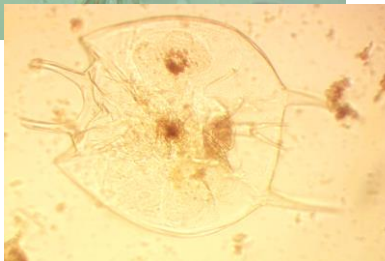
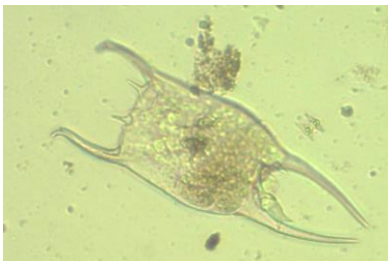
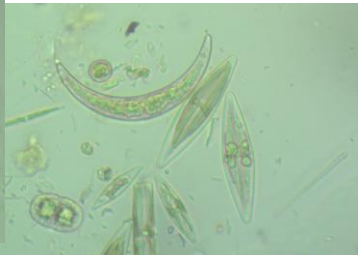


**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 21-450 (624 de 2021 ANH) ENTRE LA
AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS – ANH Y EL INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT -
INSTITUTO HUMBOLDT**

Producto 4. Informe con el análisis de diversidad de macrófitas acuáticas, macroinvertebrados acuáticos, perifiton, fitoplancton y zooplancton.



Noviembre de 2022



HIDROBIOLÓGICOS

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO		2
LISTA DE TABLAS	DE	FIGURAS
5Equipo	de	trabajo
		6
Resúmen		9Introducción
¡Error!	Marcador	definido. Metodología
13Diseño	no	muestreo
	del	9
Toma de datos en campo		9
Puntos de avistamiento		9
Recorridos libres		9
Preparación de especímenes		9
Preparación de datos		10
Resultados	de	muestreo
24Esfuerzo		10
Por método de captura y temporada climática		10
Por zona de trabajo y temporada climática		10
Por cobertura vegetal y temporada climática		11
Composición y diversidad de morfoespecies		12
Índices de diversidad		13
Distribución espacial de la riqueza y la abundancia de morfoespecies		13
Análisis de similitud		14
Análisis de redundancia y análisis estadístico de covariables		14
Complementariedad del muestreo		15
Resultados de análisis específicos realizados (por ejemplo modelos de ocupación de aves)		17
Discusión	de	muestreo
¡Error!	Marcador	no
	definido.	Esfuerzo
		de
		18
Composición y diversidad de morfoespecies		18
Índices de diversidad		18
Distribución espacial de la riqueza y la abundancia de morfoespecies		18
Análisis de similitud		18

Análisis de redundancia y análisis estadístico de covariables	18
Complementariedad del muestreo	18
Análisis extra	18
Conclusiones; Error!	
Marcador	no
definido. Bibliografía	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de las unidades de muestreo para cada una de las áreas establecidas como Kalé, Platero y Caracterización, asociadas a la clasificación definida para los diferentes humedales.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos evaluados.

Tabla 3. Variables correlacionadas con cada una de las comunidades hidrobiológicas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diseño del muestreo Hidrobiológicos. **A.** Unidades de muestreo en el área de Platero. **B.** Unidades de muestreo en el área de Kalé. **C.** Unidades de muestreo en el área de Caracterización. **D.** Unidades de muestreo en el Río Magdalena, cerca a los sitios potenciales de captación.

Figura 2. Unidades de muestreo diseñadas para el componente de Hidrobiológicos para la Línea Base Regional de Biodiversidad.

Figura 3. Toma de muestra de comunidades planctónicas con botella de Van Dorn.

Figura 4. Toma de muestra de fitoperifiton por medio de raspados.

Figura 5. Toma de muestra de macroinvertebrados acuáticos con ayuda de la red tipo D.

Figura 6. Toma de muestra de la comunidad bentónica por medio de Draga.

Figura 7. Medición de cobertura por medio de cuadrantes de 1 x 1 m.

Figura 8. Esquema para la forma de monitoreo de macrófitas en ríos vadeables.

