

RELACIONES JERÁRQUICAS ENTRE LAS COBERTURAS TERRESTRES, EL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS RÍOS Y SUS MACROINVERTEBRADOS

*Brenlys Rodríguez-Rojas^{*1,2}; Juan Camilo Salgado-Gutiérrez¹ y Douglas Rodríguez-Olarte¹*

¹Museo de Ciencias Naturales. Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela; ²Programa de Ingeniería Agronómica. Decanato de Agronomía Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Lara. Venezuela. *brenlys201@gmail.com

RESUMEN

Los ríos son una fuente importante de recursos hidrobiológicos que proporcionan una serie de servicios ecosistémicos esenciales, sin embargo, a pesar de su importancia, también son unos de los ecosistemas más amenazados, debido a su mal manejo, causado generalmente por el desconocimiento de sus características ecológicas, lo cual se ve reflejado en la fauna asociada a ellos, del cual, los macroinvertebrados acuáticos, destacan por ser indicadores del estado de conservación de estos ecosistemas. Se están realizando muestreos estandarizados de macroinvertebrados acuáticos y variables del hábitat fluvial en distintas microcuencas o subcuencas pertenecientes al piedemonte de las cuencas de los ríos Aroa y Yaracuy, con la finalidad de conocer las posibles relaciones jerárquicas entre los atributos de las comunidades de macroinvertebrados, el estado de conservación del hábitat fluvial y las coberturas o usos del suelo presentes en las cuencas estudiadas, siendo esta última determinada por medio de imágenes multiespectrales de satélite. Los resultados preliminares indican que un mayor porcentaje de cobertura boscosa, se relaciona con un hábitat fluvial más heterogéneo y con ello, una comunidad de macroinvertebrados más diversa.

Palabras clave: bioindicadores, ríos, sistemas de información geográfica, recursos hidrobiológicos, Venezuela.

Keywords: bioindicators, rivers, geographic information systems, hydrobiological resources, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

La evaluación del estado ecológico de los ríos y de sus comunidades de macroinvertebrados proporciona información valiosa para la gestión de los recursos hidrobiológicos. La composición y diversidad de las comunidades acuáticas está supeditada a la jerarquía y arreglo de las coberturas naturales y antrópicas, de las variables del agua (ejem. pH, conductividad), el hábitat (ejem. heterogeneidad del sustrato) en combinación con la acción de estresores ambientales (Rodríguez Olarte *y col.*, 2020).

Los ríos que drenan hacia la vertiente Caribe de Venezuela, especialmente en los que desaguan al Golfo Triste, se encuentran en riesgo comprobado, debido a la acción de diversos estresores, tal como: (a) deforestación y prácticas agrícolas, (b) transformación de hábitats, (c) extracción de agua, (d) efluentes urbanos, industriales y agrícolas, entre otros, que tienen efectos nocivos sobre la riqueza y abundancia de macroinvertebrados (Barrios *y col.*, 2015, Rodríguez-Olarte *y col.*, 2019.).

