

Heterogeneidad espacial y oferta de hábitats en tres ecosistemas lóticos de la Serranía de La Lindosa, Amazonía colombiana

Spatial heterogeneity and habitat supply in three lotic ecosystems of Serranía de La Lindosa, Colombian Amazonia

Briceño Vanegas, Guillermo; Gallego Herrera, Julie Carolina

 **Guillermo Briceño Vanegas**
gbriceñov@unisalle.edu.co
Universidad de La Salle, Colombia

 **Julie Carolina Gallego Herrera**
jcgallegh@unal.edu.co
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Geográfica Digital
Universidad Nacional del Nordeste, Argentina
ISSN-e: 1668-5180
Periodicidad: Semestral
vol. 20, núm. 39, 2023
revista.geografica.digital@gmail.com

Recepción: 29 Marzo 2023
Aprobación: 13 Junio 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/615/6154021003/>

DOI: <https://doi.org/10.30972/geo.20396615>

Resumen: Entre los años 2019 y 2020 se realizó un estudio de la heterogeneidad espacial y de la oferta de hábitats en los caños El Retiro, La María y Aguabonita, tres ecosistemas lóticos que nacen y transcurren dentro del área protegida *Reserva Forestal Protectora Serranía de La Lindosa-Angosturas II* en la Amazonía colombiana. La heterogeneidad espacial de cada caño se representó en modelos tridimensionales por medio del programa SURFER con base en datos de geomorfología, fisiografía y batimetría, recogidos en seis puntos de muestreo en campo que abarcaban tanto las cabeceras como los cursos bajos de los tres caños. En estos puntos también se determinó la oferta de hábitats por medio de mediciones de caudal y velocidad de la corriente con ayuda de un micro molinete HYQUEST OSSB1, así mismo se hicieron observaciones en torno a la presencia o ausencia de macrófitas y restos maderables y se midieron las variables fisicoquímicas correspondientes a temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto y nutrientes por medio de un multiparámetro HQ40 y de un laboratorio portátil AQUAMERK.

La heterogeneidad comparada entre puntos de muestreo calculada mediante el índice de Shannon-Wiener, permitió concluir que los tres caños son altamente heterogéneos ya que su estructura espacial responde más a un modelo de *ordenamiento en parches* que a uno de *continuum* o de *discontinuidades seriales*. Los tres caños experimentan cambios pronunciados en su fisiografía a medida que avanzan entre sus cabeceras y sus zonas de desembocadura, esto se debe a que al principio transcurren por los escarpes del complejo rocoso de la serranía y posteriormente bajan al plano inundable del río Guaviare donde los sustratos son de tipo sedimentario. Los caños El Retiro y Aguabonita guardan una gran similitud entre sí ya que ambos van perdiendo heterogeneidad hacia su curso bajo mientras que El caño La María mantiene la mayor heterogeneidad espacial debido a que muestra una alta variabilidad de hábitats en todo su recorrido. Los impactos antrópicos que afectan en mayor grado la heterogeneidad espacial y la oferta de hábitats se presentan sobre todo en el curso bajo del caño Aguabonita en cuyas márgenes se han deforestado grandes áreas de bosque de galería con el propósito de habilitar infraestructura de predios dedicados a actividades agrícolas y ganaderas.

Palabras clave: Heterogeneidad espacial, oferta de hábitats, caños, litobioma, helobioma.

Abstract: Between 2019 and 2020 we carried out a study of the spatial heterogeneity and the habitat supply in El Retiro, La María and Aguabonita streams, three lotic ecosystems that originate and flow within the *Reserva Forestal Protectora Serranía de La Lindosa-Angosturas II*, a protected area located in Colombian Amazon. The spatial heterogeneity of each stream was represented in three-dimensional models using SURFER software based on geomorphology, physiography and bathymetry data collected at six field sampling points covering both the headwaters and lower reaches of the three streams. At these points, habitat supply was also determined by measuring flow and current velocity with the aid of a HYQUEST OSSB1 micro windlass. Observations were also made on the presence or absence of macrophytes and woody debris, and physicochemical variables were measured for temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen and nutrients using an HQ40 multiparameter and an AQUAMERK portable laboratory.

The comparative heterogeneity between sampling points calculated using the Shannon-Wiener index allowed us to conclude that the three streams are highly heterogeneous since their spatial structure responds more to a model of *patch dynamics* arrangement than to a *continuum* model or *serial discontinuities* model. The three streams experience pronounced changes in their physiography as they advance from their headwaters to their mouth zones, because they initially flow through the escarpments of the rocky complex of the highlands and later descend to the Guaviare River floodplain, where the substrates are sedimentary. El Retiro and Aguabonita streams are very similar to each other because they lose heterogeneity towards their lower course, while the La María stream has the greatest spatial heterogeneity because it shows a high variability of habitats along its entire course. The anthropic impacts that most affect spatial heterogeneity and habitat supply are found in the lower course of the Aguabonita stream, where large areas of gallery forest have been deforested to create infrastructure for agricultural and cattle ranching activities.

Keywords: Spatial heterogeneity, Habitat supply, “caños”, litobioma, helobioma.

1. Introducción

La Serranía de La Lindosa es una elevación que emerge en medio de las llanuras del corredor biogeográfico de transición Orinocense-Amazónico, en el Departamento del Guaviare. Junto con el resto de afloramientos rocosos del oriente colombiano, forma parte de los terrenos más antiguos del llamado Escudo Guayanés, motivo por el cual guarda unas características geológicas singulares que la diferencian estructuralmente de las sabanas y selvas que la circundan. Por una parte, la composición mineralógica de la serranía contiene un enclave compuesto por sienita nefelínica, un tipo de roca plutónica de distribución geográfica muy limitada, compuesta por nefelina y feldespatos alcalinos, que forma un sustrato muy diferente en textura y composición al de las tierras planas adyacentes. Por

otro lado, la estructura geomorfológica de la serranía constituye en sí misma un litobioma o zona de vida de origen rocoso que conjuga una extensa variedad de ecosistemas terrestres y acuáticos altamente heterogéneos.

Debido a las particularidades ya descritas, los ecosistemas presentes en el interior de la serranía conforman un complejo mosaico en el que convive una gran biodiversidad de especies de flora y fauna, gracias a lo cual la serranía ha sido catalogada como un área protegida de la Amazonía colombiana bajo la declaratoria de Reserva Forestal Protectora Serranía de La Lindosa, Angosturas II. Dentro de los linderos de la serranía transcurren tres ecosistemas lóticos de mediano porte: los caños El Retiro, La María y Aguabonita, que nacen en las cotas superiores del litobioma y luego descienden hacia el norte y terminan por tributar directamente a las aguas del río Guaviare o a los cuerpos acuáticos de transición localizados en su plano inundable.