Figura 9. Curvas de rarefacción/extrapolación de la riqueza para las diferentes comunidades hidrobiológicas colectados **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados **E.** Macrófitas acuáticas. para los distintos cuerpos de agua en ambas temporadas climáticas, cálculos basados en la abundancia de las morfoespecies colectadas y para macrófitas en la incidencia (número de eventos con presencia).

Figura 10. Curvas de rarefacción/extrapolación de la riqueza para las zonas de muestreo de Kale, Platero y Caracterización para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados **E.** Macrófitas acuáticas. Cálculos basados en la abundancia de las morfoespecies colectadas y para macrófitas en la incidencia (número de eventos con presencia)

Figura 11. Curvas de rarefacción/extrapolación de la riqueza para las temporada de aguas altas y aguas bajas (prima:’) para las diferentes comunidades en los distintos cuerpos de agua **A.** Fitoplancton aguas altas **A’.** Fitoplancton aguas bajas **B.** Zooplancton aguas altas **B’.** Zooplancton aguas bajas **C.** Fitoperifiton aguas altas **C’.** Fitoperifiton aguas bajas. Cálculos basados en la abundancia de las morfoespecies colectadas.

Figura 12. Curvas de rarefacción/extrapolación de la Riqueza para las temporada de aguas altas y aguas bajas (prima:’) para las diferentes comunidades de macroinvertebrados y macrófitas acuáticas en los distintos cuerpos de agua **A.** macroinvertebrados aguas altas **A’.** macroinvertebrados aguas bajas **B.** macrófitas aguas altas **B’.** macrófitas aguas bajas. Cálculos basados en la incidencia total de las morfoespecies colectadas para macrófitas

Figura 13. Porcentaje general de **A.** Densidad y **B.** Riqueza de las comunidades hidrobiológicas en temporadas de aguas altas y aguas bajas.

Figura 14. Porcentaje de riqueza y densidad de abundancias de las principales familias de las comunidades hidrobiológicas; **A.** Fitoplancton; **B.** Zooplancton y **C.** Fitoperifiton.

Figura 15. Porcentaje de riqueza y densidad de abundancias de las principales familias de las comunidades hidrobiológicas; **A.** Macroinvertebrados acuáticos y **B.** Macrófitas acuáticas.

Figura 16. Rango-densidad, orden según las densidades promedios totales, mostrando las temporadas climáticas aguas altas y aguas bajas de las comunidades de **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton y **C.** Fitoperifiton. El subgráfico “Perfiles” incluye todas los taxones y está ordenado según las densidades en cada temporada.

Figura 17. Rango-densidad y Rango-Coberturas promedio para las temporadas climáticas aguas altas y aguas bajas de las comunidades de **A.** Macroinvertebrados **B.** Macrófitas acuáticas. El subgráfico “Perfiles” incluye todas las morfoespecies y está ordenado según las abundancias en cada temporada.

Figura 18. Rango-densidad promedio para los diferentes tipos de cuerpo de agua (caño, ciénaga, quebrada y río) de las comunidades de **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton y **C.** Fitoperifiton. El subgráfico “Perfiles” incluye todas las morfoespecies y está ordenado según las abundancias en cada temporada.

Figura 19. Rango-densidad y rango-cobertura promedio para los diferentes tipos de cuerpo de agua (caño, ciénaga, quebrada y río) de las comunidades de **A.** Macroinvertebrados **B.** Macrófitas acuáticas. El subgráfico “Perfiles” incluye todas las morfoespecies y está ordenado según las abundancias en cada temporada.

Figura 20. Rango-densidad promedio para las diferentes zonas de muestreo (Caracterización, Kale y Platero) de las comunidades de **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton y **C.** Fitoperifiton. El subgráfico “Perfiles” incluye todas las morfoespecies y está ordenado según las abundancias en cada temporada.

Figura 21. Rango-densidad y rango-cobertura promedio para las diferentes zonas de muestreo (Caracterización, Kale y Platero) de las comunidades de **A.** Macroinvertebrados **B.** Macrófitas acuáticas. El subgráfico “Perfiles” incluye todas las morfoespecies y está ordenado según las abundancias en cada temporada.

