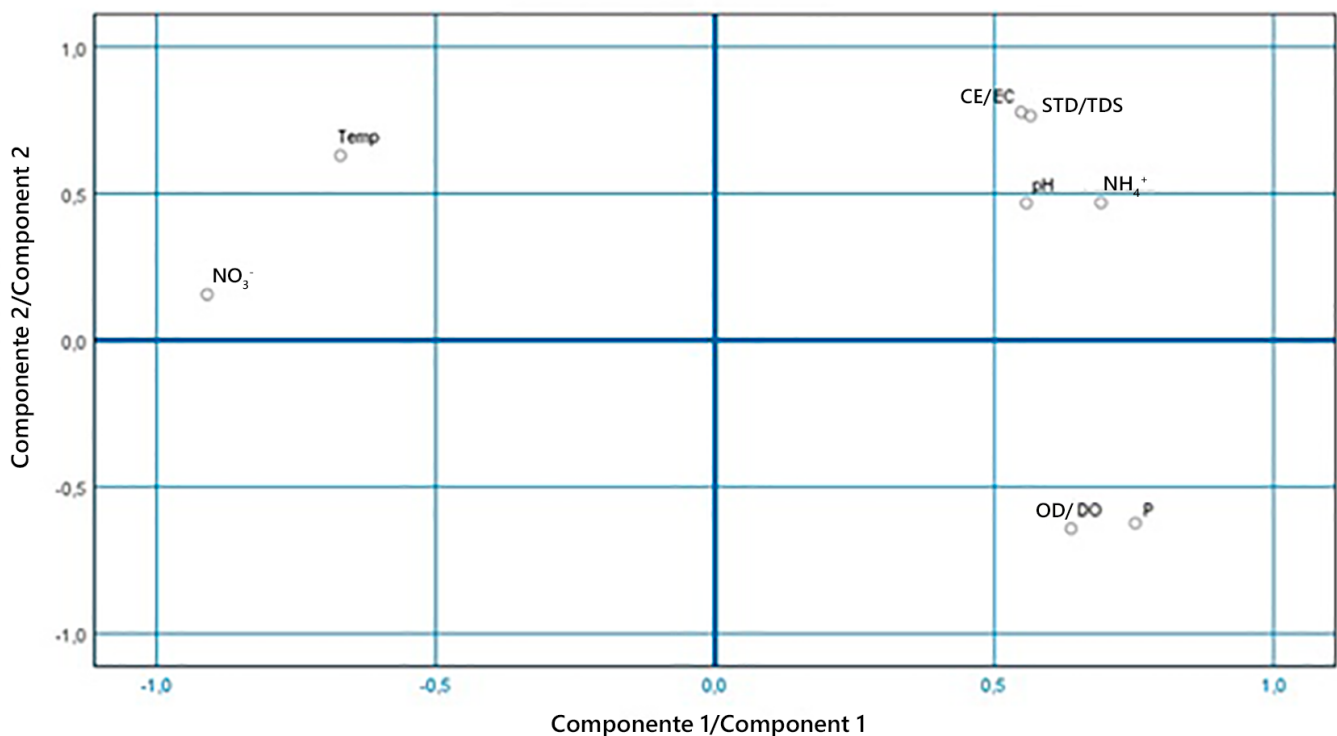
**Figure 6.** Principal Component Analysis (PCA) of physicochemical parameters according to sampling stations and seasons (rainy and dry). Legend: PC (Puente Clarita), BR (Boca del Río), SJ (San Jerónimo), SC (Socsi) CT (Catapalla), TDS (total dissolved solids), DO (dissolved oxygen), EC (electrical conductivity), and P (phosphorus).

Adicionalmente, se realizó un ACP que permitió identificar las principales fuentes de variabilidad de las observaciones de parámetros fisicoquímicos. Se identificaron dos componentes principales que agruparon el 81.29 % de la variabilidad de las observaciones.

Se observó que los parámetros fisicoquímicos se agruparon en tres conjuntos correlacionados positivamente. El primer grupo estuvo conformado por la CE, los STD, el pH y la concentración de  $\text{NH}_4^+$ ; el segundo grupo, por el OD y el P; y el tercer grupo, por la temperatura y el  $\text{NO}_3^-$ . Todos los parámetros presentaron valores propios altos asociados al componente 1, con magnitudes superiores a 0.50. El nitrógeno nítrico ( $\text{NO}_3^-$ ) mostró el valor propio más alto (0.909), lo que indica que fue el parámetro más influyente en la variabilidad de las observaciones (Figura 7).

Additionally, a PCA was conducted to identify the main sources of variability in the observations of physicochemical parameters. Two main components were identified that grouped 81.29% of the variability of the observations.

It was observed that the physicochemical variables grouped into three positively correlated sets. The first group was composed of EC, TDS, pH, and  $\text{NH}_4^+$  concentration; the second group, by DO and P; and the third group, by temperature and  $\text{NO}_3^-$ . All parameters showed high eigenvalues associated with component 1, with magnitudes greater than 0.50. Nitric nitrogen ( $\text{NO}_3^-$ ) showed the highest eigenvalue (0.909), indicating that it was the most influential parameter in the variability of the observations (Figure 7).



**Figura 7.** Representación del análisis de componentes principales (ACP) de parámetros fisicoquímicos.

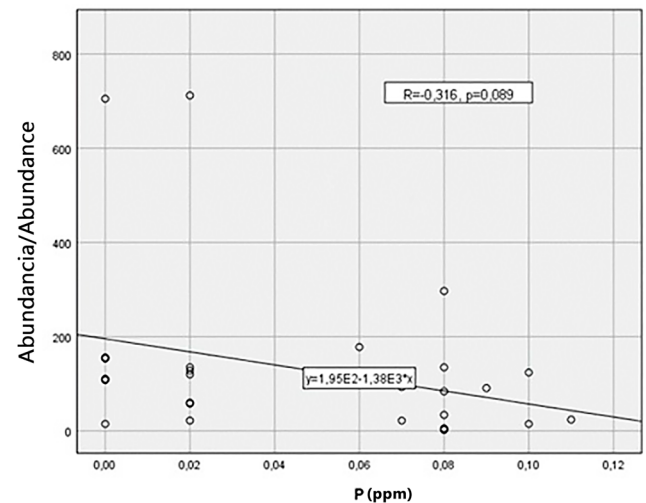
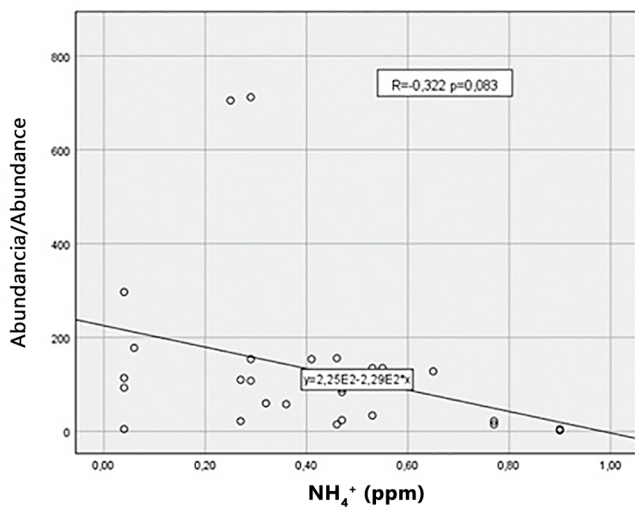
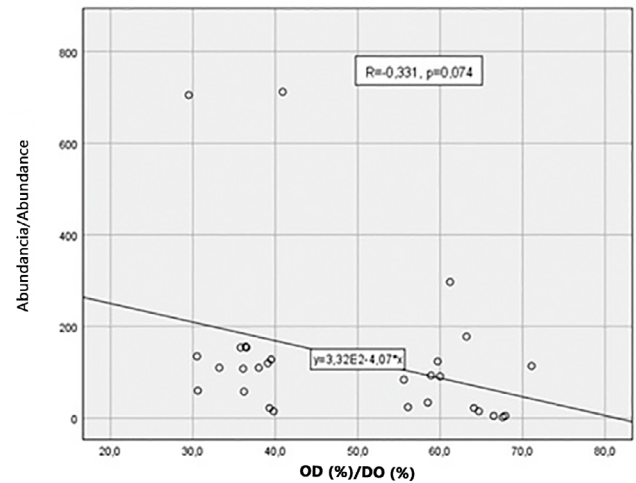
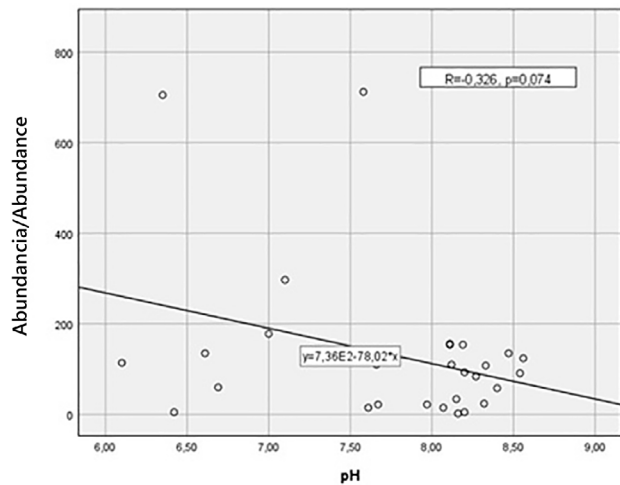
**Figure 7.** Representation of the principal component analysis (PCA) of physicochemical variables.