La conformación estructural de los caños El Retiro, La María y Aguabonita, difiere entre sí con respecto a su geomorfología, su fisiografía y su heterogeneidad espacial. Más aún, cada uno de estos caños exhibe diferencias de ordenamiento espacial que surgen al comparar la parte alta de sus cursos con los tramos bajos una vez se encuentran con el plano inundable del río Guaviare. El objetivo de este trabajo consistió en desarrollar la modelación de la heterogeneidad espacial de los tres caños principales de la Serranía de La Lindosa entre su curso alto y su desembocadura, con el propósito de establecer si las corrientes corresponden a un modelo de continuum (Vannote et al., 1980), de parches en mosaico (Pickett & White, 1985) o de discontinuidades seriales (Ward & Stanford, 1983)

2. Marco teórico

2.1 Heterogeneidad espacial

La heterogeneidad espacial se entiende como el grado de contraste estructural o temporal que existe entre unidades espaciales contiguas al interior de un ecosistema integrado. En este caso un río o 'caño', como se suele denominar a un ecosistema lótico de poco caudal, puede contener diferencias internas en los que respecta a los microambientes o hábitats que alberga. Cuando el contraste de forma, profundidad, velocidad de la corriente o sustrato entre estos microambientes es alto, el ecosistema acuático se considera altamente heterogéneo, característica que resulta en una gran diversidad de especies acuáticas presentes a lo largo de su curso. Esto ocurre porque el grado de heterogeneidad espacial en el ambiente acuático es directamente proporcional a la oferta de hábitats que pueden ser ocupados con distinto nivel de especialización por parte de las especies acuáticas. En términos ecológicos, cuanto más amplia la oferta de hábitats (conocida como diversidad β) se encontrará una mayor cantidad de especies adaptadas a estos hábitats (diversidad α). Esta característica explica por qué muchos ríos de menor calibre pueden llegar a albergar mayor riqueza de especies de peces de la que se puede encontrar en grandes ríos.

2.2 Modelos de ordenamiento espacial

Los modelos de ordenamiento espacial son premisas teóricas que intentan discernir la estructura y el funcionamiento de algún tipo de ecosistema. Para el caso de los ríos, los investigadores han venido desarrollando en las últimas décadas varios modelos que pretenden explicar el grado de heterogeneidad espacial y el funcionamiento ecológico de los sistemas lóticos, y, de esta manera establecer las mejores estrategias para su manejo y conservación.

Entre los modelos más utilizados se destacan tres: el modelo de continuum, el modelo de ordenamiento en parches y el modelo de discontinuidades seriales. El modelo de continuum, propuesto por primera vez por Vannote et al. (1980), asume que los sistemas lóticos van incrementando gradualmente el caudal, la anchura y la profundidad a medida que van avanzando en su recorrido; esta dinámica genera un patrón regional en el que los ríos van incrementando la diversidad de comunidades biológicas a medida que avanzan hacia su curso bajo. El modelo de dinámica de parches, desarrollado en 1985 por Pickett & White, establece que algunos ríos presentan una estructura espacial discreta con una ordenación abrupta de espacios discontinuos que forman parches con diferentes profundidades, áreas o sustratos, y esto rompe el presupuesto de que la diversidad ecológica en estos ríos se incrementa hacia su desembocadura. Finalmente, el modelo de discontinuidades seriales, referenciado por Ward y Stanford (1983) establece que varios ríos exhiben una sucesión de tramos que responden al modelo continuo, pero interrumpidos por accidentes espaciales que de tanto en tanto cortan la secuencia. Debido a que cada modelo se correlaciona directamente con un tipo particular de oferta de hábitats, la heterogeneidad espacial es una variable que termina relacionándose con el tipo de composición y el grado de diversidad de la ictiofauna regional, aspecto que será abordado en un artículo posterior.

3. Materiales y métodos

3.1 Área de Estudio

La Serranía de La Lindosa es un afloramiento rocoso que se localiza en Colombia en plena franja de transición entre las sabanas de la Orinoquía y las selvas de la Amazonía, bajo un clima predominantemente cálido húmedo que registra una temperatura promedio de 26 °C y una precipitación anual de 2500 mm, con un periodo de máximas lluvias entre abril y noviembre. El afloramiento rocoso constituye un litobioma que abarca unas 28000 hectáreas de terreno donde se combina una topografía escarpada con amplias zonas de lomeríos que sustentan diversos tipos de cobertura vegetal como herbazales, bosques densos inundables, bosques de galería y vegetación secundaria. Por la influencia de los procesos de colonización, que datan de unas seis décadas, gran parte de las coberturas naturales representadas en selva húmeda tropical densa han sido transformadas en virtud de la introducción de usos del suelo para la extracción del caucho, la siembra de productos agrícolas y de cultivos ilícitos y la expansión de pastizales para ganadería.

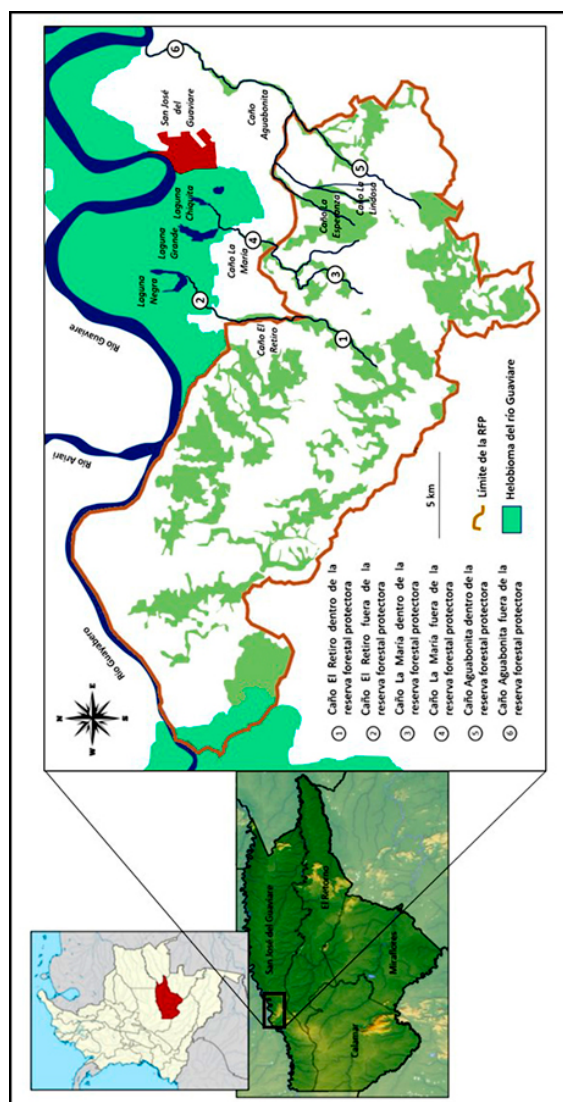


Figura 1.
Área de estudio.