Figura 22. Perfiles de números de morfoespecies efectivas de Hill. Índices de diversidad del orden Q (Q0, Q1y Q2) asociado a los diferentes tipos de cuerpos de agua para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas. Las barras de errores representan los intervalos de confianza de las estimaciones de los números de Hill

Figura 23. Mapa de distribución de unidades muestrales y tipos de ecosistemas o cuerpos de agua.

Figura 24. Mapas de calor de la riqueza y densidad de fitoplancton para las dos temporadas. **A.** Densidad Aguas Altas; **B.** Riqueza Aguas Altas; **C.** Densidad Aguas Bajas y **D.** Riqueza Aguas Bajas.

Figura 25. Mapas de calor de la riqueza y densidad de zooplancton para las dos temporadas. **A.** Densidad Aguas Altas; **B.** Riqueza Aguas Altas; **C.** Densidad Aguas Bajas y **D.** Riqueza Aguas Bajas.

Figura 26. Mapas de calor de la riqueza y densidad del fitoperifiton para las dos temporadas. **A.** Densidad Aguas Altas; **B.** Riqueza Aguas Altas; **C.** Densidad Aguas Bajas y **D.** Riqueza Aguas Bajas.

Figura 27. Mapas de calor de la riqueza y densidad de macroinvertebrados acuáticos para las dos temporadas. **A.** Densidad Aguas Altas; **B.** Riqueza Aguas Altas; **C.** Densidad Aguas Bajas y **D.** Riqueza Aguas Bajas.

Figura 28. Mapas de calor de la riqueza y cobertura de macrófitas acuáticas para las dos temporadas. **A.** Cobertura Aguas Altas; **B.** Riqueza Aguas Altas; **C.** Cobertura Aguas Bajas y **D.** Riqueza Aguas Bajas.

Figura 29. Representación de los tipos de cuerpo de agua en el espacio de la NMDS para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas. Las líneas de color gris conectan los sitios (ANH) muestreados en las dos temporadas.

Figura 30. NMDS asociado a los diferentes temporadas climáticas para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas.

Figura 31. NMDS asociado a los diferentes zonas de muestreo (Caracterización, Kale y Platero) para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas.

Figura 32. ‘triplot’ de la RDA aplicada sobre la matriz de densidad de las diferentes comunidades **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas. Las unidades de muestreo están mostradas gracias a símbolos que representan los tipos de cuerpo de agua y las temporadas. Las variables ambientales están representadas por flechas que muestran (ángulos) las correlaciones entre ellas y con los ejes, así como la influencia de esas relaciones (longitud). Finalmente los taxones están representados por cruces rojas.

Figura 33. Representación de las temporadas en el espacio de la RDA para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas. Las elipses corresponden a los

intervalos de confianza (95%) bivariados de las posiciones de las unidades de muestreos de ambas temporadas. Los intervalos de confianza están computados gracias a una distribución de χ^2 a 2 grados de libertad las correlaciones entre ellas y con los ejes, así como la influencia de esas relaciones (longitud). Finalmente los taxones están representados por cruces rojas.

Figura 34. Representación de las zonas de muestreo en el espacio de la RDA para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas. Las elipses corresponden a los intervalos de confianza (95%) bivariados de las posiciones de las unidades de muestreos de las diferentes zonas. Los intervalos de confianza están computados gracias a una distribución de χ^2 a 2 grados de libertad

Figura 35. Representación de los cuerpos de agua en el espacio de la RDA para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas. Las elipses corresponden a los intervalos de confianza (95%) bivariados de las posiciones de las unidades de muestreos de los diferentes tipos de cuerpo de agua. Los intervalos de confianza están computados gracias a una distribución de χ^2 a 2 grados de libertad.

Figura 36. Diferencia de las variables fisicoquímicas entre los tipos de ecosistemas y las dos temporadas evaluadas.

