

Artículo original

Caracterización físicoquímica e hidrobiológica de tres ecosistemas kársticos de la cuenca del río Magdalena (Antioquia, Colombia) durante el ciclo hidrológico 2016-2017

Physical, chemical, and hydrobiological characterization of three karstic ecosystems of the Magdalena River Basin (Antioquia, Colombia) in the 2016 – 2017 hydrological cycle

✉ Diana María Jiménez-González, ✉ Kathiana Murillo-García, ✉ María Isabel Ríos-Pulgarín*

Grupo de Investigación en Limnología y Recursos Hídricos, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Colombia

Resumen

Los estudios sobre la fauna acuática de ecosistemas kársticos tropicales son escasos, lo que dificulta entender su dinámica, así como reglamentar su conservación. En este contexto, entre octubre de 2016 y abril de 2017 se desarrolló un estudio para caracterizar las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos que habitan las corrientes asociadas con ecosistemas kársticos de los municipios de San Luis y Sonsón (Antioquia, Colombia) y su relación con las condiciones ambientales internas y externas mediante métodos estandarizados de recolección y tratamiento de datos biológicos y físicoquímicos. Además, se determinó la composición y la abundancia de especies de peces y macroinvertebrados, así como los índices ecológicos de diversidad y dominancia, y los de bioindicadores de la calidad de agua (BMWP/Col) con base en macroinvertebrados bentónicos. La variabilidad espacial y temporal, así como la relación entre los parámetros ambientales y biológicos, se estableció mediante análisis de varianza y discriminantes canónicos. Los resultados evidenciaron que los macroinvertebrados más abundantes fueron los efemerópteros de las familias Leptoplebiidae y Baetidae (*Thraulodes* sp y *Camelobaetidius*), los coleópteros de la familia Elmidae (*Microcylloepus*) y los tricópteros de las familias Hydropsychidae (*Leptonema*) y Philopotamidae (*Chimarra*). Entre los peces la especie más representativa fue *Poecilia caucana*. A pesar de que ninguno de estos organismos evidenció una dependencia particular con las variables físicas y químicas del agua, sí mostraron preferencia por el exterior de las cavernas, aunque con movilidad entre los compartimentos del sistema en función del tipo de cobertura vegetal y la oferta de recursos de cada caverna, lo que sugiere una dependencia entre el estado de conservación del bosque, los vertebrados y la vida acuática de las cavernas.

Palabras clave: Cavernas; Macroinvertebrados; Peces; Bosque.

Abstract

Studies about aquatic fauna of tropical karst ecosystems are scarce, which hinders our understanding of their dynamics, as well as the adoption of regulations for their conservation. In this context, between October 2016 and April 2017, we conducted the present study to characterize the fish and aquatic macroinvertebrate communities living in streams associated with karst ecosystems in Sonsón and San Luis municipalities (Antioquia, Colombia) and their relationship with internal and external environmental variables. We used standardized methods of collection and treatment of biological and physical-chemical data. Additionally, we determined the composition and abundance of fish and macroinvertebrate species, as well as ecological indices (diversity, dominance) and water quality bioindicators (BMWP / Col) based on benthic macroinvertebrates. We established the spatial and temporal variability, as well as the relationship between environmental and biological parameters, using analysis of variance and canonical discriminants. The most abundant macroinvertebrates were Ephemeroptera of Leptoplebiidae and Baetidae (*Thraulodes* sp and *Camelobaetidius*) families,

Citación: Jiménez-González DM, Murillo-García K, Ríos-Pulgarín MI. Caracterización físicoquímica e hidrobiológica de tres ecosistemas kársticos de la cuenca del río Magdalena (Antioquia, Colombia) durante el ciclo hidrológico 2016-2017. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 45(175):432-448, abril-junio de 2021. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1260>

Editor: Elizabeth Castañeda

***Correspondencia:**

María Isabel Ríos-Pulgarín;
mirios@uco.edu.co;
mariaisabel.rios536@gmail.com

Recibido: 6 de julio de 2020

Aceptado: 2 de marzo de 2021

Publicado: 17 de junio de 2021



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Coleoptera of the Elmidae (*Microcylloepus*) family, and Trichoptera of the Hydropsychidae (*Leptonema*) y Philopotamidae (*Chimarra*) families. The most representative fish species was *Poecilia caucana*. Although none of these organisms showed a particular dependency on water physical and chemical variables, they showed a preference for the outside of the caverns but moving between the compartments of the system depending on the vegetation cover and the resources in each of them. This suggests a dependence between forest conservation status, vertebrates, and caverns aquatic life.

Keywords: Cavern; Macroinvertebrates; Fish; Forest.

Introducción

Las cavernas o sistemas kársticos son ambientes poco explorados aún que poseen una gran diversidad y ofrecen valiosos servicios ecosistémicos (Flórez, *et al.*, 2016). Dependen de aportes externos de energía para funcionar y presentan una gran sensibilidad, por lo que son indicativos de cambios en su entorno en varias escalas espacio-temporales. Es decir, pueden actuar como medidores de la calidad ambiental de una región (IAvH, 1998; Lasso, *et al.*, 2019). En el caso de las cavernas cruzadas por corrientes de agua, estas las conectan con el bosque circundante, movilizando recursos tróficos en una relación comparable a la de aves y mamíferos que todavía no se ha documentado completamente.

Las comunidades acuáticas de los sistemas kársticos o karsts permiten entender su interacción con el bosque, las condiciones físico-químicas del agua y los organismos que las habitan. Es el caso de las comunidades de peces y macroinvertebrados, cuya estructura permite determinar la interacción que tienen con el entorno. Según Decu (1986), en los sistemas kársticos tropicales la principal fuente de energía de los macroinvertebrados en las cavernas es el guano de los murciélagos, que también lo es para los peces, ya que los omnívoros y carnívoros pueden incorporar dichos macroinvertebrados como recurso trófico, en tanto que los peces herbívoros o planctófagos aprovechan los productores primarios de las zonas con mayor radiación en el exterior de los karsts. Por ello la presencia y la abundancia de los diferentes grupos de macroinvertebrados y peces sería evidencia de la oferta de recursos del sistema (Sostoa, *et al.*, 2005), aunque también su ingreso al sistema desde el exterior aportaría nutrientes y recursos para los habitantes residentes del sistema (Craig, *et al.*, 2012). Los macroinvertebrados, además de bioindicadores, son un eslabón esencial de la cadena trófica que conectan a productores con consumidores de orden mayor (Ladrera, *et al.*, 2013; Roldán, 2016). Sin embargo, normalmente no se considera la presencia ni la interacción de peces y macroinvertebrados con los bosques, pese a que en algunos estudios destacados como el de Lasso, *et al.* (2019) se pone de manifiesto que las cavernas ofrecen una probable conexión entre las redes tróficas acuáticas y terrestres.

Este vacío de conocimiento limita de forma importante los procesos de conservación. En el cinturón kárstico del Magdalena Medio colombiano, la falta de estudios dificulta el establecimiento de medidas de gestión ambiental de estos ecosistemas en los municipios de San Luis y Sonsón (Antioquia), lo que ha favorecido la construcción de hidroeléctricas, la minería y la deforestación, con un creciente impacto sobre las corrientes de agua que hacen parte de dichos sistemas y el consecuente riesgo de pérdida de la diversidad acuática relacionada con la modificación de la vegetación en estos bosques, lo que se refleja no solo en el material alóctono que reciben las quebradas, sino también en la oferta para las aves, mamíferos y peces que habitan las cavernas y son fuente de materia orgánica alóctona (Harris, 1970; Pussey & Arthington, 2003).

Dadas estas condiciones, el estudio se propuso determinar las especies de macroinvertebrados y peces presentes en las corrientes de los ecosistemas kársticos de San Luis y Sonsón (Antioquia) y los factores que afectan la estructura de tales asociaciones mediante la caracterización de las comunidades acuáticas que habitan las corrientes de los ecosistemas kársticos en estas localidades y su relación con las condiciones ambientales dentro y fuera de ellos durante dos momentos del ciclo hidrológico de 2016-2017.