La Serranía de La Lindosa es un afloramiento rocoso que se localiza en inmediaciones del municipio de San José del Guaviare a 10 km del casco urbano. Actualmente se reconoce como un área protegida del tipo Reserva Forestal Protectora RFP cuya delimitación se ve demarcada en la figura. Los caños El Retiro, La María y Aguabonita nacen en las estribaciones de la serranía y luego transcurren hacia el norte a medida que descienden hacia el plano inundable del río Guaviare. Los círculos numerados simbolizan los puntos en donde fueron estudiados los caños y corresponden a los tramos de su recorrido que se sitúan tanto dentro como fuera de la reserva. Fuente: Elaboración propia con base en visor cartográfico Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Desde su cota más alta, que alcanza los 420 metros de altitud (200 metros sobre las llanuras circundantes) la serranía desprende la escorrentía de varias fuentes hídricas cuyos cauces bajan por los surcos y planos rocosos hasta encontrar el plano inundable o helobioma del río Guaviare, en donde los suelos, en contraste con los de las cotas serranas, están compactados a partir de sedimentos fluviales.

Los ecosistemas terrestres predominantes en los escarpes de la serranía corresponden a herbazales con plantas robustas en ausencia de árboles por la escasa acumulación en el horizonte orgánico de los suelos; allí predominan especies como *Vellozia tubiflora* y *Diacidia parviflora*. En cambio, en las cañadas, donde el suelo ha logrado acumular un horizonte orgánico profundo ya suelen crecer arbustales y bosques densos de *Arecáceas* y *Mimosáceas* como *Phenakospermum guyanense* y *Syagrus orinocensis* (López-Camacho et al.,

2006). En cuanto a la diversidad florística se ha reportado un censo de 539 especies (López-Camacho et al., 2006) y otro en el que se reportan 32 especies arbóreas, 93 arbustivas, 162 herbáceas y 4 de palmas, además de innumerables adaptaciones del tipo bejucos y epífitas (Cárdenas-López et al., 2008). Es necesario aclarar que parte de las coberturas naturales de la serranía han sido removidas o intervenidas directamente durante el proceso de asentamiento sucesivo de colonos provenientes, en su mayoría, del interior del país.

En cuanto a ecosistemas acuáticos, los caños El Retiro, La María y Aguabonita, nacen en las estribaciones de la serranía y transcurren de manera más o menos paralela hacia el fondo del helobioma del río Guaviare, en donde se encuentran tres sistemas lénticos principales como son Laguna Negra, Laguna Grande y Laguna Chiquita (Figura 1). El caño El Retiro tiene una longitud aproximada de 18 km y desemboca en Laguna Negra, el caño La María cubre unos 13 km de recorrido y desemboca en el humedal de Laguna Chiquita, por último, el caño Aguabonita recorre unos 24 km desde su nacimiento en el escarpe rocoso de la serranía y antes de desembocar directamente en el río Guaviare recibe en su curso medio a los caños La Esperanza y La Lindosa como principales tributarios. Los tres caños cursan por entre disecciones de la roca madre alternando tramos desnudos, ya sea por causas naturales o antrópicas, con otros tramos donde los cauces se ven arropados por bosque de galería denso cuya composición y diversidad florísticas no han sido estudiadas de momento.

4. Metodología

4.1 Fase preliminar

Para emprender el análisis de heterogeneidad espacial y oferta de hábitats en los tres caños, se acopió inicialmente todo el material cartográfico y documental con respecto al área de estudio, se recurrió a análisis de imágenes LANDSAT de consulta libre por medio del Geovisor MAPBIOMAS de Brasil. Con base en el análisis de mapas e imágenes se establecieron 6 puntos de muestreo sobre los tres caños objeto de estudio de tal manera que se pudiesen abarcar tanto los tramos que transcurren dentro de la Reserva Forestal Protectora como fuera de ella (Figura 1). De esta manera se localizó el punto 1 en el curso alto del caño El Retiro dentro del área protegida, el punto 2 en su curso bajo fuera de la reserva y cerca de su desembocadura en la Laguna Negra, el punto 3 en el curso alto del caño La María dentro de la RFP, el punto 4 sobre el curso bajo del mismo en el helobioma del Guaviare, el punto 5 en el curso del caño Aguabonita sobre los escarpes rocosos de la serranía, y el punto 6 sobre su curso bajo en inmediaciones a la desembocadura en el río Guaviare.

4.2 Fase de campo

Entre julio de 2019 y marzo de 2020 se realizaron 3 salidas de campo para modelar la heterogeneidad espacial y la oferta de hábitats en cada caño con registros fisiográficos, batimétricos hidrológicos y fisicoquímicos en cada punto muestral. Los datos recogidos en periodos lluviosos y secos fueron agrupados

y depurados para poder identificar el tipo de modelo de ecosistema lótico que correspondía a cada uno de los caños. La fisiografía y la batimetría se modelaron en cada tramo de los caños levantando una rejilla de puntos en transectos de 100 metros de largo dentro de los cuales se midieron las profundidades cada 50 cm con ayuda de limnímetros y la granulometría del sustrato por medio de tamices siguiendo una modificación de la metodología propuesta por Lisenby et al. (2016); adicionalmente, a lo largo de los transectos se midió la anchura del lecho, la altura de los bordes, la presencia de playones o barrancos. La oferta de hábitats se estableció por medio de censo de categorías combinadas de profundidad, velocidad de corriente, sustrato y vegetación marginal, lo que condujo a la identificación de los tipos de ambiente encontrados en cada tramo estudiado de las corrientes según la metodología de Gorman y Karr (1978). Finalmente, los registros de hidrología se llevaron a cabo calculando el caudal con ayuda de un molinete HYQUEST OSSB1 y los datos fisicoquímicos de calidad del agua correspondieron a la medición de temperatura ($T^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), pH, nitratos (NO_3), nitritos (NO_2), amonio (NH_4) y fosfatos (PO_4) por medio de una sonda multiparámetros HQ40 y de un laboratorio portátil AQUAMERCK.

4.3 Fase de procesamiento

Para expresar la heterogeneidad espacial en cada tramo de los caños se levantaron modelos fisiográficos tridimensionales con ayuda del programa SURFER 15, y se calculó la diversidad de hábitats por medio del índice de Shannon-Wiener ($H' = -\sum p_i \ln p_i$) en donde p es la proporción de la población de una categoría cualquiera de ambientes teniendo como referencia la variabilidad en la información de profundidad, velocidad de la corriente y tipo de sustrato. La oferta de hábitats se describió de acuerdo con las características físicas de cada ambiente y se expresó como la composición porcentual de los diversos hábitats encontrados en cada tramo y caño. Finalmente, se procesó la heterogeneidad espacial total comparada entre todas las muestras mediante un análisis de agrupación con base en el índice de similaridad de Bray-Curtis.