Figura 37. Grado de complejidad de una comunidad

Equipo de trabajo

Coordinador

Juan Carlos Quijano-Tristancho

Investigadores aguas altas

Nédiker Stiven González Castillo

Alejandro Villarreal Grisales

Cristhian Camilo Castillo Avila

Investigadores aguas bajas

Nédiker Stiven González Castillo

Alejandro Villarreal Grisales

Cristhian Camilo Castillo Avila

Guías de campo aguas altas

Paulo Armenta Romero

Miguel Picon Lizcano

José Blanco

Javier Quintero

Guías de campó aguas bajas

Marcelo Cala

Alvaro Wilches

Resumen

El presente informe documenta y recopila la caracterización de las comunidades hidrobiológicas fitoplancton, zooplancton, fitoperifiton, macroinvertebrados acuáticos y macrófitas acuáticas, así como también variables fisicoquímicas básicas que pueden influir en el desarrollo de las comunidades hidrobiológicas, para el municipio de Puerto Wilches en el departamento de Santander, más exactamente, en las áreas influenciadas por las áreas de Kalé, Platero y un área denominada zona de caracterización. Esta se llevó a cabo durante las temporadas climáticas de aguas altas entre el 1 y 19 de julio de 2021 y aguas bajas entre el 17 y 29 de marzo de 2022. Para la metodología se tuvo en cuenta la clasificación de los cuerpos de agua en cuatro tipos de ecosistemas, ciénagas, caños, quebradas y ríos, en los cuales, se utilizaron diferentes técnicas y métodos de muestreo asociados a las diferentes comunidades. Al mismo tiempo, se evaluaron diferentes parámetros fisicoquímicos tanto *in situ*, como para su análisis de laboratorio.

En total se evaluaron 41 unidades de muestreo por temporada, clasificadas en 14 quebradas, 15 caños, 7 ciénagas y 5 puntos sobre el río Magdalena, ubicadas de la siguiente forma: 17 en la zona de Kalé, 18 en Platero y 6 en Caracterización. En cada una se tomó una muestra por triplicado de fitoplancton, zooplancton, fitoperifiton y macroinvertebrados acuáticos, mientras que, para la comunidad de macrófitas acuáticas se tomó solo una muestra de cobertura asociada a las macrófitas helófitas e hidrófitas. Para las variables fisicoquímicas, se tomaron datos *in situ* por triplicado y para las variables analizadas en laboratorio se obtuvo una muestra integrada de tres puntos diferentes alrededor de cada unidad de muestreo para posteriormente enviarlas muestras a analizar al laboratorio de consultas industriales de la universidad Industrial de Santander. El material biológico se envió al laboratorio, para ser determinado hasta el nivel taxonómico más bajo posible y calcular las densidades y coberturas según correspondiera. Finalmente, se realizó una serie de análisis para observar patrones de composición, distribución, intercambio y correlación del componente biótico con el abiótico.

Como resultado se obtuvieron densidades de 15'086.278 Cel/cm² para fitoperifiton, 14'108.440 Cel/L de fitoplancton, 28.701 individuos/m² de macroinvertebrados acuáticos, 1.859 individuos/L de zooplancton y por último 1.004 m² de cobertura total de macrófitas acuáticas. En general la cobertura de muestreo para la mayoría de comunidades estuvo alrededor del 98% siendo el ecosistema de río el único que presentó valores bajos, alrededor del 82%. En cuanto a los modelos de rango-densidad, los ecosistemas se ajustaron al modelo logarítmico y para los índices de diversidad se observó que las ciénagas y los caños son los ecosistemas que albergan la mayor cantidad de taxones, sin embargo todos los ecosistemas evaluados son estratégicos para la conservación de las comunidades anteriormente nombradas, que concluyen en una distribución tanto para la riqueza como para la abundancia, hacia el occidente del área de estudio, zona caracterizada por ser la

parte más baja de las microcuencas de la región. Además, de una diversidad beta con grado de similitud alto entre temporadas y zonas, y entre ecosistemas tipo ciénagas y caños.

