

<https://doi.org/10.47633/36hadf50>

Calidad biológica de cinco cuerpos de agua dulce superficiales de la Cuenca 24 Virilla-Tárcoles. 2009-2024

Biological quality of five superficial freshwater bodies of Cuenca 24 Virilla-Tárcoles.
2009-2024

Qualidade biológica de cinco corpos de água doce superficiais do Cuenca 24 Virilla-Tárcoles. 2009-2024

José Manuel Quirós-Sanabria

Biólogo Tropical. Especialista ejecutivo
Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
Laboratorio Nacional de Aguas. San José, Costa Rica

 <https://ror.org/02yzgww51>

 <https://orcid.org/0009-0007-6699-3649>
jquiros@aya.go.cr

Darner Adrián Mora-Alvarado

Microbiólogo y Salubrista Público
Exfuncionario del Laboratorio Nacional de Aguas AyA, San José, Costa Rica

 <https://orcid.org/0000-0001-6153-6499>
dmora@aya.go.cr

Recibido 15-08-2025 | Revisado 22-09-2025 | Aceptado 15-10-2025



Nuestros artículos son publicados bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Atribucion-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Resumen

En el siguiente estudio se analizaron biológicamente cinco de los principales afluentes de la Cuenca 24 Virilla-Tárcoles. Para ello, se utilizó el índice biológico BMWP'-CR (Biological Monitoring Working Party score) modificado para Costa Rica del Decreto Ejecutivo "Reglamento 33903 MINAE-S" de La Gaceta del 17 de septiembre de 2007. Entre los principales resultados se destaca que los cuerpos de agua presentaron una calidad biológica mejor en las partes altas y disminuye al descender en sus recorridos, producto de factores como la contaminación microbiológica, que también aumenta conforme los ríos descienden por la Gran Área Metropolitana (GAM); se colectaron organismos bentónicos tolerantes y no tolerante a la contaminación, así como peces. Biológicamente en orden ascendente, según el BMWP'-CR, el mayor índice en la época lluviosa fue en el río Torres, luego el María Aguilar, el Tiribí, el Virilla y finalmente, la quebrada Rivera. La mayor abundancia en época lluviosa fue en el río María Aguilar, luego el Tiribí, el río Torres, el río Virilla y finalmente la quebrada Rivera. Según el BMWP'-CR en orden ascendente, el mayor índice en época seca fue en el río María Aguilar, luego el Torres, el Tiribí, el Virilla y la quebrada Rivera.

Palabras clave: Agua dulce, Calidad del agua, Contaminación del agua, Ecosistemas acuáticos, Limnología

Abstract

In this study, five of the main tributaries of the Virilla-Tárcoles Basin 24 were biologically analyzed. For this, the BMWP'CR (Biological Monitoring Working Party score) index, modified for Costa Rica, was used, based on Executive Decree "Reglamento 33903 MINAE-S" of La Gaceta, September 2007. The water bodies showed better biological quality in the upper sections, with graduality decreased as they flowed downstream. This decline in quality was influenced by factors such as increasing microbiological contamination as the rivers pass through the Greater Metropolitan Area (GAM). Despite this, both pollution-tolerant benthic organisms and non-tolerant benthic

organisms, as well as fish, were collected. Biologically, in ascending order according to the BMWP'-CR, the highest index during the rainy season was found in the Torres river, followed by the María Aguilar, the Tiribí, the Virilla, and finally the Rivera stream. The highest abundance during the rainy season was recorded in the María Aguilar river, followed by the Tiribí, the Virilla, and the Rivera stream. Regarding abundance, the highest was also found, as the rainy season, in the María Aguilar river, followed by the Torres, the Tiribí, and lastly, as in the rainy season, in the Rivera stream.

Keywords: Aquatic ecosystems, Freshwater, Limnology, Water pollution, Water quality

Resumo

No estudo a seguir foram analisados biologicamente cinco dos principais afluentes da Bacia 24 Virilla-Tárcoles. Para isso, utilizou-se o índice biológico BMWP'-CR (Biological Monitoring Working Party score), modificado para a Costa Rica pelo Decreto Ejecutivo "Reglamento 33903 MINAE-S" de La Gaceta de 17 de setembro de 2007. Entre os principais resultados, destaca-se que os corpos d'água apresentaram melhor qualidade biológica nas partes altas, a qual diminui à medida que descem em seus percursos, resultado de fatores como a contaminação microbiológica, que também aumenta conforme os rios descem pela Grande Área Metropolitana (GAM). Foram coletados organismos bentônicos tolerantes e não tolerantes à contaminação, assim como peixes. Biologicamente, em ordem ascendente, segundo o BMWP'-CR, o maior índice na estação chuvosa foi registrado no rio Torres, seguido pelo María Aguilar, Tiribí, Virilla e, por fim, a ribeira Rivera. A maior abundância na estação chuvosa ocorreu no rio María Aguilar, seguido pelo Tiribí, rio Torres, rio Virilla e, finalmente, pela ribeira Rivera. De acordo com o BMWP'-CR, em ordem ascendente, o maior índice na estação seca foi observado no rio María Aguilar, seguido pelo Torres, Tiribí, Virilla e ribeira Rivera.

Palavras chave: Água doce, Ecossistemas aquáticos, Limnologia, Poluição da água, Qualidade da água

Introducción

La Cuenca del río Grande de Tárcoles es una de las cuencas hidrográficas más importantes de Costa Rica, ubicada en la vertiente del Pacífico. Es de las más pobladas y de mayor actividad económica, aunque tiene serios problemas de contaminación debido a su ubicación en el Gran Área Metropolitana (GAM); el Río Grande de Tárcoles es su cauce principal. Dentro de esta cuenca se encuentra la subcuenca del río Virilla, que es uno de sus afluentes más importantes. Se localiza en la región central de Costa Rica, cubriendo partes de las provincias de San José, Alajuela, Heredia y Puntarenas. Los ríos principales de esta cuenca son el río Grande de Tárcoles, que es el principal receptor de las aguas de toda la cuenca y el río Virilla, uno de los afluentes más importantes, que recorre gran parte de la GAM.

Los afluentes analizados del río Virilla son los siguientes: río Tiribí (cruza zonas urbanas del GAM y se origina o nace en las faldas de la cordillera Volcánica Central); río María Aguilar (recorre aguas del este del GAM y se origina en las faldas del cerro Cabeza de Vaca, en la Cordillera Volcánica Central, su curso es de este a oeste, pasando por los cantones de La Unión, Cartago; Curridabat, San José; Montes de Oca, San José y el centro de San José); río Torres (se origina en Rancho Redondo, Goicoechea, desemboca en el distrito La Carpio, San José); y la Quebrada Rivera en la León XIII, ya que aquí se encuentra un colector cuyas aguas van a dar también a la planta de Los Tajos. Además, han sido renovadas y ampliadas las tuberías que llevan las aguas residuales hasta la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos (PTAR). El biomonitoreo es el uso sistemático de respuestas biológicas para evaluar cambios en el ambiente con la intención de usar esta información en un programa de control de calidad (Rosenberg & Resh, 1993).

Debido a lo anterior, los índices de calidad de agua (ICA) surgen como un método para evaluar la naturaleza física, química y biológica de las aguas superficiales en relación con su calidad natural, los efectos humanos y sus posibles usos, permitiendo sintetizar y transmitir los resultados de manera simple y clara de los cuerpos de agua de forma espacial y temporal (Gastezzi-Arias et al., 2023). Los macroinvertebrados bentónicos utilizados para el estudio de cuerpos de agua superficiales son aquellos organismos mayores a 0,5 mm que quedan retenidos en un tamiz N°30 de la U.S

Standard, de ($>500\ \mu\text{m}$). Los bioindicadores se emplean para evaluar la calidad promedio que mantiene el agua en períodos más o menos largos (American Water Works Association & Water Environment Federation, 2023).