Los macroinvertebrados se recolectaron manualmente con el método recomendado por **Roldán** (1996) y **Roldán & Ramírez** (2008), removiendo los organismos adheridos a rocas, troncos y hojas. También se recolectaron especímenes con una red del tipo D-Net en un único barrido bordeando ambas orillas de la corriente. Las muestras de hojarasca obtenidas con esta red fueron llevadas al laboratorio para su revisión. Todos los organismos recolectados se fijaron con alcohol etílico al 70 % y se almacenaron en frascos de PET. Para la identificación de los macroinvertebrados se usaron las claves de **Correa, et al.** (1981), **Álvarez & Roldán** (1982), **Arango & Roldán** (1983), **Bedoya & Roldán** (1984), **Machado & Rincón** (1989), **Spangler & Santiago-Fragoso** (1992), **Domínguez, et al.** (1994), **Aristizábal** (2002), **Posada & Roldán** (2003), **Domínguez, et al.** (2006), **Domínguez & Fernández** (2009), **Manzo** (2005), **Aristizábal-García** (2016), **Heckman** (2011) y **Naranjo, et al.** (2010).

Los peces se recolectaron con las dos metodologías propuestas por **Maldonado, et al.** (2005): uso de una trampa Nasa (50 minutos de exposición en cada posición de la caverna) y electropesca con un equipo Samus 725MP (21 metros de transecto), con un esfuerzo de captura estandarizado (7 metros de transecto). Los ejemplares recolectados en cada muestreo se pesaron y se midieron individualmente en su longitud estándar o esquelética, se fijaron en formol al 10 % y se identificaron siguiendo los criterios taxonómicos propuestos por **Maldonado, et al.** (2005) y **Jiménez, et al.** (2014). Los especímenes de referencia fueron depositados en la Colección de Peces de la Universidad Católica de Oriente (CP-UCO), registrada ante el Instituto Alexander von Humboldt.

Tratamiento de los datos

Se obtuvieron descriptores emergentes de la estructura de la comunidad de invertebrados considerando la riqueza y la abundancia, en tanto que para los peces se tuvieron en cuenta la abundancia y la biomasa. Con dichas variables se determinaron los índices de diversidad (H') y de dominancia de especies con el fin de establecer los índices Q (**Moreno, et al.**, 2011) de equivalentes de especies. Se obtuvo la similitud en la composición de especies y macroinvertebrados en las diferentes muestras usando datos de presencia o ausencia de cada taxón para construir un conjunto según el método Bray-Curtis. Se estimó la calidad del agua de las corrientes que atraviesan los sistemas kársticos con base en la composición de las familias de macroinvertebrados mediante el método *Biological Monitoring Working Party* (BMWP/Col) (**Roldán**, 2003).

Para determinar si había diferencias espaciales y temporales en las variables fisicoquímicas y las biológicas (abundancia, riqueza y biomasa) de cada asociación, se hicieron análisis de varianza (ANOVA) unifactoriales previa verificación de los supuestos del modelo para tres factores: mes, caverna y posición (interior o exterior de la caverna). Aquellas variables que no cumplieron los supuestos de normalidad del modelo se sometieron a una transformación de datos utilizando la escala de Tukey propuesta por **Erikson & Nosanchuk** (1977) y en caso de no ajustarse, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis en lugar del Anova. Por último, se hizo un análisis de discriminantes canónicos para evidenciar el patrón de variabilidad entre quebradas, posiciones (interior/exterior) y mes de muestreo con base en el conjunto de parámetros fisicoquímicos medidos, así como en el comportamiento de la riqueza, la abundancia o la biomasa de macroinvertebrados y peces. Los análisis se hicieron con los programas Big Data, Rwizard y BioDiversity Pro y Past.

Resultados

Variabilidad espacio-temporal de las condiciones ambientales

Se encontraron diferencias significativas espaciales o temporales en todas las variables ambientales ($p < 0,005$) (**Tabla 1**). Los análisis de varianza mostraron que hubo diferencias en los sólidos totales y los disueltos entre las temporadas climáticas, la posición (interior/exterior) y los sitios de muestreo ($p < 0,00001$), en tanto que los sólidos suspendidos totales

Tabla 1. Valores promedio de las variables ambientales y biológicas y su variabilidad espacial y temporal establecidos mediante el análisis de varianza

Parámetro	Octubre (lluvias)						Abril (aguas en descenso)						DEPH	DEC	DEP
	Caracoles		Corintios		La Gruta		Caracoles		Corintios		La Gruta				
	AD	AF	AD	AF	AD	AF	AD	AF	AD	AF	AD	AF			
OD (mgL ⁻¹)	7,82	7,78	7,77	7,8	6,04	6,09	7,68	7,65	7,54	7,47	6,39	6,3	*		**
STO ₂ (%)	97,83	98,43	96,37	97,1	74,77	75,47	96,87	97,07	94,67	94,17	80,63	79,93	***	***	***
TEM (°C)	24,77	25,37	23,9	24,4	26,1	26,1	24,83	25,1	24,03	24,27	24,83	24,97	***	***	***
COND	220	147,2	185,73	226,33	236	239	107,2	124	143,9	194,07	153,57	165,53	***	***	***
pH	7,72	8,03	7,86	8,13	7,51	7,63	7,77	8,03	8,15	8,18	7,75	7,93	*	**	*
COL	34300	376200	22770	61670	19370	61670	70300	123200	156100	10390	98400	260833,3			***
<i>E-coli</i>	30260	131400	19610	41980	18110	61670	64880	30760	98040	1793	46110	17300			
NO ₃ ⁻	0,53	0,1	0,69	0,78	0,41	0,44	0,47	0,87	2,38	2,61	0,3	0,26	*	**	
FT	0,05	0,05	0,04	0	0,04	0,03	0,07	0,04	0,03	0,03	0,05	0		*	***
ORT	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0	0,02	0,04	0,02	0	***		***
SDT	139	109	113	138	141	152	78	104	82	108	86	90	**	***	***
SST	4,1	5,25	3,95	8,55	9,15	0	11	3,6	4	4	2	2		**	
ST	152	108	117	138	147	136	90	108	86	112	88	92	***	***	***
TURB	7,2	8,6	1,1	1,5	3,4	0,71	27	30	3,1	1,5	4,1	4,9	**	**	
RMACR	8,67	10	4	11,33	4,67	13,67	8,67	8,67	6,33	13	6	7			**
AMACR	29,67	20,33	6,67	18,67	24	50,67	29	18,33	11,67	35,67	28	27,67			*
APEC	1.666	6	0	1	0	0,6666	13.333	116.666	0	13.333	0	0		*	*
BPEC	0,1554	0,1883	0	20.043	0	0,01236	0,8586	0,52274	0	0,105	0	0			

OD: oxígeno disuelto; STO₂: saturación de oxígeno; TEM: temperatura; COND: conductividad eléctrica; COL: coliformes; NO₃⁻: nitratos; FT: fósforo total; ORT: ortofosfatos; SDT: sólidos disueltos totales; SST: sólidos suspendidos totales; ST: sólidos totales; TURB: turbiedad; RMACR: riqueza de macroinvertebrados; AMACR: abundancia de macroinvertebrados; APEC: abundancia de peces; BPEC: biomasa de peces; AD: adentro; AF: afuera; DEPH: diferencias entre periodos hidrológicos; DEC: diferencias entre cavernas; DEP: diferencias entre posiciones

solo mostraron diferencias significativas entre cavernas. En la posición externa de las cavernas se registró un descenso significativo en los sólidos suspendidos totales y de los disueltos en abril de 2017 (periodo de transición a aguas bajas), mientras que en el interior permanecieron constantes y elevados en todos los muestreos, especialmente durante los eventos de alta precipitación. En el interior de la caverna Caracoles se registró la mayor concentración de sólidos disueltos totales ($p < 0,00001$), así como la mayor turbiedad, mientras que en Corintios predominaron los sólidos disueltos totales en el exterior y se presentó la menor turbiedad.