Introducción

Colombia ostenta más de 20 millones de hectáreas de humedales, de las cuales 5.622.750 ha corresponden a ciénagas y otros cuerpos de agua similares, que se concentran principalmente en los departamentos de Bolívar y Magdalena (Andrade et al., 2002). Por su extensión, sobresalen más de 200 complejos cenagosos localizados en tierras bajas, que hacen parte de las 889 mil hectáreas de planicie inundable de la cuenca media del Río Magdalena (Garzón et al., 2014).

Estas planicies conforman un complejo de sistemas acuáticos lóticos y lénticos, que se conectan directa o indirectamente con un río principal y poseen características que las convierten en ecosistemas únicos, como la presencia de una columna de agua que no supera los 5 m (Benjumea et al., 2008), presentar una estratificación durante el día, mezcla isotérmica en la noche y depender del régimen hidrológico. Por lo anterior, dependen de las fluctuaciones del nivel del río principal y su conexión puede darse de forma temporal o permanente (Lewis, 1983). Además, son depósitos de sedimentos que sirven como material húmico, que favorece el crecimiento de vegetación terrestre y acuática (Ríos et al., 2009). Estos sistemas mantienen una permanente conexión con el río principal y gracias a esos cambios temporales del nivel del agua, poseen una zona litoral que está en constante movimiento y que funciona como zona de transición entre el ecosistema acuático y el terrestre (Montoya y Aguirre, 2009). La fluctuación en dichas zonas genera una amplia heterogeneidad de hábitats con características físicas, químicas y biológicas específicas, lo que explica la alta diversidad biológica en estos ecosistemas (Álvarez-Silva, 2013). Esta alta diversidad es esencial para el mantenimiento de las redes tróficas, la seguridad alimentaria y el patrimonio cultural de las comunidades locales (Mojica-Figueroa y Díaz-Olarte, 2016).

Las comunidades de aguas continentales están constituidas por diversos grupos de organismos adaptados a la variedad de nichos que aportan los ecosistemas dulceacuícolas. Dentro de estas encontramos al plancton, constituido por el fitoplancton (organismos autótrofos) y el zooplancton (organismos heterótrofos); los macroinvertebrados acuáticos, que hacen parte de la fauna litoral y bentónica; el fitoperifiton, constituido por algas de carácter bentónico, esenciales para la producción primaria de los ecosistemas acuáticos dulceacuícolas; y las macrófitas acuáticas, que brindan refugio y alimento a las comunidades anteriormente mencionadas. La característica que engloba a estos grupos se asocia a la estrecha relación y dependencia que tienen con el medio acuático y su presencia o ausencia pueden reflejar las condiciones actuales del agua en la que se desarrollan (Roldán y Ramírez, 2008).

Las actividades agrícolas, ganaderas y de extracción de minerales (Nuñez y Fragoso-Castilla, 2019) ejercen una fuerte presión sobre estos ecosistemas, por lo que se hace indispensable el levantamiento de información biológica que permita evaluar el estado y tendencia de las comunidades hidrobiológicas, particularmente

las más susceptibles a los cambios fisicoquímicos del agua. Esto permitirá tomar medidas idóneas para la conservación y la explotación sustentable de los recursos naturales de la región (Paredes et al., 2011).

Metodología

Diseño del muestreo

El objetivo del diseño de muestreo fue generar información base sobre los cuerpos de agua más importantes en el área del proyecto, ubicando algunas unidades de muestreo en áreas cercanas a las potenciales plataformas y en áreas alejadas de estas (Figura 1). Sobre el cauce de cada drenaje se localizaron unidades de muestreo, cuando convergía con otro drenaje se ubicaba una unidad de muestreo antes de la unión. Adicionalmente, como control, se tomó otra quebrada cercana a la potencial plataforma que no pertenecía a la cuenca, además se caracterizaron las principales cuencas de la zona (afluentes Paredes y sobre los posibles puntos de captación sobre el río Magdalena).