La diversidad de las biotas acuáticas en los drenajes de Aroa y Yaracuy es elevada, contando incluso con especies endémicas, como *Anodontites aroanus* y *Creagrutus lepidus*, y con importancia en la bioeconomía local (Rodríguez-Olarte *y col.*, 2006). Estos ríos exhiben variados estados ecológicos, ya sea desde ambientes muy conservados en áreas protegidas (ejem. Parque Nacional Yurubí) a otros con cauces sedimentados o contaminados (Rodríguez-Olarte *y col.*, 2018). Este trabajo es un avance de investigación sobre la evaluación de la relación jerárquica y predictiva entre las coberturas de la tierra y el hábitat fluvial sobre la diversidad y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, para con esto, estimar el estado ecológico o de conservación de los ríos, y con ello brindar información para el manejo socioambiental adecuado de los recursos hidrobiológicos fluviales del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. En la vertiente del Golfo Triste en el Mar Caribe de Venezuela destacan los ríos Aroa (2450 km²) y Yaracuy (2481 km²). Estas cuencas tienen una planicie aluvial común, sus cauces principales tienen meandros bien desarrollados (salvo las canalizaciones en el río Yaracuy), así como áreas de baja pendiente, lo cual no ocurre en los ríos menores que tienen poco desarrollo en sus cauces y sus planicies son pequeñas (Rodríguez-Olarte *y col.*, 2018). Las localidades de muestreo se ubicaron en zonas de transición de piedemontes y planicies de las cuencas de Aroa: ríos Tupe (263 msnm) y Carabobo (143 msnm), las cuales pertenecen a la Sierra de Aroa; y Yaracuy: quebrada Guáquira (79-83 msnm), ubicada en el Macizo de Nirgua. La superficie y red de drenaje de cada cuenca se delimitó utilizando modelos de elevación digital del satélite Alos Palsar (Advanced Land Observing Satellite) y los algoritmos incorporados al sistema de información geográfica QGIS versión 3.34.13: SAGA y GRASS (Rajput *y col.*, 2021).

Muestreos. Los puntos de muestreo en donde se tomaron las muestras de macroinvertebrados se establecieron en los mesohábitats representativos del río (rápidos y remansos), en donde las capturas se efectuaron a través del uso de una red tipo “D” con apertura de malla de 500 micras. El muestreo fue estandarizado mediante el método de arrastre de invertebrados (Barrios y Rodríguez-Olarte, 2013). El material biológico se etiquetó y fijó con etanol al 75%, e identificó mediante diversas claves taxonómicas. Después de separar los individuos a nivel de familia y cuantificarlos se depositaron en la Colección Regional de Peces del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Las localidades fueron georreferenciadas en coordenadas y altura (m s. n. m.). Las dimensiones del río fueron determinadas con cintas métricas y la caracterización del hábitat fue explorada con cuadratas de 1m² considerando principalmente la velocidad y profundidad del agua y granulometría del sustrato (ejem. cantos rodados, grava gruesa) (Barbour *y col.*, 1999). Las variables del agua (pH, conductividad, temperatura, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto) fueron medidas con sensores electrónicos portátiles.

Determinación de coberturas. Se realizó por medio de la clasificación supervisada de imágenes multiespectrales generadas por el satélite Sentinel-2 (L2A), a través del empleo del software geográfico QGIS. Se cuantificaron las coberturas presentes cuenca arriba de las localidades de muestreo y se arreglaron parcialmente utilizando la clasificación de Mapbiomas Venezuela (2023), las cuales fueron: formación boscosa, uso agropecuario, uso urbano, ríos y lagunas. Se dividió la categoría “Formación boscosa” en primaria y secundaria; la separación de los bosques se hizo empleando imágenes satelitales, NDVI y firmas espectrales (Knubdy, 2024).