Se realizó un análisis de correlación entre la abundancia de macroinvertebrados y los parámetros fisicoquímicos medidos (Figura 8). Ningún parámetro demostró tener una fuerte correlación con la abundancia, pero se observaron correlaciones inversas, moderadas y significativas al 95 % con el pH, OD (%), la concentración de  $\text{NH}_4^+$  (ppm) y la concentración de P (ppm). Un

A correlation analysis was conducted between the abundance of macroinvertebrates and the measured physicochemical variables (Figure 8). No variable showed a strong correlation with abundance, but inverse, moderate, and significant correlations at 95% were observed with pH, DO (%),  $\text{NH}_4^+$  concentration (ppm), and P concentration (ppm). An increase in these variables was moderately

incremento de estos parámetros se asoció de forma moderada a una disminución en la abundancia de los macroinvertebrados observados en las muestras. Estas tendencias se muestran en las Figuras 8a, 8b, 8c. Por su parte, la CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), los STD (ppm), la temperatura y la concentración de  $\text{NO}_3^-$  (ppm) no presentaron una correlación significativa.

associated with a decrease in the abundance of macroinvertebrates observed in the samples. These trends are shown in Figures 8a, 8b, 8c. For its part, the EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), TDS (ppm), temperature, and  $\text{NO}_3^-$  concentration (ppm) did not show a significant correlation.



**Figura 8.** Análisis de correlación entre la abundancia de macroinvertebrados y los parámetros fisicoquímicos. a) Abundancia y pH; b) Abundancia y OD (%); c) Abundancia y  $\text{NH}_4^+$  (ppm); d) Abundancia y P (ppm).

**Figure 8.** Correlation analysis between the abundance of macroinvertebrates and physicochemical parameters. a) Abundance and pH; b) Abundance and DO (%); c) Abundance and  $\text{NH}_4^+$  (ppm); d) Abundance and P (ppm).

## DISCUSIÓN

### Composición y abundancia

La composición y estructura de las comunidades biológicas son claves para entender el funcionamiento y estado ecológico de los ecosistemas lóticos (Reyes-Morales, 2013). La composición de las familias registradas se debió fundamentalmente a los tipos de microhábitat en las estaciones de muestreo, tales como zonas con vegetación incipiente o raíces sumergidas, zonas con exposición al sol e intersticio entre rocas, así como la presencia de vegetación a lo largo del río. Estas zonas contribuyen a incrementar la heterogeneidad y a disponer de las opciones de alimento y refugio, lo que promueve la abundancia y riqueza de macroinvertebrados en los sistemas lóticos (Vásquez-Ramos y Reinoso, 2012; Dávila-Recinos *et al.*, 2019;). Este resultado coincide con las apreciaciones de Wright y Ryan (2016), quienes señalan que diferentes hábitats, como los sedimentos y la vegetación en zonas ribereñas y en estuarios, favorecen la presencia de insectos, gusanos planos, anélidos, moluscos y crustáceos.

Los parámetros abióticos como la estacionalidad influyen en el número de especies y en la composición de los macroinvertebrados, como lo muestran los resultados registrados en el río Huacamaranga, Perú (Tafur *et al.*, 2010) y el estudio de Minchola *et al.* (2025), que señala que el número de individuos aumenta en la temporada lluviosa. De igual manera, las variables fisicoquímicas, las perturbaciones antropogénicas y los tipos de suelo influyen en el ciclo de vida de los organismos (Johnson y Host, 2010).

La clase Insecta representó 98% (4541 individuos) de la comunidad de macroinvertebrados, destacándose por su abundancia las familias Leptohiphidae, Chironomidae, Leptophlebiidae e Hydropsychidae en la temporada lluviosa; por su parte, las familias Tricorythidae, Elmidae, Leptohiphidae, Chironomidae e Hydropsychidae predominaron en la temporada seca. Estos resultados fueron similares a lo registrado por Reyes-Morales (2013) en cuerpos de agua lenticos de la región Maya, Guatemala, en donde las familias con mayor abundancia fueron Chironomidae (Diptera) y Elmidae (Coleoptera). Asimismo, Vásquez-Ramos y Reinoso (2012) registraron las mayores abundancias para las familias Chironomidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae, Baetidae, Hydropsychidae y Glossosomatidae. En el río Cañete el mayor número de taxones de macroinvertebrados se presentó en

## DISCUSSION

### Composition and abundance

The composition and structure of biological communities are key to understanding the functioning and ecological state of lotic ecosystems (Reyes-Morales, 2013). The composition of the registered families was fundamentally due to the types of microhabitats at the sampling stations, such as areas with incipient vegetation or submerged roots, areas with sun exposure and interstices between rocks, as well as the presence of vegetation along the river. These areas contribute to increasing heterogeneity and providing options for food and shelter, which promotes the abundance and richness of macroinvertebrates in lotic systems (Vásquez-Ramos and Reinoso, 2012; Dávila-Recinos *et al.*, 2019). This result coincides with the observations of Wright and Ryan (2016), who point out those different habitats, such as sediments and vegetation in riparian zones and estuaries, favor the presence of insects, flatworms, annelids, mollusks, and crustaceans.

Abiotic parameters such as seasonality influence the number of species and the composition of macroinvertebrates, as shown by the results reported in the Huacamaranga River, Peru (Tafur *et al.*, 2010), and the study by Minchola *et al.* (2025), which indicates that individuals increase during the rainy season. Similarly, physicochemical parameters, anthropogenic disturbances, and soil types influence the life cycle of organisms (Johnson and Host, 2010).

The class Insecta represented 98% (4541 individuals) of the macroinvertebrate community, with the families Leptohiphidae, Chironomidae, Leptophlebiidae, and Hydropsychidae standing out for their abundance in the rainy season; meanwhile, the families Tricorythidae, Elmidae, Leptohiphidae, Chironomidae, and Hydropsychidae predominated in the dry season. These results were similar to those reported by Reyes-Morales (2013) in lentic water bodies of the Maya region, Guatemala, where the families with the greatest abundance were Chironomidae (Diptera) and Elmidae (Coleoptera). Likewise, Vásquez-Ramos and Reinoso (2012) recorded the highest abundances for the families Chironomidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae, Baetidae, Hydropsychidae, and Glossosomatidae. In the Cañete River, the highest number of macroinvertebrate taxa was observed during the dry season, due to the decrease in flow and current speed of the Cañete River from June to November; these conditions favored

la temporada seca, debido a la disminución del caudal y de la velocidad de la corriente en los meses de junio a noviembre; estas condiciones favorecieron la formación de diversos microhábitats que hicieron posible la presencia de las familias Tricorythidae y Leptohyphidae (Ephemeroptera), Hydropsychidae (Trichoptera) y Chironomidae (Diptera), consideradas como indicadores de la calidad del agua (Cheneaux, 2015).

