

Evaluación multivariante de la calidad del agua del río Caimito

Multivariate evaluation of the water quality of Caimito river

Franklin Bianco-Morales¹, Arturo Dominici-Arosemena², Haydée Osorio-Ugarte^{1,3,4,*}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

²Universidad Marítima Internacional de Panamá, Panamá

³Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencia, Ingeniería y Tecnología (CEMCIT-AIP)

⁴Grupo de Investigación Forest Hydrology and Urban Waters (FHUW)

*Autor de correspondencia: haydee.osorio@utp.ac.pa

Fecha de recepción: 5 de octubre de 2025. Fecha de aceptación: 15 de febrero de 2026.

Resumen. Producto del aumento poblacional y la expansión urbana que experimenta la cuenca del río Caimito, esta presenta un deterioro progresivo en la calidad de su agua. Esto representa una amenaza para la salud de los habitantes y ecosistemas de la cuenca. Con el objetivo de evaluar la calidad del agua del río Caimito, se muestrearon los parámetros fisicoquímicos y biológicos en siete sitios distribuidos en la parte alta, media y baja del cauce, siendo muestreados en las épocas de verano, transición de verano a invierno e invierno. Se aplicó la técnica estadística multivariante de análisis canónico de correspondencia a la base de datos, Utilizando el software de uso libre PAST, se relacionaron las variables ambientales (características fisicoquímicas) con las variables biológicas (familias macroinvertebradas) de los ríos. La mayor riqueza de familias de macroinvertebrados se asocia a la variable de oxígeno disuelto y se correlaciona a sitios muestreados en la parte alta y media del río. La época de invierno se caracteriza por una baja riqueza de familias y el aumento de sólidos y coliformes fecales en el agua. Por último, la parte baja de la cuenca se asocia primordialmente a la demanda bioquímica de oxígeno y a salinidad, presentando una baja riqueza de familias de macroinvertebrados. Mientras que, en la parte alta de la cuenca predomina la contaminación por nutrientes como nitritos y nitrógenos amoniacal, indicativo de contaminación por agroquímicos; en la parte baja prevalecen los sólidos, coliformes fecales y turbiedad, parámetros asociados a la descarga de aguas residuales urbanas.

Palabras clave. Análisis canónico de correspondencia, calidad de agua, macroinvertebrados.

Abstract. As a result of population growth and urban expansion in the Caimito river basin, its water quality is progressively deteriorating. This represents a threat to the health of the basin's inhabitants and ecosystems. In order to evaluate the water quality of the Caimito river, physicochemical and biological parameters were sampled in seven sites distributed in the upper, middle and lower part of the river, being sampled in the summer, summer-winter transition and winter seasons. The multivariate statistical technique of canonical correspondence analysis was applied to the database. Using the PAST book software, the environmental variables (physicochemical characteristics) were related to the biological variables (macroinvertebrate families) of the rivers. The highest richness of macroinvertebrate families is associated with the dissolved oxygen variable and correlates to sites sampled in the upper and middle part of the river. The winter season is characterized by a low richness of families and increased solids and fecal coliforms in the water. Finally, the lower part of the basin is primarily associated with biochemical oxygen demand and salinity, presenting a low richness of macroinvertebrate families. While in the upper part of the basin there is a predominance of nutrient pollution such as nitrites and ammonia nitrogen, indicative of contamination by agrochemicals, in the lower part of the basin there is a predominance of nutrients such as nitrites and ammonia nitrogen, indicative of contamination by agrochemicals.

Keywords. Canonical correspondence analysis, water quality, macroinvertebrates.

1. Introducción

Los cuerpos de agua dulce son una pieza fundamental en el desarrollo de las actividades humanas y ecosistémicas. Siendo necesarios para el crecimiento económico, la generación energética, la producción alimenticia y la preservación de ecosistemas costeros y terrestres [1]. Los ríos particularmente, producto de las dinámicas ecosistémicas en las que interactúa con la parte alta, media y baja de la cuenca; con los ecosistemas adyacentes al cauce; y, como receptor de agua subterránea y agua de lluvia [2]. Estos juegan un papel clave en procesos ecohidrológicos como la transformación de la biomasa, la retención y transporte de nutrientes, la desnitrificación de los suelos, la purificación de la calidad del agua, la retención del agua por medio de la infiltración al subsuelo, además de garantizar hábitats y recursos alimenticios a la flora y fauna aledaña [3], [4]. Mientras que, en una dimensión socioeconómica, los ríos son empleados para la satisfacción de las necesidades alimenticias, sanitarias, recreativas, económicas y culturales de la sociedad [5].