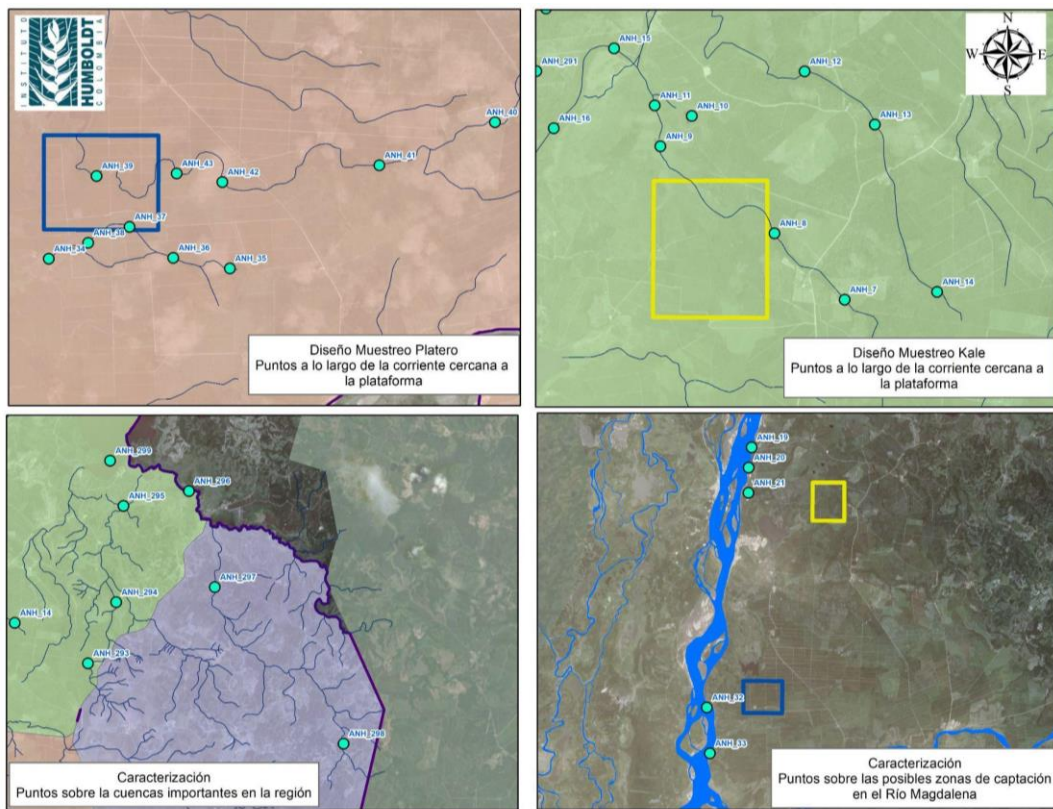


Figura 1. Diseño del muestreo Hidrobiológicos. **A.** Unidades de muestreo en el área de Platero. **B.** Unidades de muestreo en el área de Kalé. **C.** Unidades de muestreo en el área de Caracterización. **D.** Unidades de muestreo en el Río Magdalena, cerca a los sitios potenciales de captación.

En el área se definieron 41 puntos de muestreo repartidos de la siguiente manera: 29 puntos en cuerpos de agua lóxicos (quebradas y caños), siete en cuerpos lénticos (ciénagas) y cinco puntos en el río Magdalena (Figura 2).