Análisis de datos. La normalidad de los datos fue probada (valor P de Shapiro-Wilk), y para incrementarla se realizaron transformaciones a los datos físico-químicos y profundidad a través de la expresión: $\ln(x+1)$, en cambio, para los porcentajes de sustrato y coberturas de la tierra se utilizó el arcoseno de la raíz cuadrada. Se emplearon índices ecológicos, para obtener una evaluación aproximada del estado ecológico de los hábitats fluviales muestreados; para ello se emplearon los índices: (1) “Biological Monitoring Working Party” (BMWP/COL) adaptado para Colombia, el cual usa familias indicadoras para valorar la calidad biológica de los ríos (Roldán-Pérez, 2012); (2) El “Average Score Per Taxon” (ASP), es una medida promedio de indicación de la comunidad de macroinvertebrados en función al puntaje obtenido por el BMWP/COL (Arango *y col.*, 2008); (3) El Índice de Hábitat Fluvial (IHF), evalúa las características de heterogeneidad presentes en el hábitat estudiado, el cual permite conocer el estado de conservación físico de las localidades muestreadas (Pardo *y col.*, 2002). Para explorar el arreglo natural de los datos y los gradientes asociados, se realizó un análisis multivariado de componentes principales (ACP), empleando las variables del hábitat fluvial, con la finalidad resumir la variabilidad de la localidad. Se relacionaron los atributos de la riqueza de familias de macroinvertebrados, las principales coberturas terrestres (ej. Bosque primario, bosque secundario y uso agropecuario) y los índices ecológicos con las variables sintéticas generadas por el ACP por medio de regresiones lineales. Se empleó el programa PAST versión 5.2.1 para realizar los respectivos cálculos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cuenca alta de Carabobo, así como toda la cuenca de Guáquira mostraron una elevada cobertura de bosques (>70%), representada principalmente por bosques primarios, mientras que en la cuenca del río Tupe predominó las coberturas de uso agropecuario y bosque secundario (Tabla 1). En el estudio se recolectaron 4.297 individuos, distribuidos en 2 clases de moluscos, 10 órdenes de artrópodos y 42 familias, siendo la mayoría de taxones, insectos acuáticos. La abundancia absoluta registrada por localidad fue superior a los mil macroinvertebrados colectados, a excepción de ARTU1. La familia más abundante fue Elmidae, la cual presenta una gran abundancia relativa en todas las localidades de estudio, seguido por Leptohyphidae (no presente en río Tupe) y Chironomidae (Tabla 1).

Las localidades de Carabobo y Guáquira obtuvieron la clasificación de aguas limpias según el BMWP/COL y aguas ligeramente contaminadas en ASPT; en cambio, Tupe obtuvo las clases aguas moderadamente contaminadas en ambos índices (Tabla 1). Para los valores de IHF, las localidades pertenecientes a las cuencas altas se clasificaron como hábitat bien construido, mientras que las cuencas bajas se valoraron como hábitats alterados.

Tabla 1. Resumen de atributos comunitarios de macroinvertebrados. Se presentan las familias más representativas de los principales órdenes registrados, con sus porcentajes (%) de abundancia relativa. Se incluyen valores de índices ecológicos y porcentaje de coberturas terrestres. Leyenda: ARTU1: río Tupe; ARCA1: río Carabobo; YGAR1: quebrada Guáquira (cuenca arriba); YGAB1: quebrada Guáquira (cuenca abajo).

Orden/Clase	Familia	Localidades			
		ARTU1	ARCA1	YGAR1	YGAB1
Coleóptera	Elmidae	22,6%	29,3%	27,1%	11,1%
	Psephenidae	0,0%	8,2%	2,9%	2,2%
	Odontoceridae	0,0%	5,7%	13,3%	9,1%
Trichoptera	Hydroptilidae	0,0%	1,6%	2,1%	4,4%
	Philopotamidae	1,9%	1,9%	2,6%	2,7%
	Polycentropodidae	39,6%	0,6%	1,1%	4,4%
	Leptohyphidae	0,0%	11,2%	10,0%	16,9%
Ephemeroptera	Baetidae	3,8%	13,4%	2,4%	2,0%
Plecoptera	Perlidae	0,0%	0,7%	2,8%	0,2%
Diptera	Chironomidae	20,8%	9,7%	11,1%	8,6%
	Limoniidae	0,0%	2,8%	3,9%	4,2%
Megaloptera	Corydalidae	2,0%	3,6%	0,5%	0,3%
Hemiptera	Naucoridae	1,9%	0,6	0,4	2,7
Odonata	Libellulidae	0,0%	0,3%	0,2%	0,5%
	Thiaridae	0,0%	0,0%	7,6%	17,5%
	Planorbidae	1,89%	0,0%	0,4%	0,5%
Gastropoda		53,0	1803,0	1270,0	1171,0
Abundancia total		10,0	30,0	33,0	26,0
Riqueza (S)		índices			
BMWP/COL		52,0	201,0	219,0	168,0
ASPT		5,2	6,7	6,6	6,5
IHF		42,0	60,0	71,0	55,0
		Coberturas terrestres			
Formación boscosa primaria		12,7%	93,3%	83,2%	80,5%
Formación boscosa secundaria		30,4%	1,4%	3,1%	4,1%
Uso agropecuario		55,7%	5,2%	13,4%	15,2%
Ríos y lagos		1,0%	0,1%	0,2%	0,3%
Uso urbano		0,2%	0,0%	0,1%	0,1%
Áreas naturales sin vegetación		0,1%	0,0%	0,0%	0,0%