Determinar y preservar el estado de los ríos resulta necesario para garantizar los beneficios ecosistémicos y socioeconómicos que estos proporcionan. Para la determinación de la calidad de los ecosistemas ribereños se utilizan variables que contemplan aspectos fisicoquímicos, la evaluación cualitativa del hábitat fluvial, la calidad del bosque de ribera y el seguimiento de componentes biológicos del río, como peces, macroinvertebrados o diatomeas [6], [7], [8]. El análisis integral del estado de los ríos, permite entender a su vez la calidad del agua del mismo. Ya que, la calidad del agua de un cuerpo de agua se hallará en buen estado únicamente si sus características fisicoquímicas y ecológicas presentan, de igual forma, un buen estado [7].

En la presente investigación, se contemplaron los siguientes analitos para evaluar la calidad fisicoquímica del agua: potencial de hidrógeno, temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad, conductividad, coliformes fecales, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal. Mientras que, los macroinvertebrados se utilizaron como variable biológica. Al utilizar las variables biológicas, como indicadores de calidad, es importante considerar las condiciones ecosistémicas que inciden en las variables biológicas.

La calidad del hábitat fluvial por ejemplo, incide directamente en la abundancia y riqueza macroinvertebrados fluviales. Esta evalúa la capacidad de un río de albergar una diversidad biológica amplia, en función de variables como la inclusión y tipos de sustratos, la presencia de fuentes alimenticias como hojas y troncos de madera, el porcentaje de sombra, la presencia de rápidos y distintos elementos de heterogeneidad que contribuyen a aumentar la diversidad del hábitat [9]. Mientras que la calidad del bosque de ribera se mide en función de los distintos componentes y atributos vegetativos de las zonas de rivera. Como la abundancia, tipo de especies, estado del sotobosque y el porcentaje cobertura boscosa [6].

El análisis de las variables fisicoquímicas y biológicas contempladas en la investigación, requiere de la estadística multivariada. Esta herramienta facilita la representación e interpretación de extensas bases de datos a la vez que mantiene la integridad de la información [10]. Específicamente, para el análisis de datos biológicos y ecosistémicos, se utilizan fundamentalmente análisis de agrupamiento y análisis de ordenación [11]. Como el objetivo de la presente investigación es determinar el impacto de las variables fisicoquímicas en las variables biológicas, se utilizará el análisis canónico de correspondencia. Esta técnica de ordenación restringida constriñe la distribución de las variables respuesta, en función de las variables ambientales o independientes. Es decir, permite identificar la distribución de la fauna macroinvertebrada a partir de las características fisicoquímicas del agua [12].

El análisis canónico de correspondencia muestra gráficamente los analitos y macroinvertebrados que presentan mayor asociación respecto a los sitios muestreados. La interpretación de dichos resultados permite establecer la relación entre la riqueza de macroinvertebrados y la abundancia de valores fisicoquímicos con la calidad del agua de los sitios muestreados [13], [14].

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El río Caimito es el río principal de la cuenca número 140 o cuenca del río Caimito (figura 1). Esta cuenca cuenta con una superficie total de 454.7 km². La cuenca del río Caimito limita al norte con la cuenca río Chagres y los corregimientos de Arraiján y Chorrera; al sur, con el océano pacífico; al oeste, con la cuenca Ríos entre el Antón y el Caimito y los distritos de La Chorrera y Capira; y al este, con la cuenca Ríos entre el Caimito y el Juan Díaz y el distrito de Arraiján [15].

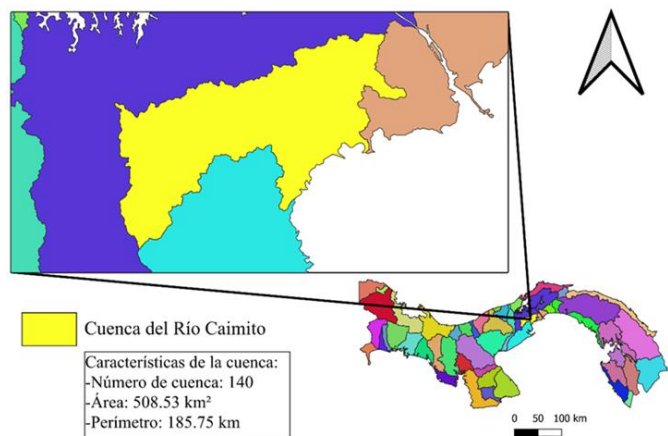


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Caimito.