En este sentido, se encuentra el BMWP' revisado, de Hellawell, que solo requiere identificaciones a nivel de familia. Sin embargo, en este estudio se llegó hasta el nivel de identificación de género. La evaluación de la calidad del agua ha sido primordial para desarrollar el tipo de medidas reductoras de contaminación en los cuerpos hídricos (Torres et al., 2009). Por lo anterior, se han realizado algunas investigaciones utilizando los macroinvertebrados bentónicos y el índice BMWP'-CR como son las siguientes: "Macroinvertebrates as indicators in tropical streams with different land use in southern Costa Rica", investigación en tres ríos cerca de la Gamba, usando BMWP'-CR para evaluar impacto humano y rol de vegetación riparia (Duschek et al., 2019). También "Application of the BMWP-Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: sensitivity to collection method and sampling intensity", sobre el análisis de sensibilidad del índice BMWP-CR, comparando los resultados de muestras cualitativas (Gutiérrez-Fonseca & Lorion, 2014). Estos son algunos de los estudios realizados, pero los macroinvertebrados bentónicos han sido utilizados desde hace muchos años, indicando que son excelentes para clasificar los cuerpos de agua dulce superficiales.

Objetivos

1. Determinar la calidad biológica por medio del índice biológico BMWP'-CR en cinco cuerpos de agua superficiales de la Cuenca 24 Virilla-Tárcoles.
2. Determinar la influencia de la contaminación microbiológica en los valores del índice biológico BMWP'-CR de la Cuenca 24 Virilla-Tárcoles.

Metodología

En este estudio se utilizó la metodología descrita en el Decreto Ejecutivo N°33-903-MINAE-S, de La Gaceta, 17 de septiembre del 2007 "Reglamento para la evaluación

y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales" (Presidencia de la República de Costa Rica & Ministerio de Ambiente y Energía, 2007). Este reglamento establece como organismos indicadores de la calidad del agua a los grupos representantes de los macroinvertebrados bentónicos. Esta metodología se utiliza en Costa Rica desde el año 2007 por el Reglamento del Decreto Ejecutivo 33903 de La Gaceta, es la que se aplica y los resultados obtenidos en diversos estudios demuestran su efectividad, ya que los macroinvertebrados bentónicos al ser organismos acuáticos dulceacuícolas viven adheridos al sustrato y son excelentes bioindicadores de contaminación de un cuerpo de agua; el método incluye datos cualitativos (Familias) y cuantitativos (abundancia) y los puntos de muestreo de seleccionaron de acuerdo a la accesibilidad y ubicación en las partes alta, media y baja de las cuencas, para observar las variaciones. La recolección de las muestras se realizó de la siguiente manera:

Se realizaron muestreos biológicos por parte del LNA y de la UEN PAPS (Programa Agua Potable y Saneamiento) del AyA, utilizando la red de mano Tipo D o red blanca (Presidencia de la República de Costa Rica & Ministerio de Ambiente y Energía, 2007). Para el análisis e identificación de los macroinvertebrados bentónicos, se utilizó el método establecido en la última edición de los "Rapid Assessment Biological Protocols" de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (American Water Works Association, & Water Environment Federation, 2023) y las respectivas claves dicotómicas (Needham & Needham, 1982; Roldán, 1980; Springer et al., 2010).

Los organismos bentónicos recolectados fueron identificados hasta el nivel de familia, aunque también se identificaron algunos de los géneros. Los resultados del análisis de las muestras de organismos bentónicos se presentan en forma cuantitativa y cualitativa, detallando la lista taxonómica de los organismos encontrados, el número total de organismos o abundancia, el número total de taxa o riqueza biológica y el valor del índice biológico BMWP'-CR. Este índice se calculó sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones (familias) encontradas en las muestras de macroinvertebrados. La puntuación se asignó en función del grado de sensibilidad de los organismos a la contaminación.

El nivel de calidad biológica del agua se calculó utilizando la tabla 1, en la que se muestra la interpretación del significado de los valores de puntuación obtenidos con el índice biológico BMWP'-CR.

Tabla 1

Clasificación de la calidad del agua en función del puntaje total obtenido según el BMWP'-CR

Nivel de calidad	BMWP'-CR	Color representativo	Clase
Aguas de calidad excelente.	>120	Azul	1
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101-120	Azul	1
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.	61-100	Verde	2
Aguas de calidad mala, contaminadas.	36-60	Amarillo	3
Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	16-35	Naranja	4
Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.	<15	Rojo	5

Fuente: La Gaceta (septiembre, 2007)

En la tabla 2 se presentan los 20 puntos de muestreo de cinco de los principales afluentes de la Cuenca 24 Virilla-Tárcoles, monitoreados durante el período 2009-2024. Estos puntos se seleccionaron debido a la importancia que tienen, ya que son algunos de los cuerpos de agua más contaminados de Costa Rica, principalmente en la GAM, sobre todo en sus partes medias y bajas. Estos son utilizados para las descargas de todo tipo de aguas contaminadas, principalmente por las actividades antropomórficas. Con lo anterior, se puede observar si existe mejoría en la calidad del agua, ya que algunos como el río Tiribí son utilizados en su parte alta como suministro de agua potable por el AyA y, al mismo tiempo, en sus partes medias y bajas, este y los demás afluentes son utilizados para la deposición de aguas residuales en los diferentes colectores dirigidos hacia el Proyecto de Alcantarillado Sanitario del AyA en la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos. Así se puede verificar a

través del tiempo si hay o no mejoría en estos cuerpos de agua con este tipo de proyectos, vitales para la conservación ambiental, por medio de la composición de los organismos dulceacuícolas y las poblaciones de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de contaminación o no biológica.

Tabla 2

Cinco cuerpos de agua dulce superficiales de la cuenca 24 (Virilla-Tárcoles) que fueron muestreados biológicamente en 20 puntos de muestreo. Período 2009-2024

Cuerpos de agua dulce superficial y años de muestreo. Cuenca 24 (Virilla-Tárcoles)
1a- Río Torres. Sector Naciente Calle Azahar. San Ramón, La Unión. 2020-2023
1b- Río Torres. Sector cerca Centro Infantil Little Games. Montes de Oca. 2020-2023
1c- Río Torres. Sector Barrio Amón. Simón Bolívar. 2016-2021
1d- Río Torres. Sector polideportivo Aranjuez. Distrito Carmen. 2020-2023
1e- Río Torres. Sector Los Cipreses. Barrio México. 2014-2022
1f- Río Torres. Sector arriba planta Los Tajos. La Carpio. La Uruca 2020-2024
1g- Río Torres. Sector puente Hotel San José Palacio. Monserrat. La Uruca 2020-2021
2a- Río María Aguilar. Sector Hospital Chacón Paut. Dulce Nombre. La Unión. 2020-2023
2b- Río María Aguilar. Sector Calle Naranjo. Concepción. La Unión. 2013-2015
2c- Río María Aguilar. Sector Urbanización Bosques y Fresales. San Ramón. La Unión. 2020-2023
2d- Río María Aguilar. Sector Pinares. Curridabat. 2016-2019
2e- Río María Aguilar. Sector Corredor biológico Barrio Cuba. 2016-2023
2f- Río María Aguilar. Sector Circunvalación. Hatillo. 2020-2024
3a- Río Tiribí. Sector toma AyA en Pizote. Dulce Nombre. La Unión. 2009-2023
3b- Río Tiribí. Sector puente carretera a Alajuelita. 2020-2024
3c- Río Tiribí. Sector puente circunvalación. Pavas. 2020-2024
4a- Quebrada Rivera. Sector León XIII. La Uruca. 2020-2024
5a- Río Virilla. Sector relleno La Carpio. EBI. La Uruca. 2016-2024
5b- Río Virilla. Sector Jardines del Recuerdo. Heredia. 2016-2024
5c- Río Virilla. Sector Planta hidroeléctrica Brasil. Mora. 2020-2024

