

Caracterización Físicoquímica y Biológica de los principales ríos adyacentes al golfo de Montijo, Veraguas, Panamá

Physical-Chemical and Biological characterization of the main rivers adjacent to the gulf of Montijo, Veraguas, Panama

Viterbo Rodríguez

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá.

viterbo.rodriguez@up.ac.pa.

<https://orcid.org/0000-0003-1592-4479>

Jonathan Rodríguez-Morales

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá

jonoelcrodig@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-6498-127X>

Diego Bonilla-Franco

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá

diegobonilla3014@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-5690-410X>

Fecha de recepción: 21 de junio de 2025

Fecha de aceptación: 30 de octubre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v28n1.a8953>

RESUMEN

Con la finalidad de realizar la caracterización físicoquímica, biológica y el diagnóstico de la calidad del agua de los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, San Pedro, San Pablo y Caté, se valoraron las características físicoquímicas del agua, tales como: temperatura, oxígeno disuelto, conductibilidad eléctrica, turbidez, sólidos totales, salinidad, pH, color, sulfato, sílice, sulfuro, fosfatos, cloro total, nitratos y amonios desde el mes de enero a diciembre de 2024. También, se recolectaron insectos acuáticos de enero a mayo de 2024, con una recolecta mensual, para un total de 5 giras. En el diagnóstico de la calidad ambiental se utilizó el índice de calidad ambiental (ICA) y para el diagnóstico de la calidad biológica el índice BMWP adaptado para Veraguas. En la caracterización físicoquímica de los ríos, los agrupamientos hechos con el ACP fueron confirmados mediante el análisis clúster que permitió diferenciar dos conglomerados al evaluar los ríos muestreados. La caracterización biológica usando la similitud en la estructura de géneros de las comunidades de insectos acuáticos con el coeficiente de similitud de Jaccard se forman dos grupos. El grupo 1, formado por el río Suay, el grupo 2, formado por los ríos San Pablo, Tebario, Mariato, San Pedro, Caté, Ponuga y Torio. Los ríos Torio,

Suay y San Pablo fueron diagnosticados con una calidad biológica de agua dudosa con el índice BMWP/Veraguas, mientras que, los ríos Mariato, Tebario, Ponuga, Cate y San Pedro con los porcentajes más altos de colectores-filtradores y colectores-recolectores y los porcentajes más bajos de depredadores se diagnosticaron como ríos de calidad biológica aceptable.

PALABRAS CLAVE

Aguas superficiales, Análisis de componentes principales (PCA), caracterización biológica, caracterización fisicoquímica, Golfo de Montijo, Panamá.

ABSTRACT

To perform the physicochemical and biological characterization and diagnose the water quality of the Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, San Pedro, San Pablo, and Caté rivers, the physicochemical characteristics of the water were assessed from January to December 2024. These characteristics included: temperature, dissolved oxygen, electrical conductivity, turbidity, total solids, salinity, pH, color, sulfate, silica, sulfide, phosphates, total chlorine, nitrates, and ammonium. Additionally, aquatic insects were collected monthly from January to May 2024, for a total of 5 trips. For the environmental quality diagnosis, the Environmental Quality Index (EQI) was used, and for the biological quality diagnosis, the BMWP index adapted for Veraguas was applied. In the rivers' physicochemical characterization, the groupings made with PCA (Principal Component Analysis) were confirmed by a cluster analysis, which differentiated two conglomerates when evaluating the sampled rivers. The biological characterization, using the similarity in the genus structure of the aquatic insect communities with the Jaccard similarity coefficient, formed two groups. Group 1 was composed of the Suay River, and Group 2 was composed of the San Pablo, Tebario, Mariato, San Pedro, Caté, Ponuga, and Torio rivers. The Torio, Suay, and San Pablo rivers were diagnosed with doubtful biological water quality using the BMWP/Veraguas index, while the Mariato, Tebario, Ponuga, Cate, and San Pedro rivers, with the highest percentages of collector-filterers and collector-gatherers and the lowest percentages of predators, were diagnosed as rivers of acceptable biological quality

KEYWORDS

Biologla characterization, Gulf of Montijo, Panama, physicochemical characterization, principal component Analysis (PCA), Surface waters

INTRODUCCIÓN

La creciente contaminación de los ríos y sus ecosistemas asociados, producto del desarrollo e industrialización de los sectores de producción primaria y otras actividades humanas, ha incrementado el interés por conocer el estado del agua y la diversidad de las comunidades de insectos acuáticos presentes en ellos, así como, su variabilidad, evolución y comportamiento a lo largo del tiempo (Ríos et al., 2015, Gualdrón-Durán, 2016). En este contexto, la calidad del agua es fundamental, ya que refleja la capacidad de los ecosistemas acuáticos para mantener su biota estable y saludable (Cumbrera y Rodríguez, 2018; Rodríguez et al., 2022); la valoración de este indicador puede realizarse a través del análisis de la estructura y

composición de las comunidades biológicas, empleando tanto técnicas fisicoquímicas como biológicas (Sermeño et al., 2010).

Los métodos convencionales para la evaluación de la calidad del agua, fundamentados en pruebas fisicoquímicas y microbiológicas, han sido complementados en las últimas décadas con la utilización de organismos bioindicadores, especialmente los insectos acuáticos (Chará-Serna et al., 2010; Gualdrón-Durán, 2016; Santamaría y Bernal-Vega, 2016; Valdés y Castillo, 2023). A diferencia de los métodos fisicoquímicos, los bioindicadores nos facilitan la detección de alteraciones y perturbaciones ecológicas a través de la presencia o ausencia, abundancia y distribución de organismos particulares, los cuales son susceptibles a cambios en la calidad del agua (Bernal y Castillo, 2012; Guinard et al., 2013; Ríos et al., 2015; Santamaría y Bernal-Vega, 2016). Sin embargo, ya que, los bioindicadores no logran identificar patógenos peligrosos para la salud humana (Arroyo y Encalada, 2009), es recomendable fusionar ambos métodos para una mejor evaluación.

Los macroinvertebrados acuáticos, especialmente los insectos, han sido ampliamente utilizados como bioindicadores a nivel global, debido a su sensibilidad a las alteraciones ambientales producto de la contaminación (Rodríguez et al., 2022). Estos organismos viven en condiciones ambientales específicas y a menudo predecibles (Sánchez-Argüello et al., 2010), por lo cual cualquier modificación en su ambiente tendrá efectos directos sobre su supervivencia, abundancia y distribución, esto nos proporciona cuantiosa información sobre el nivel de polución en los cuerpos de agua (Fenoglio et al., 2002; Rodríguez-Barrios et al., 2011; Santamaría y Bernal-Vega, 2016). Adicionalmente, algunos macroinvertebrados poseen la capacidad de reflejar no solo las condiciones presentes del agua, sino también su evolución a lo largo de determinado tiempo (Guinard et al., 2013). En este escenario, los índices bióticos con macroinvertebrados bentónicos resultan efectivos para valorar la condición ecológica de los ecosistemas acuáticos en relación a procesos de contaminación (Mendoza, 2003, Rodríguez y Cárdenas, 2017).

La comprensión de la estructura y la condición de las comunidades bentónicas constituye un aspecto fundamental para evaluar la calidad del agua. En este contexto, es esencial analizar el papel ecológico de los insectos acuáticos, incluyendo su comportamiento y estrategias alimenticias, es decir, los métodos utilizados para la obtención de alimento y las características de este (Arroyo y Encalada, 2009). Desde esta perspectiva, los macroinvertebrados pueden clasificarse en Grupos Funcionales Alimentarios (GFA), que incluyen colectores, colectores-filtradores, colectores-recolectores, depredadores, raspadores y fragmentadores (Merritt y Cummins, 2008). Otra clasificación relevante se basa en el tipo de alimento consumido, lo que permite agruparlos en gremios o grupos tróficos, como detritívoros, herbívoros y depredadores (Cumbrera y Rodríguez, 2018; Guzmán-Soto y Tamarís-Turizo, 2014).

Pese a que los índices bióticos se han aplicado con éxito en sistemas de regiones templadas de Norteamérica, su adaptación a ecosistemas neotropicales sigue siendo un desafío puesto que existen diferencias en la historia de vida de las comunidades de macroinvertebrados (Rodríguez-Barrios et al., 2011). En regiones como Costa Rica, Colombia y Panamá, se han desarrollado adaptaciones del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) para reflejar mejor las características propias de los ecosistemas tropicales (Rodríguez et al., 2022). Sin embargo, la gran diversidad biológica de los ríos tropicales, junto con la falta de guías taxonómicas específicas para la región, dificulta la clasificación precisa de las especies y el análisis de sus roles ecológicos (Rodríguez y Cárdenas, 2017; Rodríguez-Barrios et al., 2011).

En Panamá, el estudio de la entomofauna acuática ha avanzado desde las primeras clasificaciones que buscaban describir los taxones existentes en diferentes ríos a nivel de familia y género (Rodríguez y León, 2003; Rodríguez y Mendoza, 2003; Rodríguez y Sánchez, 2001) hacia el análisis de las comunidades de macroinvertebrados y su aplicación como bioindicadores de la calidad biológica del agua (Sánchez-Argüello et al., 2010, Rodríguez et al., 2022). Diversos estudios han abordado la evaluación de la calidad del agua en distintas cuencas, lo que ha permitido identificar los niveles de contaminación y las fuentes probables del problema. En particular, la provincia de Veraguas ha sido objeto de investigaciones sobre la calidad biológica de los ríos (Cumbrera y Rodríguez, 2018; Rodríguez et al., 2009, 2014, 2022; Rodríguez et al., 2015, 2017), aunque aún es necesario profundizar en el análisis de otras cuencas para comprender mejor las variaciones y posibles problemas ambientales (Valdés-Sánchez y Castillo-Adams, 2023).