La cuenca se sitúa en la región hídrica del pacífico central. Esta se caracteriza por lluvias promedios de 1400 l/m²/año [16]. De acuerdo con la clasificación climática de Koopen, el clima predominante de la cuenca es el clima tropical de Sabana. Con temperaturas que oscilan entre los 18°C a los 26°C [17]. El río Caimito cuenta con una extensión total de 72.83 km. Este nace en la parte occidental de la cuenca, en el cerro Trinidad, tramo final de la cordillera central de Panamá [18].

Como muestra la figura 2, La cuenca posee un alto nivel de intervención, destinando un 45% (248.44 km²) de sus suelos a la actividad agropecuaria, destacando la piña como producto agrícola insignia de la cuenca [19]. Cerca del 25% de la cuenca son áreas boscosas (111.24 km²), de los cuales únicamente un 5% (6.45 km²) son bosques maduros, el resto son bosques intervenidos [20]. En el sector secundario, se destaca la agroindustria y la minería de gravilla y cementeras [15].

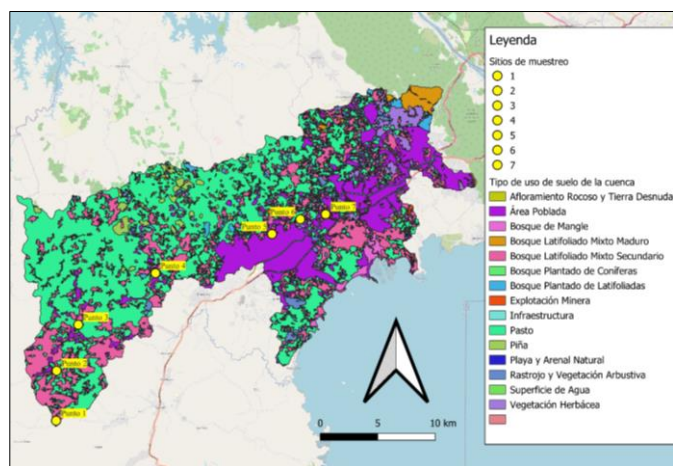


Figura 2. Uso de suelos de la cuenca del río Caimito.

En la cuenca predominan los suelos destinados al pastoreo y la actividad agrícola, ubicados en la parte norte de la cuenca; y las áreas urbanas de Arraiján, Panamá Pacífico y Chorrera, se localizan en la parte central a lo largo de la carretera interamericana. Dentro de la actividad agrícola se destacan los suelos destinados a la siembra de piña. El bosque maduro se encuentra al oeste de la cuenca, formando parte del bosque protector de Arraiján.

2.2 Muestreo

Se escogieron siete puntos de muestreo (figura 3) a lo largo de la cuenca que se reparten en la parte alta, media y baja de la cuenca. Tres puntos localizados en la parte alta, tres en la parte media y uno en la parte baja. Estos puntos se muestrearon en las estaciones de verano, transición verano-invierno e invierno. Siendo en total 21 muestreos.

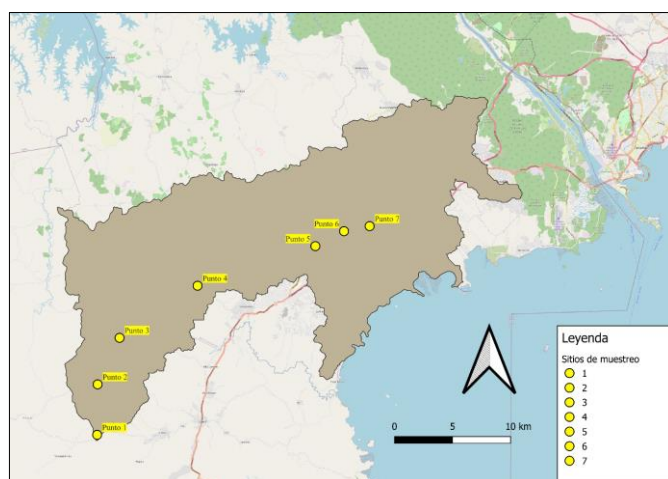


Figura 3. Puntos de muestreo.

Las giras de muestreo se realizaron en el año 2022. La primera entre el 24 al 28 de marzo, correspondiente a la estación de verano. La segunda gira comprendió los muestreos de la temporada de transición verano/invierno, y fue realizada entre el 6 y el 11 de junio. Por último, en la estación de invierno, los muestreos fueron realizados entre el 22 y el 26 de noviembre.

2.3 Determinación de parámetros de calidad de agua

Para la determinación de los analitos considerados en este estudio, se empleó la metodología de *Methods of Examination of Water and Wastewater* siguiendo la norma DGN-COPANIT ISO IEC/17025-2006. Los parámetros de temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbiedad y conductividad eléctrica se determinaron en campo utilizando un multiparámetro YSI (TE-036) y un turbidímetro (TE-038).