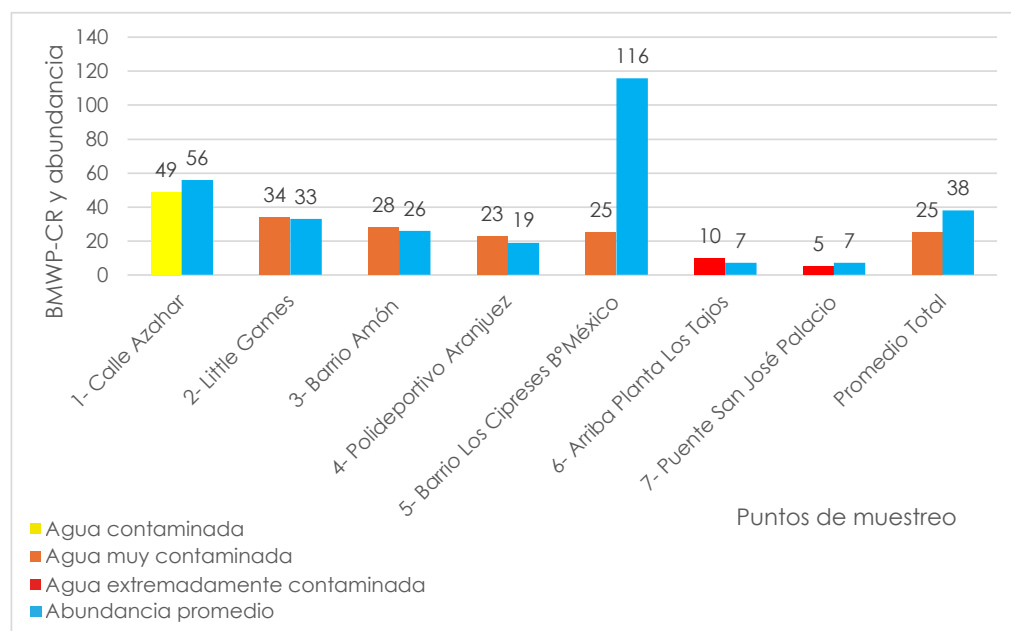
Fuente: LNA (2025)

Resultados y discusión

En la figura 1A se presentan los resultados de los índices BMWP'-CR en los siete puntos de muestreo del río Torres (2014-2024). El valor promedio total de las clases en época lluviosa (junio-noviembre) fue de 25 (anaranjado-clase 4), la clase más frecuente fue la 4 (anaranjado), con 4 puntos de muestreo, equivalentes a un 57,1% del total; luego la clase 5 (rojo) con 2 puntos de muestreo, un 28,6% del total y finalmente la clase 3 (amarillo) con 1 punto de muestreo y un 14,3% del total. La clase más alta se obtuvo en la parte alta en la naciente calle Azahar con un valor de 49 (amarillo-clase 3) y el menor en la parte más baja de la cuenca con 5, en el puente del Hotel San José Palacio. En cuanto a la abundancia de organismos, en época lluviosa se obtuvo un promedio de 38 individuos en total, con una mayor abundancia en el sector Cipreses en Barrio México, con 116, y la menor en el puente San José Palacio y antes de la planta Los Tajos con 7 organismos.

Figura 1A

Índices BMWP'-CR promedio y abundancia promedio en época lluviosa en el Río Torres. 2014-2024

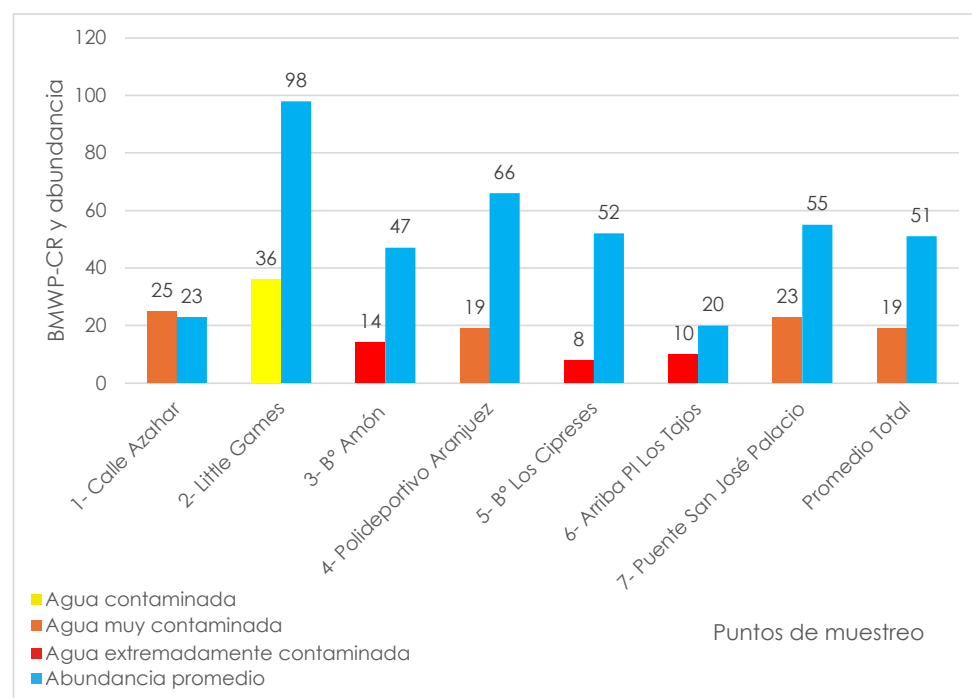


Fuente: LNA (2025)

En la figura 1B se presentan los resultados de los índices BMWP'-CR en 7 puntos de muestreo del río Torres (2014-2024), durante la época seca (diciembre a mayo). El promedio total fue de 19 (anaranjado-clase 4); las clases más frecuentes fueron I 5 (rojo) y 4 (anaranjado) con 3 puntos de muestreo cada una, correspondientes a un 43% del total de muestras cada clase; la menos frecuente fue la 3 (amarillo) con 1 punto de muestreo y un 14% del total. La más alta se obtuvo también en la parte alta de la cuenca, en Little Games con un índice de 36 (amarillo-clase 3) y el más bajo en la parte baja, en Los Cipreses de Barrio México con un valor de 8 (rojo-clase 5). La abundancia poblacional promedio fue de 51 organismos en total, la mayor abundancia se obtuvo en Little Games con 98 individuos y la menor en antes de la planta Los Tajos con 19 organismos en total.

Figura 1B

Índices BMWP'-CR promedio y abundancia promedio en época seca en río Torres. 2014-2024



Fuente: LNA (2025)

En cuanto a la clasificación taxonómica realizada hasta el nivel de género, en el río Torres sector naciente Calle Azahar, se obtuvo un índice BMWP'-CR de 105 (azul, aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible), un total de 3 *Phylum*, siendo *Arthropoda* el más abundante y *Annelida* el menos presente; el total de clases fue de cinco, siendo *Insecta* la más abundante.

En cuanto a los órdenes, el más abundante fue *Diptera*; del total de Taxa o familias, la de mayor puntaje fue la familia *Perlidae* con el género *Anacroneuria* sp. (con un puntaje más alto de todas las familias, 9 puntos), también la familia *Leptophlebiidae*, con el género *Thraulodes* sp. (puntaje de 8). La presencia de estas familias indica que el agua a esta altitud de la cuenca (parte alta) tiene especies indicadoras de aguas de calidad buena a excelente. El total de géneros identificados fue de 24, predominando las familias presentes en aguas de calidad regular a excelente y pocas familias de calidad mala como *Lumbriculidae* con *Lumbriculus* sp. y los moluscos de las familias *Physidae* con *Physa* sp. y *Sphaeridae* con *Pisidium* sp.