5. Resultados

5.1 Heterogeneidad espacial

Si bien los tres caños estudiados mostraron tener una alta heterogeneidad espacial la estructura fisiográfica de cada uno presenta atributos particulares que responden a las características geomorfológicas del terreno y del sustrato por el que van transcurriendo. El caño El Retiro en su curso alto corre por encima del bloque de roca compacta del litobioma, avanza por las grietas que forman las lajas y se diversifica en múltiples brazos y brazuelos que contrastan tanto en velocidad de corriente como en profundidad (punto muestral 1 en la Figura 2). El ancho sumado de los brazos forma un cauce que se expande de 11 a 26 metros sobre la plataforma rocosa relativamente plana, la vegetación marginal, por momentos distante del cuerpo acuático, alterna matorrales y

arbustales densos en buen estado de conservación con pastizales y herbazales de borde anclados finamente sobre los bordes rocosos. Ya dentro del cauce, el cuerpo acuático alterna chorros de corriente de apenas unos pocos centímetros de profundidad con pocetas de agua estancada en donde la profundidad puede alcanzar 1,3 metros. En algunas zonas se presentan saltos de altura que varía desde unos pocos centímetros hasta casi un metro, lo que genera patrones de flujo turbulentos con cascadas que se interconectan por medio de regadales en donde el agua forma una delgada película sobre el sustrato. Este tramo del caño es de aguas transparentes por la dureza del sustrato mayormente rocoso, aunque ante eventos de aguaceros repentinos puede llegar a enturbiarse considerablemente por el arrastre de material pedregoso fragmentado de la roca y por el arribazón de residuos vegetales.

Luego de que el caño El Retiro abandona la serranía y se adentra en un terreno más plano próximo a desembocar en la Laguna Negra, la diversificación de la corriente da paso a un cauce unificado y a un curso más angosto de hasta unos 8 metros de ancho cuyas márgenes se ven bien definidas por un bosque denso de galería que puede llegar a inundarse parcialmente durante las lluvias (punto muestral 2 en la Figura 2). El flujo turbulento es sustituido por un frente más o menos uniforme de flujo laminar, que, aunque puede presentar pozos de hasta 1.5 metros de profundidad, reduce fuertemente estos contrastes con respecto al tramo de la cabecera. A diferencia del aspecto que el caño mostraba en las alturas rocosas de la sierra, aquí el sustrato predominante es de canto rodado y piedra, con algunas zonas de textura arcillosa por el lavado periódico que los suelos sedimentarios del helobioma aportan al curso de agua cada vez que hay lluvias y crecientes. A diferencia de la cabecera, donde la amplitud del lecho a veces no permite el contacto directo de la vegetación ribereña con el agua, en el curso bajo las márgenes con vegetación sí se encuentran en interfase permanente con el cuerpo acuático; por este motivo, el continuo aporte de material vegetal acelera los procesos de descomposición orgánica lo que le da al agua un aspecto mucho más oscuro que en la cabecera permitiendo tipificar este tramo como de ‘aguas negras’ según la clasificación de (Sioli, 1975).

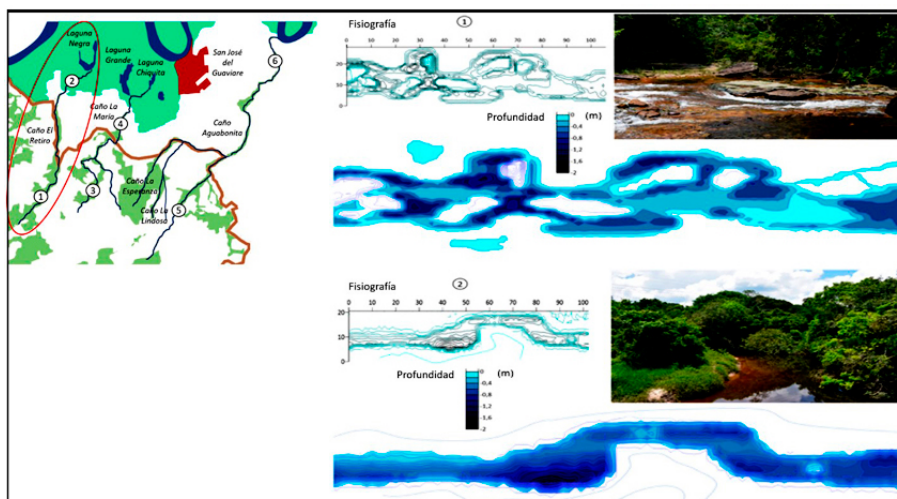


Figura 2.

Modelo de Heterogeneidad espacial del caño El Retiro.

Las gráficas tridimensionales levantadas en SURFER permiten describir la comparación entre las características fisiográficas y batimétricas de los tramos alto (punto muestral 1) y bajo (punto muestral 2), localizados dentro y fuera del área protegida Serranía de La Lindosa – Angosturas II.

Fuente: Elaboración propia.

El caño La María nace a la altura media de la serranía y desciende por una de las cañadas que desembocan al plano inundable del río Guaviare. En su curso alto el cauce sigue los contornos de algunas terrazas planas de diferente anchura por lo cual el cuerpo acuático posee una fuerte heterogeneidad lateral con tramos que forman piletas más o menos circulares de unos 10 metros de diámetro que se expanden a partir de un canal principal de 6 metros de anchura promedio (punto muestral 3 en la Figura 3). Las piletas son de aguas transparentes, suelen estar remansadas, se conforman de sustratos arenosos y se amoldan en extensión y profundidad según la conformación fisiográfica de los bordes del caño; allí las cotas de profundidad no son de cambio pronunciado, sino que, por el contrario, cambian de manera suave formando fondos someros que no sobrepasan los 80 centímetros de profundidad. La vegetación marginal está conformada por matorrales y en algunas zonas intervenidas por pastizales, sin embargo, hay tramos bordeados por bosque de galería denso en el que los árboles superan los 12 metros de envergadura algunos de los cuales han caído sobre el curso del caño conformando puentes naturales y restos de madera semisumergidos. Es importante anotar que aguas abajo de este tramo, el caño es intervenido con un represamiento artificial para abastecer de agua al casco urbano de la ciudad de San José del Guaviare.

En su tramo final, el caño La María cambia su sustrato de manera ostensible. En primer lugar, los fondos arenosos son sustituidos por pequeños bloques de roca fragmentada con formas geométricas cúbicas o rectangulares y no con la forma comúnmente redondeada que suelen presentar los cantos rodados. Al adentrarse en el plano inundable del helobioma, el caño forma un canal de aguas claras, más o menos uniforme, sin piletas marginales, con una anchura de 6 metros en promedio, que reduce su heterogeneidad lateral y se asocia a los pantanos marginales del río Guaviare durante las máximas lluvias. La vegetación está conformada por bosques inundables y arbustales cerrados y densos que

se extienden por varios kilómetros a cada lado del caño, antes de que este desemboque en las lagunas del helobioma. El flujo del canal es más o menos uniforme y laminar, el sustrato del fondo presenta un micro relieve bastante quebrado, aunque, con excepción de algunas pocetas que llegan a tener entre 60 y 80 centímetros de profundidad, los contrastes batimétricos son más bien escasos (punto muestral 4 en la Figura 3).