Las cuencas que drenan hacia el Golfo de Montijo tienen una importancia ecológica y social significativa, al sustentar una rica biodiversidad pesquera y ser el sustento de numerosas comunidades humanas. Como zona de amortiguamiento del Parque Nacional Isla Coiba, el Golfo de Montijo desempeña un papel esencial en la conectividad ecológica, actuando como un área clave para la transición entre los ecosistemas costeros y marinos. Su amplia red de manglares, estuarios y humedales proporciona refugio, alimentación y áreas de reproducción para múltiples especies de importancia ecológica y económica. Además, es un espacio privilegiado donde pueden estudiarse dinámicas ecológicas complejas, interacciones tróficas y procesos biogeoquímicos esenciales para la conservación de la biodiversidad. Por ello, el análisis de la entomofauna acuática en sus ríos y la evaluación de la calidad biológica del agua son fundamentales para comprender las alteraciones que puedan afectar estos ecosistemas estratégicos, cuya integridad es vital para la resiliencia de las especies y los servicios ecosistémicos de la región.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Las características de los sitios de muestreo y sus coordenadas se describen en la (Tabla 1). Los ríos Torio, Mariato, Tebario y Suay, pertenecen a la cuenca denominada, cuenca hidrográfica entre los ríos San Pedro y el Tonosí, (cuenca 122), la cual drena un área de 2.467 Km² en la que se encuentra el río principal: el río Quebro, que vierte sus aguas hacia la vertiente del Pacífico, golfo de Montijo. Los ríos Ponuga y San Pedro pertenecen a la cuenca hidrográfica del río San Pedro, (cuenca 120), la cual drena un área de 976.41 km², en la cual el río principal es el río San Pedro que vierte sus aguas hacia el pacífico en el golfo de Montijo. El río San Pablo perteneciente a la cuenca de su mismo nombre (cuenca 118), con un área de 2,504.85 km², este río es el principal de dicha cuenca y drena sus aguas al golfo de Montijo. El río Caté se ubica en la cuenca denominada entre los ríos Tarazará y San Pablo (cuenca 116) donde el río principal es el río Caté, esta cuenca tiene un área de 900.18 km² y drena hacia el golfo de Montijo (Figura 1). Cada estación de muestreo tubo una longitud de 50 m y fueron seleccionadas tomando en cuenta la mayor diversidad de hábitats posibles como lo sugiere la metodología propuesta por (Sermeño et al., 2010).

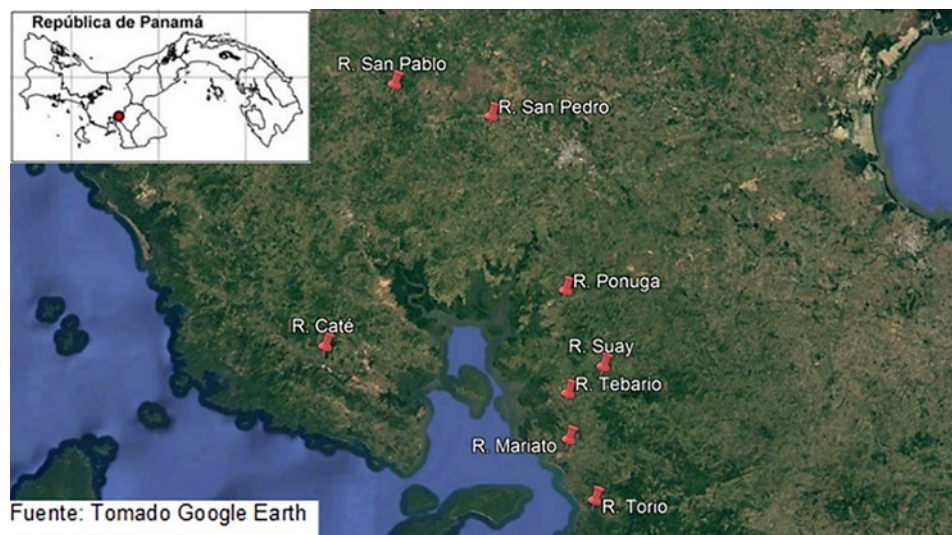
De acuerdo con los datos meteorológicos de temperaturas y precipitaciones, de las estaciones próximas a los sitios de muestreo, el área de estudio registra 2.882 mm anuales (estación Ponuga, 40 m.s.n.m.) y promedia 27,1 °C de temperatura anual (estación Montijo, 50 m.s.n.m.)) (IMHPA 2024). Por tanto, según la clasificación climática de Köppen- Geiger (Peel et al., 2007) el área presenta un clima tropical de sabana de invierno seco (*Aw*). Para la caracterización del área de estudio, evaluando el efecto anual de la aridez, (ocasionada por el periodo seco estacional de enero a marzo), se aplicó el índice de aridez de Martonne ($I_m=77,6$), por lo que el área se encuentra en una región climática per-húmeda, donde el índice presenta valores >60 (Rivera 2022). Finalmente, con base a los citados valores de temperatura, precipitación y altitud citados, el área se encuentra dentro de la zona de vida de bosque húmedo tropical, según Holdridge (1996).

Tabla 1.*Características y coordenadas de los sitios de muestreos.*

Ríos muestreados	Características del sitio	Coordenadas (UTM)	Altitud (m.s.n.m)
Torio	Presenta corriente rápida, sustratos arenosos, rocosos y de hojarasca, boque de galería abundante.	17 N 507237 834075	12
Mariato	Corrientes rápidas, sustratos rocosos, lodosos y de hojarasca, una sección con mucha vegetación y otra con escasa, se extraen materiales del lecho del río.	17 N 502693 844606	17
Tebario	Corrientes rápidas, con sustratos arenosos y rocosos en su mayoría, también presenta hojarasca en menor proporción, bosque de galería escaso. Sitio de extracción de agua para actividades agrícolas.	17 N 502568 852552	20
Suay	Sitio de balneario, corrientes lentas, sustratos arenosos, lodosos y de hojarasca. Escasos árboles y vegetación de herbazales (potreros) en su mayoría.	17 N 502909 855312	14
Ponuga	Presenta corrientes medias, con sustratos fango-arenosos, pocas rocas y hojarasca. Bosque de galería escaso y vegetación de herbazales a las riberas del río.	17 N 502186 870327	18
San Pedro	Corrientes rápidas, sustratos rocosos, lodosos y de hojarasca. Bosque de galería a los márgenes del río, área de ganadería.	17 N 489240 900432	53
San Pablo	Corrientes rápidas, con sustratos arenosos y rocosos en su mayoría, también presenta hojarasca en menor proporción, bosque de galería escaso. Sitio de balneario con varias viviendas en las bordes del río.	17 N 472437 905945	55
Río Caté	Corrientes rápidas, sustratos areno-fangosos, hojarasca abundante, pocas rocas. Sitio de unión con el río San Rafael. Bosques de galería abundantes.	17 N 460397 860676	42

Figura 1.

Ubicación de las estaciones muestreo en los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, San Pedro, San Pablo y Caté.



Toma de parámetros fisicoquímicos

El periodo de muestreo para las variables abióticas fue de 12 meses de enero a diciembre de 2024. Se valoraron “*in situ*” las siguientes características fisicoquímicas del agua: temperatura, oxígeno disuelto (OD), conductibilidad eléctrica (cond), turbidez, sólidos totales (TDS), salinidad y pH, con la ayuda de un medidor portátil multiparamétrico YSI ProQuatro. Las siguientes características fisicoquímicas del agua y el análisis de nutrientes se determinaron en el laboratorio húmedo del CCIMBIO-CRUV-UP: color, sulfato (mg/L SO_4^{2-}), sílice HR (mg/L SiO_2), sulfuro (mg/L S^{2-}), fósforo (mg/L PO_4^{3-}), fósforo (mg/L P_4), cloro total (mg/L Cl_2), nitrato (mg/L N^-), nitrato (mg/L NO_3^-), amonio (mg/L N) y amonio (mg/L NH_4^+), con la ayuda de un Fotómetro YSI 9500. El procedimiento de toma de muestras y su traslado al laboratorio se hicieron siguiendo el protocolo, para tomas de muestras de calidad de agua, estipulado en el reglamento técnico del Decreto Ejecutivo No. 75. Del 4 de junio de 2008. (Gaceta oficial de Panamá 2008).

Evaluación de la calidad del agua usando en índice de calidad ambiental (ICA).

El índice de calidad de ambiental (ICA), se calculó en base a siete parámetros: oxígeno disuelto (%), ortofosfatos (P- PO_4), nitratos (N- NO_3), potencial de hidrógeno (pH), temperatura, turbiedad y sólidos totales; (Shah y Joshi, (2015), cada variable tiene una ponderación o peso de importancia (Tabla 2). La ponderación se puede ajustar a medida que las inquietudes sobre la calidad ambiental cambien a lo largo del año (ACP, 2022). Para la

determinación de este índice se utilizó la metodología propuesta por (Peñafiel-Romero, (2014); Carrillo-Alvarado y Urgilés-Calles, (2016) y ACP, (2022). (Tabla 2).

Tabla 2.

Pesos relativos de los parámetros de acuerdo a su importancia.