### **Riqueza, dominancia, densidad relativa y similaridad**

En la temporada seca se registró la mayor riqueza y dominancia en San Jerónimo, ubicado en la zona media de la cuenca del río Cañete. Los resultados coinciden con lo registrado por Custodio y Chanamé (2016) en el río Cunas y por Núñez-Bustamante *et al.* (2021) en el río Tingo, ambos en Perú, en temporada seca. Molina *et al.* (2008) registraron similar información para ríos en Bolivia durante la temporada seca y determinaron que los valores bajos en las variables hidrológicas se asociaron a altas densidades de individuos y a un aumento en el número de taxones. Asimismo, la alta riqueza de especies se asoció a los lugares con piedras y vegetación que permitieron la presencia de una alta diversidad de macroinvertebrados, en comparación con las áreas donde solo se presentan piedras o donde no hay vegetación acuática o marginal (Jerves-Cobo *et al.*, 2018).

Vinson y Hawkins (1998) señalaron que los patrones más consistentes de riqueza están relacionados con el tamaño del sustrato, el régimen de disturbio, la depredación, la variación de la temperatura anual, la intermitencia del flujo y el tipo de bioma. La estación San Jerónimo parece ajustarse a estas condiciones, ya que está ubicada en la parte media de la cuenca donde el sustrato es de grava/guijarros y roca, la intervención antrópica es menor, la intermitencia del flujo del agua es casi nulo. La mayor temperatura incide en el cuerpo de agua, permitiendo la reproducción de los macroinvertebrados (Dou *et al.*, 2022) y la disponibilidad de alimento, en especial para los insectos (Henriques-Oliveira y Nessimian, 2010). Asimismo, la temperatura y la presión parcial de oxígeno son variables que influyen en la riqueza de especies y que limitan la diversidad de la comunidad bentónica (Jacobsen *et al.*, 2003; Jacobsen y Marín, 2007; Jacobsen, 2008).

Las mayores densidades relativas en la temporada lluviosa se registraron en Catapalla y San Jerónimo, especialmente de la familia Leptohyphidae. Les siguieron los sitios Socsi y Puente Clarita, donde abundaron los Chironomidae. En último lugar se

the formation of various microhabitats that made the presence of the families Tricorythidae and Leptohyphidae (Ephemeroptera), Hydropsychidae (Trichoptera), and Chironomidae (Diptera) possible, which are considered indicators of water quality (Cheneaux, 2015).

### **Richness, dominance, relative density, and similarity**

During the dry season, the greatest richness and dominance were recorded in San Jerónimo, located in the middle area of the Cañete River basin. The results match those reported by Custodio and Chanamé (2016) in the Cunas River and by Núñez-Bustamante *et al.* (2021) in the Tingo River, during the dry season. Molina *et al.* (2008) reported similar information for rivers in Bolivia during the dry season and determined that low values in hydrological parameters were associated with high densities of individuals and an increase in the number of taxa. Likewise, the high species richness was associated with places with stones and vegetation that allowed for the presence of a high diversity of macroinvertebrates, compared to areas where only stones are present or in others where there is no aquatic or marginal (Jerves-Cobo *et al.*, 2018) vegetation.

Vinson and Hawkins (1998) noted that the most consistent patterns of richness are related to substrate size, disturbance regime, predation, annual temperature variation, flow intermittence, and biome type. The San Jerónimo station seems to meet these conditions, as it is located in the middle part of the basin where the substrate is gravel/pebble and rock, anthropic intervention is minimal, and the intermittence of water flow is almost nonexistent. The higher temperature affects the body of water, allowing the reproduction of macroinvertebrates (Dou *et al.*, 2022) and the availability of food, especially for insects (Henriques-Oliveira y Nessimian, 2010). Likewise, temperature and partial oxygen pressure are variables that influence species richness and limit the diversity of the benthic community (Jacobsen *et al.*, 2003; Jacobsen and Marín, 2007; Jacobsen, 2008).

The highest relative densities in the rainy season were recorded in Catapalla and San Jerónimo, especially from the Leptohyphidae family. They were followed by the Socsi and Puente Clarita sites, where Chironomidae were abundant. Lastly, the locality Boca del Río was ranked, with Hydropsychidae as the most abundant family. The Bray-Curtis index related these high densities by stations, with San Jerónimo, Socsi, and Catapalla being similar in the number of individuals and in the values of the physicochemical

ubicó la localidad Boca del Río, con Hydropsychidae como la familia más abundante. El índice de Bray-Curtis relacionó estas altas densidades por estaciones, siendo San Jerónimo, Socsi y Catapalla similares en cantidad de individuos y en los valores de los parámetros fisicoquímicos, mientras que Puente Clarita y Boca del Río difirieron. En la temporada seca la mayor densidad se presentó en Catapalla, representada por Elmidae, en San Jerónimo por Tricorythidae, en Socsi y Boca del Río por Leptohyphidae y en Puente Clarita por Hydropsychidae. El dendograma de similaridad de Bray-Curtis mostró que las estaciones de Socsi, Puente Clarita y Boca del Río presentaron la mayor similaridad en cuanto a la abundancia y a los parámetros fisicoquímicos, en contraste con Catapalla y San Jerónimo, que se diferenciaron del resto de lugares. Este resultado es similar al hallado por Carrasco *et al.* (2020) en bofedales andinos, donde las familias con mayor abundancia relativa fueron Elmidae (Coleoptera), Chironomidae (Diptera), Gripopterygidae (Plecoptera) y Baetidae (Ephemeroptera).

Los macroinvertebrados de las familias de Tricorythidae y Leptohyphidae tuvieron mayores densidades en la temporada lluviosa, mientras que los Chironomidae predominaron en la temporada seca. En concordancia con lo registrado en este estudio, Kasangaki *et al.* (2006) afirmaron que los taxones de macroinvertebrados de las familias Chironomidae y Tricorythidae están bien adaptados a ambientes estresados y son colonizadores rápidos después de las perturbaciones. Además, manifiestan características como tolerancia a baja calidad del agua, adherencia firme (usando ganchos o garras), formas corporales flexibles, cuerpo hidrodinámico o aplanado y una estrategia de historia de vida tolerante a la desecación (diapausa), entre otros atributos. Acosta (2009) señaló que los géneros de esta familia Chironomidae representaron 30% de macroinvertebrados de la cuenca andina del río Cañete.

La presencia del orden Ephemeroptera (Leptohyphidae) en los diferentes puntos de muestreo estuvo influenciada por valores altos de OD. Por otro lado, los Trichoptera se incrementaron con el aumento de los valores de conductividad y temperatura. Las grandes cargas de nutrientes promueven el crecimiento de biopelículas en el sustrato de la corriente y, dado que la biopelícula es una fuente importante de alimento para algunos Trichoptera, su biomasa pudo haber aumentado en los sitios con alta carga de nutrientes y elevada conductividad (Piscart *et al.*, 2009). La riqueza,

parameters, while Puente Clarita and Boca del Río differed. In the dry season, the highest density was found in Catapalla, represented by Elmidae, in San Jerónimo by Tricorythidae, in Socsi and Boca del Río by Leptohyphidae, and in Puente Clarita by Hydropsychidae. The Bray-Curtis similarity dendrogram showed that the Socsi, Puente Clarita, and Boca del Río stations had the greatest similarity in terms of abundance and physicochemical parameters, in contrast to Catapalla and San Jerónimo, which differed from the other locations. This result is similar to that found by Carrasco *et al.* (2020) in Andean wetlands, where the families with the greatest relative abundance were Elmidae (Coleoptera), Chironomidae (Diptera), Gripopterygidae (Plecoptera), and Baetidae (Ephemeroptera).

The macroinvertebrates from the families Tricorythidae and Leptohyphidae had higher densities in the rainy season, while the Chironomidae predominated in the dry season. In accordance with what was reported in this study, Kasangaki *et al.* (2006) stated that the macroinvertebrate taxa of the families Chironomidae and Tricorythidae are well adapted to stressed environments and are rapid colonizers after disturbances. Additionally, they exhibit characteristics such as tolerance to low water quality, firm adherence (using hooks or claws), flexible body shapes, hydrodynamic or flattened bodies, and a life history strategy tolerant to desiccation (diapause), among other attributes. Acosta (2009) indicated that the genera of this Chironomidae family represented 30% of the macroinvertebrates in the Andean basin of the Cañete River.