Tanto la concentración de oxígeno como la saturación fueron ligeramente menores en el interior que en el exterior ($p < 0,000001$). Asimismo, se presentaron concentraciones muy superiores en las cavernas Caracoles y Corintios comparadas con La Gruta ($p = 0,00$), caverna ubicada en un tramo con escasa pendiente y mucha intervención minera. En cuanto a la variabilidad temporal, se observaron mayores diferencias en el exterior de las cavernas, siendo notoriamente más altas las concentraciones, especialmente la saturación ($p = 2,2e^{-16}$), en el exterior durante abril.

Con respecto a la temperatura, la conductividad y el pH, hubo diferencias significativas entre los sitios (quebradas), la posición (interior/exterior) y los meses ($p < 0,005$). En todas las quebradas se registraron menores temperaturas en el interior que en el exterior, así como un ligero descenso de esta en abril de 2017 (transición a seca). La conductividad disminuyó notoriamente en abril en el interior de las cavernas y los menores valores en

todos los periodos se registraron en la caverna Caracoles. El pH tuvo una disminución significativa en el exterior de la caverna Caracoles en abril, mientras que en Corintios y la Gruta el pH se incrementó en el mismo periodo.

En cuanto a los nutrientes, los nitratos solo presentaron diferencias significativas en la quebrada Corintios, donde hubo mayores diferencias entre el interior y el exterior que en las otras quebradas ($p=0,000001$). En general, la concentración de nitratos, fosfatos y fósforo total fue mayor en el interior de las cavernas en octubre (lluvias) y menor en abril (transición a seca) ($p>0,05$), con los mayores valores de fósforo total en Caracoles y de ortofosfatos en Corintios. En cuanto a la contaminación fecal, se encontró una mayor concentración de coliformes en el exterior de las cavernas en octubre (lluvias), especialmente en Caracoles.

En general, la variabilidad ambiental explicó entre el 80 y el 100 % de la varianza espacial y temporal entre las muestras. Con respecto a la posición del sitio de muestreo en la corriente (interior/exterior de la caverna), el fósforo total, ortofosfatos y sólidos suspendidos totales fueron los parámetros que más influyeron en el interior de las cavernas, en tanto que los coliformes, el pH, la temperatura y los sólidos disueltos totales fueron los factores dominantes en el exterior (Figura 2a). En cuanto a las cavernas, La Gruta presentó los

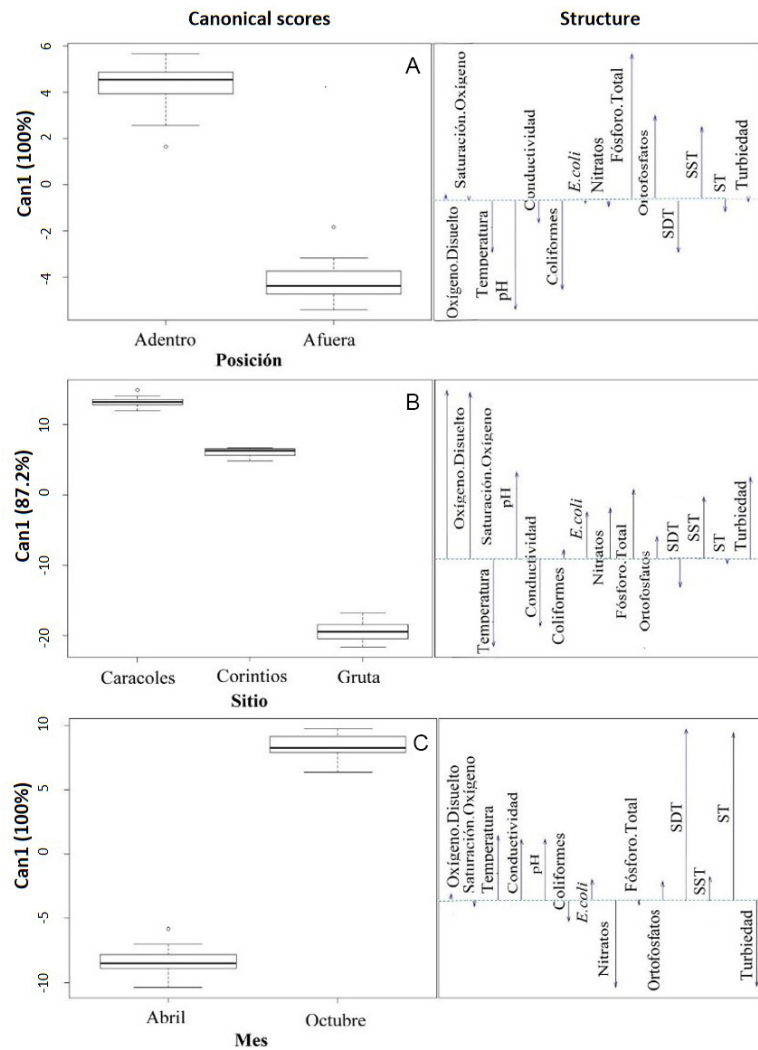


Figura 2. Análisis de discriminantes canónicos de la posición (adentro-afuera), el sitio (Caracoles, Corintios y La Gruta) y el mes de muestreo (abril y octubre) con base en parámetros fisicoquímicos

mayores cambios de temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales, mientras que en Caracoles y Corintios sobresalieron los del oxígeno disuelto, la turbiedad y el pH (**Figura 2b**). La variabilidad temporal evidenció que los nitratos, la turbiedad y los coliformes tuvieron mayor influencia en abril, en tanto que los sólidos disueltos totales y, en menor medida, la temperatura, la conductividad, y el pH la tuvieron en octubre (**Figura 2c**).

Asociación entre los macroinvertebrados y su dependencia del ambiente

Se capturaron ejemplares de 53 géneros agrupados en 36 familias y 12 órdenes pertenecientes a 307 taxones de macroinvertebrados (**Tabla 1S**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1260/2993>). Los más abundantes fueron los coleópteros (Elmidae), los efemerópteros (Baetidae y Leptophlebiidae, particularmente los géneros *Thraulodes sp.*, *Camelobaetidius* y *Microcyloopus*), y los tricópteros (Philopotamidae e Hydropsychidae). Se encontró en el interior de La Gruta una abundancia significativamente mayor, mientras que en el exterior de Corintios se encontró la más baja ($p=0,04$). Los Anova también mostraron diferencias significativas entre el interior y el exterior de las cavernas en la riqueza ($p=0,005$), pero no entre cavernas o periodos. La riqueza y la abundancia de macroinvertebrados fueron mayores en el exterior en ambos momentos hidrológicos (**Figura 3**), aunque tendieron a disminuir afuera y aumentar adentro durante la transición al periodo seco (abril). En general, la riqueza fue mayor en la quebrada Corintios, especialmente en abril.

El mayor índice de riqueza de macroinvertebrados se observó en el exterior de La Gruta (27 taxones), en tanto que en el interior de La Gruta y Corintios se registró el menor número de taxones, con 9 y 10 morfoespecies, respectivamente. El patrón de diversidad basado en los índices Q evidenció que la mayor riqueza (Q0) siempre se registró en el exterior, pero la mayor proporción de morfoespecies abundantes solo tuvo este patrón en abril. En cuanto a la dominancia, se observaron 0,5 y 5 veces más especies dominantes en Caracoles y Corintios que en La Gruta, especialmente en abril. La diferenciación de La Gruta también fue evidente en el análisis de similitud (**Figura 4**), en el que se destaca un grupo que compartía solo un 20 % de las taxones, independientemente del mes o la posición (interior/exterior). Esta diferencia se constató por la presencia exclusiva de los géneros *Baetodes*, *Hexatoma*, *Mesovelina* y la familia Leptophlebiidae, así como por la ausencia de géneros comunes a las otras quebradas, como *Anchytarsus*, *Pomacea* y *Psephenops*, además de la notable dominancia de *Thraulodes sp.* Asimismo, Caracoles y Corintios presentaron agrupaciones con apenas 40 % de similitud en la composición, lo que permite diferenciarlas, ya que sus respectivas asociaciones de especies difirieron en más de 20 géneros, entre ellos *Polycentropus*, *Anchytarsus*, *Hetaerina*, *Limnocoris* y *Psephenops*.