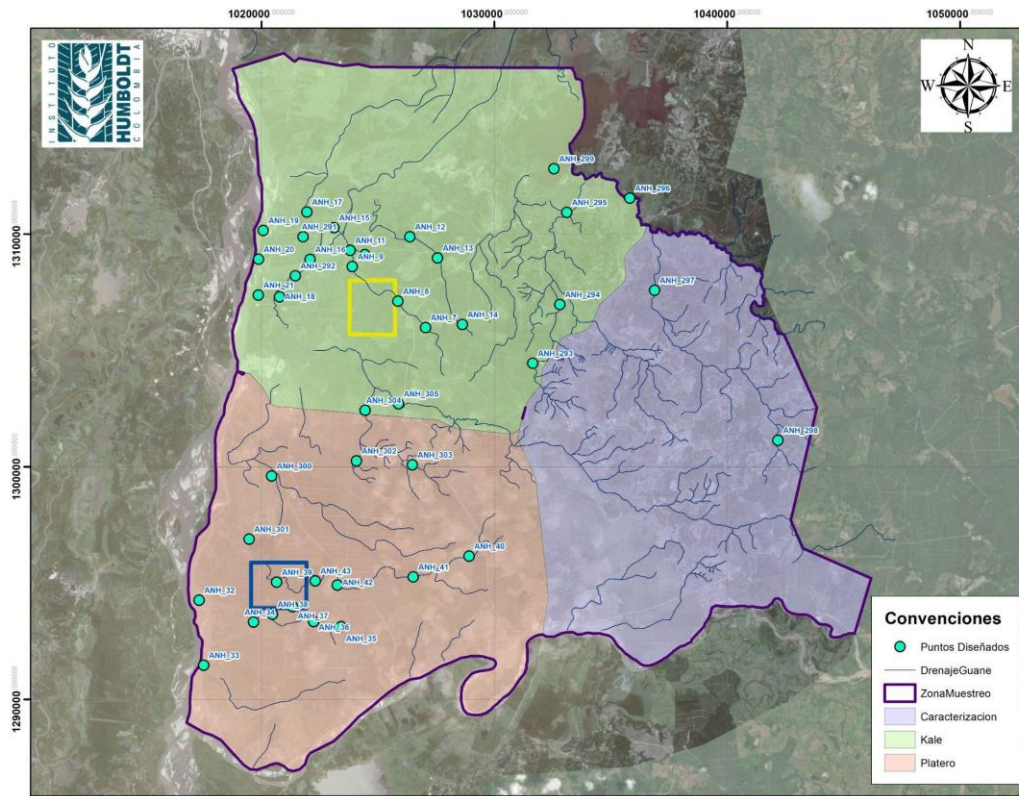


Figura 2. Unidades de muestreo diseñadas para el componente de Hidrobiológicos para la Línea Base Regional de Biodiversidad

Toma de datos en campo

Luego de iniciadas las actividades en campo, se evidenció que la cartografía de los cuerpos de agua no representaba fielmente lo observado en el terreno, debido al cambio del cauce de algunos cuerpos de agua, producto de actividades humanas. Debido a esto, fue necesario reubicar algunas unidades de muestreo.

Los cuerpos de agua fueron clasificados en quebradas, caños, ciénagas y río (Tabla 1). En el caso de los puntos de río estos correspondieron a las unidades de muestreo que se ubicaron en el río Magdalena (ver Introducción).

Tabla 1. Distribución de las unidades de muestreo para cada una de las áreas establecidas como Kalé, Platero y Caracterización, asociadas a la clasificación definida para los diferentes humedales.

Cobertura vegetal	Kale		Platero		Caracterización	
Ciénaga	ANH_10	Poza de los Caimanes	ANH_295	Yariri	ANH_299	Paredes
	ANH_9	Aguas Negras	ANH_300	Monte Cristo		
			ANH_301	Corredor		
			ANH_34	El Salado		

Cobertura vegetal	Kale		Platero		Caracterización	
Caño	ANH_11	Negro/Dantas	ANH_303	Angustias	ANH_296	La Gomez
	ANH_15	Negro	ANH_35	El Salado		
	ANH_16	Negro	ANH_37	El Salado		
	ANH_17	Raicero	ANH_38	El Salado		
	ANH_18	Negro	ANH_39	Corredor		
	ANH_291	Negro/Dantas	ANH_42	Corredor		
	ANH_292	Negro	ANH_43	Corredor		
Quebrada	ANH_12	La Arenosa	ANH_302	La Morena	ANH_297	Los Chorreros
	ANH_13	La Arenosa	ANH_304	La Morena	ANH_298	Los Chorreros
	ANH_14	La Arenosa	ANH_305	La 13	ANH_293	Agua Bonita
	ANH_7	San Martin	ANH_40	Corredor	ANH_294	Agua Bonita
	ANH_8	San Martin	ANH_41	Corredor		
Río	ANH_19	Magdalena	ANH_32	Magdalena		
	ANH_20	Magdalena	ANH_33	Magdalena		
	ANH_21	Magdalena				

Parámetros fisicoquímicos

En cada evento de muestreo se tomaron muestras para análisis físico-químicos en laboratorio y se midieron parámetros *in situ* con la ayuda de sondas multiparamétricas marca HANNA HI98194 y HI9829. Los análisis de las muestras fueron realizados por el Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander. Cada uno de los parámetros medidos y analizados se relacionan en la Tabla 2.