La clasificación taxonómica del río Torres sector naciente cerca del Centro Infantil Little Games, en la parte alta de la cuenca, en Montes de Oca, San José, presentó en total un índice BMWP'-CR de 74 (aguas de calidad regular a buena, con contaminación moderada). Se obtuvo un total de 3 *Phylum*, siendo *Arthropoda* el más abundante y *Annelida* el menos presente. Al igual que en el punto de muestreo anterior, el mayor total de clases fue *Insecta*; en cuanto a los órdenes, los más abundantes fueron *Diptera* y *Ephemeroptera*; del total de Taxa o familias (16) la de mayor puntaje fue la familia *Hydrobiosidae* (con un puntaje más alto de todas las familias, 9 puntos), también las familias *Leptophlebiidae*, con el género *Thraulodes* sp. (puntaje de 8) y *Leptoceridae*, con el género *Leptocerus* sp. El total de géneros identificados fue de 17, predominando las familias presentes en aguas de calidad regular y pocas familias de calidad mala como *Erpobdellidae* (3 puntos) con *Erpobdella* sp. y los moluscos de las familias *Physidae* y *Sphaeridae* (3 puntos), con los géneros *Physa* sp. y *Pisidium* sp.

La clasificación taxonómica hasta género, en el río Torres sector Barrio Amón, antiguo Zoológico Simón Bolívar, presentó en total un BMWP'-CR de 48 (aguas de calidad mala, contaminadas), un total de 3 *Phylum*, siendo *Arthropoda* el más abundante y *Mollusca* el menos presente; al igual que en los puntos de muestreo

anteriores; el mayor total de clases fue Insecta; en cuanto a los órdenes, el más abundante fue *Ephemeroptera*; del total de Taxa o familias (12), la de mayor puntaje fue la familia de coleópteros *Ptilodactylidae* con el género *Anchytarsus* sp. (un puntaje de 7).

El total de géneros identificados fue de 12, predominando las familias presentes en aguas de calidad regular y algunas familias de calidad mala como *Lumbriculidae* (1 punto); *Erpobdellidae* (3 puntos) y los moluscos de las familias *Physidae* (3 puntos). En el sector Polideportivo Aranjuez, en San José, se obtuvo en total un BMWP'-CR de 56 (aguas de calidad mala), contaminadas, un total de 3 *Phylum*, siendo *Arthropoda* el más abundante y *Mollusca* el menos presente; al igual que en los puntos de muestreo anteriores; el mayor total de clases fue Insecta; en cuanto a los órdenes, los más abundantes fueron *Diptera*, *Ephemeroptera* y *Trichoptera*; del total de Taxa o familias (13) la de mayor puntaje fue la familia *Hydrobiosidae* (con un puntaje de 9) y el género *Thraulodes* sp. (8 puntos). El total de géneros identificados fue de 13, predominando las familias presentes en aguas de calidad regular y algunas familias de calidad mala como *Lumbriculidae* (1 punto); *Erpobdellidae* (3 puntos) y los moluscos de la familia *Physidae* (3 puntos).

En este punto de muestreo se encuentran familias principalmente de aguas contaminadas y pocas de aguas limpias. La clasificación taxonómica del río Torres sector Los Cipreses, Barrio México, presentó en total un BMWP'-CR de 51 (aguas de calidad mala, contaminadas), un total de 4 *Phylum*, siendo *Arthropoda* el más abundante y *Mollusca* el menos presente; al igual que en los puntos de muestreo anteriores. El mayor total de clases fue Insecta; en cuanto a los órdenes, los más abundantes fueron *Diptera*, *Ephemeroptera* y *Basommatophora*; del total de Taxa o familias (15) las de mayor puntaje fueron las familias *Hydropsychidae*, *Leptohyphidae* y *Elmidae* (con un puntaje de 5). El total de géneros identificados fue de 15, predominando las familias presentes en aguas de calidad regular y algunas familias de calidad muy mala como *Chironomidae* (2 puntos) y *Lumbriculidae* (1 punto); también *Erpobdellidae* (3 puntos) y los moluscos de la familia *Physidae* (3 puntos). En estos sitios de muestreo son frecuentes los efemerópteros de la familia *Leptohyphidae* con el género *Tricorythodes* sp., el cual es resistente a cierto grado de contaminación.

En el sector aguas arriba de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos (PTAR) en La Carpio, se obtuvo un BMWP'-CR de 32 (aguas de calidad mala, muy contaminadas). Se obtuvieron de 3 *Phylum*, siendo *Arthropoda* el más abundante y *Annelida* el menos abundante; al igual que en los puntos de muestreo anteriores; el mayor total de clases fue Insecta; en cuanto a los órdenes, los más abundantes fueron *Diptera*, *Ephemeroptera* y *Basommatophora*; del total de Taxa o familias (9) las de mayor puntaje fueron *Hydropsychidae*, *Leptohyphidae* y *Baetidae* (con un puntaje de 5). El total de géneros identificados fue de 9, predominando las familias presentes en aguas de calidad regular y mala como *Chironomidae* (2 puntos); también *Erpobdellidae* (3 puntos) y los moluscos de las familias *Physidae* (3 puntos) y dípteros de la familia *Psychodidae* (3 puntos). En este punto de muestreo se encuentran familias principalmente de aguas contaminadas.

En la clasificación taxonómica del río Torres sector bajo el puente San José Palacio, se obtuvo en total un BMWP'-CR de 25 (naranja, aguas de calidad mala, muy contaminadas), fue el punto de muestreo con menor clasificación biológica, con un total de 3 *Phylum*, siendo *Arthropoda* el más abundante y *Annelida* y *Mollusca* los menos abundantes; al igual que en los puntos de muestreo anteriores; el mayor total de clases fue Insecta; en cuanto a los órdenes, el más abundante fue *Diptera*; del total de Taxa o familias (7) las de mayor puntaje fue *Hydropsychidae* y *Baetidae* (con un puntaje de 5). El total de géneros identificados fue de 7, predominando los presentes en aguas de calidad mala de las familias *Chironomidae* (2 puntos); *Physidae* (3 puntos) y dípteros de la familia *Psychodidae* (3 puntos). En este punto de muestreo se encuentran familias principalmente de aguas contaminadas, de calidad mala.

Con respecto a la contaminación microbiológica del río Torres, según análisis realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) en algunos sectores de este río hasta el año 2023, en el punto de muestreo de mayor altitud en el puente en las cercanías de Calle Azahar, San Rafael de Montes de Oca, se obtuvo un promedio geométrico de 60340,65 NMP/100 mL, siendo en junio del 2023 de 13000 NMP/100 mL y de 130000 NMP/100 mL en octubre de ese mismo año. Esto según el reglamento 33903-MINAE-S (7), con aguas de muy mala calidad (clase 5). Posteriormente, en el punto de muestreo en el puente cerca del Jardín Infantil Little Games, en San Rafael

de Montes en Oca, se obtuvo un promedio geométrico de 66420,03 NMP/100 mL, obteniéndose en abril del 2023 una concentración de 130000 NMP/100 mL.

En el punto de muestreo de Barrio Amón en el antiguo Zoológico Simón Bolívar, se obtuvo un promedio hasta el 2022 de 135425 NMP/100 mL, por lo que este punto de muestreo también presentó aguas de muy mala calidad microbiológica (clase 5). En el punto de muestreo en Barrio Cipreses de Barrio México, el promedio de coliformes fecales fue de 41177,7 NMP/100 mL hasta el 2022, por lo que este punto de muestreo también el agua fue de muy mala calidad (clase 5). Finalmente, en el Polideportivo Aranjuez se obtuvieron 94786,96 NMP/100 mL en abril del 2023, siendo el punto con mayor concentración de coliformes fecales, con aguas de muy mala calidad.

En los datos anteriores se observó un aumento en la concentración de coliformes fecales de la parte alta hacia la parte baja de la microcuenca, lo que es de esperar, ya que conforme el cauce del río desciende aumenta la contaminación, producto principalmente de las actividades antropomórficas de la GAM. En el 2024, según datos suministrados por la sección de aguas residuales del LNA, en el punto de muestreo más bajo de este río, 200 metros arriba de la Planta Los Tajos en La Carpio, se obtuvo un promedio geométrico de coliformes fecales de 335000 NMP/100 mL, clasificándolas como aguas de clase 5.