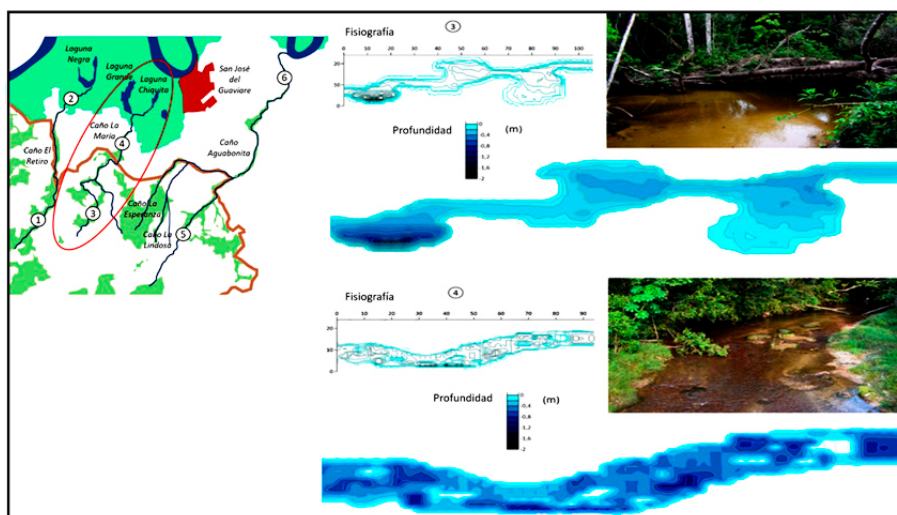


Figura 3

Modelo de Heterogeneidad espacial del caño La María.

Las gráficas tridimensionales levantadas en SURFER permiten describir la comparación entre las características fisiográficas y batimétricas de los tramos alto (punto muestral 3) y bajo (punto muestral 4), localizados dentro y fuera del área protegida Serranía de La Lindosa – Angosturas II.

Fuente: Elaboración propia.

El caño Aguabonita, es el más largo de los tres y presenta marcados contrastes entre su cabecera y su curso bajo. Dentro del afloramiento rocoso de la serranía el caño tiene una estructura similar a la del curso alto del caño El Retiro, ya que se desplaza en aguas cristalinas sobre plataformas rocosas relativamente planas que diversifican el cauce en varios brazuelos, algunos de los cuales pueden tener una persistencia temporal solo durante la temporada de lluvias para luego desaparecer en época de aguas bajas; estos brazuelos también pueden cambiar de orientación sobre la placa de roca ya que no se han labrado surcos que delimiten un cauce definitivo. Una característica peculiar es que la plataforma rocosa de su lecho es casi plana y con una anchura que alcanza hasta 25 metros en algunas zonas y es un poco más estrecha donde recibe la afluencia de los caños La Esperanza y La Lindosa. A medio curso el lecho rocoso del caño muestra grietas y fracturas por donde se filtra el agua para formar pocetas y amplios depósitos bajo la placa superficial de roca. Aguas abajo este fenómeno de filtración ha dejado horadaciones de roca en forma de círculos casi perfectos a manera de pozos de casi 2 metros de profundidad cuyos bordes sobresalen del nivel del agua (punto muestral 5 en la Figura 4). En este tramo del caño la vegetación marginal está conformada por matorral denso bajo que se arraiga sobre la delgada capa orgánica del suelo incipiente que se genera sobre el litobioma.

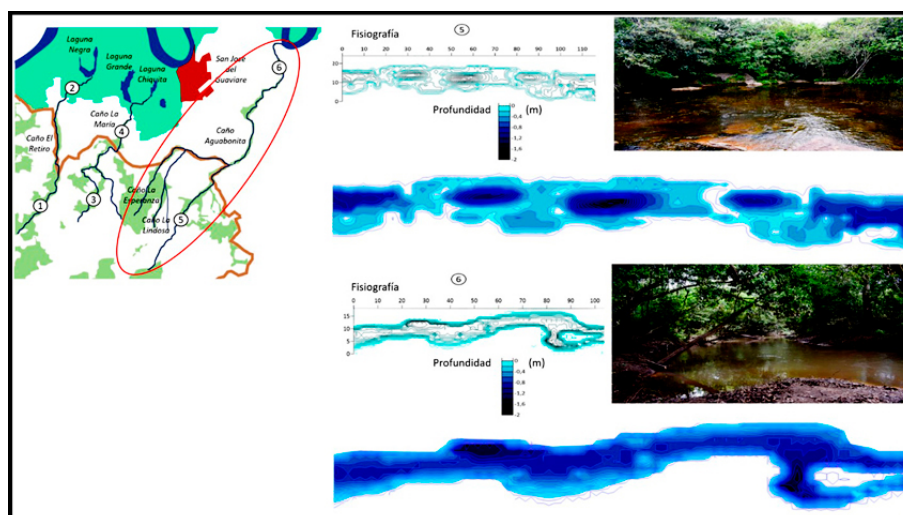


Figura 4.

Modelo de Heterogeneidad espacial del caño Aguabonita

Las gráficas tridimensionales levantadas en SURFER permiten describir la comparación entre las características fisiográficas y batimétricas de los tramos alto (punto muestral 5) y bajo (punto muestral 6), localizados dentro y fuera del área protegida Serranía de La Lindosa – Angosturas II.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez abandona los escarpes rocosos de la serranía, el caño Aguabonita recorre unos 10 km sobre las llanuras que rodean el litobioma con rumbo hacia su desembocadura del río Guaviare. En esta segunda mitad de su trayecto, el caño surca un terreno que estaba originalmente cubierto por selva húmeda tropical, pero que, tras décadas de intervención antrópica, ha sido transformado en potreros, pastizales, fincas ganaderas, cultivos agrícolas y extensas áreas de expansión urbana adjuntas lentamente al casco urbano de San José del Guaviare. Debido a estos procesos, sucedidos por años en las llanuras periféricas a la serranía, el caño ha perdido la mayor parte de su bosque ripario original y solo conserva bosque de galería denso por escasos tramos muy aislados. Todo lo anterior redundando en un caño de curso muy homogéneo y unificado, con una anchura constante de unos 12 metros, y perfiles de profundidad que rara vez llegan a rebasar los 2 metros de profundidad (punto muestral 6 en la Figura 4). En adición, este tramo del caño puede categorizarse como de ‘aguas blancas’ (Sioli, 1975) debido a que el sustrato rocoso que predominaba en el curso alto ha sido sustituido por fondos barrocos que acumulan gran cantidad de sedimentos finos a causa del lavado de los suelos y el impacto directo de los aluviones ante la pérdida del bosque de galería protector.

5.2 Variables ambientales

Una descripción general de las variables ambientales registradas para cada tramo en las tres corrientes se presenta de forma resumida en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1.

Hidrología y variables fisicoquímicas de los caños El Retiro, La María y Aguabonita, en cada uno de los tramos analizados tanto dentro como fuera de la RFP Serranía de La Lindosa-Angosturas II.