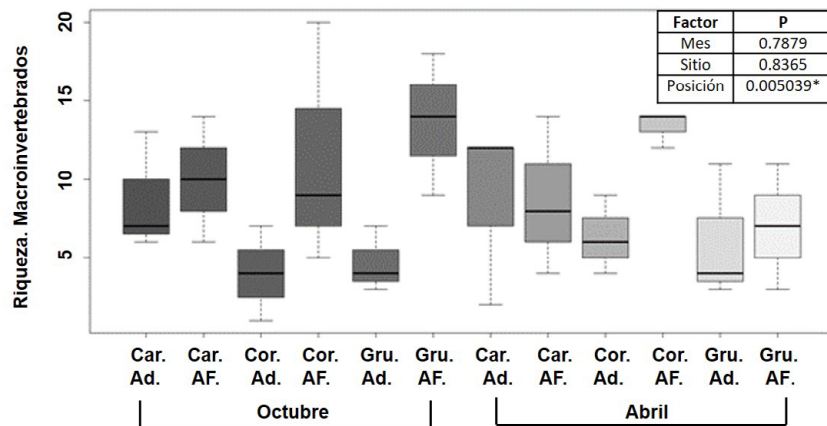


Figura 3. Análisis de varianza espacial y temporal de la riqueza de macroinvertebrados. Ad= adentro; Af: afuera; Car: Caracoles; Cor: Corintios; Gru: La Gruta

Asociación de los peces y su dependencia del ambiente

Se capturaron 72 individuos pertenecientes a 5 órdenes comunes en la región andina, catalogados en 8 familias y 10 géneros (Tabla 2S, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1260/2993>). En la parte externa de Caracoles hubo mayor abundancia, con 18 individuos en octubre y 35 en abril. En octubre (lluvias) Corintios y La Gruta no tuvieron ictiofauna en el interior de la caverna, y en el exterior solo se capturaron alrededor de tres individuos (Figura 5). En ambos periodos los peces más abundantes pertenecían a *P. caucana*, con 16 y 37 individuos capturados en octubre y abril, respectivamente. Otras especies como *Astroblepus*, *Cichlidae*, *Synbranchus*, *Geophagus*, *Pimelodella*, *Argopleura*, *Hypostominaes* y *Trichomycterus* tuvieron escasa representación. Se registraron diferencias significativas entre cavernas ($p=0,016$) y posiciones ($p=0,046$), pero no en los meses de muestreo ($p=0,514$). El patrón de diversidad basada en los índices Q evidenció que la mayor proporción de riqueza (Q0), abundancia (Q1) y dominancia

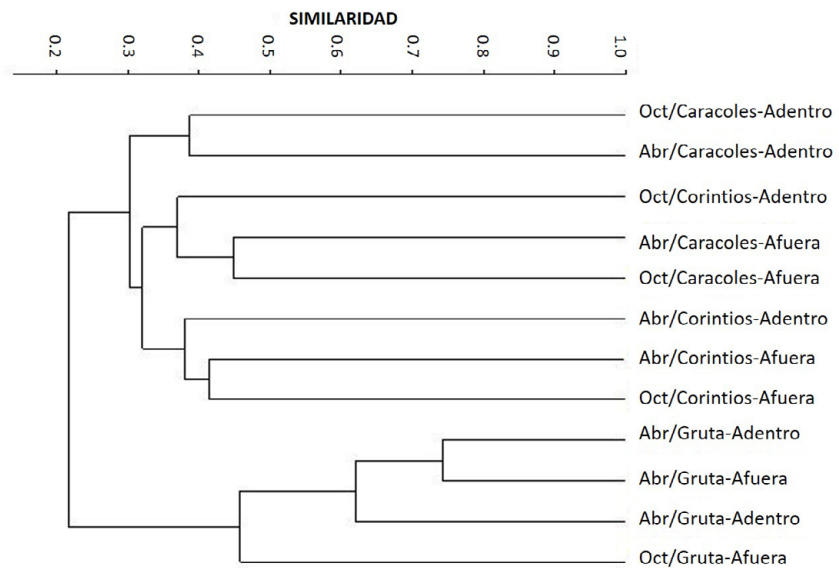


Figura 4. Conjunto de similitud en la composición de especies de macroinvertebrados entre sitios de muestreo durante el ciclo hidrológico 2016-2017

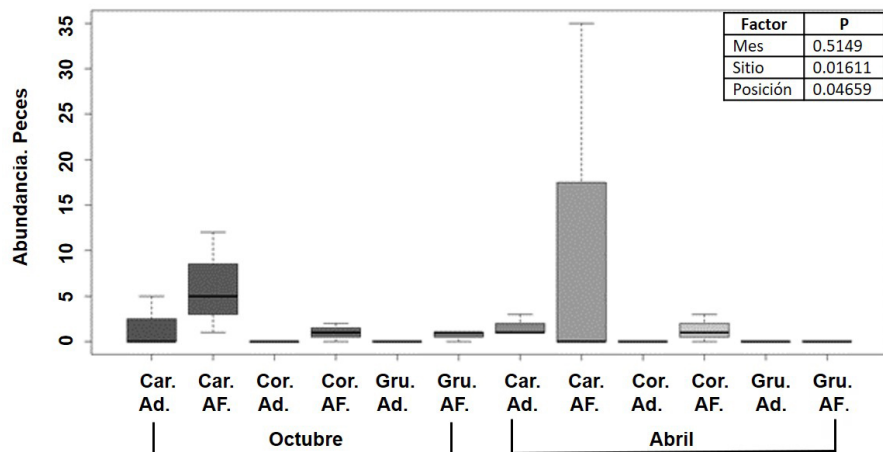


Figura 5. Análisis de la varianza espacial y temporal de la abundancia de peces. Ad: adentro; Af: afuera; Car: Caracoles; Cor: Corintios; Gru: La Gruta

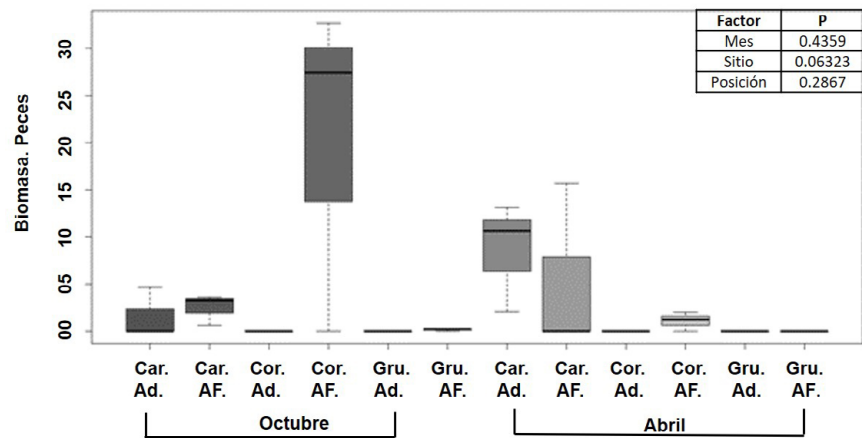


Figura 6. Análisis de la varianza espacial y temporal de la biomasa de peces. Ad: adentro, Af: afuera, Car: Caracoles; Cor: Corintios; Gru: La Gruta

(Q2) se registraron en el interior de Caracoles en octubre y en el exterior de Corintios en abril. La biomasa de peces (**Figura 6**), cuya magnitud fue muy baja, no mostró diferencias espaciales o temporales significativas.

Variabilidad espacio-temporal de macroinvertebrados y peces

Los valores de la variación espacio-temporal entre macroinvertebrados y peces fluctuaron entre 72,4 y 100 %. La abundancia y la biomasa de peces y la abundancia y la riqueza de macroinvertebrados predominaron sustancialmente en la posición externa de todas las cavernas (**Figura 7a**). Las corrientes en Caracoles y Corintios se diferenciaron por la biomasa y la abundancia de peces, respectivamente, en tanto que en La Gruta el factor más importante fue la abundancia de macroinvertebrados (**Figura 7b**). Por otro lado, la variabilidad temporal se explicó por una mayor abundancia de peces en abril de 2017 (transición a periodo seco) y mayor biomasa de peces y riqueza de macroinvertebrados en octubre de 2016 (lluvias) (**Figura 7c**).