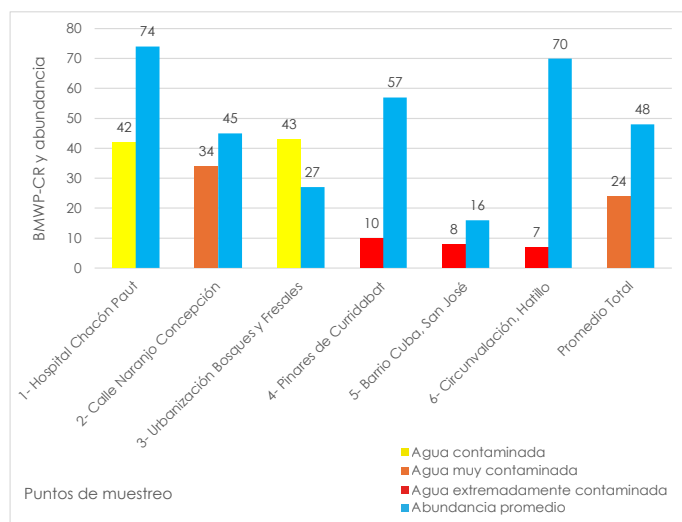
Los resultados obtenidos muestran la alta contaminación que la cuenca mantiene a lo largo del año, así como el impacto directo generado por el efluente de la PTAR Los Tajos. Las altas concentraciones de indicadores de contaminación fecal en el punto ubicado 200 m antes de la descarga de la PTAR Los Tajos, demuestran la contaminación persistente con microorganismos indicadores que se mantienen en los ríos de la Gran Área Metropolitana, no obstante, la descarga de la PTAR los tajos con hasta 25 millones de coliformes fecales/100 mL provoca un impacto negativo sobre el cauce del cuerpo receptor (Río Torres) que inclusive disminuye su calidad. Lo anterior evidenciado por medio de los resultados obtenidos tanto en el punto ubicado aguas arriba de la salida de la PTAR, como en el punto ubicado 200 m abajo de la PTAR. De igual manera, la comparación con los resultados al año 2023 demuestra que, al no haber un aumento en el caudal de la PTAR, los valores de contaminación se mantienen menores según lo proyectado (Mora-Alvarado et al., 2014).

En la figura 2A se presentan los resultados de los índices biológicos BMWP'-CR en el río María Aguilar (años 2014-2024), en la época lluviosa. El valor promedio de las clases en la época lluviosa fue de 24 (anaranjado-clase 4), la clase más frecuente fue la 5 (color rojo) con 3 puntos de muestreo, un 50% del total; luego la clase 3 (color amarillo) con 33% del total y la clase 4 (color anaranjado) con un 17% del total de puntos de muestreo. Los mayores valores promedio de clase se obtuvieron en la parte alta de la cuenca (Hospital Chacón Paut) con un valor de 42 (amarillo-clase 3) y en la Urbanización Bosques y Fresales con un valor de 43 (amarillo-clase 3).

El menor valor promedio se obtuvo en la parte baja de la microcuenca, en la carretera Circunvalación en Hatillo, San José, con un BMWP'-CR promedio de 7 (rojo-clase 5). En cuanto a la abundancia poblacional, la mayor abundancia también se obtuvo en la parte alta (74 organismos) en el Hospital Chacón Paut y la menor en la parte baja en el corredor biológico en Barrio Cuba con 16 organismos. En este sitio se dio la mayor riqueza biológica o diversidad y la mayor abundancia, caso contrario a los puntos más bajos y contaminados de esta microcuenca, donde hay una baja diversidad pero una mayor abundancia de pocas familias tolerantes a la contaminación.

Figura 2A

Índices BMWP'-CR promedio y abundancia promedio en época lluviosa en Río María Aguilar 2014-2024

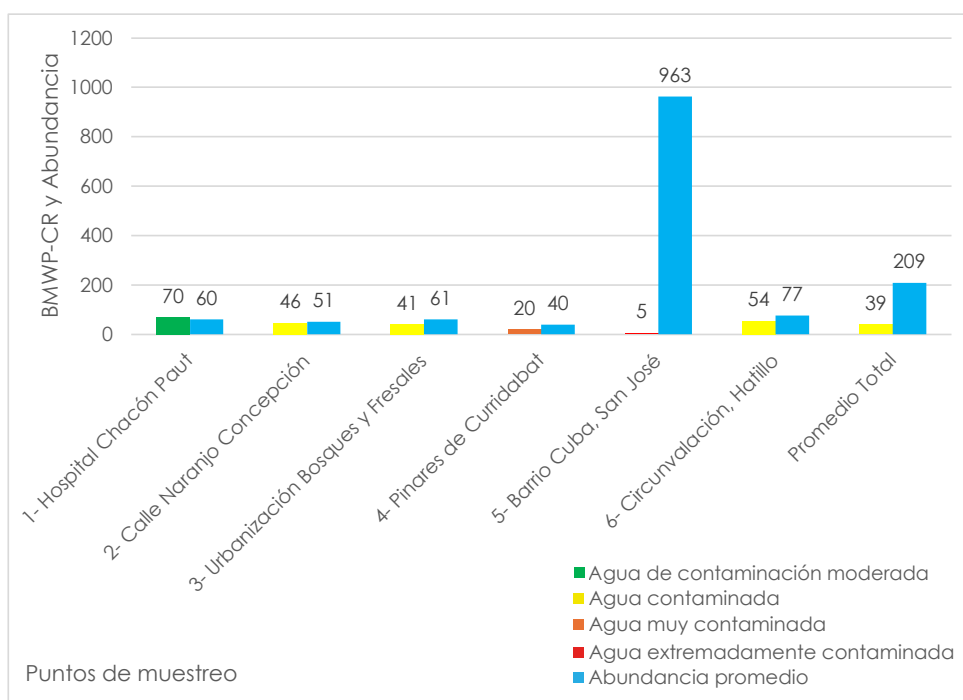


Fuente: LNA. (2025)

En la figura 2B se presentan los resultados obtenidos en el río María Aguilar (2014-2024) en época seca, la clase biológica promedio fue de 39 (amarillo-clase 3, agua contaminada). El mayor índice se obtuvo en la parte más alta de la microcuenca en la naciente en el Hospital Chacón Paut, Dulce Nombre, la Unión, Cartago, con un valor de 70 (verde-clase 2) y el menor valor de 5 (rojo-clase 5) agua extremadamente contaminada se obtuvo en Barrio Cuba. La Abundancia fue de 209 organismos, la mayor abundancia se obtuvo en Barrio Cuba con 963 organismos (con predominio de *Chironomus sp.*).

Figura 2B

Índices BMWP'-CR promedio y abundancia promedio en época seca en María Aguilar 2014-2024



Fuente: LNA (2025)

En el río María Aguilar, en la naciente (Hospital Psiquiátrico Chacón Paut, Cartago), el BMWP'-CR fue de 81 (clase 2, calidad regular, contaminación moderada), con predominancia de *Arthropoda* y la clase *Insecta*. Las familias *Leptoceridae* y *Leptophlebidae* (8 puntos) indican aguas de buena calidad. En Calle Naranjo, La Unión, el índice fue de 66 (clase 2), con *Trichoptera* y *Odonata* como órdenes