2.4 Calidad de hábitat fluvial y calidad de bosque de ribera

Tanto la calidad de hábitat fluvial, como la calidad de bosque de ribera, se determinaron utilizando las hojas protocolares del proyecto GUADALMED [21].

2.5 Muestreo de macroinvertebrados

Para la recolección de macroinvertebrados se utilizó la metodología del “protocolo de biomonitorio para la vigilancia de la calidad del agua en afluentes superficiales de Panamá” [22].

2.6 Análisis estadístico

Una vez armada la base de datos con la información recolectada en campo, se realizó el análisis canónico de correspondencia por medio del software estadístico PAST versión 4.13

3. Resultados

3.1 Parámetros fisicoquímicos

La figura 3 muestra los valores fisicoquímicos recolectados en campo. Como se observa en los gráficos, a medida que desciende el cauce se registra un deterioro de la calidad del agua producto del aumento progresivo de la conductividad, la temperatura, el potencial de hidrógeno, las coliformes fecales, los sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, la demanda bioquímica de oxígeno, los nitritos, nitratos y el nitrógeno amoniacal; y, la disminución del oxígeno disuelto, por cada sitio muestreo, independientemente de la estación.



Figura 3. Parámetros fisicoquímicos: a) conductividad, b) potencial de hidrógeno, c) coliformes totales, d) sólidos suspendidos, sólidos totales y sólidos disueltos, e) oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, f) nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal.

El cambio de estación representa un cambio en la media de las variables fisicoquímicas. En los casos de la conductividad, el pH, la DBO, los nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal, disminuye. Al contrario, en los casos del oxígeno disuelto, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sólidos totales y las coliformes fecales, la media aumenta. La disminución de nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, DBO y la conductividad en la época lluviosa, se explica producto de la dilución y arrastre de los analitos, causado por un aumento del volumen y caudal del río en la estación de transición e invierno [23]. La disminución del pH en la estación lluviosa puede ser explicada producto de la dilución de los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre con el agua de lluvia, y que, al precipitarse, acidifican los cuerpos receptores [24].

Por otro lado, el aumento de los sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos, se da producto de la erosión fluvial; el aumento de las coliformes fecales, producto de la escorrentía de heces y el desbordamiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Por último, el aumento del oxígeno disuelto resulta de la turbulencia del caudal y la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno por parte de los organismos primarios [25].

Los valores más elevados se encuentran en la parte media y baja de la cuenca, predominantemente muestreados en las estaciones de transición e invierno. Incumpliendo la normativa nacional de calidad de aguas continentales en parámetros como turbiedad, sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales y nitritos [26].

3.2 Calidad de hábitat fluvial y bosque de ribera

Como muestra la figura 4, la calidad de hábitat fluvial se deteriora a medida que desciende el cauce del río Caimito. Presentando leves alteraciones en la estación lluviosa (figura 4b) respecto a las estaciones seca y de transición (figura 4a). Por otro lado, como muestra la figura 4c, la calidad del bosque muestra alteraciones a lo largo de todo el cauce, tanto en la parte alta, como en la parte media y baja del río. Presentando una vegetación ligeramente perturbada, hasta alteraciones fuertes tanto en la parte alta, como en la parte baja del río.

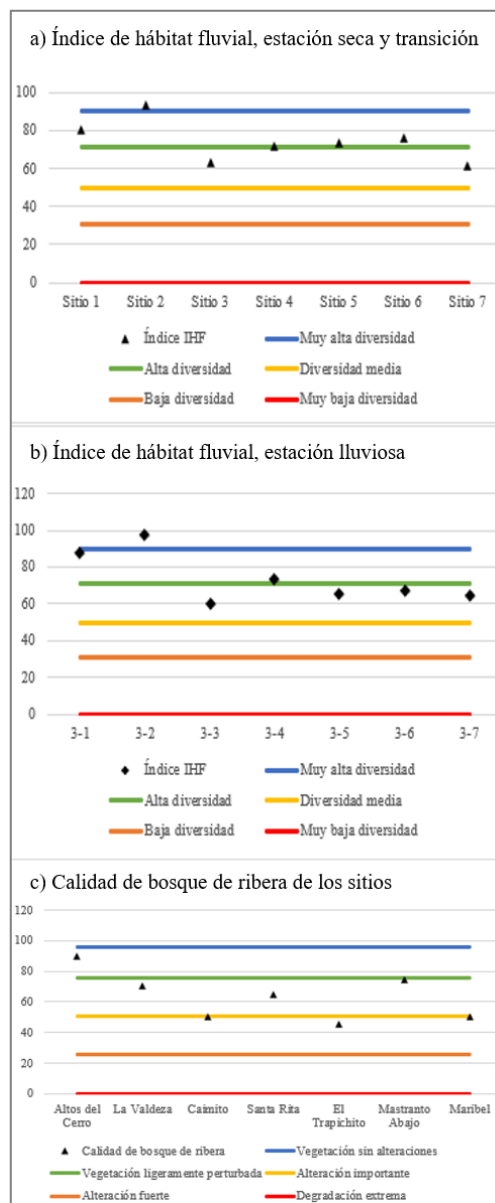


Figura 4. Calidad de hábitat fluvial y bosque de ribera.