PARÁMETRO	PESO RELATIVO (W_i)	IMPORTANCIA
Oxígeno disuelto	0,23	Condiciones críticas para la vida acuática
pH	0,16	Condiciones para la vida acuática y agua potable
Fosfatos	0,13	Determinar niveles de eutrofización
Nitratos	0,13	Determinar niveles de eutrofización y riesgos de consumo
Temperatura	0,13	Crítico para la vida acuática y consumo humano
Sólidos disueltos totales	0,11	Limitantes para agua de consumo humano
Turbiedad	0,11	Limitantes para agua de consumo humano

Fórmula para el cálculo el índice ICA

$$ICA = \sum_{i=1}^7 q_i * W_i$$

Donde ICA: índice de calidad ambiental

i: Cada uno de los siete parámetros elegidos

W_i : es el peso unitario de cada parámetro (Tabla 2)

q_i : es la calificación de subíndice de 0 a 100 para cada variable (Tabla 2).

Evaluación de la calidad biológica del agua.

Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Se aplicó el índice biótico BMWP adaptado para la provincia de Veracruz (BMWP-Veraguas), empleando la tabla de puntuaciones del índice BMWP-Veraguas establecida por Rodríguez et al., (2009). Los valores de este índice se obtienen al sumar las puntuaciones que le corresponden a cada familia recolectada en cada estación de muestreo (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988, Rodríguez et al., 2022), entre más alto sea el valor numérico menor es la tolerancia de los insectos a la contaminación. Luego de obtener el cálculo de índice BMWP/Veraguas, se diagnostica la calidad biológica del agua en cinco categorías usando la tabla 3.

Tabla 3.

Significados de los valores BMWP y colores a utilizar para representación cartográfica.

Clase	Calidad	Valor	Significado	Color
I	Buena	>101	Agua limpia, no contaminada	AZUL
II	Aceptable	61 - 100	No alterada de modo sensible	VERDE
III	Dudosa	36 - 60	Evidentes efectos de contaminación	AMARILLO
IV	Crítica	16 - 35	Aguas muy contaminadas	NARANJA
V	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	ROJO

Trabajo en campo y recolección de los insectos acuáticos asociada a los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro.

Los muestreos se realizaron de enero a mayo de 2024, con una recolecta mensual, para un total de 5 giras. Para la captura de los insectos se utilizaron redes tipo D-Net de apertura de malla de 500 μ m, haciendo barridos a lo largo de las orillas y zonas de poca profundidad para capturar los insectos que se encontraban en los diferentes sustratos (piedras, hojarascas, troncos, fango, etc.).

El contenido atrapado en la red era revisado “*in situ*” con la ayuda de pinzas entomológicas que facilitaban la extracción de los macroinvertebrados. Estas pinzas también fueron utilizadas directamente sobre los sustratos cuando se dificultaba el uso de la red. Para conservar los especímenes capturados se colocaron en envases plásticos debidamente rotulados a los que se les colocó alcohol etílico al 70% con una o dos gotas de glicerina para mantener la flexibilidad de las diferentes estructuras de los organismos (Roldán-Peréz, 1988). El tiempo de muestreo en cada río fue de 30 minutos y se realizó con la ayuda de 2 personas.

La identificación de los insectos colectados se realizó con la ayuda de un estereoscopio marca OLYMOUS, Modelo SZX7 y se llevó hasta el menor nivel taxonómico posible (género y en algunos casos al nivel de familia), empleando las claves propuestas por Roldán-Peréz (1988,1999); Flowers y De La Rosa (2010); Ramírez (2010); Gutiérrez-Fonseca (2010); Springer (2010). Todas las muestras se identificaron y depositaron en el laboratorio del Centro de Capacitación, Investigación y Monitoreo de la Biodiversidad en Coiba (CCIMBIO), Centro Regional Universitario de Veraguas, Universidad de Panamá.

Asignación de grupos funcionales alimentarios (GFA)

A los géneros de insectos recolectados se les asignó su grupo funcional alimentario según lo establecido en la literatura especializada para taxones del neotrópico: Bello y Cabrea (2001); Tomanova et al. (2006); Baptista et al. (2006); Fenoglio et al. (2008), Domínguez y Fernández (2009); Reynaga (2009); Chará-Serna et al. (2010); Rodríguez-Barrios et al. (2011); Chará-Serna et al. (2012); Guzmán-Soto y Tamarís-Turizo (2014); Rodríguez et al. (2014) y Rodríguez et al. (2015). A los especímenes que carecían de información para la zona neotropical, les fue asignado el grupo funcional alimentario propuesto por Merritt et al. (2008) para Norteamérica. Los grupos funcionales considerados fueron: recolectores, colectores-recolectores, colectores-filtradores, raspadores, depredadores y fragmentadores.

Análisis estadístico

Se utilizaron herramientas de estadística multivariada frecuentemente utilizadas en la caracterización fisicoquímica y biológica de cuerpos de agua superficiales, como el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis clúster (Moresi, et al, 2019, Rodríguez et al, 2022).

RESULTADOS

Análisis de los parámetros fisicoquímicos

Los resultados de los valores promedios obtenidos para cada parámetro fisicoquímico en los muestreos realizados aparecen en la tabla 4, como se puede observar, al comparar el promedio de los valores de cada parámetro, con los valores permitidos por las normas de calidad de aguas continentales (Decreto Ejecutivo No. 75 de 4 de junio de 2008), se encontró un 100 % de cumplimiento para cada parámetro estudiado.

Antes de ejecutar los análisis de componentes principales (ACP), se aplicó a todo el conjunto de datos de la tabla 4, la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con una probabilidad del 95%. La hipótesis nula de que los datos son normales es rechazada al nivel de significancia de ($p < 0,05$), una vez que la matriz de datos fue estandarizada con la prueba de Kaiser: rotación:Varimax, se procedió a realizar el ACP. Después de verificar que los valores de la medida de adecuación del muestreo de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) fuera aceptable de 0.680 y la prueba de esfericidad de Barlett indicara si las variables están significativamente relacionadas ($p=0.0001$), se observó que los dos primeros componentes principales explican el 98.6 % de la variabilidad de la matriz de datos ($F1= 94.69\%$ y $F2= 3.91\%$). En el ACP podemos apreciar en el cuadrante superior derecho a los ríos San Pablo (muy alejado), a los San Pedro y Mariato (formando un grupo) y al río Ponuga (muy cerca del río Caté), estos ríos del cuadrante superior derecho tienen una correlación positiva con los parámetros color,

temperatura y turbidez. En el cuadrante inferior derecho aparecen los ríos Caté (muy cerca de Ponuga); Tebario, Torio y Suay agrupados, estos ríos tienen una correlación negativa con los parámetros de conductibilidad, sílice HR y oxígeno disuelto. Estos agrupamientos fueron confirmados mediante el análisis cluster que permite diferenciar dos conglomerados al evaluar todos los ríos muestreados (Figura 3). Aunque la similitud de los ríos muestreados esta arriba del 72 %, lo que indicaría una composición de parámetros fisicoquímicos semejantes, se puede observar entre ellos niveles de similitud mayores como, por ejemplo: Caté y Ponuga; Torio y Suay; y el río San Pablo muy alejado del resto.

Tabla 4.

Valores promedios de los parámetros evaluados, nivel de calidad permitido para aguas continentales por Decreto Ejecutivo No. 75 del 4 de junio de 2008, de los de los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro en los muestreos desde el mes de enero al mes de diciembre de 2024.

PARÁMETROS Y UNIDADES	NIVEL DE CALIDAD	RIOS							
		TORIO	MARIA TO	TEBARIO	SUAY	PONU GA	CATÉ	SAN PABLO	SAN PEDRO
Temperatura °C	—	26.23	27.23	26.61	27.58	28.14	26.14	27.86	27.81
Oxígeno disuelto (mg/L)	> 7	4.18	4.06	4.15	4.01	3.77	4.02	3.87	3.50
Oxígeno disuelto (%)	—	51.83	51.43	51.93	51.10	48.51	49.78	49.59	44.72
Conductividad (μS/cm)	< 850	139.04	96.77	97.79	162.32	209.86	136.96	68.32	136.45
Sólidos totales disueltos (mg/L)	< 500	0.09	0.06	0.06	0.11	0.13	0.09	0.05	0.08
Salinidad (ppm)	0,50	0.07	0.05	0.05	0.08	0.10	0.07	0.03	0.06
pH (unidad de pH)	6,5 a 8,5	8.01	7.88	7.78	7.94	7.67	8.17	7.94	7.59
Color (mg/L Pt)	< 100	32.22	71.11	25.22	55.56	119.44	75.56	101.11	107.22
Turbidez (FTU)	< 50	22.44	31.11	4.44	14.44	18.00	5.11	25.89	20.44
Sulfato (mg/L SO ₄ ²⁻)	< 250	1.20	1.50	1.50	2.40	3.40	2.80	2.80	2.10
Sulfuro (mg/L S ²⁻)	—	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
*Sílice LR (mg/L SiO ₂)	—	> 4.0	> 4.0	> 4.0	> 4.0	> 4.0	> 4.0	> 4.0	> 4.0
Sílice HR (mg/L SiO ₂)	—	38.17	30.25	40.50	38.25	48.00	46.25	18.00	28.00
Fosfato (mg/L P ₀₄ ⁻³)	—	0.25	0.14	0.23	0.37	0.33	0.30	0.17	0.46
Fosfato (mg/L P)	—	0.07	0.04	0.08	0.10	0.11	0.08	0.06	0.15
Cloro libre (mg/L Cl ₂)	0.3 a 0.8	0.04	0.06	0.02	0.06	0.11	0.05	0.06	0.07
Cloro total (mg/L Cl ₂)	< 500	0.05	0.07	0.02	0.07	0.10	0.05	0.06	0.07
Nitrato (mg/L N)	< 10	0.49	0.31	0.39	0.24	0.41	0.46	0.42	0.42
Nitrato (mg/L NO ₃ ⁻)	< 10	1.83	1.33	1.64	3.05	1.81	2.00	1.95	1.57
Amonio (mg/L N)	—	0.02	0.03	0.01	0.02	0.04	0.03	0.03	0.04
Amonio (mg/L NH ₄ ⁺)	—	0.02	0.05	0.02	0.03	0.05	0.02	0.03	0.06
Fenol (mg/L C ₆ H ₅ OH)	—	0.03	0.04	0.03	0.05	0.02	0.03	0.03	0.05

*Rango de lectura para sílice LR = 0 – 4.0 mg/l (mayor al rango de medición)

Figura 2.