Por medio del ACP se detectó un gradiente ambiental relacionado con los sustratos gruesos, sombra y la presencia de biopelículas como el perifiton. El análisis mostró un 85,3% de la varianza acumulada. En el primer componente (ACP1), el cual explica el 51,5% de la varianza, los mayores puntajes positivos los tienen las rocas, piedras, biopelículas y sombra, mientras que se asoció negativamente a este componente los sustratos más finos, la conductividad eléctrica y los sólidos totales suspendidos. El ACP1 agrupó dos localidades de distintas cuencas, las cuales fueron ARCA1 y YGAR1, debido a que presentaron mayores porcentajes de sustrato grueso (Figura 1).

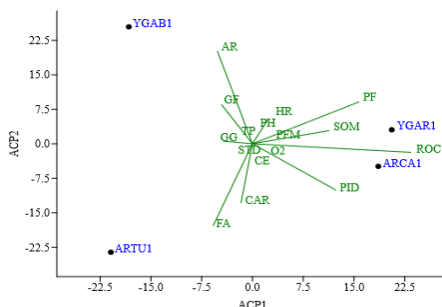


Figura 1. ACP de las variables del hábitat, el largo del vector de cada variable indica su fuerza dentro del análisis. PFM: profundidad máxima; CE: conductividad eléctrica; STD: sólidos disueltos totales; PH: pH del agua, O2: oxígeno disuelto, TP: temperatura del agua, FA: fango, AR: arena, GF: grava fina, GG: grava gruesa; CAR: canto rodado; PID: piedra; ROC: roca; HR: hojas y ramas; PF: perifiton; SOM: sombra en cauce. Leyenda: ARTU1: río Tupe; ARCA1: río Carabobo; YGAR1: quebrada Guáquira (cuenca arriba); YGAB1: quebrada Guáquira (cuenca abajo).

La variable sintética ACP1 obtuvo vínculos significativas y positivas con la riqueza de macroinvertebrados, los índices ecológicos y las formaciones boscosas primarias, mientras que se relacionó negativamente con las formaciones boscosas secundarias y el uso agropecuario (Tabla 2). Estos resultados sugieren que si existe una relación entre los tipos de cobertura presente en la cuenca y la composición del hábitat fluvial, el cual muestra una mayor heterogeneidad en cuencas menos intervenidas, con sus bosques originarios presentes en mayor proporción. Además, indican como un hábitat fluvial más heterogéneo, favorece que haya una mayor riqueza y presencia de familias sensibles de macroinvertebrados acuáticos (Barrios y Rodríguez-Olarte, 2013).

Tabla 2. Valores de la regresión lineal entre variables de riqueza, índices ecológicos, principales coberturas a nivel de cuenca con ACP1. Relaciones positivas representadas por (+) y negativas con (-). Leyenda: COBP: formación boscosa primaria; COBS: formación boscosa secundaria y COAG: uso agropecuario.

Variable dependiente	Variable predictiva	R ²	Relación	Significancia (valor p)
S	ACP1	0,54	+	0,014
BMWP/COL	ACP1	0,53	+	0,016
ASPT	ACP1	0,46	+	0,034
IHF	ACP1	0,70	+	0,040
ACP1	COBP	0,48	+	0,040
	COBS	0,49	-	0,033
	COAG	0,51	-	0,046

Los resultados parciales obtenidos en esta investigación indican la existencia de una posible relación jerárquica entre el efecto que tienen los tipos de coberturas terrestres a nivel de microcuenca o subcuenca sobre los sistemas fluviales asociados. Esto sugiere que a pesar de que las comunidades de macroinvertebrados acuáticos responden principalmente a alteraciones a nivel local (hábitat fluvial), por efectos causales, también responderían a una escala aún mayor, tal como los cambios de coberturas a nivel de cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Este reporte es resultado parcial de los proyectos auspiciados por The Mohamed Bin Zayed Species Conservation Found (212528182, 230531876), Idea Wild (rodrvene1221), CDCHT-UCLA (1081-AG-2017, 1209-RAG-2022), MINCYT-FONACIT (2023000 79) y ONCC-MINEC (DGD-SP-NC-23-002).