3.4 Macroinvertebrados

En total se recolectaron 4589 especímenes de 67 familias distintas.

3.5 Análisis estadístico

En el gráfico del primer análisis canónico (figura 5) de correspondencia se observó que el sitio 1, ubicado en la parte alta de la cuenca y muestreado en la época de verano, se encontró alejado del resto de los sitios. Lo que indica que este sitio no presenta relación con el resto. Para verificar la importancia de este sitio en el modelo se utilizó la elipse del 95%. Esta herramienta estadística agrupa el 95% de las variables que presentan mayor significancia en términos de asociación o relación al modelo [27]. El sitio 1-1-1 no se encuentra dentro de la elipse del 95%. Siguiendo los criterios de inclusión y exclusión de variables en la estadística multivariante, se descartan aquellas variables que no aporten información a la unidad de estudio [11].

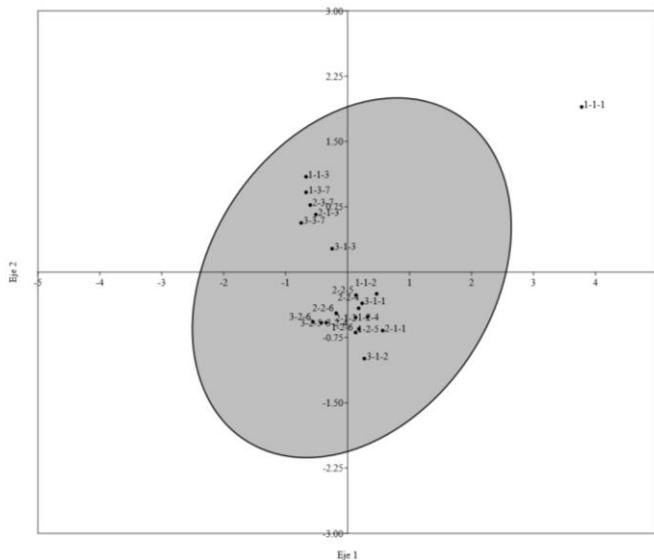


Figura 5. Primer análisis canónico de correspondencia.

Los dos primeros ejes del segundo análisis canónico de correspondencia explican un 52.62% de la variabilidad total de la fauna macroinvertebrada y un 39.63% de la variabilidad total de los datos. Superando el 49.8% y 37.13% respectivamente del primer análisis canónico de correspondencia. Lo que corrobora la eliminación del sitio 1-1-1 de la base de datos.

En base a la cercanía de los sitios en el gráfico del segundo análisis canónico de correspondencia los sitios se clasificaron en 3 conglomerados. La figura 6 muestra los conglomerados de los sitios respecto a la parte de la cuenca, la estación del año y la distribución de los macroinvertebrados respectivamente.