Análisis de componentes principales de los parámetros fisicoquímicos de los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro en los muestreos realizados desde el mes de enero al mes de diciembre de 2024.

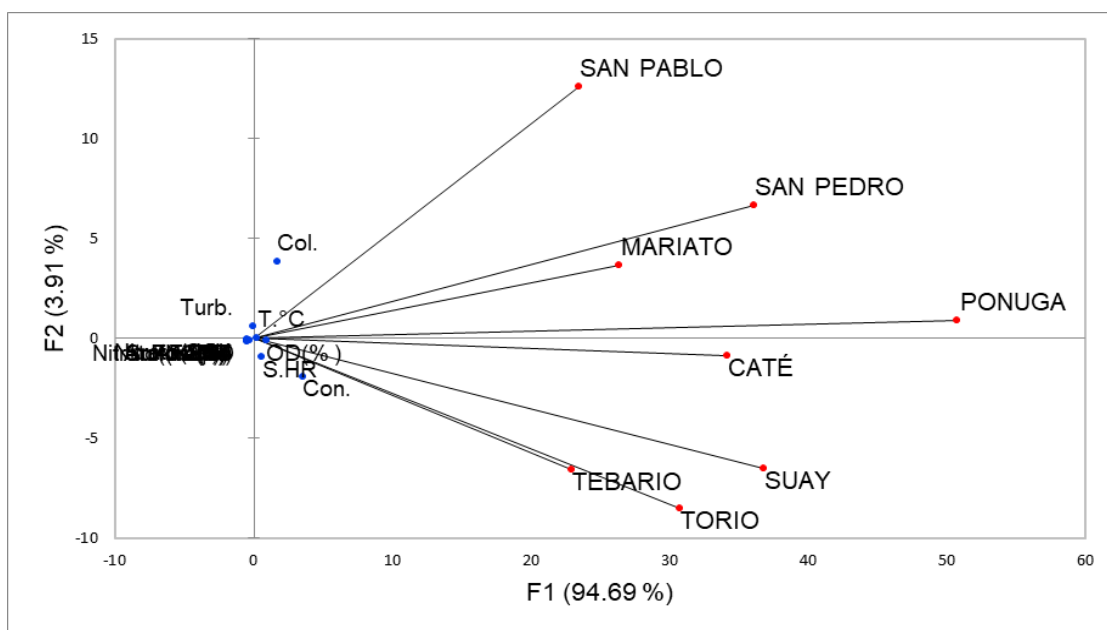
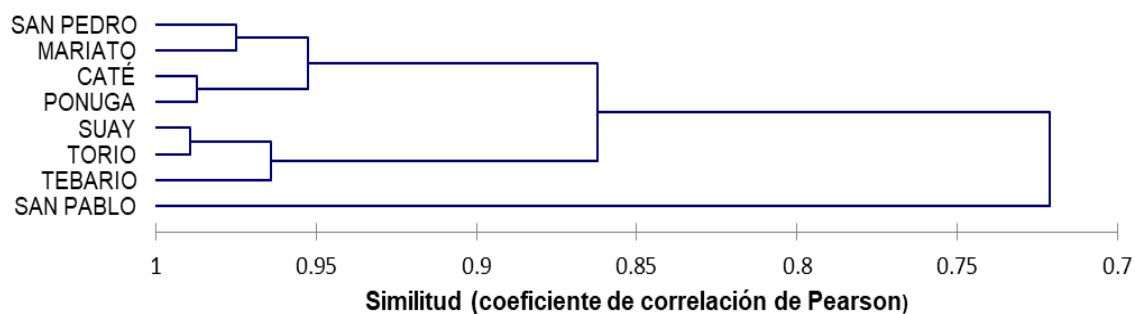


Figura 3.

La clusterización aglomerativa jerárquica (CAJ) de los parámetros físico-químicos de los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro en los muestreos realizados desde el mes de enero al mes de diciembre de 2024. Método de aglomeración (vinculación completa) y Similitud (coeficiente de correlación de Pearson).



Análisis de la calidad del agua utilizando el Índice de calidad ambiental (ICA), criterio general.

El índice ICA reveló una ponderación de 65, 66, 69, 64, 66 y 58, para los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, San Pablo y San Pedro, respectivamente, por lo que se caracterizan, utilizando el criterio general, como ríos poco contaminados. Los ríos Ponuga y Cate obtuvieron una ponderación de 70 y se caracterizan con una calidad de agua aceptable. No se obtuvo ningún valor que pudiera categorizar a estos ríos como de calidad no contaminado, contaminado o altamente contaminado (Tabla 5).

Tabla 5.

Índice de calidad ambiental (ICA) de los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro, desde el mes de enero al mes de noviembre de 2024, utilizando el criterio general.

ESTACION	RIOS							
	TORIO	MARIATO	TEBARIO	SUAY	PONUGA	CATÉ	SAN PABLO	SAN PEDRO
SECA	70	70	71	69	74	71	71	60
TRANSICIÓN	66	61	68	64	70	72	64	55
LLUVIOSA	58	69	67	66	65	66	63	60
Índice ICA	65	66	69	64	70	70	66	58
Descriptor	Ríos poco contaminados				Ríos de calidad aceptable		Ríos poco contaminados	

Análisis de la calidad biológica del agua utilizando el Índice BMWP-Veraguas.

En la aplicación del índice BMWP calibrado para la provincia de Veraguas se obtuvieron valores promedios para la estación seca de 58, 72, 67, 54, 81, 86, 60 y 73 para los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro, respectivamente. Los ríos Torio, Suay y San Pablo fueron categorizados con una calidad biológica de agua dudosa (evidentes efectos de contaminación), mientras que, los ríos Mariato, Tebario, Ponuga, Caté, San Pedro se categorizaron con una calidad biológica aceptable (no alterada de modo sensible) No se obtuvo ningún valor que pudiera categorizar a estos ríos como de calidad biológica de agua buena, crítica o muy crítica (Tabla 6).

Tabla 6.

*Calidad biológica del agua de los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro, desde el mes de enero al mes de mayo de 2024 (en la época seca), utilizando el índice BMWP/Veraguas. (***) Ríos crecidos.*

MESES	RIOS							
	TORIO	MARIATO	TEBARIO	SUAY	PONUGA	CATÉ	SAN PABLO	SAN PEDRO
Enero	46	49	27	42	76	76	84	81
Febrero	63	52	82	62	97	114	80	115
Marzo	68	116	104	58	78	104	31	58
Abril	57	71	98	55	73	98	47	40
Mayo	***	***	25	***	***	40	***	***
PROMEDIO	58	72	67	54	81	86	60	73
BMWP/V	DUDOSA	ACEPTABLE	ACEPTABLE	DUDOSA	ACEPTABLE	ACEPTABLE	DUDOSA	ACEPTABLE

Estructura numérica de las comunidades de insectos acuáticos en los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro.

En cuanto a los insectos acuáticos, la tabla 7 recoge los órdenes, las familias y la abundancia de los géneros encontrados en los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro.

Tabla 7.

Estructura numérica y composición de las comunidades de insectos acuáticos asociados a los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro, desde el mes de enero de 2024 (en época seca)

FAMILIA	GÉNERO	RIOS							
		Torio	Mariato	Tebario	Suay	Ponuga	Caté	San Pablo	San Pedro
ORDEN:BLATTODEA									
Blaberidae	(*)	0	0	0	0	0	0	2	0
ORDEN:COLEOPTERA									
Staphylinidae	<i>Stenus</i>	20	4	17	3	1	3	13	3
	<i>Helichus</i>	30	18	34	19	3	17	2	5
Dryopidae	<i>Pelonomus</i>	4	0	0	0	3	8	0	3
	<i>Elmoparnus</i>	0	0	0	4	0	0	0	0
Hydrophilidae	<i>Tropisternus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
Elmidae	<i>Cleptelmis</i>	0	2	1	0	1	1	2	0
	<i>Heterelmis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
Psephenidae	<i>Psephenops</i>	3	6	6	7	4	28	5	5
Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	1	4	0	0	0	4	0	3
Gyrinidae	<i>Andogyrus</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
Chrysomelidae	<i>Donacia</i>	0	2	0	1	0	1	0	0