Calidad del agua

Las familias de macroinvertebrados más representativas fueron Leptophlebiidae y Baetidae (Ephemeroptera), Elmidae (Coleoptera) y Philopotamidae e Hydropsychidae (Trichoptera). En general, se encontraron niveles I y II según el índice BMWP/Col, es decir que la calidad del agua osciló entre aceptable y buena (**Tabla 2**). No obstante, durante octubre la calidad del agua fue ligeramente menor que en abril, con valores dudosos en el índice por la presencia de familias asociadas con el enriquecimiento por materia orgánica (Chironomidae, Dugesiiidae, Planorbidae, Lymnaeidae, entre otras), las cuales se encuentran principalmente en el interior del sistema kárstico. Al comparar las corrientes, se encontró que La Gruta presentaba las condiciones más variables, oscilando entre agua ligera y moderadamente contaminada, seguida por Corintios, con aguas limpias en la parte externa y moderadamente contaminadas en la parte interna. Por último, Caracoles presentó un sistema hídrico con mejores condiciones.

Discusión

Variabilidad ambiental

El comportamiento del pH en el agua concordó con la geología del sistema. Los valores de pH ligeramente ácidos, propios de corrientes en áreas boscosas, ricas en CO₂, facilitan la disolución de la roca caliza de los karst, lo que, a su vez, favorece un incremento en las concentraciones de iones básicos como el bicarbonato, de ahí la obtención de pH con valores entre 7,0 y 8,5 upH en las corrientes que cruzan las cavernas, tal como lo han

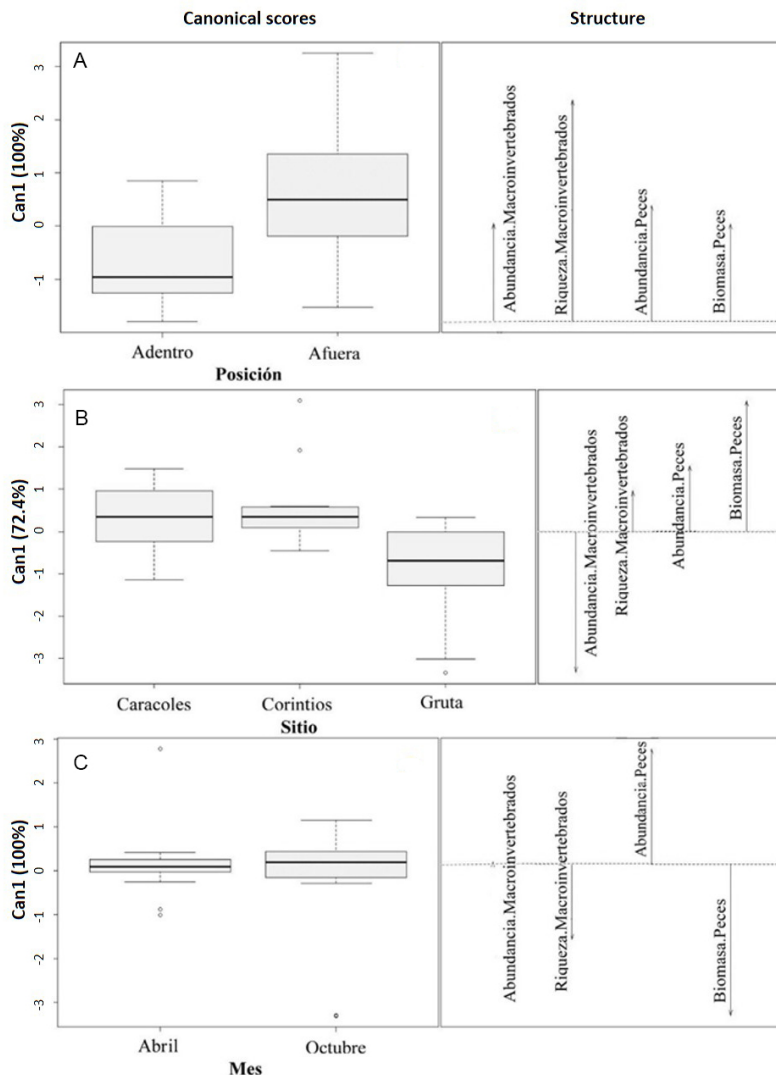


Figura 7. Análisis de discriminantes canónicos de la posición (adentro-afuera), sitio (Caracoles, Corintios y La Gruta) y mes de muestreo (abril y octubre) con base en los descriptores emergentes de las comunidades de peces y macroinvertebrados

documentado **Abril & Medrano (2010)**. Sin embargo, se encontró un pH más alto en la parte externa (aguas abajo) que en la interna, muy posiblemente asociado con procesos de lixiviación de las rocas calcáreas que interfieren, además, en la concentración de sólidos disueltos totales (**Boluda, 2000**) y, consecuentemente, en la conductividad. Los valores del oxígeno disuelto (OD) fueron favorables para la vida acuática en las tres cavernas. Sin embargo, fueron más altos en Caracoles y Corintios debido a la reaireación causada por la pendiente y la escasa perturbación antrópica. Por otro lado, el efecto de la temperatura es mayor en las áreas que reciben radiación directa (**Abril & Medrano, 2010; Eslava, et al., 2000**), por lo que en el exterior de las cavernas Caracoles y Corintios (que presentan mayor cobertura vegetal) se registraron menores temperaturas y mayores concentraciones de oxígeno disuelto que en La Gruta, especialmente en octubre (lluvias).

Con respecto a los nutrientes, no se encontró un patrón claro espacial o temporal, ni valores que sugirieran eutrofización. El fósforo permaneció en niveles bajos según los rangos de **Roldán & Ramírez (2008)** y tampoco se superaron los límites permisibles del ión NO_3^- según lo estipulado por la **Organización Mundial de la Salud-OMS (2006)**,

Tabla 2. Índice BMWP/Col (Álvarez, 2005) en los sitios de muestreo en los meses de octubre de 2016 y abril de 2017

Sitio	Octubre 2016	Clase	Calidad	Abril 2017	Clase	Calidad
Caracoles afuera	118	I	Buena (aguas limpias)	126	I	Buena (aguas limpias)
Caracoles adentro	82	II	Aceptable (ligeramente contaminadas)	63	II	Aceptable (ligeramente contaminadas)
Corintios afuera	125	I	Buena (aguas limpias)	150	I	Buena (aguas muy limpias)
Corintios adentro	56	III	Dudosa (moderadamente contaminadas)	60	III	Dudosa (moderadamente contaminadas)
Gruta afuera	126	I	Buena (aguas limpias)	80	II	Aceptable (ligeramente contaminadas)
Gruta adentro	45	III	Dudosa (moderadamente contaminadas)	62	II	Aceptable (ligeramente contaminadas)

correspondientes a 50 mg/L. Dicha concentración de fósforo total y ortofosfatos es limitada en estos ecosistemas de caverna, puesto que las altas concentraciones de oxígeno inhiben sus procesos de solubilización en la columna de agua y los retienen en los sedimentos (Roldán & Ramírez, 2008). Además de los potenciales procesos de eutrofización, otro factor que indica contaminación es la presencia de coliformes (Hunter, et al., 2000), particularmente de *E. coli*. Aunque no hubo una tendencia clara, aparentemente la incidencia fue mayor en el exterior debido al lavado de las deposiciones de vertebrados hipógeos como murciélagos y guácharos, pero no se descartan vertimientos puntuales, especialmente en la cuenca asociada con la caverna La Gruta.

De los 12 órdenes de macroinvertebrados registrados en el estudio, Ephemeroptera, Coleoptera y Trichoptera fueron los más abundantes en el exterior de las cavernas, mientras que Decapoda e Hygrophila, aunque poco comunes, presentaron este mismo patrón de abundancia. Lo anterior no solo concuerda con los órdenes que comúnmente se encuentran en sistemas lóticos superficiales, sino también con los resultados obtenidos por Spangler & Barr (1995), Peck, et al. (1998), Creuzédes, et al. (2009), Salavert, et al. (2011), Taylor & Lopes (2012), Vides-Navarro, et al. (2015), y Resende, et al. (2015) en sistemas de aguas subterráneas, donde, además de los órdenes Ephemeroptera, Coleoptera y Trichoptera, se han encontrado otros como Diptera y Hemiptera. La importancia de los efemerópteros, coleópteros y dípteros ha sido documentada en sistemas extracársticos de Santander (Colombia) por Lasso, et al. (2019), quienes también encontraron que los organismos epigeos eran más diversos y abundantes que aquellos del interior de las cavernas.