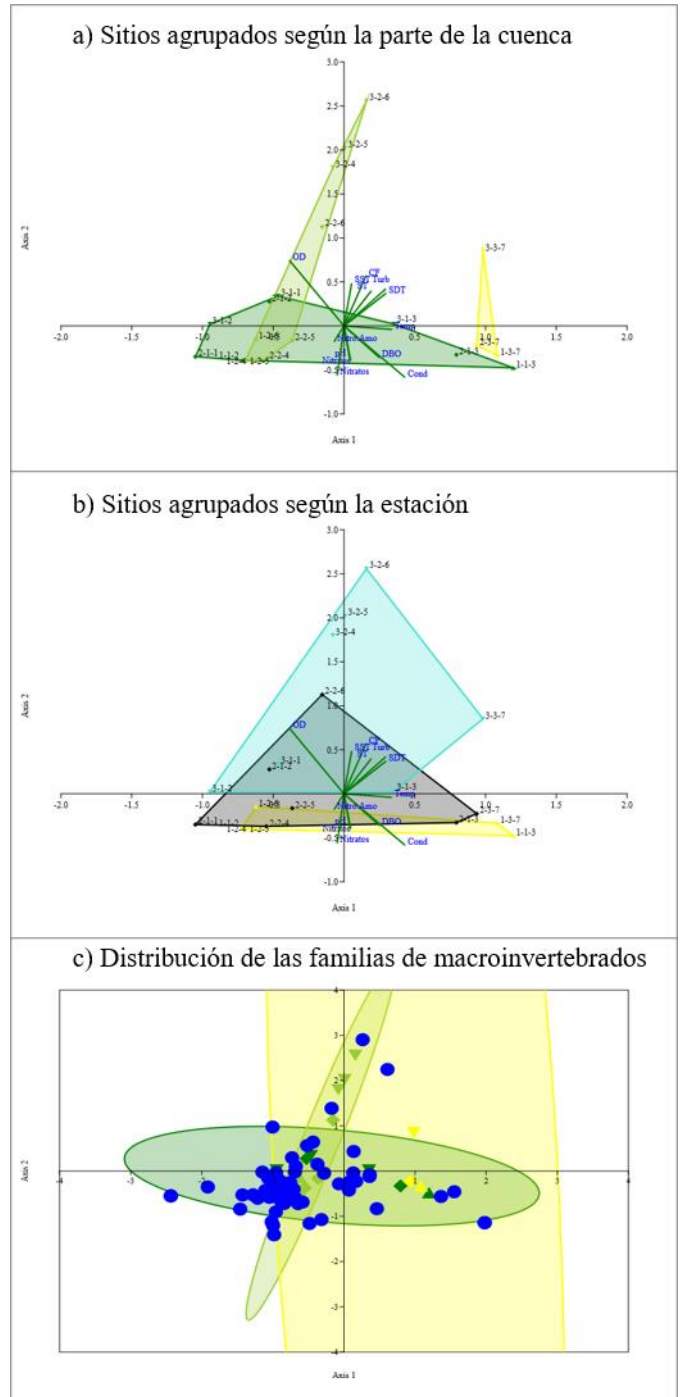


Figura 6. Sitios agrupados según: a) parte de la cuenca, b) estación; y c) distribución de las familias de macroinvertebrados.

El primer grupo se compone de sitios ubicados en la parte media de la cuenca, muestreados en la estación lluviosa y de transición. Este grupo se correlaciona positivamente a las variables fisicoquímicas de oxígeno disuelto, coliformes fecales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sólidos totales y turbiedad; y presenta elevados niveles de oxígeno disuelto, este parámetro se asocia generalmente a una buena calidad del agua, ya que es un indicativo de un bajo contenido de materia orgánica [28]. Sin embargo, la correlación de los sitios con las variables de coliformes fecales, sólidos suspendidos y turbiedad, además de ser sitios muestreados en la estación de transición y lluviosa, sugiere que los niveles de oxígeno disuelto se encuentran asociados a la temporada lluviosa, producto el oxígeno arrastrado por la escorrentía y la turbulencia del cauce. Además de la disminución en la productividad de microalgas y plantas macrófitas [29].

El segundo grupo contiene sitios ubicados en la parte alta y media de la cuenca, muestreados en las estaciones de verano, transición e invierno. En términos generales, este grupo se asocia primordialmente a la variable de oxígeno disuelto, seguida, en menor medida del nitrógeno amoniacal y los nitratos. Los sitios 2-1-2, 3-1-1, y 3-1-2 se correlacionan positivamente a la turbiedad, coliformes fecales, sólidos totales y sólidos suspendidos; sin embargo, la correlación es baja en comparación a los sitios del grupo 1 y 3. Al ser muestreados en la época de transición e invierno, la correlación de estos sitios con los parámetros de turbiedad, sólidos totales y sólidos suspendidos, se explica producto de la erosión fluvial provocada por las lluvias [30]. En contraste, la correlación con la variable coliformes fecales indica la descarga de aguas residuales al río Caimito [28].

Por otro lado, los sitios 1-1-2, 1-2-4, 1-2-5, 1-2-6, 2-1-1, 2-2-4 y 2-2-5 se correlacionan con el nitrógeno amoniacal y los nitratos. Estos puntos de muestreo se ubican en zonas agrícolas y de asentamientos urbanos y rurales, lo que sugiere contaminación por filtración o escorrentía de fertilizantes y pesticidas, así como por descargas de aguas residuales. La mayor riqueza de familias de macroinvertebrados, la correlación positiva con el oxígeno disuelto y la correlación negativa con turbiedad, sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos indican que los sitios del grupo 2 presentan mejor calidad del agua que el resto.