Scirtidae	<i>Elodes</i>	0	0	0	0	0	0	1	3
ORDEN:DIPTERA									
Culicidae	<i>Culex</i>	0	2	0	0	0	0	0	0
	<i>Anopheles</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
Syrphidae	*****	0	1	0	0	0	0	0	0
	<i>Hexatoma</i>	0	0	2	16	0	2	0	0
Tipulidae	<i>Limonia</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Tipula</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
Simuliidae	<i>Simulium</i>	0	0	0	1	0	1	2	2
Chironomidae	<i>Chironomus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
ORDEN: EPHEMEROPTERA									
Leptophlebiidae	<i>Farrodes</i>	12	15	17	29	43	11	2	6
	<i>Traverella</i>	0	19	10	6	1	0	1	3
	<i>Thraulodes</i>	8	4	21	17	41	23	15	9
	<i>Terpides</i>	5	0	1	0	0	12	0	7
	<i>Vacupernius</i>	0	0	0	2	0	0	0	0
Heptageniidae	<i>Maccaffertium</i>	6	4	1	4	0	1	1	3
	<i>Americabeatis</i>	2	0	10	3	1	1	2	11
	<i>Baetis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0
Baetidae	<i>Baetodes</i>	0	1	0	1	0	0	0	3
	<i>Camelobaetidius</i>	1	1	7	0	0	2	0	0
	<i>Mayobaetis</i>	0	0	5	0	0	0	0	0
Leptohyphidae	<i>Leptephyphes</i>	1	7	31	5	11	4	1	8
	<i>Tricorythodes</i>	0	0	0	1	0	4	0	0
	<i>Asioplex</i>	0	0	0	2	0	0	0	0
ORDEN:HETEROPTERA									
Gerridae	<i>Gerris</i>	2	19	0	20	2	0	1	9
	<i>Trepobates</i>	5	16	6	13	1	0	0	8
	<i>Eurygerris</i>	0	10	2	18	0	0	17	0
	<i>Limnogonus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Metrobates</i>	4	7	0	2	5	8	0	2
	<i>Potamobates</i>	0	0	2	4	0	0	2	0
	<i>Brachymera</i>	0	0	0	6	0	0	0	0
Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	54	44	21	41	29	10	63	18
	<i>Microvelia</i>	0	9	2	0	0	0	2	0
	<i>Steridulivelia</i>	0	0	0	0	0	0	2	0
Notonectidae	<i>Martagena</i>	7	0	0	1	0	0	2	0
Mesoveliidae	<i>Mesoveloidea</i>	3	2	3	0	0	2	1	12
Saltidae	<i>Micracanthia</i>	0	0	0	0	1	0	0	0
	<i>Limnocoris</i>	2	1	3	1	7	3	3	0
Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>	5	0	3	0	7	7	0	1
	<i>Pelocoris</i>	1	0	2	0	3	1	0	2
	<i>Ambrysus</i>	0	0	0	0	0	1	3	0
Hebridae	<i>Hebrus</i>	5	3	3	0	1	3	2	1
Belostomatidae	<i>Belostoma</i>	0	0	0	0	0	2	0	1
Hydrometridae	<i>Hydrometra</i>	0	2	0	0	0	0	0	0
ORDEN:LEPIDOPTERA									

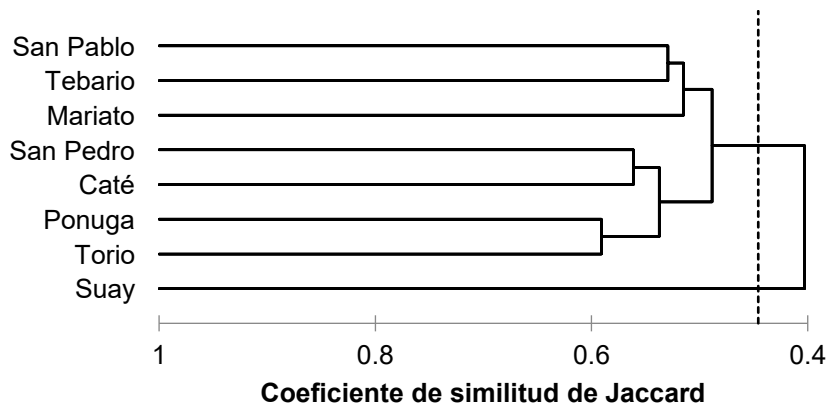
Crambidae	<i>Nymphulinae</i>	1	2	0	0	0	1	1	0
ORDEN:MEGALOPTERA									
Corydalidae	<i>Corydalis</i>	1	1	2	0	1	3	1	4
ORDEN:ODONATA									
Platysticidae	<i>Palaemnema</i>	1	0	1	0	2	0	10	3
	<i>Brechmorhoga</i>	0	0	0	0	8	0	0	4
Libellulidae	<i>Pantala</i>	0	0	0	0	4	1	0	0
	<i>Dythemis</i>	0	7	0	0	0	8	0	6
	<i>Macrothemis</i>	1	0	0	0	2	1	0	0
	<i>Progomphus</i>	2	7	4	1	6	16	2	8
Gomphidae	<i>Phyllogomphoides</i>	0	0	1	0	19	3	0	5
	<i>Aphylla</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Agriogomphus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
Coenagrionidae	<i>Argia</i>	3	6	3	5	19	3	3	11
	<i>Acanthagrion</i>	0	0	0	0	0	2	0	0
	<i>Telebasis</i>	2	1	15	0	4	5	0	0
	<i>Ischura</i>	0	0	0	0	0	2	0	1
Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	0	1	8	0	0	2	1	2
Polythoridae	<i>Cora</i>	0	1	0	0	3	3	0	0
Corduliidae	<i>Neocordulia</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
ORDEN:PLECOPTERA									
Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	0	8	13	0	12	22	1	10
ORDEN:TRICHOPTERA									
Philopotamidae	<i>Chimarra</i>	24	4	93	4	46	50	6	18
Policentropodidae	<i>Polycentropus</i>	6	1	2	1	4	12	2	1
	<i>Leptonema</i>	5	25	29	3	26	18	8	13
Hydropsychidae	<i>Macronema</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Smicridea</i>	6	19	29	6	11	14	5	11
	<i>Calopsyche</i>	0	0	1	0	7	0	0	0
Odontoceridae	<i>Marilia</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
Ecnomidae	<i>Austrotinodes</i>	0	0	0	0	3	0	0	0
Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	0	0	0	3	0	0	0	0
TOTAL		234	287	415	251	342	330	189	228

Semejanzas entre la estructura de las comunidades a nivel de géneros, mediante el coeficiente de Jaccard

Los resultados obtenidos en la aplicación del coeficiente de similitud de Jaccard se muestran en la figura 4, en donde se pueden apreciar claramente la presencia de dos grupos. El grupo 1 formado por el río Suay, el grupo 2 formado por los ríos San Pablo, Tebario, Mariato, San Pedro, Caté, Ponuga y Torio.

Figura 4.

Dendrograma del análisis Cluster (Coeficiente de similitud de Jaccard y vinculación flexible (beta = 0), correlación cofenética: -0.879). Semejanzas en la estructura de géneros de las comunidades de insectos acuáticos, encontradas en los tramos estudiados de los ríos Torio, y Mariato Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro desde el mes de enero al mes de mayo de 2024 (en la época seca).



Clasificación de grupos funcionales alimentarios de los insectos acuáticos muestreados en los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Cate, San Pablo y San Pedro.

La figura 5, se muestra el análisis de los componentes principales (ACP) y en la figura 6 y aparecen los porcentajes de abundancia de los GFA de los géneros de insectos acuáticos encontrados en los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay y en la figura 7 aparecen los porcentajes de abundancia de los GFA de los géneros de insectos acuáticos encontrados en los ríos Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro.

El análisis de los ACP para la estructura de los grupos funcionales alimentarios muestra que los dos primeros componentes principales explican el 96.47 % de la variabilidad de la matriz de datos (F1 el 87.70 % y F2 el 8.77 %). Después de verificar que los valores de la medida de adecuación del muestreo de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) fuera aceptable (0.598), podemos apreciar que los ríos Tebario, Ponuga y Caté, se ubican en el cuadrante superior derecho y tienen una relación con los grupos funcionales colectores-filtradores y colectores-recolectores. Los ríos Mariato, San Pedro, San Pablo, Suay y Torio se ubicaron en el cuadrante inferior derecho, mostrando una relación con el GFA de los depredadores. Los ríos Torio, Suay y San Pablo aparecen muy juntos en el cuadrante inferior derecho, estos ríos tienen las características de poseer el porcentaje de abundancia mayor de depredadores 53.4

%, 52.8 % y 69.5, respectivamente, y los porcentajes de abundancia más bajos de los grupos funcionales colectores-filtradores y colectores-recolectores. Los ríos Torio, Suay y San Pablo fueron diagnosticados con una calidad biológica de agua dudosa con el índice BMWP/Veraguas, mientras que, los ríos Mariato, Tebario, Ponuga, Cate y San Pedro con los porcentajes más altos de colectores-filtradores y colectores-recolectores y los porcentajes mas bajos de depredadores se diagnosticaron como ríos de calidad biológica aceptable (Figura 6 y Figura 7).

Figura 5.

Análisis de los componentes principales (ACP) para la estructura de los grupos funcionales alimentarios en la comunidad de insectos acuáticos de los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro.