En cuanto a sus hábitos, los efemerópteros son indicadores de buena calidad de agua, ya que viven en aguas limpias y bien oxigenadas (Roldán, 1996) y su diseminación se ve restringida por el hecho de que presentan un ciclo de vida largo en su estado de ninfas y son susceptibles a la alteración ecológica (Rojas & Zúñiga, 1995). Lo mismo ocurre con los coleópteros, propios de “corrientes lentas, aguas limpias, concentraciones altas de oxígeno y con tolerancia a valores altos de conductividad y temperatura” (Roldán, 2003) y con los tricópteros, que suelen ser buenos indicadores de aguas oligotróficas (Villa, et al., 2005). En cuanto a los decápodos, se sabe que viven en todo tipo de hábitats, incluidos los hidrotermales y las cuevas (Raso & Ramírez, 2015), ya que su dieta puede adaptarse al consumo de detritos, materia orgánica y organismos en descomposición. Los higrófilos,

en cambio, tienen una diversidad más limitada que los decápodos, ya que son indicadores de aguas duras y alcalinas, y viven en sistemas con altas concentraciones de oxígeno y carbonatos de calcio (Roldán, 1996, 2003). En la mayoría de los géneros no se ha documentado la especificidad por los sistemas kársticos, salvo excepciones como *Mesovelina*, que puede vivir en grietas, sobre rocas y en cavernas (Pacheco, 2010). Pese a que no existen diferencias notorias entre los dos muestreos en cuanto a la abundancia, durante abril se invirtió el patrón de riqueza y el mayor número de especies se encontró en el interior de las cavernas, lo cual se podría relacionar con el cambio en la disponibilidad de recursos según la temporada climática.

En cuanto a los peces, Reis, *et al.* (2016) describen que su diversidad, ecología y morfología están condicionadas por la profundidad del lecho, el tipo sustrato, la velocidad de flujo y por el estado de conservación de la vegetación ribereña, la cual proporciona refugio y heterogeneidad de hábitats a las comunidades ícticas (Sostoa, *et al.*, 2005; Poveda, *et al.*, 2018). Es por esto que La Gruta, con afectaciones más graves en dichos factores, presentó la menor abundancia y biomasa de peces, especialmente porque presenta una importante reducción del caudal y la profundidad en el exterior, condiciones más restrictivas para la movilidad de los peces que para los invertebrados.

A pesar de que la temperatura es considerada como el factor abiótico con mayor relevancia en la biología íctica, los rangos de tolerancia en peces de agua dulce usualmente no se conocen (Martínez, *et al.*, 2016). Aunque suele preferir temperaturas altas, *P. caucana* presenta una notable capacidad de aclimatación (Martínez, *et al.*, 2016) y los valores medidos se encuentran en el intervalo reportado por Gómez, *et al.* (1999), entre 23,6 y 29,2 °C. Además, esta especie se caracteriza por presentar una amplia distribución en fuentes hídricas de baja turbulencia y alto contenido de material vegetal en Colombia (Ortega-Lara, *et al.*, 2002). La presencia de pequeños ejemplares de los órdenes Siluriformes, loricáridos o Astroblápidos se explica porque son propios de ríos de montaña como los que cruzan los karsts. Según Mojica, *et al.* (2012) y Poveda, *et al.* (2018), no hay suficiente investigación sobre este grupo, ni sobre sus respuestas a las modificaciones del entorno; de hecho, solo se conoce que presentan hábitos nocturnos y buscan refugio en la vegetación sumergida y las cavernas en el día (Jiménez, *et al.*, 2014; Dahl, 1971). Sin embargo, en este caso particular no presentó un patrón de distribución preferencial por el interior de las cavernas, corroborando así el comportamiento documentado en el estudio de Mesa & Lasso (2019) en sistemas kársticos de Santander (Colombia), en el cual el orden Siluriformes fue el más representativo entre los peces epigeos.

Otros individuos menos abundantes como los pequeños carácidos fueron moderadamente más abundantes en el interior de la caverna Caracoles. *Bryconamericus caucanus*, por ejemplo, conocida por su gran capacidad de adaptación debido a su dieta generalista, que incluye desde insectos acuáticos (dípteros y coleópteros) y hormigas hasta semillas y material vegetal (Maldonado, *et al.*, 2005), predominó en las corrientes bajas con presencia de material vegetal sumergido (Jiménez, *et al.*, 2014). Esta característica la comparte con el género *Argopleura*, que es tolerante a hábitats con altos niveles de material en suspensión (Ortega-Lara, *et al.*, 2002). Otras especies recolectadas en este estudio, como *Trychomycterus striatus*, se caracterizan primordialmente por ser depredadores y estar en sistemas donde se encuentren insectos, macroinvertebrados (especialmente quironómidos) y arácnidos (Ortega-Lara, *et al.*, 2002; Lasso, *et al.*, 2019). Además, se sabe que el género *Trychomycterus* es característico de ecosistemas cavernícolas e incluye especies tanto troglobias como epigeas (Mesa *et al.*, 2018), mientras que los individuos de *Geophagus steindachneri*, a pesar de que se pueden ubicar en diversos tipos de hábitats, predominan en aquellos sistemas donde el sustrato que domine sea de tierra (Ortega-Lara, *et al.*, 2002). *Synbranchus marmoratus*, por su parte, además de sobrevivir en afluentes con bajos niveles de oxígeno (Graham, *et al.*, 1995), durante su fase juvenil se alimenta de insectos acuáticos y pequeños peces (Maldonado, *et al.*, 2005). Dado que su visión es pobre y caza en la oscuridad, era de esperar que un juvenil como el capturado en el estudio fuera exitoso explotando los recursos que ofrecen las cavernas.

Relación entre los macroinvertebrados, los peces y la variabilidad ambiental

La velocidad de una corriente, además de la temperatura y el oxígeno de un sistema, son determinantes para la presencia y distribución de los macroinvertebrados (Domínguez & Fernández, 2009) y peces (Reis, *et al.*, 2016). Lo cual se corroboró en este estudio, pues la presencia se vio favorecida tanto por las temperaturas relativamente bajas como por las altas concentraciones de oxígeno y de caudales, lo que permite la permanencia de dichas comunidades. No obstante, la varianza debida a las variables ambientales del estudio no explica el comportamiento de la abundancia, la riqueza y la biomasa de estos organismos, lo cual hace suponer que otras variables como el estado de conservación de los bosques y la dinámica y oferta de recursos tróficos pueden ser importantes agentes tensores en las cavernas (Bianucci, *et al.*, 2005), y resultan determinantes en la estructura de las asociaciones presentes en las cavernas del oriente antioqueño. Ello se deduce de que factores como la productividad primaria acuática del medio externo explicarían la mayor abundancia y riqueza de invertebrados, además de la abundancia y biomasa de peces en el exterior, especialmente en corrientes con mejor estado de conservación, en tanto que la cobertura vegetal provee recursos que son transportados por los invertebrados, por la ictiofauna o por la corriente al interior de las cavernas donde proveen de materia orgánica a sus habitantes (Ferreira & Martins, 1999), para luego ser lavados durante las crecientes con la consecuente movilización y disponibilidad de recursos en el sistema (Posada, *et al.*, 2000).