El tercer grupo contiene sitios de la parte alta y baja de la cuenca, muestreados en verano, transición e invierno. Se asocia positivamente con la demanda bioquímica de oxígeno, conductividad, temperatura, sólidos suspendidos, sólidos totales, sólidos disueltos, turbiedad, coliformes fecales y nitritos. Los sitios 3-1-3 y 3-3-7, al igual que los demás muestreados en invierno, presentan correlación positiva con turbiedad, sólidos totales, coliformes fecales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos. Los sitios 1-1-3, 1-3-7, 2-1-3 y 2-3-7 se correlacionan positivamente con nitratos, nitritos, nitrógeno

amoniacal, potencial de hidrógeno y demanda bioquímica de oxígeno.

El tercer sitio de muestreo muestra valores de conductividad atípicos en las tres estaciones de muestreo. Estos valores inusuales sugieren una posible contaminación del agua debido a la presencia de fertilizantes. Ya que, la conductividad no se relaciona únicamente con la presencia de sales en el agua. Sino también a la carga de nutrientes [31].

4. Conclusiones

La intervención antropogénica ha supuesto un deterioro de la calidad fisicoquímica del agua, la calidad del bosque de ribera y el hábitat fluvial del río Caimito.

Las variables con mayor relevancia en la explicación de la distribución de las familias de macroinvertebrados en el río Caimito son: oxígeno disuelto, coliformes fecales, turbiedad y conductividad.

La parte alta de la cuenca se correlaciona a la contaminación del agua por medio de nutrientes como nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal, lo que indica contaminación producto de fertilizantes y/o plaguicidas; mientras que la parte media y baja de la cuenca se correlacionan a la demanda bioquímica de oxígeno, la turbiedad, los sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sólidos totales y las coliformes fecales, indicativo de descargas de aguas residuales al río.