The presence of the order Ephemeroptera (Leptohyphidae) at the different sampling points was influenced by high DO values. On the other hand, Trichoptera increased with the rise in conductivity and temperature values. The large nutrient loads promote the growth of biofilms on the stream substrate, and since the biofilm is an important food source for some Trichoptera, its biomass may have increased in sites with high nutrient loads and elevated conductivity (Piscart *et al.*, 2009).

The richness, dominance, and density of macroinvertebrate communities are influenced by the geomorphological characteristics of rivers, the aquatic microhabitat, oxygen-producing macrophytes, riparian vegetation that provides organic matter, and microclimates. These aspects modify the presence, abundance, and distribution patterns of invertebrates and the relationships that exist between these traits (Herrera and Burneo, 2017).

dominancia y densidad de las comunidades de macroinvertebrados se ven influenciadas por las características geomorfológicas de los ríos, el microhábitat acuático, las macrófitas que producen oxígeno, la vegetación ribereña que aporta materia orgánica y los microclimas, aspectos que modifican la presencia, abundancia y patrones de distribución de los invertebrados y las relaciones que existen entre dichos rasgos (Herrera y Burneo, 2017).

## CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS

Las variables físicoquímicas, en especial el OD, la CE, los STD, la temperatura, el  $\text{NO}_3^-$ , y el P, mostraron diferencia estacional climática (lluviosa y seca) y espacial en algunas estaciones (Catapalla y Boca del Río). Estas diferencias se debieron a los sustratos provenientes de la parte alta del río (cuenca alta) que son arrastrados a lo largo del curso, al deshielo de la zona glaciar de las Cordilleras Ticlla y Pichcahuajra (Acosta, 2009) y a las actividades agrícolas en la parte alta (Catapalla) y baja del área de estudio (Puente Clarita). Los resultados obtenidos coinciden parcialmente con los hallados por Núñez-Bustamante *et al.* (2021), quienes observaron diferencias espaciales pero no temporales en su estudio realizado en efluentes de la cabecera del río Tingo.

Los valores de pH presentaron diferencias significativas entre estaciones de muestreo y temporadas, coincidiendo con lo determinado por Pascual *et al.* (2019) en el río Rímac, Perú. Lo contrario se evidenció en el río Pindo Grande, Ecuador (Endara e Hinojosa-Garró, 2020), donde el pH no mostró diferencias entre temporadas (lluvia y seca). No obstante, de manera similar a este estudio, se presentó una ligera elevación del pH al final del trayecto del río en la temporada seca. El incremento del pH se ha relacionado con la presencia de materia orgánica, la temperatura, el tiempo de muestreo y el caudal del río (Mutlu, 2019). Este último trayecto del río trae consigo residuos de origen agrícola, ganadero y domésticos que confluyen con la salinidad del agua del mar. Asimismo, el leve incremento en el pH puede indicar una mayor cantidad de iones disueltos, especialmente carbonatos, que por lo general se incrementan en las partes bajas de los ríos debido al lavado de toda la cuenca.

Los valores de OD se incrementaron en la temporada de lluvia en todas las estaciones de muestreo, observándose una diferencia significativa entre temporadas. Los valores altos de OD se han relacionado con el aumento del caudal de la corriente, el cual

## Physicochemical characteristics

The physicochemical variables, especially DO, EC, TDS, temperature,  $\text{NO}_3^-$ , and P, showed seasonal climatic (rainy and dry) and spatial differences at some stations (Catapalla and Boca del Río). These differences were due to the substrates coming from the upper part of the river (upper basin) that are carried along the river, the melting of the glacial area of the Ticlay Pichcahuajra mountain ranges (Acosta, 2009), and the agricultural activities in the upper (Catapalla) and lower parts of the study area (Puente Clarita). The results obtained partially coincide with those found by Núñez-Bustamante *et al.* (2021), who observed spatial but not temporal differences in their study conducted on effluents from the headwaters of the Tingo River.

The pH values showed significant differences between sampling stations and seasons, consistent with what was determined in the Rímac River (Pascual *et al.*, 2019). The opposite was observed in the Pindo Grande River, Ecuador (Endara e Hinojosa-Garró, 2020), where the pH did not show differences between seasons (rainy and dry). However, similar to our study, there was a slight increase in pH at the end of the river's course during the dry season. The increase in pH has been linked to the presence of organic matter, temperature, sampling time, and the river (Mutlu, 2019) flow. This last stretch of the river carries agricultural, livestock, and domestic waste that converges with the salinity of the seawater. Likewise, the slight increase in pH may indicate a higher number of dissolved ions, especially carbonates, which generally increase in the lower parts of rivers due to the washing of the entire basin.

The DO values increased during the rainy season at all sampling stations, with a significant difference observed between seasons. High DO values have been linked to the increased flow of the stream, which allows for the diffusion and mixing of atmospheric oxygen in the water (Ioryue *et al.*, 2018). There is a contrast with previous results reported in the Rímac River, where the average DO in the dry season was higher than in the rainy season, due to the temporal influence during the period of higher precipitation of untreated domestic wastewater and other anthropogenic activities such as mining liabilities, agriculture, and industries (Pascual *et al.*, 2019).

The values for EC showed significant differences between sampling stations and between seasons, coinciding with the findings made in the Tingo María River (Núñez-Bustamante *et al.*, 2021). During the

permite la difusión y la mezcla de oxígeno atmosférico en el agua (Ioryue *et al.*, 2018). Existe un contraste con resultados previos registrados en el río Rímac, donde la media de OD en la temporada seca fue más alta que en la temporada lluviosa, debido a la influencia temporal durante el periodo de mayor precipitación de aguas residuales domésticas sin tratar y otras actividades antrópicas como pasivos mineros, agricultura e industrias (Pascual *et al.*, 2019).

Los valores para CE mostraron diferencias significativas entre estaciones de muestreo y entre temporadas, coincidiendo con los hallazgos realizados en el río Tingo María, Perú (Núñez-Bustamante *et al.*, 2021). En la temporada de lluvias los valores altos obtenidos en algunas estaciones de muestreo cercanas a la desembocadura del río, pueden explicarse por el aumento de la escorrentía superficial, ocasionando la incorporación de iones al cauce del río que provienen de la bruma marina que aporta sales a los sistemas acuáticos cercanos a la costa y los que tienen mayor influencia de actividades antrópicas (Rascón *et al.*, 2021).

Los registros de CE se relacionaron con la presencia de STD, debido a la presencia alta de sales, en especial en Puente Clarita. Esto se debe a la descarga de los residuos provenientes de las actividades agrícola, doméstica y ganadera. Este resultado es similar a lo registrado por Núñez-Bustamante *et al.* (2021) y guardan similitud con los estudios realizados en los ríos Rímac (Pascual *et al.*, 2019) y Huacamaracanga (Mora *et al.*, 2020).

En este estudio se hallaron valores de STD con diferencias significativas entre las estaciones de muestreo y entre las temporadas climáticas, en especial para Puente Clarita y Boca del Río, donde hay incidencia de residuos de la actividad agrícola. Los datos obtenidos en este estudio son similares a los informados para el río Pindaré, Brasil (Muniz *et al.*, 2020). Los valores bajos de STD en las estaciones de mayor altitud (como Catapalla) con respecto a las demás localidades, se debe a que el área de lavado de la cuenca es mucho mayor para la región baja del río, lo cual aumenta la riqueza iónica en este sector (Charkhabi y Sakizadeh, 2006).

Los valores de temperatura fueron diferentes en las temporadas de muestreo. La temperatura del agua fue más alta durante la temporada seca y más baja durante la de lluvia. Los hallazgos obtenidos en la presente investigación coinciden con los datos del río Huacamaracanga (Mora *et al.*, 2020). Los valores altos

rainy season, the high values obtained at some sampling stations near the river's mouth can be explained by the increase in surface runoff, causing the incorporation of ions into the river's course. This comes from sea spray that contributes salts to aquatic systems near the coast and those with greater influence from anthropogenic activities (Rascón *et al.*, 2021).

The CE records were related to the presence of STD, due to the high presence of salts, especially in Puente Clarita. This is due to the discharge of waste from agricultural, domestic, and livestock activities. This result is similar to what was reported and shows similarity with the studies conducted in the Rímac (Pascual *et al.*, 2019) and Huacamaracanga (Mora *et al.*, 2020) rivers.