Conclusión

Las especies presentes en las corrientes de los ecosistemas kársticos de San Luis y Sonsón (Antioquia) en el periodo hidrológico de 2016-2017 fueron principalmente macroinvertebrados efemerópteros, coleópteros y tricópteros, así como pequeños peces no hipógeos, como *P. caucana* y, en menor proporción, carácidos y siluriformes. Ninguno de estos organismos con flexibilidad trófica mostró una dependencia particular de las variables fisicoquímicas del agua, pero se encontraron dentro o fuera de la caverna en función del periodo hidrológico. Ello sugiere una relación con la cobertura vegetal y la oferta de recursos de los organismos del interior de las cavernas, como lo evidencia la menor abundancia y particular composición de especies en la caverna La Gruta, caracterizada por el mayor impacto antrópico sobre los bosques. Esta aparente dependencia con la calidad de los bosques, los vertebrados y la vida acuática de las cavernas prevaleció sobre el efecto de la calidad química del agua.

Información suplementaria

Tabla 1S. Registro de la riqueza de especies de macroinvertebrados capturadas en los ecosistemas kársticos de Sonsón y San Luis entre octubre de 2016 y abril de 2017. Vea la tabla 1S en <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1260/2993>

Tabla 2S. Registro de la abundancia de especies de peces capturadas en los ecosistemas kársticos de Sonsón y San Luis entre octubre de 2016 y abril de 2017. Vea la tabla 2S en <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1260/2993>

Agradecimientos

A la Universidad Católica de Oriente (UCO) por la financiación del proyecto, al Grupo en Limnología y Recursos Hídricos de la UCO, especialmente al ingeniero Esteban Peláez Sánchez por su apoyo durante los muestreos, y al Semillero de Ecología Acuática (SEA), liderado por la Dra. Silvia Lucia Villabona González, por su cooperación a lo largo de la investigación.

Contribución de los autores

DMJ: elaboración del resumen y la sección de área de estudio; obtención y análisis del método BMWP/Col adaptado por Roldán, revisión de la forma y ortografía del artículo; KM: tratamiento estadístico de los datos (Anova, discriminantes canónicos, gráfica de

similitud, tablas anexas) en los diferentes programas; toma de las muestras en campo, separación e identificación de macroinvertebrados y peces, búsqueda de información para la sustentación de la investigación, y elaboración del artículo; MIR: propuesta de los objetivos de la investigación, planteamiento de la metodología; identificación de la ictiofauna recolectada; participación en los análisis de datos, y el establecimiento de los lineamientos para la estructuración, corrección y mejora del artículo.

Conflicto de intereses

Ninguno que declarar

Referencias

- Abril, A. & Medrano, M.** (2010). Análisis limnológico de ecosistemas acuáticos del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. Análisis comparativo de los cuerpos de agua del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos (Acevedo, Huila). Repositorio Universidad Nacional de Colombia, 9 - 18. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7541/INFORME_FINAL_CAMPO_CONTINENTAL_PNN_CUEVA_DE_LOS_GUACHAROS_II-2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Álvarez, L.** (2005). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C, Colombia. 263 p.
- Álvarez, L. F. & Roldán, G. A.** (1982). Estudio del orden Hemiptera (Heteroptera) en el departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actualidades Biológicas*. **12**: 35-48.
- American Public Health Association, American Water Works, Water Environment Federation - APHA, AWWA, WEF.** (2016). Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association. Washington, DC., USA: 541 p.
- Arango, M. C. & Roldán, G. A.** (1983). Odonatos inmaduros del departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actualidades Biológicas*. **12**: 91-105.
- Aristizábal, H.** (2002). Los hemípteros de la película superficial del agua en Colombia. Parte 1. Familia Gerridae. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras. Bogotá, D.C., Colombia: 216 p.
- Aristizábal-García, H.** (2016). Hemípteros acuáticos y semiacuáticos del Neotrópico. Gente Nueva. Bogotá, D. C., Colombia: 984 p.
- Bedoya I. & Roldán, G. A.** (1984). Estudio de los dípteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales en el departamento de Antioquia. *Revista Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. **2**: 113-134.
- Bianucci, S. P., Ruperto, A. R., Depettris, C. A., Clemente, M. T.** (2005). Aplicación de indicadores de impacto ambiental al estudio de calidad de aguas continentales: caso de la laguna Los Lirios, Resistencia, Argentina. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. **10**: 1-4. www.unne.edu.ar
- Boluda, N.** (2000). Efecto de vertederos municipales en la calidad de las aguas subterráneas del valle central de Costa Rica. *Información Tecnológica*, Repositorio Universidad de Alicante. **11**: 1-10. https://www.researchgate.net/publication/322580915_EFECTO_DE_VERTEDEROS_MUNICIPALES_EN_LA_CALIDAD_DE_LAS_AGUAS_SUBTERRANEAS_DEL_VALLE_CENTRAL_DE_COSTA_RICA
- Correa, M., Machado, T., Roldán, G. A.** (1981). Taxonomía y ecología del orden Trichoptera en el departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actualidades Biológicas*. **10**: 35-48.
- Craig, A. L., Allgeier, J. E., Yeager, L. A., Stoner, E. W.** (2012) Thresholds of Ecosystem Response to Nutrient Enrichment from Fish Aggregations. *Ecology*. En: University of Georgia. (2012, December 11). Fish have enormous nutrient impacts on marine ecosystems, study finds. *ScienceDaily*. www.sciencedaily.com/releases/2012/12/121211163545.htm.
- Creuzédes, M., Juget, J., Lafont, M., Martin, P.** (2009). Subterranean aquatic Oligochaeta. *Freshwater Biology*. **54**: 678-690.
- Dahl, G.** (1971). Los Peces del Norte de Colombia. INDERENA - Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente. Bogotá, D.C., Colombia: 391 p.
- Decu, V.** (1986). Some considerations on the bat guano synusia. *Travaux de L'Institut de Spéologie "Emile Racovitza"*. **25**: 41 - 52.

- Domínguez, E. & Fernández, H.** (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Primera Edición. Sistemática y Biología, Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina. 656 p.
- Domínguez, E., Hubbard, M. D., Pescador, M. L.** (1994). Los Ephemeroptera en Argentina. Fauna dulce de la República Argentina. **33**: 1-142.
- Domínguez, E., Molineri, C., Pescador, M., Hubbard, M., Nieto, C.** (2006). Ephemeroptera of South America, Aquatic Biodiversity of Latin America. En: Adis, J., Arias, JR., Rueda-Delgado, G., Wantzen, KM., editors. Aquatic Biodiversity of Latin America. Volume 2, Pensoft, Sofia-Moscow. 640 p.
- Erikson, F.H. & Nosanchuk, T. A.** (1977). Understanding Data. McGraw Hill. Toronto, Canadá. 376 p.
- Eslava, J., Bahamón, S., Romero, M.** (2000). Clasificación climática de los karst. Meteorología Colombiana. **2**: 67-72. <https://docplayer.es/33672011-Clasificacion-climatica-de-los-karst.html>
- Ferreira, R. L. & Martins, R. P.** (1999). Tropic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves. Tropical Zoology. **12**: 231-252.
- Flórez, C., Estupiñán-Suárez, L. M., Rojas, S., Aponte, M., Quiñones, M., Acevedo, O., Jaramillo, U.** (2016). Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia. Biota Colombiana. **17**: 44-62.
- Florián, A.** (2008). Caracterización de la cantera para propagación de señales RF. Capítulo IV. Teoría de Diseño de Experimentos. Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica. Escuela de Ingeniería y Ciencias. Universidad de las Américas. Cholula-Puebla, México. 53-62. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/florian_m_a/capitulo4.pdf
- Graham, J., Lai, N., Chiller, D., Roberts, J.** (1995). The transition to air breathing in fishes. V. Comparative aspects of cardiorespiratory regulation in *Synbranchus marmoratus* and *Monopterus albus* (Synbranchidae). Journal of Experimental Biology. **198**: 1455-1467.
- Harris, J. A.** (1970). Bat – Guano cave environment. Science. **169**: 1342-1343.
- Heckman, C. W.** (2011). Encyclopedia of South American aquatic insects: Hemiptera - Heteroptera. Illustrated keys to known families, genera, and species in South America. Springer. New York, Estados Unidos: 329 p.
- Hunter, C., Hardwick, P., Perkins, J., Tranter, J.** (2000). Fecal bacteria in the waters of an upland area in Derbyshire, England: the influence of agricultural land use. Journal Environmental Quality. **29**: 1253-1261.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).** (1998). Conservación de los ecosistemas subterráneos en Colombia. Biosíntesis. **10**: 1-4. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/32627/biosintesis_10.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jiménez, L. F., Álvarez, L. E., Ochoa, A., Loaiza, J. P., Londoño, D., Restrepo, K., Aguirre, A., Hernández, J. D., Correa, J., Jaramillo, U.** (2014). Guía ilustrada de peces Cañón del Río Porce, Antioquia. EPM, Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia: 110 p.
- Ladrera, R., Rieradevall, M., Prat, N.** (2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. Revista de Didáctica. **11**: 1-18. http://www.ehu.es/ikastorratza/11_alea/macro.pdf.
- Lasso, C.A., Barriga, J.C., Fernández-Auderset, J.** (Eds). (2019). Volumen VII. Biodiversidad subterránea y epigea de los sistemas cársticos de El Peñón (Andes), Santander, Colombia. Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 476 p.
- Machado, T. & Rincón, J.** (1989). Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Biología. Medellín, Colombia: 324 p.
- Maldonado, J. A., Ortega, A., Usma, J. S., Galvis, G., Villa, F. A., Vásquez, L., Prada, S., Ardila, C., Calle, J. C.** (2005). Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia: 346 p. http://awsassets.panda.org/downloads/peces_de_los_andes_de_colombia.pdf
- Manzo, V.** (2005). Key to the South America genera of Elmidae (Insecta: Coleoptera with Distributional Data. Studies on Neotropical Fauna and Environment. **40**: 201-208.
- Martínez, J. D., Cadena, C. D., Torres, M.** (2016). Critical thermal limits of *Poecilia caucana* (Steindachner, 1880) (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). Neotropical Ichthyology. **14**: 1-15. https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-62252016000100210