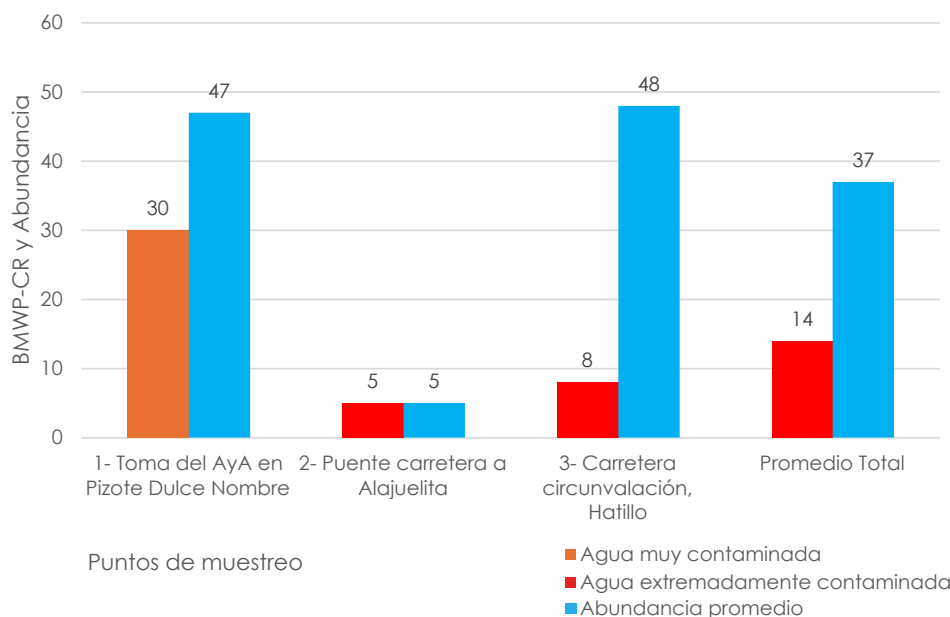
dominantes. Las familias *Leptoceridae*, *Philopotamidae* y *Hyaletellidae* indican buena calidad, aunque se detectaron organismos indicadores de contaminación. En Bosques y Fresales, el BMWP'-CR fue de 103 (clase 1, calidad buena, sin contaminación significativa), con la mayor diversidad de esta microcuenca. Se destacaron *Hydrobiosidae* (9 puntos), *Leptophlebiidae* y *Leptoceridae* (8 puntos). En Pinares, Curridabat, el índice fue de 44 (clase 3, aguas contaminadas). *Hydropsychidae*, *Leptohyphidae* y *Baetidae* (5 puntos) reflejaron calidad regular, mientras que *Lumbriculidae* y *Physidae* indicaron contaminación orgánica. En el Corredor Biológico, Barrio Cuba, el BMWP'-CR fue de 16 (clase 4, aguas muy contaminadas), con baja diversidad y predominancia de *Diptera*. En Circunvalación, Hatillo, el índice fue de 36 (clase 3), con *Hydropsychidae* y *Leptohyphidae* (5 puntos) como indicadores de calidad regular.

Los análisis microbiológicos del LNA (2022-2024) muestran un aumento progresivo de coliformes fecales a lo largo del río. En la naciente, el promedio fue de 43,60 NMP/100 mL (clase 2), mientras en Calle Morenos, San José, alcanzó 240000 NMP/100 mL (clase 5). En 2024, en Hatillo, el valor fue de 159544 NMP/100 mL (clase 5), confirmando la alta contaminación en la parte baja de la microcuenca.

En la figura 3A se presentan los resultados de los índices BMWP'-CR en los 3 puntos de muestreo del río Tiribí (2013-2024), el valor promedio total de las clases en época lluviosa fue de 14 (rojo-clase 5) la clase más frecuente fue la clase 5 (rojo) con 3 puntos de muestreo, un 67% del total; luego la clase 4 (anaranjado) con 1 punto de muestreo y 33% del total. La abundancia promedio total fue de 37, siendo la mayor de 48 en Circunvalación y la menor en el puente carretera a Alajuelita con 5.

Figura 3A

Índices BMWP'-CR promedio y abundancia promedio en época lluviosa en Río Tiribí 2013-2024

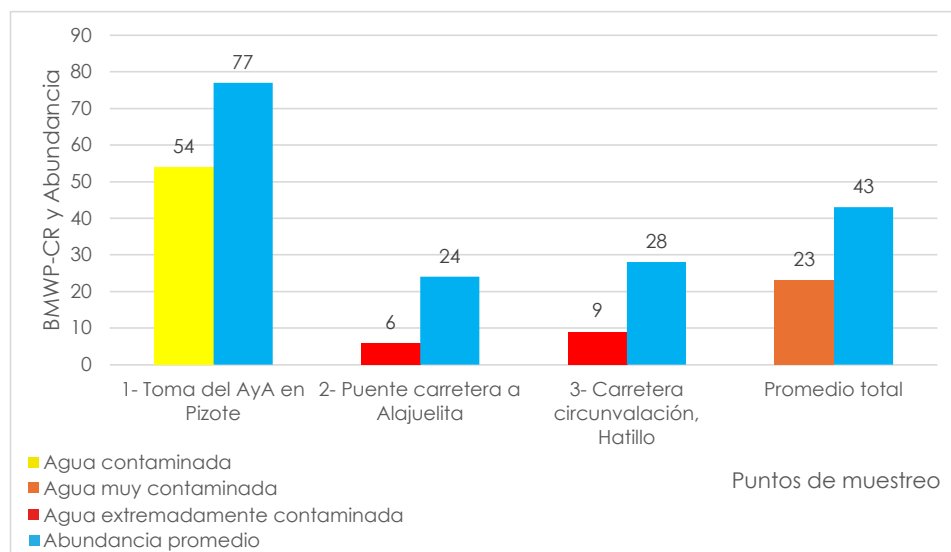


Fuente: LNA.(2025)

En la figura 3B se presentan los resultados del río Tiribí en época seca, el valor promedio del índice biológico fue de 23 (naranja-clase 4), la clase más frecuente fue la clase 5 (rojo) con 2 puntos de muestreo, un 67% del total; luego la clase 3 (amarillo) con 1 punto de muestreo y un 33% del total. Se obtuvo abundancia promedio de 37 organismos, la mayor de 77 organismos en la toma del AyA en Pizote y la menor abundancia se obtuvo en el puente de Alajuelita con 24 organismos.

Figura 3B

Índices BMWP'-CR promedio y abundancia promedio en época seca en Río Tiribí. 2013-2024



Fuente: LNA (2025)

En el río Tiribí, en la toma de agua del AyA en Pizote, el índice BMWP'-CR fue de 84 (verde, clase 2, calidad regular, contaminación moderada). Se identificaron tres *Phylum*, con *Arthropoda* como el más abundante. La clase *Insecta* predominó, con *Trichoptera* como el orden más frecuente. De las 19 familias identificadas, *Leptoceridae* y *Philopotamidae* (8 puntos cada una) indicaron aguas de calidad buena a muy buena, mientras que *Lumbriculidae* (1 punto) y *Chironomidae* (2 puntos) reflejaron contaminación. Se identificaron 20 géneros, predominando aquellos de calidad regular a buena.

En el sector del puente hacia a Alajuelita, la calidad del agua fue menor, con un BMWP'-CR de 23 (clase 4, aguas muy contaminadas). Se encontraron siete familias, con *Leptohyphidae* y *Elmidae* (5 puntos) como indicadores de calidad regular, mientras que *Lumbriculidae* y *Chironomidae* reflejaron alta carga de materia orgánica. Aquí se recolectaron peces de la familia *Poeciliidae*.

En la carretera de circunvalación, el BMWP'-CR fue de 47 (clase 3, aguas contaminadas). Se identificaron 12 familias, destacando *Hyaellidae* (7 puntos)

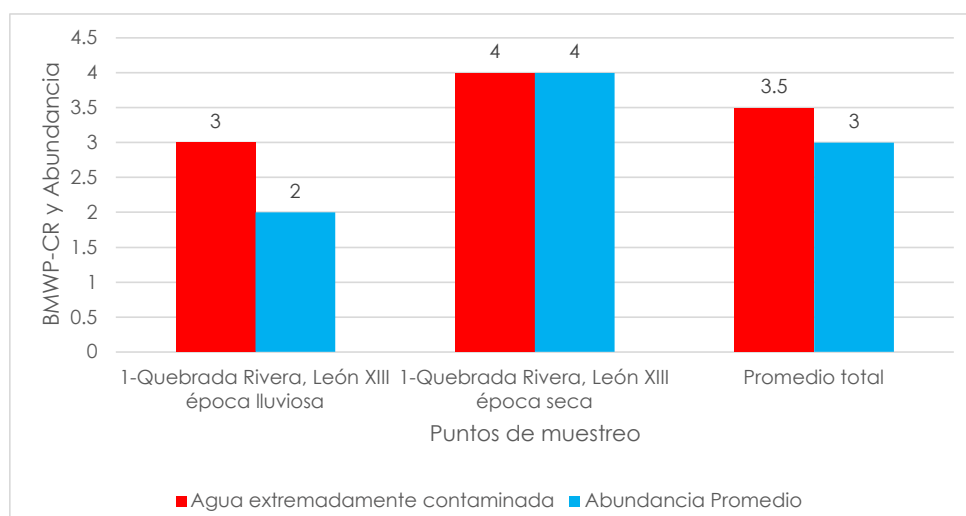
con el género *Hyaella* sp. y *Libellulidae* (6 puntos) como indicadores de calidad buena a regular. No obstante, *Lumbriculidae*, *Chironomidae* y *Physidae* reflejaron contaminación por aguas residuales.