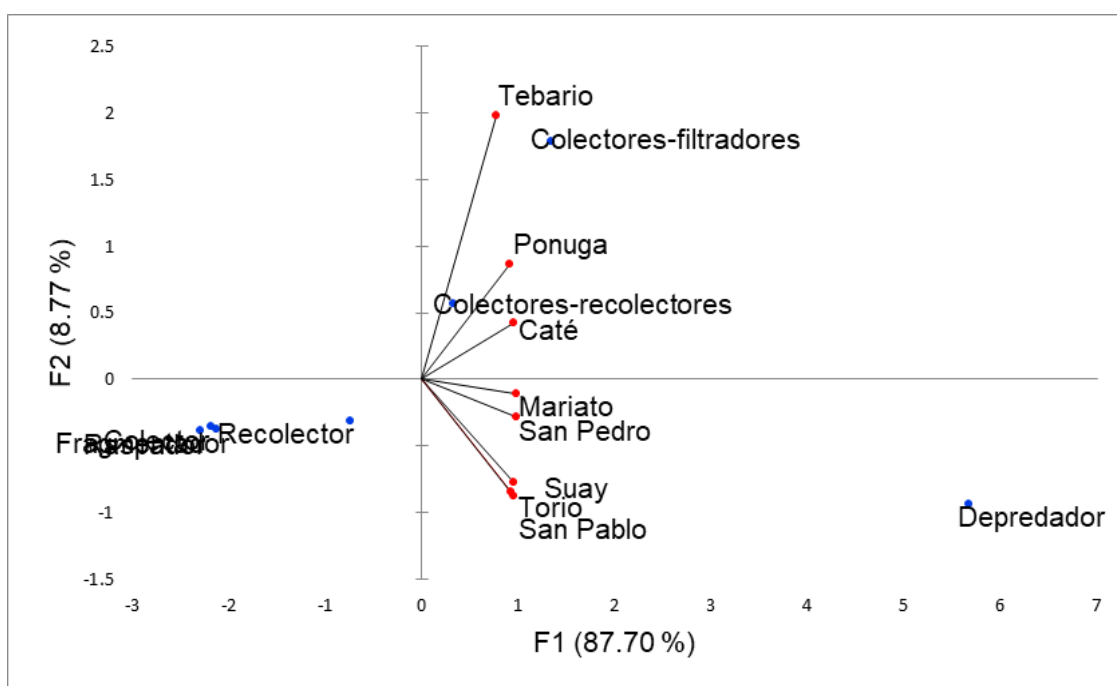


Figura 6.

Abundancia en porcentaje de los grupos funcionales alimentarios (GFA) de los géneros de insectos acuáticos encontrados en los ríos Torio, Mariato, Tebario y Suay, desde el mes de enero al mes de mayo de 2024 (en la época seca). S.I. (género sin información del GFA).

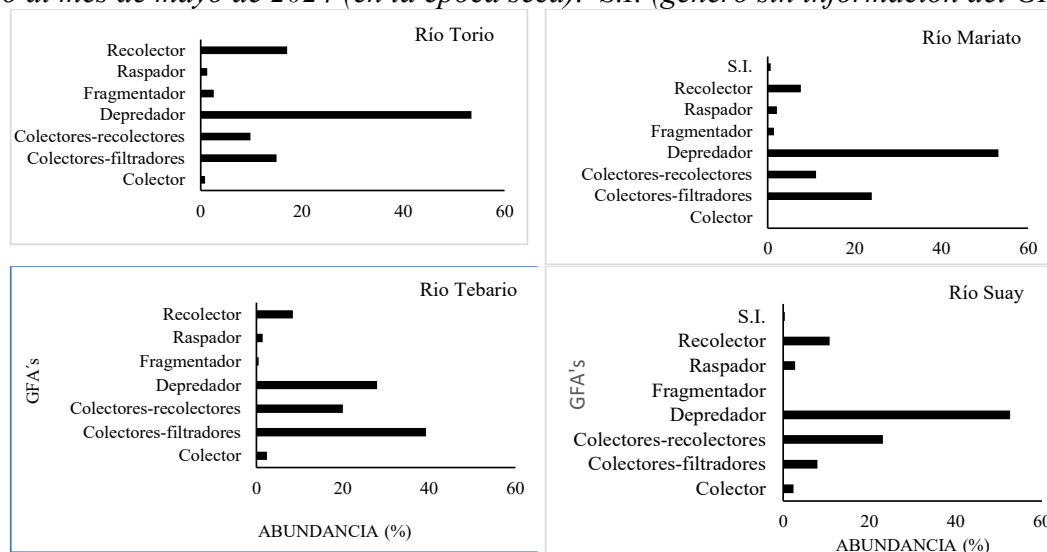
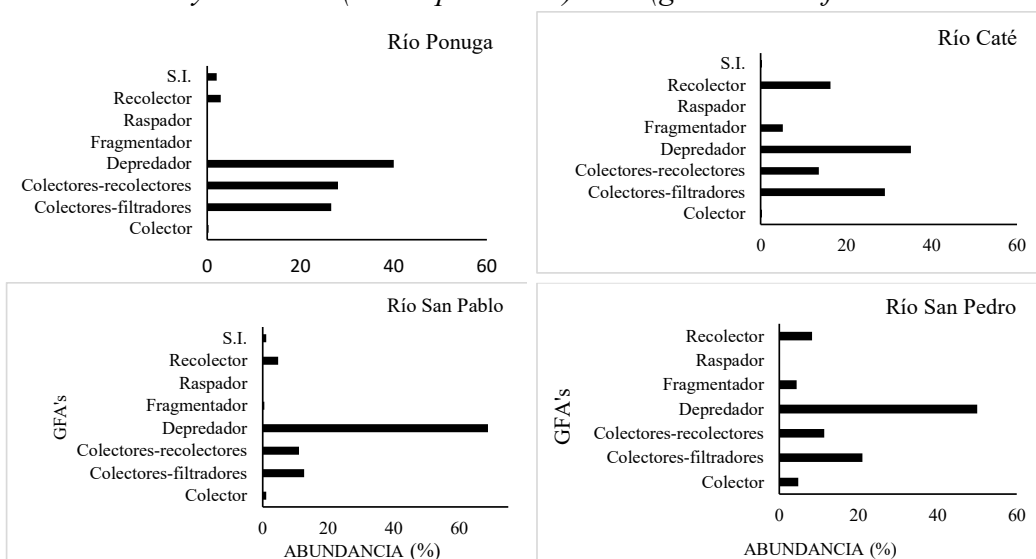


Figura 7.

Abundancia en porcentaje de los grupos funcionales alimentarios de los géneros de insectos acuáticos encontrados en los ríos Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro, desde el mes de enero al mes de mayo de 2024 (en la época seca). S.I. (género sin información del GFA).



DISCUSIÓN

Análisis de los parámetros fisicoquímicos

Al comparar el promedio de los valores de los 22 parámetros evaluados en los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté, San Pablo y San Pedro, con los valores permitidos por las normas de calidad de aguas continentales en Panamá, se encontró un 100 % de cumplimiento para cada parámetro estudiado. Los informes de calidad del agua de los ríos y embalses de la cuenca del canal para los años 2020, 2021 y 2022 que analizaron los mismos parámetros, también obtuvieron un 100 % de cumplimiento con las normas establecidas y un diagnóstico de calidades de agua con el índice ICA de aceptable, para los ríos y embalses de la cuenca del canal (Autoridad del Canal de Panamá, 2020, 2021 y 2022). Razón por la cual, se podría pensar que los ríos objeto de este estudio, al obtener el 100 % de cumplimiento con las normas establecidas para los parámetros fisicoquímicos, tendrían calidades de agua con el índice ICA de aceptable, pero no fue así.

En el análisis de los componentes principales podemos apreciar en el cuadrante superior derecho al río San Pablo, muy alejado del grupo, el análisis análisis (CAJ) confirma que los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, Ponuga, Caté y San Pedro, forman un grupo y el río San Pablo forma el otro grupo, una de las razones podría deberse a que el río San Pablo tiene los niveles más altos de temperatura y turbidez y los niveles más bajos de salinidad, sílice HR y sólidos totales disueltos. Algunos autores han comunicado que los parámetros fisicoquímicos, en algunos casos, reflejan una tendencia generalizada del impacto humano, reflejando altos valores de conductividad, turbidez y sólidos disueltos (Sánchez-Argüello et al. 2010). Este incremento de conductividad, sólidos disueltos y turbidez han sido reportados en otros estudios en sitios degradados como resultado del impacto humano (Sutherland et al., 2002; Sánchez-Argüello et al. 2010).

De los ríos estudiados, solamente, el río San Pablo cuenta con un embalse en la parte alta y está sometido a descargas intermitentes. La retención de sedimentos en dicho embalse puede ejercer un impacto ecológico, afectando la concentración de sólidos totales disueltos y aumentando la temperatura y turbidez, según lo comunicado por (Oscoz et al 2006, Winton et al. 2019, Winton, et al. 2023), por lo que nos sugiere que, las descargas intermitentes del agua de los embalses, tiene un efecto sobre los parámetros fisicoquímicos de los sitios que se ubican aguas abajo del embalse. Chen, et al. 2023 demostraron que los embalses alteran las características hidro-geofísicas de los ríos, incluido el régimen hidrológico, el régimen de sedimentos y la temperatura del agua.

Análisis de la calidad biológica del agua en los ríos estudiados

Con el diagnóstico de calidad utilizando el índice ICA, se diagnosticaron en los ríos Ponuga y Caté una calidad de agua aceptable y en los ríos Torio, Mariato, Tebario, Suay, San Pablo

y San Pedro el diagnóstico fue de ríos poco contaminados, mientras que, el diagnóstico de calidad con el índice BMWP/V caracterizó a los ríos Mariato, Tebario, Ponuga, Caté y San Pedro como ríos de calidad biológica aceptable, mientras que, los ríos Torío, Suay y San Pablo como ríos de calidad biológica del agua dudosa. No se obtuvo ningún valor que pudiera categorizar a estos ríos como de calidad biológica excelente, muy contaminada o extremadamente contaminada. Los resultados de los índices ICA y BMWP/V evidencian de manera general calidades de agua similares en el presente estudio. Resultados parecidos a los encontrados por Sánchez-Argüello et al., 2010 en la cuenca del río Capira, al comparar los resultados del diagnóstico de calidad, de los índices ICA y BMWP. Existe una tendencia natural en los ríos a perder la calidad biológica de sus aguas a medida que se avanza agua abajo (Alba-Tercedor y Sánchez Ortega, 1988), quizás el grado de perturbación encontrado al diagnosticar la calidad del agua sea el producto de este fenómeno.