- Mesa, L., Lasso, C. A., Ochoa, L., DoNascimento, C.** (2018). *Trichomycterus rosablanca* (Siluriformes, Trichomycteridae) a new species of hipogean catfish from the Colombia Andes. *Biota Colombiana*. **19**: 95-116.
- Mesa, L. & Lasso, C. A.** (2019). Peces epigeos de El Peñón de y áreas adyacentes (Andes), Santander, Colombia, Colombia. Pp. 401-418. En: Lasso, C. A., Barriga, J. C., Fernández-Auderset (Eds). (2019). VII. Biodiversidad subterránea y epigea de los sistemas cársticos de El Peñón (Andes), Santander, Colombia. Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 476 p.
- Mojica, J., Usma, J. S., Álvarez, R., Lasso, C.** (2012). Libro Rojo de Especies Dulceacuáticas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, Fondo Mundial para la Naturaleza-WWF Colombia y Universidad de Manizales. Bogotá, D.C., Colombia: 319 p.
- Moreno, C.E., Barragán, F., Pineda, E. Pavón, N.P.** (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **82**: 1249-1261.
- Naranjo, C., Muñoz, S., Moreira, F. F., Curt, R. C.** (2010). Taxonomy and distribution of aquatic and semiaquatic Heteroptera (Insecta) from Cuba. *Biología Tropical*. **58**: 897-907.
- Organización Mundial de la Salud-OMS.** (2006). Guías para la Calidad del Agua Potable. Primer Apéndice a la tercera Edición. Biblioteca de la OMS. Gineve, Suiza: 408 p.
- Ortega-Lara, A., Usma, S., Bonilla, P., Santos, N.** (2002). Peces de la Cuenca Alta del Río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*. **7**: 39-54.
- Pacheco, B.** (2010). Guía Ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del orden Hemiptera en El Salvador. Editorial Universitaria de la Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador: 49 p. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9093/1/GUIA%20HEMIPTERA%20ACUATICOS%20EL%20SALVADOR%20%284.1MB%29.pdf>
- Peck, S. B., Ruíz-Baliú, A. E., Garcés-González, G. F.** (1998). The cave-inhabiting beetles of Cuba (Insecta: Coleoptera): Diversity, distribution and ecology. *Journal of Cave and Karst Studies*. **60**: 156-166.
- Posada, J. A., Roldán, G. A., Ramírez, J. J.** (2000). Caracterización físico-química y biológica de la calidad de las aguas de la cuenca de la Quebrada Piedras Blancas. *Revista de Biología Tropical*. **48**: 59 -70.
- Poveda, J. L., López, E. O., Villa, F. A.** (2018). Efecto de la cobertura vegetal de ribera en las comunidades ícticas del bosque húmedo premontano y muy húmedo premontano del Alto Magdalena, Colombia. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. **42**: 216-226.
- Posada, J. A. & Roldán, G. A.** (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el noroccidente de Colombia. *Caldasia*. **25**: 169-192. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39407/41298>
- Pussey, B. & Arthington, A.H.** (2003). Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. *Marine and Freshwater Research*. **54**: 1-16.
- Raso, J. E. & Ramírez, Á. M.** (2015). Orden Decapoda. *Revista Ibero Diversidad Entomológica Accesible IDE@*. **80**: 1-17. http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_80.pdf
- Reis, R. E., Albert, J. S., Di Darios, F., Mincarone, M. M., Petry, P., Rocha, L. A.** (2016). Fish biodiversity and conservation in South America. *Fish Biology*. **89**: 12 - 47.
- Resende, L. P., Zepon, T., Paula, C. C., Selegim, M. H., Bichuette, M. E.** (2015). Inventario preliminar de comunidade aquática microbiana e de macroinvertebrados em cavernas de Presidente Olegários, Minas Gerais. Pp. 109-116. En: Rasteiro, M. A., Sallun - Filho, W (Orgs). Congreso Brasileiro De Espeleología.
- Rojas, A.M. & Zúñiga, M. del C.** (1995). Contribución al conocimiento del orden Plecoptera en Colombia y su relación con la calidad del agua. Pp 101-119. En: Memorias Seminario de Invertebrados Acuáticos y su Utilización en Estudios Ambientales. Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad de Colombia (Eds). Santafé de Bogotá, Colombia.
- Roldán, G. A.** (1996). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Editorial Santa Fe de Bogotá: FEN Colombia. Bogotá, D.C., Colombia: 359 p.
- Roldán, G. A.** (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia: 170 p.
- Roldán, G. A.** (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y en Latinoamérica. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. **40**: 254-274.

- Roldán, G. A. & Ramírez, J. J.** (2008). Fundamentos de Limnología Neotropical. 2da. Ed. Editorial Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales. Medellín, Colombia: 440 p.
- Salavert, V., Zamora-Muñoz, C., Tinaut, A.** (2011). Distribución de tricópteros troglófilos (Trichoptera, Limnephilidae) en cuevas andaluzas (Andalucía, España). Boletín Asociación Española de Entomología. **35**: 325-344.
- Sostoa, A., García, D. García, E.** (2005). Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España: 235 p.
- Spangler, P. J. & Bar, C. B.** (1995). A new genus and species of stygobiontic dytiscid beetle, *Comaldessus stygius* (Coleoptera: Dytiscidae: Bidessini) from Comal Springs, Texas. Insecta Mundi. **9**: 301-308.
- Spangler, P. J. & Santiago-Fragoso, S.** (1992). The Aquatic Beetle Subfamily Larainae (Coleoptera: Elmidae) in México, Central America, and the West Indies. Smithsonian Institution Contribution to Zoology. **528**: 1-74.
- Taylor, E. & Lopes, R.** (2012). Determinants on the structure of an aquatic invertebrate community in a Neotropical limestone cave. Revista Brasileira de Espeleologia. **2**: 1-12.
- Vides-Navarro, F., Montes-Calderón, A., Fernández-Cuello, G., Rojas-Martínez, E.** (2015). Caracterización espeleológica e inventario biológico de la caverna del Diablo en el municipio de Becerril, Departamento del Cesar, Colombia. Respuestas. **20**: 93-104.
- Villa, F. A., Reynoso, G., Losada, S., Bernard, M. H., Esquivel, H. E., García, J. E., Vejarano, M. A.** (2005). Biodiversidad faunística y florística de la cuenca del río Prado- Diversidad regional Fase II. Informe técnico. Cortolima-Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. 1308 p.