Los análisis microbiológicos del LNA (2010-2024) mostraron que la contaminación por coliformes fecales aumenta a medida que el río desciende. En la toma de agua del AyA en Pizote, el promedio fue de 41663 NMP/100 mL (clase 2), pero en el puente de circunvalación alcanzó 161374 NMP/100 mL (clase 5).

En la figura 4 de la quebrada Rivera (2020-2024), el BMWP'-CR fue de 3,5 (clase 5, código rojo), con muy baja riqueza taxonómica y abundancia debido a la alta contaminación. Estos datos reflejan una degradación persistente en la calidad del agua a lo largo del río Tiribí.

Figura 4

Índices BMWP'-CR promedio y abundancia promedio en época lluviosa y en época seca en la Quebrada Rivera 2020-2024



Fuente: LNA (2025)

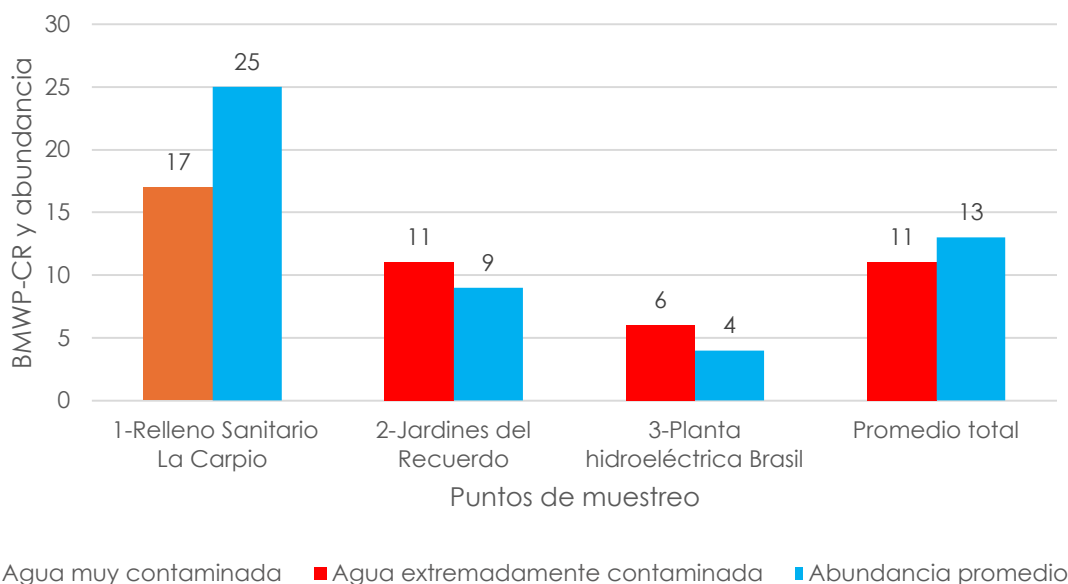
Según los resultados de coliformes fecales obtenidos por la sección de aguas residuales del LNA, para el año 2024 se obtuvieron 170000 NMP/100 mL en la época seca (marzo 2024) y también 170000 NMP/100 mL en época lluviosa (septiembre 2024), con iguales concentraciones de *Escherichia coli*, siendo aguas de calidad

muy mala y extremadamente contaminadas. Por lo que se puede ver que la concentración de estos microorganismos no varió durante el año y la contaminación microbiológica es persistente.

En la figura 5A se presentan los resultados de los índices biológicos BMWP'-CR en los 3 puntos de muestreo del Río Virilla (años 2013-2024) en época lluviosa. El río Torres es el receptor de los otros cuerpos de agua que confluyen finalmente hacia el río Virilla. Durante la época lluviosa se obtuvo un BMWP'-CR promedio de 11 (rojo-clase 5), siendo 17 (naranja-clase 4) el mayor índice obtenido en el relleno en La Carpio y el menor de 6 en la planta Hidroeléctrica Brasil. La abundancia promedio durante la época lluviosa fue de 13, la mayor abundancia se obtuvo en el relleno Sanitario (24) y la menor de 4 en la Planta hidroeléctrica Brasil (4).

Figura 5A

Índices BMWP'-CR promedio y abundancia promedio en época lluviosa en el río Virilla 2013-2024



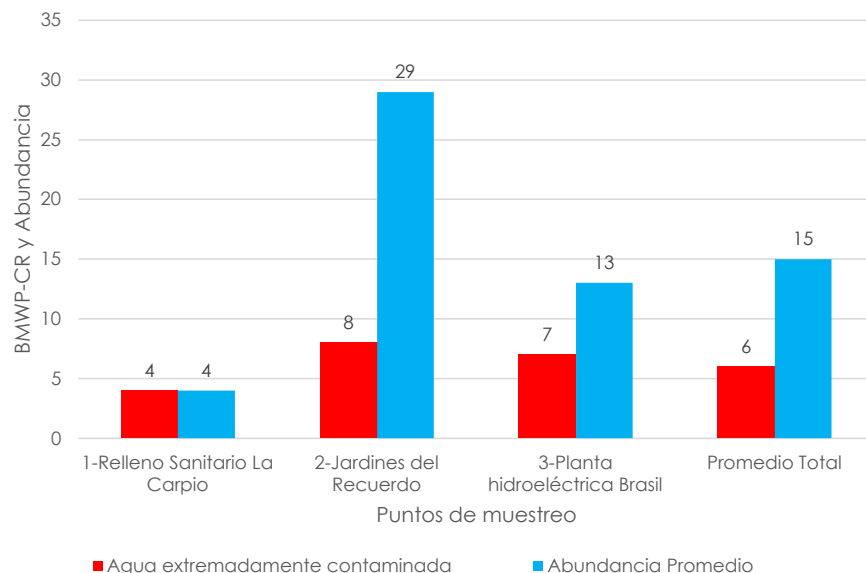
Fuente: LNA (2025)

Según la figura 5B, en época seca en el Río Virilla (años 2013-2024), el índice BMWP'-CR promedio fue de 6 (rojo-clase 5) con contaminación extrema, el mayor índice se obtuvo en Jardines del Recuerdo con 8 (rojo-clase 5) y el menor en el Relleno

Sanitario con 4 (rojo-clase 5). La abundancia promedio fue de 15, la mayor en La Carpio (29), la menor en Planta Brasil (4).

Figura 5B

Índices BMWP'-CR promedio y abundancia promedio en época seca en el Río Virilla 2013-2024



Fuente: LNA (2025)

El análisis del río Virilla en los tres sectores evidencia una calidad del agua clasificada como mala (clase 3), con un índice BMWP'-CR de 60 en La Carpio y de 40 en Jardines del Recuerdo y la Planta Hidroeléctrica Brasil (tomando en cuenta todas las familias identificadas durante el tiempo de estudio). Se identificaron tres *Phylum* principales: *Arthropoda* (el más abundante), *Annelida* y *Mollusca* (los menos abundantes). La clase predominante fue *Insecta*, y los órdenes más representativos fueron *Ephemeroptera*, *Diptera* y *Odonata*.