Al comparar los índices, el ICA tiene la desventaja, de no ser sensible a la contaminación por metales pesados (Montoya et al. 2011), la inclusión en los muestreos del índice BMWP/V subsanaría esta desventaja, ya que los macroinvertebrados son sensibles al efecto de estos metales y requiere a su vez, una menor inversión económica (Montoya et al. 2011).

Semejanzas entre la estructura de las comunidades a nivel de géneros.

El análisis clúster realizado con el coeficiente de similitud de Jaccard, evidencia que el río Suay tiene una estructura de géneros en la comunidad de insectos acuáticos con un nivel de similitud menor de 45 %, a la vez obtuvo el promedio más bajo para el índice BMWP/V de 54, mientras que, las comunidades de los ríos San Pablo, Tebario, Mariato, San Pedro, Caté, Ponuga y Torío, que muestran una similitud mayor de 50 %. Rodríguez et al., 2023 en un estudio realizado en el corregimiento de Pixvae, utilizando el índice BMWP/V comunican que los ríos con similitud en la estructura bentónica de géneros muestran una misma calidad biológica del agua. Una explicación posible de la buena calidad biológica encontrada en los ríos Ponuga y Caté utilizando el índice BMWP/V podría deberse a la abundancia de insectos acuáticos y de los grupos funcionales de colectores-filtradores y colectores-recolectores, grupos que indican una mayor disponibilidad de materia orgánica particulada fina (Oscoz et al 2006).

Estructura numérica de las comunidades de insectos acuáticos en los ríos estudiados.

En los ríos Torío, Mariato, Suay, San Pedro y San Pablo el orden dominante en cuanto a número de individuos fue el de los Heteroptera, algunos autores, comunican la tendencia a la disminución de los valores de los índices ICA y BMWP/V, debido a la reducción de los individuos de los órdenes de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en la estructura bentónica de las comunidades, lo cual se ha evidenciado en diferentes latitudes (Montoya et al. 2011, Rodríguez, et al. 2022), quizás esto explicaría la diferencia de la calidad del agua, entre los ríos Torío, Mariato, Suay, San Pedro y San Pablo con el índice ICA, agua de calidad

poco contaminada y los ríos Ponuga y Caté, con los Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera, como los órdenes dominantes, y una calidad de agua aceptable. Resultados similares, en cuanto a la abundancia del orden Heteroptera, fueron obtenidos por Rodríguez y Sánchez (2001) en el río Santa Clara, Rodríguez y León (2003) en el río Tríbique, Rodríguez y Mendoza (2003) en el río Agué, Lombardo y Rodríguez (2008) en el río Santa María, Guinard et al., (2013) en el río Gariché en la época seca. La gran abundancia de Hemípteros en estos ríos puede estar relacionada, a la capacidad de adaptarse a diferentes hábitats acuáticos, siendo poco exigentes en la calidad del ambiente y teniendo un rango mayor de tolerancia a la polución en niveles moderados (Arias-Paco et al., 2021).

Clasificación de grupos funcionales alimentarios de los insectos acuáticos en los ríos estudiados.

En los ríos estudiados el grupo funcional alimentario más abundante en cuanto al número de individuos fueron los depredadores. Estudios realizados por López et al., (2012) en la quebrada Santa Inés, Honduras y Rodríguez y Cárdenas (2017) en los ríos La Chorrera y Zaratí, Panamá, encontraron como grupo funcional de alimentación, en cuanto a riqueza y abundancia a los depredadores también comunican una calidad de agua mala, para ambos ríos. De igual manera, Rodríguez et al. (2017) encontraron este grupo dominante en el tramo bajo del río Tríbique. Rivera-Usme (2013) señala que los depredadores son indicadores de ambientes con mayores niveles de eutrofización y su gran abundancia radica en que están mejor adaptados a estas condiciones, por ser más competitivos, regulando otras poblaciones de macroinvertebrados como dípteros. Además, un incremento de depredadores disminuye otros grupos funcionales de alimentación de gran importancia, como los colectores y fragmentadores (Rodríguez-Barrios et al., 2011; Rodríguez y Cárdenas, 2017).

CONCLUSIONES

- La caracterización de los parámetros fisicoquímicos de los ríos objeto de este estudio, reveló que, los valores promedios de los parámetros evaluados cumplen con el nivel de calidad permitido para aguas continentales establecidos por la normativa panameña, lo que parece indicar de manera general una calidad ambiental de regular a buena.
- Los ríos como el San Pablo que están sometidos a descargas intermitentes pueden experimentar variaciones en la caracterización de los parámetros fisicoquímicos lo que se convierte en su principal causa de degradación.
- Los resultados del diagnóstico de la calidad del agua de los ríos estudiados y la estructura de la comunidad de insectos acuáticos, es lo esperado en sistemas lóticos en condiciones similares aguas abajo, ya que existe una tendencia natural en los ríos a perder la calidad biológica de sus aguas a medida que se avanza aguas abajo

- Los grupos funcionales de alimentación podrían ser usados, como indicadores de la calidad biológica del agua o como complemento a los sistemas de evaluación, basados en la composición y en estructura taxonómica de las comunidades acuáticas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la ayuda económica del Proyecto FID22-102, financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT). De manera muy especial, agradecemos la participación de profesores, estudiantes de tesis y, en general, a todo el grupo de trabajo del Centro de Capacitación, Investigación y Monitoreo de la Biodiversidad en Coiba (CCIMBIO-COIBA), del Centro Regional Universitario de Veraguas, Universidad de Panamá.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba-Tercedor, J., & B. Pujante. (2000). BMWP, un adattamento spagnolo del British Biological Monitoring Working Party (BMWP) Score System. *Biol. Amb.* 14(2): 65-67.
- Alba-Tercedor, J., & Sánchez-Ortega, A. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnética*. 4, 51-56.
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos, IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA), *Almería*, 2, 203-213. <https://cidta.usal.es/calidad/documentos/blanco2/indice%20BMWP.pdf>
- Arias-Paco, A., Mata-Núñez, M., & Alvarado-Barrantes, R. (2021). Effect of soapy water on the behavior of semiaquatic Heteropterans (Gerromorpha) from two neotropical aquatic ecosystems. *Rev. biol. trop.*, 69(3), 873–887. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i3.46018>
- Arroyo J., C., & Encalada, A. C. (2009). Evaluation of the quality of water through benthic macroinvertebrates and biological indices in tropical rivers in montane cloud forest. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 1(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v1i1.4>
- Autoridad del Canal de Panamá (ACP). (2020) Informe de calidad de agua de la cuenca del canal.
- Autoridad del Canal de Panamá (ACP). (2021). Informe de calidad de agua de la cuenca del canal.

- Autoridad del Canal de Panamá (ACP). (2022). Informe de calidad de agua de la cuenca del canal.
- Baptista, D. F., Buss, D. F., Dias, L. G., Nessimian, J. L., Da Silva, E. R., De Moraes Neto, A. H. A., De Carvalho, S. N., De Oliveira, M. A., & Andrade, L. R. (2006). Functional feeding groups of Brazilian Ephemeroptera nymphs: Ultrastructure of mouthparts. *Ann. Limnol.*, 42(2), 87–96. <https://doi.org/10.1051/limn/2006013>
- Bello, C., & Cabrera, M. I. (2001). Alimentación ninfal de Leptophlebiidae (Insecta: Ephemeroptera) en el Caño Paso del Diablo, Venezuela. *Rev. biol. trop.*, 49, 1–4.
- Bernal, J. A., & Castillo, H. M. (2012). Diversidad, distribución de los insectos acuáticos y calidad del agua de la subcuenca alta y media del río Mula, Chiriquí, Panamá. *Tecnociencia*, 14(1), 35–52.
- Carrillo-Alvarado, M. S. & Urgilés-Calle, P. D. (2016). Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig. Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Ecuador. Pág. 142. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/08315a5d-6da4-4b65-a09a-5a76395fd015>
- Chará-Serna, A. M.; Chará, J. D.; Zúñiga, Del Carmen M., Pedraza, G. X., & Giraldo, L. P. (2010). Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Universitas Scientarum*, Vol.15, (1): pp: 27–36. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. <http://dx.doi.org/10.11144/javeriana.SC15-1.tcoa>
- Chará-Serna, A., Chará, J., Zúñiga, M., Pearson, R., & Boyero, L. (2012), Diets of leaf litter-associated invertebrates in three tropical streams. *Ann. Limnol.* 48, 139–144. <https://doi.org/10.1051/limn/2012013>
- Chen, Q., Li, Q., Lin, Y., Zhang, J., Xia, J., Ni, J., Cooke, S. J., Best, J., He, S., Feng, T., Chen, Y., Tonina, D., Benjankar, R., Birk, S., Fleischmann, A. S., Yan, H., & Tang, L. (2023). River damming impacts on fish habitat and associated conservation measures. *Reviews of Geophysics*. 61:1-64. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2023RG000819>
- Cumbrera, A., & Rodríguez, V. (2018). Estructura trófica a nivel de grupos funcionales de alimentación de la comunidad de insectos acuáticos y calidad biológica del agua en la parte media-baja del río Cardenillo, Veraguas. *Visión Antataura*, 2, 16–40.