		Caudal promedio (m ³ /s)		Tipo de sustrato predominante	Tipología de caño según el color del agua	Variables fisicoquímicas (CE en μ S/cm, OD y nutrientes en ppm)							
		periodo seco	periodo de lluvias			T °C	CE	pH	OD	NO ₃	NO ₂	NH ₄	PO ₄
Caño El Retiro	cabecera	11,2	18,7	bloque de roca	claro	23	53	7,3	7,3	10	0	0	0
	curso bajo	13	16,5	arena-arcilla	negro	28	87	5,8	5,3	10	0	0	0
Caño La María	cabecera	9,8	12,5	arena-arcilla	claro	24,5	48	6,7	5,5	10	0	0	0
	curso bajo	11,1	-	piedra y roca	claro	26,3	58	6,7	5,5	20	0	0	0
Caño Aguabonita	cabecera	19,8	27,4	bloque de roca	claro	23,5	44	7,8	7,8	25	0	0	0
	curso bajo	22	31,1	arena-arcilla	blanco	27,2	147	5,8	4,8	20	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

En su curso alto, el caño El Retiro registró un caudal de 11.2 m³/S en el periodo seco y de 18.7 m³/S en el periodo de lluvias; allí, donde el caño es de “aguas claras” y corre sobre un sustrato de roca compacta y lajas, el agua registró una temperatura de 23 °C una conductividad eléctrica de 53 μ S/cm, un pH de 7.3 y unas concentraciones de oxígeno disuelto y nitratos de 7.3 y 10 partes por millón respectivamente; en cuanto al resto de nutrientes, no se registraron concentraciones significativas ni en este punto ni en ningún otro analizado durante el estudio. Comparativamente, en el curso bajo, donde el caño se puede tipificar como de “aguas negras” sobre un sustrato predominantemente arenoso-arcilloso, el caudal varió entre 13 m³/S en periodo seco y 16.5 m³/S durante las máximas lluvias, mientras que la temperatura y la conductividad tuvieron incrementos hasta 28 °C y 87 μ S/cm respectivamente, en cambio, el pH se redujo a 5.8 y el OD a 5.3 ppm.

Por su parte, el caño La María, que mantiene una tipología de “aguas claras” en todo su recorrido, pero experimenta cambios en el tipo de sustrato, mantuvo un caudal promedio de 11.1 m³/S. Otras variables que permanecieron constantes fueron el pH con un valor de 6.7 y el OD con concentración de 5.5 ppm; entre tanto, las otras variables cambiaron entre la cabecera y el curso bajo: la temperatura incrementó de 24.5 °C a 26.3 °C, la conductividad eléctrica ascendió de 48 a 58 μ S/cm y los nitratos incrementaron de 10 a 20 ppm.

En cuanto al caño Aguabonita, este resultó ser el sistema con mayores contrastes fisiográficos y cambios fisicoquímicos entre su cabecera y su plano bajo. En primer lugar, en su curso alto dentro de la serranía el caño es de “aguas claras” y corre sobre un sustrato de roca, mientras que, en su plano bajo, antes de tributar al río Guaviare, el caño corre sobre un sustrato areno-arcilloso y se torna de “aguas blancas” por el arrastre de sedimentos. En consonancia con estos cambios, las variables fisicoquímicas muestran también un marcado contraste: la temperatura promedio ascendió de 23.5 a 27.2 °C, la conductividad eléctrica incrementó de 44 a 147 μ S/cm, el pH descendió de 7.8 a 5.8, el OD se redujo de 7.8 a 4.8 ppm, y la carga de nitratos bajó de 25 a 20 ppm.

5.3 Oferta de hábitats y heterogeneidad comparada

Para poder determinar la oferta de hábitats en cada uno de los puntos de muestreo se procedió a definir previamente las siguientes categorías observadas en campo:

1. Canal principal (CP): porciones del río que tienen flujo laminar de orilla a orilla, profundidad promedio y velocidad de la corriente constante, 2. Pozos (P): áreas de los caños en donde los fondos presentan cavidades de mayor profundidad al promedio y presentan menor velocidad de la corriente, 3. Regadales (R): zonas en donde el agua se desliza con mayor velocidad en una película muy delgada de apenas unos pocos centímetros por encima de los sustratos, 4. Macrófitas (M): comunidades de algas y macrófitas acuáticas aglomeradas en determinadas zonas del curso acuático, 5. Maderas (Md): restos maderables o troncos sumergidos o semisumergidos en partes del curso acuático.

En el literal a de la Figura 5 se resume la distribución porcentual de los tipos de hábitats presentes en cada uno de los seis puntos de muestreo a lo largo de los tres caños; adicionalmente, se establece la heterogeneidad de cada tramo, expresada matemáticamente como la diversidad de ambientes medida con el índice de Shannon-Wiener (H'). Como se puede observar, el caño La María obtuvo el mayor valor de heterogeneidad espacial entre los tres caños, y, además, mantiene una constancia evidente de este atributo a lo largo de todo su recorrido pues se mantiene en torno al rango de 1,47 (1,4730 para el curso alto y 1,4790 para el curso bajo). Por su parte, los caños El Retiro y Aguabonita tuvieron menos diversidad de ambientes y un menor grado de heterogeneidad espacial que La María; no obstante, experimentaron contrastes más marcados que este entre sus respectivos cursos altos y bajos, sobre todo el caño Aguabonita que muestra una reducción severa tanto en oferta de hábitats como en heterogeneidad espacial entre su curso alto dentro de la serranía y su curso bajo donde avanza por las llanuras aledañas al río Guaviare.

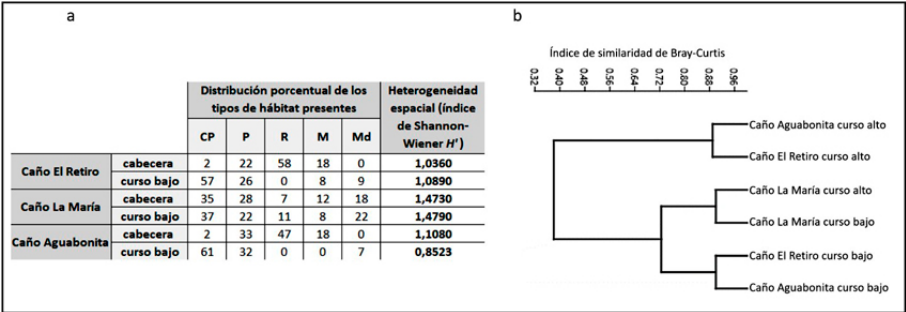


Figura 5. a y b

a. Oferta de hábitats y heterogeneidad espacial para cada tramo estudiado en los caños El Retiro, La María y Aguabonita. CP=Canal Principal, P=Pozos, R=Regadales, M=Macrófitas y Algas, Md=Restos maderables y maderas sumergidas. b. Análisis de similaridad para mostrar la heterogeneidad total comparada entre las muestras del estudio.

Fuente: Elaboración propia.

En el literal b de la misma figura, se muestra un análisis de similaridad entre muestras que permite comprobar que el caño La María es la única de las tres corrientes que mantiene unas características similares de heterogeneidad fisonómico-estructural durante todo su recorrido (similitud de 0,88 entre los cursos alto y bajo), en tanto que la heterogeneidad de los otros dos caños se discrimina más en función del lugar por donde transcurren. Por ejemplo, la heterogeneidad del caño El Retiro en su curso alto se parece más a la del caño Aguabonita al mismo nivel (0,88 de similaridad) de lo que se parece a la de su propio curso bajo cuando ya transcurre fuera de la serranía (0,4 de similaridad

entre los cursos alto y bajo del caño El Retiro); otro tanto ocurre al comparar los cursos alto y bajo del caño Aguabonita.