In our study, we found STD values with significant differences between the sampling stations and between the climatic seasons, especially for Puente Clarita and Boca del Río, where there is an incidence of agricultural activity residues. The data obtained in this study are similar to those reported for the Pindaré River, Brazil (Muniz *et al.*, 2020). The low STD values at higher altitude stations (such as Catapalla) compared to other locations are due to the fact that the wash area of the basin is much larger for the lower region of the river, which increases the ionic richness in this sector (Charkhabi and Sakizadeh, 2006).

The temperature values were different in the sampling seasons. The water temperature was higher during the dry season and lower during the rainy season. The findings obtained in the present investigation coincide with the data from the Huacamaracanga River, Peru (Mora *et al.*, 2020). High values are related to the exposure of the waters to solar radiation. On the other hand, there are also significant differences observed between the temperatures at the sampling stations in the river. However, the influence of the altitude of the stations does not seem to greatly affect the temperature values, unlike the study conducted in the Rímac River (Pascual *et al.*, 2019), where the higher altitude areas were characterized by low temperatures. It should be considered that the elevation differences between the stations studied on the Cañete River are not very large (544 m), so the effect of altitude on temperature is limited.

A significant variation was found in the  $\text{NO}_3^-$  values between seasons, with the highest records in the dry season due to the increase in temperature that favors the nitrification process in the benthos and along the riverbank. This was especially evident at the

están relacionados con la exposición de las aguas a la radiación solar. Por otra parte, existen también diferencias significativas observadas entre las temperaturas de las estaciones de muestreo en el río. Sin embargo, la influencia de la altitud de las estaciones no pareciera afectar grandemente los valores de temperatura, a diferencia del estudio realizado en el río Rímac (Pascual *et al.*, 2019), donde la zonas con mayor altitud se caracterizaron por presentar temperaturas bajas. Hay que considerar que las diferencias de elevación entre las estaciones estudiadas en el río Cañete no son tan grandes (544 m), con lo cual el efecto de la altitud sobre la temperatura es limitado.

Una variación significativa se encontró en los valores de  $\text{NO}_3^-$  entre temporadas, con los registros más altos en la temporada seca debido al incremento de la temperatura que favorece el proceso de nitrificación en el bentos y en la orilla del río. Esto se presentó especialmente en las estaciones San Jerónimo y Socsi, en donde se encontró la mayor abundancia de macroinvertebrados. Tales respuestas se complementan con los procesos registrados por Muniz *et al.* (2020) en el río Pindaré, quienes atribuyeron los valores más altos de nitritos al incremento de las actividades de agricultura intensiva y a los residuos de la crianza animal.

Las mediciones fueron variables para el  $\text{NH}_4^+$ ; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre temporadas ni entre estaciones de muestreo. Se ha registrado que el incremento de esta variable química podría generar una toxicidad directa sobre los organismos acuáticos (Dehedin *et al.*, 2013); para el río Cañete el promedio fue de 0.4 ppm, considerado relativamente alto.

Las concentraciones de P presentaron diferencias significativas entre temporadas, pero no para las estaciones de muestreo. Se ha determinado que las variaciones entre temporadas dependen de la descarga del río, cuyo incremento en el período lluvioso ocasiona una remoción interna y condiciona el flujo de P (Kang *et al.*, 2018). Esto explicaría los valores altos obtenidos en la temporada de lluvias de este estudio. Por otro lado, los valores bajos de P están influenciados por el incremento en los STD, la temperatura y el pH (Zhou *et al.*, 2018).

Frente a las diferentes variables fisicoquímicas, los macroinvertebrados respondieron con una mayor abundancia y riqueza cuando se tuvieron valores bajos de STD y mayor concentración de DO, con la presencia de indicadores de buena calidad de agua, entre ellos las familias Leptohyphidae

San Jerónimo and Socsi stations, where the greatest abundance of macroinvertebrates was found. Such responses are complemented by the processes reported in the Pindaré River, Brazil, where the highest nitrite values were attributed to the increase in intensive agricultural activities and the waste from animal husbandry.

The measurements were variable for  $\text{NH}_4^+$ ; however, no significant differences were found between seasons or between sampling stations. It has been reported that the increase of this chemical parameter could generate direct toxicity on aquatic (Dehedin *et al.*, 2013) organisms; for the Cañete River, the average was 0.4 ppm, considered relatively high.

The P concentrations showed significant differences between seasons, but not for the sampling stations. It has been determined that the variations between seasons depend on the river discharge, whose increase during the rainy season causes internal removal and conditions the flow of P (Kang *et al.*, 2018). This would explain the high values obtained during the rainy season of this study. On the other hand, the low P values are influenced by the increase in TDS, temperature, and pH (Zhou *et al.*, 2018).

Faced with the different physicochemical parameters, the families of macroinvertebrates responded with greater abundance and richness when there were low TDS values and higher DO concentration, with the presence of indicators of good water quality, including Leptohyphidae and Elmidae. The opposite occurred with the Chironomidae, which are indicators of polluted waters. Therefore, the proximity of agricultural or livestock activities, runoff, climate, and the geomorphological structure of the river would cause certain changes in the physicochemical conditions, which in turn determine the responses and consequently the structure of the macroinvertebrate community, especially the presence of Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Hydropsychidae, Tricorythidae, Elmidae, and Chironomidae (Villamarín *et al.*, 2021). It is important to mention that these families registered within the order Ephemeroptera (Leptohyphidae, Leptophlebiidae, and Tricorythidae) are excellent indicators of clear and clean waters, but some species tolerate certain levels of organic pollution. The Diptera (Chironomidae) are an extremely diverse group, and a large majority are indicators of contaminated waters (Castillo-Velásquez and Huamantínco-Araujo, 2020). The larvae of Trichoptera (Hydropsychidae) build shelters from small stones, sand, and leaves, and are considered excellent indicators of clean and cold waters; some species tolerate certain levels of organic pollution

y Elmidae. Lo contrario ocurrió con los Chironomidae, que son indicadores de aguas contaminadas. Por lo tanto, la cercanía de actividades agrícolas o ganaderas, la escorrentía, el clima y la estructura geomorfológica del río causarían ciertos cambios en las condiciones fisicoquímicas, las mismas que determinan las respuestas y por ende la estructura de la comunidad de macroinvertebrados y, en especial, la presencia de las familias Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Hydropsychidae Tricorythidae, Elmidae y Chironomidae (Villamarin *et al.*, 2021). Es importante mencionar que las familias del orden Ephemeroptera (Leptohyphidae, Leptophlebiidae y Tricorythidae) son excelentes indicadores de aguas claras y limpias, pero algunas especies toleran ciertos niveles de contaminación orgánica. Los Dípteros (Chironomidae) son un grupo extremadamente diverso y una gran mayoría son indicadoras de aguas contaminadas (Castillo-Velásquez y Huamantínco-Araujo, 2020). Las larvas de Tricóptera (Hydropsychidae) construyen refugios a partir de piedras pequeñas, arena y hojas, y se les considera excelentes indicadoras de aguas limpias y frías; algunas especies toleran ciertos niveles de contaminación orgánica y altas temperaturas (Cheneaux, 2015).

La familia Hydropsychidae es sensible a la contaminación agrícola, es decir se asoció negativamente con las variables fisicoquímicas de contaminación agrícola ( $\text{NH}_4^+$ , temperatura y STD), tanto en la temporada lluviosa como la época seca. Estos hallazgos proporcionan evidencia adicional que apoya el hecho de que el estrés inducido por la agricultura tiene efectos diferenciales en los patrones de distribución de los macroinvertebrados (Akamagwuna *et al.*, 2023).

Las especies asociadas a ambientes degradados, como Chironomidae, experimentan incrementos poblacionales debido a cambios en el OD, la temperatura, el pH, los metales pesados y otros contaminantes emergentes (Ríos-Touma y Ramírez, 2018; Carrasco-Baquero *et al.*, 2025). Además, se sugiere que esta familia puede tolerar niveles reducidos de OD en ambientes contaminados orgánicamente (Canning y Death, 2019), lo que puede ser posible debido a su hábito de alimentación en sedimentos ricos en bacterias (Timms, 2010). La familia Chironomidae se caracteriza por encontrarse en ambientes con intervención antropogénica, y es muy común hallarla en sistemas con altas cargas de materia orgánica (Thelma, 2012). En particular, la familia Chironomidae se considera la más resistente y resiliente, ya que se adapta a la anoxia al poseer compuestos similares a la

and high temperatures (Cheneaux, 2015).