LITERATURA CITADA

- Arango, M., L. F. Álvarez, G. A. Arango, O. E. Torres y A. de J. Monsalve. 2008. Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA* (9):121-141.
- Barbour, M., J. Gerritsen, B. Snyder, y J. B. 1999. *Stribling Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish, 2nd edition*. EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency, Office of Water. 339 pp.
- Barrios M., Rodríguez Olarte, D. 2013. Hábitat fluvial e insectos indicadores del estado de conservación en la cuenca alta del río Turbio, en el estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 25 (3):151-160.
- Barrios M., D. Rodríguez Olarte y E. García. 2015. Índice de integridad de los ecosistemas fluviales con base a las comunidades de insectos acuáticos en el río Misoa, cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Entomotropica* 30(8):69-83.
- Knudby, A. 2024. *Vegetación e Incendio*. En Teledetección (A Knudby). LibreTexts. 145 pp.
- MapBiomass Venezuela. 2023. *Proyecto MapBiomass Venezuela – Colección 2 de la Serie Anual de Mapas de Cobertura y Uso del Suelo de Venezuela*.
- Pardo, I., M. Alvarez. J. Casas. J. L. Moreno. S. Vivas. N. Bonada. J. Alba-Tercedor. P. Jaimez-Cuellar. G. Moya. N. Prat. S. Robles. M. Suárez-Alonso. M. Toro y M. Vidal-Abarca. 2002. El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica* 21(3-4):115-133.
- Rajput, J., H. Jawale, V. Bodade, y R. Bhamare. 2021. Watershed Delineation Using Digital Elevation Model and Terrain Tiles in Q-GIS. *IRJET* 8(6):3488-3493.
- Rodríguez-Olarte, D., A. Ahyran, J. Coronel, y D. C. Taphorn. 2006. Los peces del río Aroa, cuenca del Caribe, Venezuela. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 164: 101-127.
- Rodríguez-Olarte, C. Marrero y D. Taphorn. 2018. Ríos en riesgo al Mar Caribe y al Golfo de Venezuela. En: *Ríos en Riesgo de Venezuela. Volumen 2*. (D. Rodríguez-Olarte, Ed.), Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Cap. 4: 71-102.
- Rodríguez-Olarte, D., A. E. Seijas, S. Segnini, P.R. Bueno, V. M. Zambrano, J. M. Mendoza, C. J. Marrero, M. Martínez, O. Lasso-Alcalá, J. E. García, Á. Fernández, J. Escudero, Y. C. Perozo, O. Castillo, S. Boher, G. B. Pérez, A. A. Quintero, y J. Velásquez. 2019. *Los ríos en riesgo de Venezuela y la ruta para su conservación*. *Ecotrópicos* 31:1-8.
- Rodríguez-Olarte, D., G. M. Barrios, L. Caputo, P. Fierro, P. Jiménez Prado, E. Navarro, P. Macchi, J. Mojica, J. Molinero Ortiz, J. Montoya, A. Pantoja, B. Ríos Touma, F. Teixeira de Mello, F. Tobon, A. Torremorell, A. Villalba y C. Villamarín. 2020. Criterios para la evaluación de estresores y parámetros en la estimación del estado ecológico de ríos en Suramérica, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA).
- Roldán Pérez, G. 2012. El Método BMWP para Colombia (BMWP/COL). En: *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua* (G. Roldán, Ed.). Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Bogotá. pp. 45-49.