El aumento de los parámetros fisicoquímicos del río Caimito, a medida que desciende su cauce, coincide con la transición de áreas rurales a zonas urbanas. Mientras que, en las zonas predominantemente rurales, los valores mínimos registrados se ajustan a la normativa nacional de cuerpos de agua para uso recreativo, el decreto ejecutivo N° 75 del 4 de junio de 2008. En los puntos de muestreo adyacentes a las zonas urbanas ubicados en la parte baja de la cuenca, se registran valores elevados que incumplen con esta normativa.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se basa en los resultados del trabajo de graduación presentado por Franklin Bianco para optar al grado de licenciatura en ingeniería ambiental. La investigación forma parte del proyecto “Análisis de los impactos ambientales, con énfasis en los indicadores de biodiversidad íctica, en la cuenca del Río Caimito, Panamá Oeste, República de Panamá”, beneficiado de la convocatoria pública de Fomento a la Investigación y Desarrollo realizada por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Los objetivos propuestos se alcanzaron producto de la colaboración entre la Universidad Tecnológica de Panamá, la Universidad Marítima Internacional de Panamá y la empresa Corporación de Desarrollo Ambiental.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] Organización de Naciones Unidas, «UN,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.un.org/en/global-issues/water>.
- [2] A. Encalada, «Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos: Reflexiones sobre el concepto de caudal ecológico y su aplicación en el Ecuador,» *Polémika*, vol. 2, n° 5, 2010.
- [3] D. Harper, M. Zalewski y N. Pacini, *Ecohydrology: Processes, models and case studies an approach to the sustainable management of water resources*, Massachusetts: CAB international, 2008.
- [4] M. Braga, «Integración de las funciones y servicios de los ecosistemas de agua dulce a los proyectos de desarrollo hídrico,» Washington D.C., 2000.
- [5] G. Abrigo, «Valoración social del agua: Caso Estudio de la cuenca del Río Huasco, Región de Atacama, Chile,» Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, 2012.
- [6] A. Munné, N. Pratm, C. Solá, N. Bonada y M. Rieradevall, «A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index,» *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 13, n° 2, pp. 147-163, 2002.
- [7] Ministerio de Ambiente de España, «Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la confederación hidrográfica del Ebro,» 2005.
- [8] J. P. Ramírez-Herrejón, N. Mercado-Silva, M. Medina-Nava y O. Domínguez-Domínguez, «Validación de dos índices biológicos de integridad (IBI) en la subcuenca del río Angulo en el centro de México,» *Revista de biología tropical*, vol. 60, n° 4, pp. 1669-1685, 2012.
- [9] I. Pardo, M. Álvarez, J. Casas, J. Moreno, S. Vivas, N. Bonada, J. Alba, P. Jáimez, G. Moyà, N. Prat, S. Robles, L. Suárez, M. Toro y R. Vidal, «El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat,» *Limnética*, vol. 21, n° 3-4, pp. 115-133, 2002.
- [10] L. Díaz-Monroy, *Estadística Multivariada: Inferencia y Métodos*, Bogotá: Proceditor Ltda., 2007.
- [11] F. Palacio, M. Apodaca y J. Crisci, *Análisis multivariado para datos biológicos: teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R*, SBN: 978-987-3781-49-0, 2020.
- [12] M. Greenacre, «Análisis de correspondencias canónico,» de *La práctica de análisis de correspondencias*, Barcelona, Fundación BBVA, 2008, pp. 245-253.
- [13] S. Vivas, J. Casas, P. Jáimez, N. Bonada, S. Robles, A. Mellado, M. Álvarez, J. Avilés, M. Ortega, I. Pardo, N. Prat, M. Rieradevall, C. Sáinz, A. Sánchez, L. Suárez, M. Toro, R. Vidal, C. Zamora y J. Alba, «Aproximación multivariante en la exploración de la tolerancia ambiental de las familias de macroinvertebrados de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED,» *Limnética*, pp. 149-173, 2002.
- [14] S. López, D. Huertas, Á. Jaramillo, D. Calderón y J. Díaz, «Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia),» *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 37, n° 2, 2019.
- [15] I. Sánchez, «ANÁLISIS MORFOMÉTRICO, HIDROMÉTRICO Y SOCIOECONÓMICO DE LA CUENCA DEL RÍO CAIMITO,» Universidad de Panamá, Panamá, 2018.
- [16] CATHALAC, «conagua,» 2016. [En línea]. Available: <http://168.77.210.104/pnsh/estado-del-agua/el-agua-en-panama.html>.
- [17] ANAM, «Atlas ambiental de la república de Panamá,» Panamá, 2010.
- [18] Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA), «Mapa Hidrogeológico de Panamá,» 1999.
- [19] Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), «Datos abiertos,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.datosabiertos.gob.pa/dataset/mida-proyeccion-de-la-produccion-agricola-en-panama>.
- [20] Ministerio de Ambiente; Sistema Nacional de Información Ambiental, «SINIA,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.sinia.gob.pa/index.php/cobertura-boscosa/comparaciones-de-cobertura-boscosa>.
- [21] P. Jáimez, S. Vivas, N. Bonada, S. Robles, A. Mellado, M. Álvarez, J. Avilés, J. Casas, M. Ortega, I. Pardo, N. Prat, M. Rieradevall, C. Sáinz, A. Sánchez, L. Suárez, M. Toro, R. Vidal, C. Zamora y J. Alba, «Protocolo GUADALMED (PRECE),» *Limnética*, vol. 21, n° 3-4, pp. 187-204, 2002.
- [22] A. Cornejo, J. López-López, R. Sedeño-Díaz, P. Ruiz-Picos, B. Macchi, F. Kohlmann, L. Correa-Araneda, J. Boyero, T. Bernal-Vega, T. Ríos, I. Ávila y A. Tuñón, *Protocolo de biomonitorio para la vigilancia de la calidad del agua en afluentes superficiales de Panamá*, Panamá: Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud, 2019.
- [23] E. Aristizábal, J. Vélez y H. Martínez, «Influencia de la lluvia antecedente y la conductividad hidráulica en la ocurrencia de deslizamientos detonados por lluvias utilizando el modelo shia_landslide,» *Revista EIA*, n° 26, 2016.
- [24] National Geographic, «¿Qué es la lluvia ácida y por qué se produce?,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/lluvia-acida>.

- [25] E. Olguin, R. González, G. Sánchez, J. Zamora y T. Owen, «Contaminación de ríos urbanos: El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México,» *Revista latinoamericana de biotecnología ambiental*, vol. 1, nº 2, pp. 178-190, 2010.
- [26] Ministerio de Economía y Finanzas, «COPANIT-35,» Panamá, 2019.
- [27] M. Friendly, G. Monette y J. Fox, «Elliptical Insights: Understanding statistical Methods through Elliptical Geometry,» *Statistical Science*, vol. 28, nº 1, pp. 1-39, 2013.
- [28] C. Cárdenas, «Guías de laboratorios de mediciones hidrológicas y ambientales,» Panamá, 2022.
- [29] H. Muñoz, S. Orozco, A. Vera, J. Suárez, E. García, M. Neria y J. Jiménez, «Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México,» *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 6, nº 5, 2015.
- [30] Organización de los Estados Americanos, «OAS,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea23s/ch16.htm>. [Último acceso: 2023].
- [31] C. Ter Braak y P. Verdonschot, «Ecology, Canoninca Correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic,» *Aquatic Sciences*, vol. 57, nº 3, pp. 255-289, 1995.