- De Martonne, E. (1927). Regions of Interior-Basin Drainage. *Geogr. Rev.*, 17(3), pp. 397-414. doi:10.2307/208323
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo. Tucuman-Argentina. 656 pp.
- Fenoglio, S., Bo T., Czekaj, A., & Rooeciszewska, E. (2008). Feeding habits, fine structure and microhabitat preference of *Euthyplocia hecuba* (Hagen, 1861) (Ephemeroptera: Euthyplociidae) nymphs from Honduras. *Folia Biol.* 56, 43-49.
- Flowers, R., & De La Rosa, C. (2010). Ephemeroptera. *Rev. biol. trop.*, 58 (4), 63-93.
- Gaceta Oficial de Panamá Número 26078 (2008). Decreto Ejecutivo No. 75. Del 4 de junio de 2008. <https://www.gacetaoficial.gob.pa/Busqueda>
- Gualdrón-Durán, L. E. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Dinámica Ambiental*, 1, 83-102. <https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593>
- Guinard, J. D. C., Ríos, T., & Bernal-Vega, J. A. (2013). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del río Gariché, provincia de Chiriquí, Panamá. *Gestión y Ambiente*, 16(2), 61-70.
- Gutiérrez-Fonseca, P. (2010). Plecoptera. *Rev. biol. trop.*, 58 (4), 139-148.
- Guzmán-Soto, C. J., & Tamarís-Turizo, C. E. (2014). Hábitos alimentarios de individuos inmaduros de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en la parte media de un río tropical de montaña. *Rev. biol. trop.*, 62(2), 169-178. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44932430012>
- Hafizur, R. M., Nuralam, H. M., & Rumanul, I. M. (2017). Investigation of physicochemical parameter, heavy metal in Turag river water and adjacent industrial effluent in Bangladesh. *Journal of Science, Technology and Environment Informatics*, 05(01), 347-360. Crossref: <http://doi.org/10.18801/jstei.050117.37>
- Holdridge LR. (1996). Ecología basada en zonas de vida. Quinta Reimpresión. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Lombardo, R. C., & Rodríguez, V. (2008). Calidad biológica del agua de la parte media baja del río Santa María, provincia de Veraguas, república de Panamá. *Tecnociencia*, 10(1), 19-32.

- López, L. I.; Gutiérrez, P., & Mora, J. M. (2012). Macrofauna Acuática de la Quebrada Santa Inés, Subcuenca del Río Yeguaré. Honduras. *Revista Ceiba*. 51(1). 17-28.
- Merritt, R. W, Cummins, K. W., & Berg, M. B. (2008). An introduction to the aquatic insects of North America. 4th edition. Kendall/Hunt Publishing Company, 4050 Westmark Drive, Dubuque, Iowa, USA. 2008. 1158 pp.
- Montoya-Moreno, Y., Acosta, Y., y Zuluaga, E. (2011). Evolución de la calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/Col y el ASPT. *Caldasia* 33(1): 193-210.
- Moresi, A. L., Ruiz-Díaz, J. D., Pellerano, R. G., & Vázquez, F. (2019). Caracterización físicoquímica del río Corriente, aplicando Análisis de Componentes Principales y Análisis de Clústers. <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/27983>
- Oscóz, J., Campos, F., & Escala, M. C. (2006). Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnetica*, 25 (3): 683-692. (2006). DOI: 10.23818/limn.25.46
- Peel, M., Finlayson, B., & McMahon, T. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences* 11: 1633-1644. <https://dx.doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Peñafiel-Romero, A. G. (2014). Evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba mediante el índice ICA del instituto mexicano de tecnología del agua. [Tesis de grado]. Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Ecuador. Págs, 90. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/6f7883a5-f680-41f6-87d0-a527c690c39c>
- Ramírez, A. (2010). Odonata. *Revista Biología Tropical*. 58 (4), 97-136,
- Reynaga, M, (2009), Hábitos alimentarios de larvas de Trichoptera (Insecta) de una cuenca subtropical. *Ecol. austral*. 19, 208-209.
- Rivera J. (2022). Teoría y métodos para la práctica de la Geografía Física: Estudio de casos - Panamá. Imp. Colombia. Panamá: Ed. Novo Art, S.A.
- Rivera-Usme, J. J., Pinilla-Agudelo, G. A., & Rangel-Ch, J. O. (2013). Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de Jaboque-Colombia. *Caldasia* 35(2): 389-408.

- Rodríguez, C., Jurado, Y., & Rodríguez, V. (2022). Estructura numérica de los insectos acuáticos en la deriva y su relación con la comunidad bentónica, en un tramo del río Zaratí, provincia de Coclé, Panamá. *Tecnociencia*, Vol. 24, (1): 45-71
- Rodríguez, V. E., Duarte, G., & Fuentes, J. (2015). Familias y géneros de ninfas maduras de Ephemeroptera en los ríos de la provincia de Veraguas y su clasificación trófica en grupos funcionales alimentarios. *Tecnociencia*, 17(2), 73–89.
- Rodríguez, V. E., & Cárdenas, X. (2017). Estructura trófica de la entomofauna acuática y calidad del agua de los ríos Zaratí y La Chorrera, provincia de Coclé, república de Panamá. *Tecnociencia*, 19(1), 33–59.
- Rodríguez, V. E., & León, H. (2003). Insectos acuáticos asociados al río Tribique, en el distrito de Soná, provincia de Veraguas. *Tecnociencia*, 5(1), 51–64.
- Rodríguez, V. E., & Sánchez, N. (2001). Entomofauna asociada al río Santa Clara en Veraguas, república de Panamá. *Tecnociencia*, 3(2), 73–87.
- Rodríguez, V., & Mendoza, M. (2003). Entomofauna acuática asociada al río Agué, en La Mesa, Veraguas, Panamá. *Tecnociencia*, 5(2), 109–119.
- Rodríguez, V., Acosta, S., & Aguilar, N. (2022). Estructura trófica de la comunidad de insectos acuáticos y calidad biológica del agua en un tramo de los ríos limón, Lovaina, Rosario¹, Rosario², Pixvae y De Mona, en el corregimiento de Pixvae, distrito de las Palmas, provincia de Veraguas. *Rev. Col. Cienc.*, Vol. 4 (1), pp. 62-85.
- Rodríguez, V., De Gracia, V., & Peña, B. (2014). Familias y géneros de Trichóptera en los ríos de la provincia de Veraguas y su clasificación trófica en grupos funcionales alimenticios funcionales. *Tecnociencia*, 16(2), 33–53.
- Rodríguez, V., González, E., & Rudas, J. (2017). Estructura comunitaria y grupos funcionales alimentarios de la entomofauna acuática del río Tribique, distrito de Soná, provincia de Veraguas, Panamá. *Tecnociencia*, 19(1), 85–106.
- Rodríguez, V., Robles, N., & Pimentel, Y. (2009). Calidad biológica del agua de los ríos Sábalo, Piña, Ponuga, Pocrí y Suay en la provincia de Veraguas, Panamá. *Tecnociencia*, 11(1), 75–89.

- Rodríguez-Barrios, J., Ospina-Tórres, R., & Turizo-Correa, R. (2011). Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v59n4/a09v59n4.pdf>
- Roldán-Pérez, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Ed. Impreades Presencia S.A. Bogotá, Colombia. 217
- Roldán-Pérez, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista Acad. Colomb. Ci. Exact.* 23 (88), 375-387.
- Sánchez-Argüello, R., Cornejo, A., Boyero, L., Santos Murgas, A., Luisa, M., & Emails, P. (2010). Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Capira, Panamá. *Tecnociencia*, 12(2), 57–70. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/905>
- Santamaría, E. E., & Bernal-Vega, J. A. (2016). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua en cuenca alta del río Chiriquí Viejo, provincia de Chiriquí, Panamá. *Tecnociencia*, 18, 1–24. <https://revistasvip.up.ac.pa/index.php/tecnociencias/article/view/821>
- Sermeño, J. M., Pérez, D., Paniagua Cienfuegos, M. R., Menjívar Rosa, R. A., Bonilla de Torres, B. L., Carranza Estrada, F. A., Ángeles Gonzales, C. de los., Flores Tensos, J. M., Gutiérrez Fonseca, Pablo., Hernández Martínez, M. Ángel., Arias de Linares, A. Yanira., & Monterrosa Urías, A. J. (2010). Determinación de la calidad ambiental de las aguas ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador
- Shah, K. A., & Joshi, G. S. (2015). Evaluation of water quality index for River Sabarmati, Gujarat, India. *Appl Water Sci.* Volume 7, pages 1349–1358. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-015-0318-7>
- Springer, M. (2010). Trichoptera. *Revista Biología Tropical.* 58(4), 151-198.
- Sutherland, B., Meyer, J., & Gardiner, E. (2002) Effects of land cover on sediment regime and fish assemblage structure in four southern Appalachian streams. *Freshw. Biol.* 47: 1791-1805. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00927.x>
- Tomanova, S., Goitia, E., & Helešic, J. (2006). Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hidrobiol.* 556(1), 251–264. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1255-5>

- Valdés-Sánchez, V. V., & Castillo-Adams, H. J. (2023). Calidad biológica de cuatro ríos de la provincia de Bocas del Toro con el uso de macroinvertebrados acuáticos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 1736–1760. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6307
- Winton, R. S., Calamita, E., & Wehrli, B. (2019) Reviews and syntheses: Dams, water quality and tropical reservoir stratification, *Biogeosciences*, 16, 1657–1671, <https://bg.copernicus.org/articles/16/1657/2019/>
- Winton, R. S., López-Casas, S., Valencia-Rodríguez, D., Bernal-Forero, C., Delgado, J., Wehrli, B., & Jiménez-Segura, L. (2023). Patrones y factores impulsores de cambios en la calidad del agua asociados a embalses en los Andes tropicales. *SciELO. Scientific Electronic Library Online*. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.5549>.