Dicho en otras palabras, todos los caños muestran una amplia disponibilidad de ambientes debido a su alta heterogeneidad espacial, pero los caños El Retiro y Aguabonita, no solo son heterogéneos, sino que además muestra unos contrastes fisiográficos muy marcados entre su trayecto por la serranía de La Lindosa y su recorrido fuera de ella. Esto se debe a las diferencias fisiográficas, hidrológicas, batimétricas y geomorfológicas que impone el relieve y el tipo de sustrato del litobioma de la serranía.

6. Discusión de resultados

La heterogeneidad espacial exhibida por los caños El Retiro, La María y Aguabonita, se da como resultado de varios factores que operan a diferente escala dentro del área de estudio: en primer lugar, un factor geomorfológico que involucra cambios fisiográficos e hidrológicos naturales debido a que la primera parte de su recorrido transcurre por sobre los escarpes del litobioma de la Serranía de La Lindosa, mientras que, en su curso final avanzan sobre los planos sedimentarios establecidos ya sea por el helobioma del río Guaviare o por las llanuras aledañas al casco urbano de San José. En segundo término, un factor hidrometeorológico, ya que la variación en los regímenes de precipitación genera cambios temporales en la distribución y calidad de los hábitats con lo cual los efectos de heterogeneidad temporal se adicionan a los de heterogeneidad espacial. Y en última instancia, un factor antropogénico, ya que, tanto en los bosques ribereños de la serranía como en las llanuras aledañas al bloque rocoso, las coberturas vegetales, originalmente compuestas por selva húmeda tropical, han sido fuertemente transformadas por los impactos propios del régimen de usos del suelo (Gallego, 2022).

La mayor heterogeneidad espacial del caño La María se debe a que durante todo su recorrido mantiene una amplia oferta de ambientes variados por contrastes en la fisiografía, la profundidad, el cauce y el tipo de flujo. En cambio, los caños El Retiro y Aguabonita van reduciendo su heterogeneidad aguas abajo, a tal punto que, como se deduce del análisis de similaridad mostrado en la Figura 5b, los cursos altos de ambos caños se parecen mucho entre sí, pero se diferencian marcadamente de sus respectivos cursos bajos. La reducción de heterogeneidad del caño El Retiro antes de desembocar en Laguna Negra responde a su integración con el plano inundable del río Guaviare, en tanto que la progresiva homogenización del caño Aguabonita se debe a impactos causados por factores antropogénicos como la deforestación del bosque de galería y del bosque húmedo tropical (Gallego, 2022), el consecuente acarreo de sedimentos ante la pérdida de coberturas vegetales fuera de la Serranía y los rastrojos que han dejado los fuegos inducidos dentro de ella (Monroy et al., 2019). Una publicación posterior con los resultados de la caracterización de la ictiofauna de los tres caños habrá de comprobar si la reducción de la heterogeneidad espacial causa también un descenso en la biodiversidad de fauna, hipótesis que ha resultado ser plausible en otros trabajos realizados con entomofauna acuática (Agra et al., 2021).

En cuanto a la oferta de hábitats, la heterogeneidad de las tres corrientes permite albergar una amplia gama de ambientes diversos que ofrecen refugios a

la fauna acuática y ribereña. En los tres caños se encontraron casi todos los tipos de hábitats previamente descritos, pero es importante recalcar que en el caño La María se observó en particular la presencia abundante de troncos caídos en las márgenes o semisumergidos en el cauce, un tipo de hábitat que es de gran importancia para las comunidades de peces (Wright & Flecker, 2004) y que fue muy poco frecuente en los otros dos caños. Por este hecho, la distribución porcentual de hábitats en La María fue mucho más equitativa y esto contribuyó a que su grado de heterogeneidad espacial fuese mucho mayor a la luz del componente de equitabilidad que se registra con el Índice de Shannon-Wiener. Por otra parte, los cursos altos de los caños El Retiro y Aguabonita estuvieron dominados por el hábitat de regadales de aguas transparentes que avanzaban según los desniveles y saltos de los bloques de roca en un lecho tan amplio que el borde del agua quedaba distanciado de las primeras líneas de vegetación en las orillas incluso en épocas de aguas altas; esto puede explicar porque en las cabeceras de estos caños no se encontró el hábitat correspondiente a troncos y/o restos maderables en contacto con el agua.

Los datos recogidos en campo permiten afirmar que los tres caños tienen una distribución de ambientes tanto acuáticos como marginales totalmente discreta; esto rompe por completo el presupuesto de una ordenación secuencial en función de la anchura, la velocidad de la corriente, el sustrato, la profundidad o alguna otra variable que cambie de forma directamente proporcional con el avance de las corrientes. En general se puede discutir que, con excepción de un pequeño represamiento artificial construido en el caño La María con propósitos de abastecimiento, los cauces estudiados muestran una estructura geomorfológica natural que responde a un modelo de ordenación espacio-temporal en mosaico y por lo tanto se aduce que las comunidades biológicas relacionadas con los ambientes acuáticos funcionan bajo una dinámica de parches, situación que se someterá a verificación con el análisis de las comunidades ícticas.

En lo que respecta a la influencia de factores antrópicos que afecten la heterogeneidad espacial y la oferta de hábitats, se pudo determinar con claridad que en los trayectos de los caños que avanzan dentro del área protegida no se presentaron mayores alteraciones en cuanto a fisiografía, batimetría o calidad de los hábitats, pero sí fue evidente que en varios tramos se ha practicado el despeje de los bosques de galería para favorecer las captaciones de agua en los predios dedicados a labores agrícolas o ganaderas. Entre tanto, aguas abajo, en su transcurrir fuera de la Reserva Forestal, los ambientes de las márgenes ya experimentan una mayor intervención hasta el punto de que, sobre todo en el caño Aguabonita, se ha perdido por completo la cobertura selvática original y ha sido sustituida por potreros, cultivos y expansión urbana. Este deterioro no es tan notorio en los cursos bajos de los caños El Retiro y La María debido a que penetran en el helobioma del río Guaviare, una extensa área inundable que impide la construcción de asentamientos y la práctica de actividades agrícolas y ganaderas.

En función de lo anterior, los impactos antrópicos más significativos sobre la heterogeneidad y la oferta de hábitats en las corrientes estudiadas se resumen en el despojo de grandes porciones de bosque de galería dentro de la Serranía de La Lindosa y de extensas áreas de cobertura boscosa fuera de ella. Por lo pronto no se han detectado fuertes impactos fisicoquímicos como es el caso de contaminación

hídrica o alteración de los cursos de agua, aunque es de suponer que el efecto de las descargas contaminantes urbanas han de afectar la calidad de los hábitats acuáticos del caño Aguabonita, a medida que se aproxima a su desembocadura en el río Guaviare.