The Hydropsychidae family is sensitive to agricultural pollution, meaning it was negatively associated with the physicochemical variables of agricultural pollution ( $\text{NH}_4^+$ , temperature, and TDS), both in the rainy season and the dry season. These findings provide additional evidence supporting the fact that stress induced by agriculture has differential effects on the distribution patterns of macroinvertebrates (Akamagwuna *et al.*, 2023).

Species associated with degraded environments, such as Chironomidae, experience population increases due to changes in DO, temperature, pH, heavy metals, and other emerging contaminants (Ríos-Touma and Ramírez, 2018, Carrasco-Baquero *et al.*, 2025). Furthermore, it is suggested that this family can tolerate reduced levels of DO in organically contaminated environments (Canning and Death, 2019), which may be possible due to their feeding habit in bacteria-rich sediments (Timms, 2010). The Chironomidae family is characterized by being found in environments with anthropogenic intervention, and it is very common to find it in systems with high loads of organic matter (Thelma, 2012). In particular, the Chironomidae family is considered the most resistant and resilient, as it adapts to anoxia by possessing compounds similar to hemoglobin that allow it to absorb oxygen more effectively (Sinché *et al.*, 2022; Williams-Subiza *et al.*, 2022). Furthermore, it exhibits a great ease of distribution, adapting to various conditions of disturbance or stress (Rodríguez-Romero *et al.*, 2021). These characteristics allowed it to be found at all sampling stations, but with variations in its abundance largely caused by local environmental factors, such as DO, pH, conductivity, and altitude (Garay *et al.*, 2020).

hemoglobina que le permiten absorber mejor el oxígeno (Sinche *et al.*, 2022; Williams-Subiza *et al.*, 2022). Además, presenta una gran facilidad de distribución, adaptándose a diversas condiciones de perturbación o estrés (Rodríguez-Romero *et al.*, 2021). Estas características permitieron encontrarla en todas las estaciones de muestreo, pero con variaciones en su abundancia ocasionadas en gran medida por factores ambientales locales, como el OD, el pH, la conductividad y la altitud (Garay *et al.*, 2020).

## CONCLUSIONES

Los macroinvertebrados principales que habitan el río Cañete desde Catapalla hasta Boca del Río pertenecieron a las familias Leptohiphidae, Leptophlebiidae, Hydropsychidae, Tricorythidae, Elmidae y Chironomidae, las cuales son buenos indicadores de la calidad del agua. La mayor riqueza se registró en la temporada seca en la estación Catapalla, en la cual las familias como Tricorythidae, Chironomidae y Leptohiphidae presentaron valores altos de densidad; sin embargo, Chironomidae y Leptohiphidae estuvieron presentes en ambas temporadas. La similitud entre las estaciones de muestreo se dio por grupos ubicados espacialmente: Catapalla, San Jerónimo y Sosci en la zona alta, que difirieron de Puente Clarita y Boca del Río en la parte baja de la cuenca. Al parecer, las respuestas de la abundancia, la riqueza y la densidad de los macroinvertebrados estuvieron influenciadas por las características geomorfológicas del río y por la vegetación ribereña, que modifican la producción de oxígeno y los microclimas. Asimismo, las variables fisicoquímicas mostraron diferencia significativa por temporadas y en algunas estaciones de muestreo (Catapalla y Boca del Río), probablemente debido a la descarga de los residuos agrícolas, domésticos y ganaderos. El OD y la temperatura parecen jugar roles claves en el incremento de la abundancia y la riqueza de los invertebrados, mientras que, el aumento de los STD, el  $\text{NH}_4^+$  y el P, tienden a disminuirlos. Las temporadas climáticas juegan un rol trascendente en la presencia de algunas familias, como Tricorythidae, que se presentó solo en la época lluviosa.

## AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes Edwin Vicente, Lucia Moreyra, Hider Sante y Dayana Alcalá por el apoyo en la colecta de muestras. A la Universidad Nacional de Cañete – Perú, por el financiamiento del proyecto en marco del “Concurso de proyectos de investigación aplicado inicial”.

## CONCLUSIONS

The main macroinvertebrates inhabiting the Cañete River from Catapalla to Boca del Río belonged to the families Leptohiphidae, Leptophlebiidae, Hydropsychidae, Tricorythidae, Elmidae, and Chironomidae, which are good indicators of water quality. The greatest richness was recorded in the dry season at the Catapalla station, where families such as Tricorythidae, Chironomidae, and Leptohiphidae showed high density values; however, Chironomidae and Leptohiphidae were present in both seasons. The similarity between the sampling stations was due to spatially located groups: Catapalla, San Jerónimo, and Sosci in the upper area, which differed from Puente Clarita and Boca del Río in the lower part of the basin. Apparently, the responses of the abundance, richness, and density of macroinvertebrates were influenced by the geomorphological characteristics of the river and the riparian vegetation, which modify oxygen production and microclimates. Likewise, the physicochemical variables showed significant differences by seasons and at some sampling stations (Catapalla and Boca del Río), probably due to the discharge of agricultural, domestic, and livestock waste. DO and temperature seem to play key roles in the increase of abundance and richness of invertebrates, while the increase of TDS,  $\text{NH}_4^+$ , and P tend to decrease them. Climatic seasons play a significant role in the presence of some families, such as Tricorythidae, which appeared only during the rainy season.

## ACKNOWLEDGMENTS

To the students Edwin Vicente, Lucia Moreyra, Hider Sante, and Dayana Alcalá for their support in the sample collection. To the National University of Cañete – Peru, for funding the project within the framework of the “Initial Applied Research Project Competition.”

## BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Acosta, R. (2009). *Estudio de la cuenca altoandina del río Cañete (Perú): distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas*. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, España. pp.153. [https://www.fehm.cat/wp-content/uploads/2025/03/TESIS\\_RAUL\\_ACOSTA.pdf](https://www.fehm.cat/wp-content/uploads/2025/03/TESIS_RAUL_ACOSTA.pdf)
- Acosta, R. and Prat, N. (2010). Chironomid assemblages in high altitude streams of the Andean region of Peru. *Fundamental and Applied Limnology / Archiv für Hydrobiologie*, 177(1), pp.57–79. doi:<https://doi.org/10.1127/1863-9135/2010/0177-0057>.
- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). (2002). *Norma UNE 77028:2002. Calidad del agua. Determinación de nitrógeno amoniacal. Método por destilación y valoración o colorimetría*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0027048>
- Akamagwuna, F.C., Odume, O.N. and Richoux, N. (2023). Agricultural disturbance affects taxonomic and functional diversity of Afrotropical macroinvertebrate composition in a South African river system. *Environmental and Sustainability Indicators*, 18, p.100251. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100251>.
- Argollo, J. (2006). *Aspectos geológicos. Botánica Económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, pp.1-10. <https://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdf/er/Capitulo%2001.pdf>
- Arroyo, M.M. y Jiménez, D.A. (2011). *Evaluación de los impactos ambientales asociados a la contaminación en agua, suelo y sedimento por cromo y zinc, en los municipios de Tabo y Tenjo- Cundinamarca (sub-cuenca del río Chicú)*. Tesis de pregrado Universidad de La Salle. p.149. <https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/619219fe-cb38-4667-9947-425bf57045d8/content>
- Atoche-Bazán, L., C. Córdova-Rojas, A. Ramos-Camacho, S. Sánchez-Llanos, K. Velezmoro-Cruzado and S.P. Marco (2024). Determination of water quality of the ChancayBaños river applying aquatic macroinvertebrates. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. doi:<https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1773>
- Canning, A.D. and R.G. Death. (2019). Ecosystem health indicators—Freshwater environments. *Encyclopedia of ecology*, 1, pp.46-60. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10617-7>
- Carrasco, C., C. Rayme, R.P. Alarcón, Y. Ayala, J. Arana y H. Aponte. (2020). Macroinvertebrados acuáticos en arroyos asociados con bofedales altoandinos, Ayacucho Perú. *Revista de Biología Tropical*, 68, pp.116-131. doi:<https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68is2.44344>
- Carrasco-Baquero, J.C., V. Caballero-Serrano, D.C. Carrasco-López, F. Romero-Cañizares, D.A. León-Gualán, J.D. Córdova-Lliquin, R. Vieira-Lanero and F. Cobo-Gradín. (2025). Aquatic macroinvertebrates as indicators of water quality in the wetlands of the Chimborazo Wildlife Reserve—Ecuador. *Limnologica*, 112, 126234. doi:<https://doi.org/10.1016/j.limno.2025.126234>
- Castillo-Velásquez, R.M. y A.A. Huamantínco-Araujo. (2020). Variación espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la zona litoral del humedal costero Santa Rosa, Lima, Perú. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), pp.50-68. doi:<http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i1.35233>
- Charkhabi, A.H. and M. Sakizadeh. (2006). Assessment of spatial variation of water quality parameters in the most polluted branch of the Anzali wetland, northern Iran. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(3), pp.395–403. doi:<https://www.pjoes.com/pdf-87883-21742?filename=Assessment%20of%20Spatial.pdf>
- Cheneaux, A.A. (2015). Estado ecológico en dos lagunas del santuario nacional lagunas de Mejía, Arequipa, mediante macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad de agua (febrero-abril 2014). Tesis, Facultad de Biología. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/426>
- Custodio, M. and F. Chanamé. (2016). Analysis of benthic macroinvertebrates biodiversity of Cunas river by means of environmental indicators, Junin-Peru. *Scientia Agropecuaria*, 7(1), pp.33–44. doi: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.01.04>
- Dávila-Recinos, G., J.R. Ortiz y F. Reyes-Morales. (2019). Efecto del microhábitat sobre la abundancia y riqueza específica de los macroinvertebrados bentónicos en dos ríos tropicales de montaña, Guatemala. *Ciencia, Tecnología Y Salud*, 6(1), pp.7–21. doi:<https://doi.org/10.36829/63CTS.v6i1.657>
- Dehedín, A., C. Maazouzi, S. Pujalon, P. Marmonier and C. Piscart. (2013). The combined effects of water level reduction and an increase in ammonia concentration on organic matter processing by key freshwater shredders in alluvial wetlands. *Global Change Biology*, 19(3), pp.763-774. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.12084>
- Domínguez, E. y H.R. Fernández. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Argentina: Tucumán. p.656.
- Dou, Q., X. Du, Y. Cong, L. Wang, C. Zhao, D. Song, H. Liu and T. Huo. (2022). Influence of environmental variables on macroinvertebrate community structure in Lianhuan Lake. *Ecology and Evolution*, 12(2), e8553. doi:<https://doi.org/10.1002/ece3.8553>
- Endara, M.A. and D. Hinojosa-Garró. )Aquatic entomofauna and biotic index along the Pindo Grande River, Montano Bajo Forest, in Pastaza Province, Ecuador. *Revista Ambiente & Agua*, 16(1), e2563. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Flecker, A.S. and Feifarek, B. (1994). Disturbance and the temporal variability of invertebrate assemblages in two Andean streams. *Freshwater Biology*, 31(2), pp.131-142. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb00847.x>
- Garay, G.N.R., A.C. Paggi and E.E. Scheibler. (2020). Chironomidae assemblages at different altitudes in Northwest Argentina: the role of local factors. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92, e20190953. doi:<https://doi.org/10.1590/0001-37652020190953>
- Hammer, O., D.T. Harper and P.D. Ryan. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(1), p.9. [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- Henriques-Oliveira, A.L. and J.L. Nessimian. (2010). Aquatic macroinvertebrate diversity and composition in streams along an altitudinal gradient in Southeastern Brazil. *Biota Neotropica*, 10(3), pp.115–128. doi:<https://doi.org/10.1590/s1676-06032010000300012>
- Herrera, I.A. and P.C. Burneo. (2017). Environmental flow assessment in Andean rivers of Ecuador, case study: Chanlud and El Labrado dams in the Machángara River. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 17(2), pp.103-112. doi:<https://doi.org/10.1016/j.echhyd.2017.01.002>
- Ioryue, I.S., R. Wuana and A. Agustine. (2018). Seasonal Variation in Water Quality Parameters of River Mkomon Kwande Local Government, Nigeria. *International Journal of Recent Research in Physics and Chemical Sciences*, 5(1), pp.42-62.

- Jacobsen, D. (2008). Low oxygen pressure as a driving factor for the altitudinal decline in taxon richness of stream macroinvertebrates. *Oecologia*, 154(4), pp.795–807. doi:<https://doi.org/10.1007/s00442-007-0877-x>
- Jacobsen, D. and R. Marín. (2007). Bolivian Altiplano streams with low richness of macroinvertebrates and large diel fluctuations in temperature and dissolved oxygen. *Aquatic Ecology*, 42, pp.643–656. doi:<https://doi.org/10.1007/s10452-007-9127-x>
- Jacobsen, D., S. Rostgaard and J.J. Vázquez. (2003). Are macroinvertebrates in high altitude streams affected by oxygen deficiency?. *Freshwater Biology*, 48(11), pp.2025–2032. doi:<https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01140.x>
- Jerves-Cobo, R., G. Córdova-Vela, X. Iñíguez-Vela, C. Díaz-Granda, W. Van Echelpoel, F. Cisneros, I. Nopens and P.L.M. Goethals. (2018). Model-based analysis of the potential of macroinvertebrates as indicators for microbial pathogens in rivers. *Water*, 10(4), pp.375. doi:<https://doi.org/10.3390/w10040375>
- Johnson, L. and G. Host. (2010). Recent developments in landscape approaches for the study of aquatic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 29(1), pp.41–66. doi:<https://doi.org/10.1899/09-030.1>
- Kang, P., W. Chen, Y. Hou and Y. Li. (2018). Linking ecosystem services and ecosystem health to ecological risk assessment: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Science of the Total Environment*, 636, 1 pp.442–1454. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.427>
- Kasangaki, A., Babaasa, D., Efitre, J., McNeillage, A. and Bitariho, R. (2006). Links between anthropogenic perturbations and benthic macroinvertebrate assemblages in Afromontane forest streams in Uganda. *Hydrobiologia*, 563(1), pp.231–245. doi:<https://doi.org/10.1007/s10750-005-0009-8>
- Minchola, G., M. Nique y J. Gil. (2025). Macroinvertebrados bentónicos y la calidad de agua de afluente del río Aguaytía en la selva baja de Perú. *Revista Alfa*, 9(25), pp.255–268. doi:<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.345>
- Ministerio de Cultura del Perú. (2015). Cuadernos del Qhapaq Ñan. (3era ed.) Burcon Impresores y Derivados SAC. <https://www.muniasia.gob.pe/wp-content/uploads/2022/01/CUADERNOS-DEL-QHAPAQ-NAN.pdf>
- Miranda, L.E., G. Coppola and J. Boxrucker. (2020). Reservoir fish habitats: A perspective on coping with climate change. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(4), pp.478–498. doi:<https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1767035>
- Miserendino, M.L. (2001). Macroinvertebrate assemblages in Andean Patagonian rivers and streams: Environmental relationships. *Hydrobiologia*, 444(1), pp.147–158. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1017519216789>
- Molina, C.I., J. Pinto, C. Rosales y F.M. Gibon. (2008). Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la Cordillera Real, Bolivia: Variación anual y longitudinal en relación a factores ambientales. *Ecología Aplicada*, 7(1–2), pp.105–116. doi:<https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.365>
- Mora, G., C. Medina, J. Polo-Corro y M. Hora. (2020). Calidad del agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Huacamarcanga (La Libertad, Perú). *Revista de Investigación Científica REBIOL*, 40(1), pp.85–98. doi:<http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.10>
- Muniz, J.N., K.G. Duarte, F.H. Ramos Braga, N.S. Lima, D.F. Silva, W.C.A. Firmo, M.R.V. Batista, F.M. Silva, R.C.M. Miranda and M.R.C. Silva. (2020). Limnological quality: Seasonality assessment and potential for contamination of the pindaré river watershed, pre-amazon region, Brazil. *Water*, 12(3), p.851. doi:<https://doi.org/10.3390/w12030851>
- Mutlu, E. (2019). Evaluation of spatio-temporal variations in water quality of Zerveli stream (northern Turkey) based on water quality index and multivariate statistical analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(6), p.335. doi:<https://doi.org/10.1007/s10661-019-7473-5>
- Needham, P.R. and R.L. Usinger. (1956). Variability in the macrofauna of a single riffle in Prosser Creek, California, as indicated by the Surber sampler. *Hilgardia*, 24(14), 383–409. doi:<https://doi.org/10.3733/hilg.v24n14p383>
- Nguyen, T.H.T., P. Boets, K. Lock, M.A.E. Forio, W. Van Echelpoel, J. Van Butsel, J.A. Dueñas, G. Everaert, L.E. Domínguez, T.H. Thi and P.L. Goethals. (2017). Water quality related macroinvertebrate community responses to environmental gradients in the Portoviejo River (Ecuador). *International Journal of Limnology*, 53, pp.203–219. doi:<https://doi.org/10.1051/limn/2017007>
- Núñez-Bustamante, E., E.E. Tarrilo Campos, D.M. Alva Mendoza, D. Tarrillo Cieza y J. Racón. (2021). Impacto de los efluentes mineros en los macroinvertebrados acuáticos en la cabecera del río Tingo, Cajamarca, Perú. *Revista Nor@ndina*, 4(2), pp.95–112. doi:<https://doi.org/10.37518/2663-6360x2021v4n2p95>
- ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales). (1970). *Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa: Cuenca del río Cañete*. Lima, Perú. p.83. doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12543/971>
- Pascual, G., J. Iannaccone and L. Alvarino. (2019). Benthic macroinvertebrates and toxicological tests for assessing water and sediment quality of the Rimac river, Lima, Peru. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú (RIVEP)*, 30(4), pp.1421–1442. doi:<https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17164>
- Piscart, C., R. Genoel, S. Doledec, E. Chauvet and P. Marmonier. (2009). Effects of intense agricultural practices on heterotrophic processes in streams. *Environmental Pollution*, 157(3), pp.1011–1018. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.10.010>
- Rascón, J., F. Corroto, D. Leiva-Tafur y O.A. Gamarra Torres. (2021). Variaciones limnológicas espaciotemporales de un lago altoandino tropical al norte de Perú. *Ecología Austral*, 31(2), pp.343–356. doi:<https://doi.org/10.25260/ea.21.31.2.0.1200>
- Reyes-Morales, F. (2013). Macroinvertebrados acuáticos de los cuerpos lénticos de la Región Maya, Guatemala. *Revista Científica*, 23(1), pp.7–16. doi:<https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.v23i1.107>
- Rice, E.W. and L. Bridgewater. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater (Vol. 10). En American Public Health Association (Eds.). Washington, DC: American public health association. doi:<https://www.standardmethods.org/doi/book/10.2105/smww.2882>
- Ríos-Touma, B. and A. Ramírez. (2019). Multiple stressors in the Neotropical region: Environmental impacts in biodiversity hotspots. In S. Sabater, A. Elosegui and R. Ludwig (eds.), *Multiple stressors in river ecosystems* (pp. 205–220). Elsevier.
- Ríos-Touma, B., R. Acosta and N. Prat. (2014). The Andean biotic index (ABI): Revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, 62, pp.249–273. doi:<https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15791>
- Rivera-Usme, J.J., G.A. Pinilla-Aguelo and J. Rangel-Ch. (2013). Assemblage of aquatic macroinvertebrates and its relationship with physical and chemical variables in the wetland Jaboque-Colombia. *Caldasia*, 35(2), pp.389–408.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/41209/42782>