En términos de diversidad taxonómica, en La Carpio se identificaron 16 familias, destacando *Leptophlebiidae* (8 puntos) y *Leptohyphidae* (5 puntos), mientras que *Lumbriculidae* (1 punto), *Chironomidae* (2 puntos) y *Physidae* (3 puntos) fueron las de menor puntuación. En Jardines del Recuerdo, se registraron 10 familias, con *Leptophlebiidae* (8 puntos), *Leptohyphidae*, *Baetidae* y *Hydropsychidae* (5 puntos) como las de mayor puntuación y *Lumbriculidae* (1 punto), *Chironomidae*

(2 puntos) y *Physidae* (3 puntos) como las de menor. En la Planta Hidroeléctrica Brasil, se registraron 12 familias, con *Libellulidae* (6 puntos), *Leptohyphidae*, *Baetidae* y *Hydropsychidae* (5 puntos) como las de mayor puntuación y *Lumbriculidae* (1 punto), *Chironomidae* (2 puntos), *Physidae*, *Sphaeridae* y *Erpobdellidae* (3 puntos) como las de menor puntuación. En los tres puntos predominan géneros característicos de aguas contaminadas. Además, se recolectaron especímenes de *Brachyraphis olomina* (12), un pez resistente a la contaminación, típico de zonas con descargas de aguas residuales y basura. Microbiológicamente, entre los indicadores de contaminación fecal más utilizados se encuentran los coliformes fecales y termotolerantes, como *Escherichia coli* y enterococos. Las bacterias indicadoras permiten realizar la clasificación sanitaria de las aguas para diferentes usos, la determinación de criterios para las normas de calidad, la identificación de contaminantes, el control de procesos de tratamiento de agua y estudios epidemiológicos (Larrea & Álvarez, 2013).

En el análisis microbiológico del río Virilla, años atrás en el 2013 en el Tanque Cocos (Coronado), San José; el agua presentó 43 NMP/100 mL (clase 2), indicando una contaminación muy baja. Sin embargo, en partes más bajas en 2024, en el Relleno Sanitario EBI (La Carpio), se registraron 70000 NMP/100 mL (clase 5), lo que indica una contaminación persistente durante todo el año. En la Planta Hidroeléctrica Brasil, el promedio fue de 185000 NMP/100 mL, manteniéndose en clase 5. Estos valores muestran una relación inversamente proporcional con los índices biológicos, confirmando que los tramos más bajos del río presentan un deterioro microbiológico en la calidad del agua. Se espera que el proyecto de alcantarillado hacia la Planta de Tratamiento Los Tajos ayude a reducir estos niveles de contaminación a corto plazo.

Conclusiones

Se demostró que hay una relación inversa entre el índice biológico BMWP'-CR y la concentración de coliformes fecales, lo que afecta la biodiversidad acuática de estos cuerpos de agua. En áreas con mayor contaminación, predominan organismos tolerantes como *Chironomus plumosus*, *Physa* sp., *Erpobdella* sp. y *Lumbriculus* sp.,

mientras que disminuyeron familias no tolerantes como *Perlidae* y órdenes entre los cuales están *Plecoptera*, *Ephemeroptera* y *Amphipoda*. Por lo general, durante la época seca, los índices biológicos son mayores debido a los caudales más bajos, lo que evita el arrastre de las comunidades bentónicas y permite un equilibrio poblacional. En esta época, el río María Aguilar presentó el mayor índice biológico (48), seguido por el Torres (38), el Tiribí (37), el Virilla (13) y la quebrada Rivera (5). En la época lluviosa, el río Torres tuvo el mayor índice (25), seguido por el María Aguilar (24), el Tiribí (14), el Virilla (11) y la quebrada Rivera (5).

La abundancia poblacional es mayor en el María Aguilar en ambas estaciones. De las microcuencas analizadas, el mejor índice en el río Torres se obtuvo en el puente Calle Azahar (101), disminuyendo hacia el centro en San José Palacio (25). En el río María Aguilar, la mejor calidad biológica se estuvo en su nacimiento, en el Hospital Psiquiátrico y la peor en Barrio Cuba (16). En el río Tiribí, el punto más alto en la toma de agua del AyA (84) y el más bajo en Alajuelita (23), con una leve mejora en Circunvalación (47). La quebrada Rivera mostró los valores más bajos (3,5), siendo el cuerpo de agua más contaminado. En el río Virilla, los valores oscilan entre 60 en La Carpio, 40 en Jardines del Recuerdo y 43 en la Planta Hidroeléctrica Brasil. Por otra parte, microbiológicamente, el río más contaminado es el Torres con un promedio geométrico de 335000 NMP/100 mL, seguido por el Virilla (185000), el Tiribí (161374), el María Aguilar (159544) y la quebrada Rivera (170000). En general, los cuerpos de agua de la Cuenca 24 muestran mejor calidad en sus partes altas, deteriorándose en su curso hacia la GAM.

Recomendaciones

Se deben buscar y aplicar buenas prácticas de conservación que ayuden a mitigar los efectos negativos sobre los cuerpos de agua de cualquier tipo. En este caso es de vital importancia la culminación del Proyecto de Alcantarillado de aguas residuales en su totalidad hacia la Planta de Aguas Residuales Los Tajos (PTAR). Dar seguimiento a estos estudios, mediante el biomonitoreo de los cuerpos de agua superficiales del país y de la Cuenca 24. De esta manera, se garantizará detectar cambios en las comunidades bentónicas que permitan identificar perturbaciones

que pueden causar un mayor deterioro de los ecosistemas acuáticos y tomar las acciones que permitan mitigar esas perturbaciones.

Referencias

- American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (W. C. Lipps, E. B. Braun-Howland, & T. E. Baxter, Eds.; 4.ª ed.). APHA.
- Bussing, W. A. (1998). *Peces de las aguas continentales de Costa Rica* (2.ª ed.). Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Duschek, V., Niedrist, H., Springer, M., & Füreder, L. (2019). Macroinvertebrates as indicators in tropical streams with different land use in southern Costa Rica. *Verhandlungen der Kaiserlich Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien*, 156, 99–113. <https://hdl.handle.net/10669/80401>
- Gastezzi, P., Rincón, J. E., & Rincón, J. E. (2023). Composition of macroinvertebrates according to water quality in high altitude peatbogs, Costa Rica. *Revista De Biología Tropical*, 71(1), e54605. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.54605>
- Gutiérrez-Fonseca, P. E., & Lorion, C. M. (2014). Application of the BMWP–Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: Sensitivity to collection method and sampling intensity. *Revista de Biología Tropical*, 62(Suppl. 2), 275–289. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i2.15765>
- Larrea, J., & Álvarez, J. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: Revisión de la literatura. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 44(3), 24–34. <https://revista.cnic.cu/index.php/RevBiol/article/view/1014>
- Mora-Alvarado, D., Alfaro-Arrieta, E., & Alfaro-Lara, J. J. (2024). Análisis de la calidad de la cuenca del Río Tárcoles y la microcuenca del Río Torres: influencia del

efluente de la PTAR Los Tajos y expectativas al 2025. *Revista Tecnología en Marcha*, 37(8), 97–109. <https://doi.org/10.18845/tm.v37i8.7171>

Needham, P. R., & Needham, J. G. (1982). *A guide to the study of freshwater biology*. Holden-Day.

Presidencia de la República de Costa Rica; Ministerio de Ambiente y Energía. (2007). Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales (Decreto Ejecutivo N.º 33903-MINAE-S). *La Gaceta*.

Roldán, G. R. (1980). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Editorial Presencia Ltda.

Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. En V. H. Resh & D. M. Rosenberg (Eds.), *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates* (pp. 1–9). Chapman & Hall.

Springer, M., Ramírez, A., & Hanson, P. (2010). *Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I* (Supl. 4). Universidad de Costa Rica.

Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Ingenierías de Medellín*, 8(15, especial), 79–94. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/59>