Pese a que los planos bajos circundantes a la Serranía de La Lindosa han sido objeto de una gran transformación antropogénica, la disponibilidad de hábitats dentro de la Reserva Forestal Protectora, no muestra de momento una desarticulación que haga pensar en consecuencias directas que impacten negativamente la biodiversidad. Sin embargo, las tendencias de transformación deben ser vigiladas pues otros trabajos han demostrado que la deforestación ejerce impactos directos sobre la configuración de las comunidades de peces ya sea a nivel local (Briceño, 2015; Córdoba, 2020) o regional (Zimbresa et al., 2018). Por otra parte, como ha quedado demostrado en estudios previos, la importancia de mantener la alta heterogeneidad natural de los caños y su amplia oferta de hábitats es crucial para sostener el equilibrio de las interrelaciones ecológicas de las comunidades (Stoffers, et. al., 2022) y para preservar los servicios ecosistémicos que dependen de la integridad ecológica del paisaje (Khan, et. al., 2018).

7. Conclusiones

Los caños El Retiro, La María y Aguabonita son corrientes de una gran importancia biogeográfica como quiera que nacen y se distribuyen dentro de la Reserva Forestal Protectora Serranía de La Lindosa Angosturas II, un área protegida de la Amazonía colombiana localizada en inmediaciones del río Guaviare y caracterizada como una de las zonas geográficas más biodiversas del trópico. El análisis estructural de estos caños permitió concluir que, por los marcados contrastes geográficos entre el bloque rocoso donde nacen y los planos bajos del río Guaviare donde desembocan, presentan una alta heterogeneidad espacial y una amplia oferta de hábitats como consecuencia de factores geomorfológicos, hidrometeorológicos y antrópicos.

Entre las tres corrientes, el caño La María es el que alcanza un índice más alto de heterogeneidad espacial gracias a la presencia constante de hábitats muy variados con una distribución porcentual relativamente equitativa. A su turno, los caños El Retiro y Aguabonita se parece mucho entre sí en términos estructurales ya que los dos cambian ostensiblemente entre la cabecera y el curso bajo; en su curso alto ambos presentan aguas claras, cauce diversificado, flujo turbulento y sustratos rocosos con grietas, saltos y lajas, mientras que en su curso bajo se ven sometidos a una homogenización creciente por causa de transformaciones antrópicas, mucho más notorias en el caño Aguabonita.

La organización estructural en los tres caños corresponde a una dinámica de parches propia de un modelo de ordenación en mosaico; se descarta que el funcionamiento fluvial de estas corrientes encaje dentro de los modelos de continuum o de discontinuidades seriales. En teoría la organización en mosaico favorece la activación de un sinnúmero de hábitats facultativos para el ensamblaje de la fauna acuática con lo cual se incrementa la diversidad, supuesto que será sometido a corroboración con un análisis posterior de las comunidades ícticas.

Las mayores afectaciones antrópicas causadas a los caños estudiados suceden por fuera del área protegida de la Serranía de La Lindosa y corresponden principalmente a la pérdida de grandes porciones de bosque de galería, sobre todo en las márgenes del caño Aguabonita. La consecuencia directa de este impacto es la acumulación de material de arrastre proveniente de los suelos aledaños, lo que incrementa la sedimentación y homogenización del sustrato y es el factor responsable de la pérdida de heterogeneidad especialmente en aquellas áreas contiguas a los predios en donde se hacen prácticas agrícolas y ganaderas. De momento no se han detectado otro tipo de impactos sobre las corrientes como por ejemplo contaminación hídrica o alteraciones fisiográficas significativas.

Referencias bibliográficas

- Agra, J., Ligeiro, R., Heino, J., Macedo, D. R., Castro, D. M. P., Linares, M. & Callisto, M. (2021). Anthropogenic disturbances alter the relationships between Environmental heterogeneity and biodiversity of stream insects. *Ecological Indicators*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107079>
- Briceño, G. (2015). Evolución de la integridad estructural de ecosistemas lóticos del piedemonte llanero frente a la intervención antrópica. *Acta Biológica Colombiana*, 20(2), 133-144. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n2.42307>
- Cárdenas-López, D., Castaño-Arboleda, N., Zubieta-Vega, M. y Jaramillo-Echeverry, M. (2008). *Flora de las formaciones rocosas de la Serranía de La Lindosa, Colombia*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas –SINCHI.
- Córdoba Ariza, P. (2020). *Cambios en la red trófica ligados a la pérdida del bosque de ribera en un ecosistema fluvial en la Serranía de La Lindosa (San José Del Guaviare, Colombia)* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia].
- Gallego, J. C. (2022). *Reserva forestal Serranía La Lindosa-Angosturas II, implicaciones ambientales de su declaratoria y delimitación* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Gorman O. T. y Karr J. R. (1978). Habitat structure and stream fish communities. *Ecology*, 59(3), 507-515. <http://www.jstor.org/stable/1936581>
- Khan, I., Zhao, M., Khan, S. U., Yao, L., Ullah, A. & Xu, T. (2018). Spatial heterogeneity of preferences for improvements in river basin ecosystem services and its validity for benefit transfer. *Ecological Indicators*, 93, 627-637. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.018>.
- Lisenby, P. E., Slattery M. C. y Wasklewicz T. A. (2016). Morphological organization of a steep, tropical headwater stream: The aspect of channel bifurcation. *Geomorphology*, 214, 245-260. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.009>
- López Camacho, R., Betancur, J. y Rangel, O. (2006). Análisis fisionómico y estructural de la vegetación del sector nororiental de la Serranía La Lindosa, Guaviare, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 170. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/27580>
- Monroy, D. M., Arias J. E., Barón, O., Murcia, U. y Armenteras, D. (2019). Presiones ejercidas sobre la serranía de La Lindosa, Guaviare: Cambios de cobertura e incidencia de fuegos entre 2012 y 2018. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 372-378. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n2.72435>
- Pickett, S. T. A. & White, G. S. (1985). *The ecology of natural disturbance and patch dynamic*. Academic Press.

- Sioli, H. (1975). Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments. En F. B. Golley & E. Medina (Eds.), *Tropical Ecological Systems/Trends in Terrestrial and Aquatic Research* (pp. 275-288). Springer-Verlag.
- Stoffers, T., Buijse, A. D., Geerling, G. W., Jans, L. H., Schoor, M. M., Poos, J. J., Verreth J. A. J. & Nagelkerke, L. A. J. (2022). Freshwater fish biodiversity restoration in floodplain rivers requires connectivity and habitat heterogeneity at multiple spatial scales. *Science of the Total Environment*, 834(parte4). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156509>
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. & Cushing, C. E. (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 130–137.
- Ward, J. V. & Stanford, J. A. (1983). The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. En T. D. Fontaine y S. M. Bartell (Eds.), *Dynamics of Lotic Ecosystems* (pp. 29-42). Ann Arbor Science, Ann Arbor, M. I.
- Wright, J. P. & Flecker, A. S. (2004). Deforesting the riverscape: the effects of wood on fish diversity in a Venezuelan piedmont stream. *Biological Conservation*, 120(3), 439-447.
- Zimbresa, B., Machadoa, R. & Peres, C. (2018). Anthropogenic drivers of headwater and riparian forest loss and degradation in a highly fragmented southern Amazonian landscape. *Land Use Policy* 72, 354-363.