- Rodríguez-Romero, A.J., A.E. Rico-Sánchez, J.E. Sedeño-Díaz and E. López-López. (2021). Characterization of the multidimensional functional space of the aquatic macroinvertebrate assemblages in a biosphere reserve (Central México). *Diversity*, 13(11), pp.546. doi:<https://doi.org/10.3390/d13110546>
- Roldán, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Colombia: Universidad de Antioquia, Colombia. <https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/wbp13.pdf>
- Sermeño-Chicas, J., L. Serrano, M. Springer, M. Paniagua, D. Pérez, A. Rivas, R. Menjívar, B. Bonilla de Torres, F. Carranza, J. Flores, C.A. González, P.E. Gutiérrez, M.A. Hernández, A.J. Monterrosa y A. Arias. (2010). Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). San Salvador: Editorial Universitaria. pp.5-6. <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/6948961b-17f9-4b50-ad16-d60dd920ab26/content>
- Sifuentes, M. (2017). Composición, distribución y ecología de la ictiofauna de la cuenca del río Cañete, Lima, Perú. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12390/1875>
- Sinche, F., M. Cabrera, L. Vaca, E. Segura and P. Carrera. (2022). Determination of the ecological water quality in the Orienco stream using benthic macroinvertebrates in the northern Ecuadorian Amazon. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 19(3), pp.615-625. doi:<https://doi.org/10.1002/ieam.4666>
- Smok, L. (1996). Macroinvertebrate move ments: Drift, Colonization, and Emengence. In: Hauer, F.R. and G.A. Lamberti. 1996. *Methods in stream ecology*. Academy Press. pp.674.
- Stern, M. y M. Echavarría. (2013). Mecanismos de retribución por servicios hídricos para la cuenca de Cañete, Departamento de Lima, Perú. Mecanismos de retribución por servicios hídricos Perú. Washington, DC: Forest Trends. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/15139>
- Tafur, C.M., M.H. Revilla, W.P. Ruiz, R.G. Aguilar e I.A. Guzmán. (2010). El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. La Libertad. Perú. 2008. *Sciéndo*, 13(1-2). <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/280/284>
- Thelma, S.S. (2012). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en el Río Gil González y tributarios más importantes, Rivas, Nicaragua. *Universidad y Ciencia*, 6 (9), pp.38-46. doi:<https://doi.org/10.5377/uyc.v6i9.1958>
- Timms, B.V. (2010). Blue Lagoon, South Australia: a closed marine lake harbouring potential invaders of continental saline lakes?. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 30(9), 1 pp.425-1428. doi:<https://doi.org/10.1080/03680770.2009.11902346>
- Vásquez-Ramos, J. y G. Reinoso. (2012). Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(2), pp.351-358. doi:<http://doi.org/10.25100/socolen.v38i2.9018>
- Villamarín, C., S. Villamarín-Cortez, D.M. Salcido, M. Herrera-Madrid and B. Ríos-Touma. (2021). Drivers of diversity and altitudinal distribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) in the Ecuadorian Andes. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), pp.113-126.. doi:<http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.40964>
- Villegas, C. (2021). Contrastaje de la calidad biológica del agua entre los años 2009 y 2018 mediante macroinvertebrados bentónicos: parte alta de la cuenca del Río Cañete (sector Reserva Paisajística Nor-Yauyos Cochas). Tesis de pregrado. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/5195>
- Vinson, M. and C. Hawkins. (1998). Biodiversity of stream insects: variation at local, basin, and regional scales. *Annual Review of Entomology*, 43(1), pp.271-293. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.271>
- Vörösmarty, C.J., P.B. McIntyre, M.O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, S.E. Bunn, C.A. Sullivan, C. Reidy Liermann and P. Davies. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), pp.555-561. doi:<https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Williams-Subiza, E.A., C. Brand and M.L. Miserendino. (2022). Compositional shifts in freshwater macroinvertebrate communities over 30 years of urbanization. *Ecological Engineering*, 183, 106738. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106738>
- Wright, I.A. and M.M. Ryan. (2016). Impact of mining and industrial pollution on stream macroinvertebrates: importance of taxonomic resolution, water geochemistry and EPT indices for impact detection. *Hydrobiologia*, 772(1), pp.103-115. doi:<https://doi.org/10.1007/s10750-016-2644-7>
- Zhou, T., J. Bao, M. Huang, Z. Hou, E. Arntzen, X. Song, S.F. Harding, P.S. Titzler, H. Ren, C.J. Murray, W.A. Perkins, X. Chen, J.C. Stegen, G.E. Hammod, P.D. Thorne and J.M. Zachara. (2018). Riverbed hydrologic exchange dynamics in a large regulated river reach. *Water Resources Research*, 54(4), pp.2715-2730. doi:<https://doi.org/10.1002/2017WR020508>



Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia  
CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual /  
This is an open Access article under the CC BY-NC-SA