Para evaluar la concentración de grasas y aceites se tomaron 500 ml de agua superficial en dirección contraria a la corriente que fue preservada con 1 ml de ácido clorhídrico (pH<5), y para la evaluación del fósforo se recolectaron 100 ml de agua en un frasco de vidrio ámbar. Para los demás análisis se tomó 1 litro de agua en un recipiente de plástico que fue refrigerado para su preservación.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos evaluados.

Momento	Parámetro	Unidad de medición
<i>In situ</i>	Temperatura	°C
	pH	unidades de pH
	Conductividad	µS/cm
	Sólidos disueltos totales	mg/L

Momento	Parámetro	Unidad de medición
	Oxígeno disuelto	mg/L
	Saturación de oxígeno	% de O ₂
Laboratorio	Carbono orgánico total	mg C/L
	Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L
	Fósforo total	mg P/L
	Magnesio	mg Mg/L
	Calcio	mg Ca/L
	Sodio	mg Na/L
	Grasas y aceites	mg/L
	Fosfatos	mg PO ₄ -3/L
	Dureza total	mg CaCO ₃ /L
	Nitratos	mg N-NO ₃ -L
	Sólidos totales disueltos	mg/L
	Sólidos totales	mg/L
	Sólidos suspendidos	mg/L
	Sólidos solubles	mg/L
	Silicatos	mg SiO ₂ /L
	Sustancias activas al azul de Metileno	mg/L
	Carbonatos	mg CO ₃ -2/L
Dureza cálcica	CaCO ₃ /L	

Comunidades planctónicas (fitoplancton y zooplancton)

En cada unidad de muestreo se delimitó un transecto de 100 m sobre el que se establecieron tres puntos de muestreo separados entre sí por una distancia de 50 m. En cada punto de muestreo se estableció la profundidad del cuerpo de agua y el límite de la zona fótica. En cada punto de muestreo se tomaron nueve submuestras con una botella Van Dorn de dos litros, para un total de 18 litros, que conformaron una única muestra compuesta (Figura 3). En los cuerpos de agua con una profundidad mayor a dos metros las submuestras se tomaron a tres profundidades

diferentes (Zona superficial, mitad de la capa fótica y profundidad de capa fótica). Este procedimiento se repitió en tres puntos a lo ancho del cuerpo de agua. En los cuerpos de agua con una profundidad menor a dos metros las nueve submuestras se tomaron a una misma profundidad. Para la comunidad fitoplanctónica el volumen obtenido (18 l) se filtró por una red de 23 micras; mientras que para la comunidad zooplanctónica se utilizó una red de 63 micras de ojo de malla.



Figura 3. Toma de muestra de comunidades planctónicas con botella de Van Dorn.

Fitoperifiton

En cada punto de muestreo definido previamente, se extrajeron del agua los sustratos para evaluar la comunidad de fitoperifiton, esto con el evitar la pérdida de algas por efecto de la corriente (Barbour et al., 1999; De la Fuente, 2007; APHA, 2017). Sobre cada sustrato se ubicó un marco de 3 x 3 cm para raspar el biofilm presente con un cepillo de dientes (Roldán y Ramírez, 2008) (Figura 4). Este proceso se repitió doce veces hasta abarcar un área aproximada de 100 cm² para cada una de las muestras colectadas. En total por punto de muestreo se tomaron tres muestras.

Macroinvertebrados acuáticos

Toma de muestras cuantitativas con red tipo D

En cada punto de muestreo definido previamente se realizaron 20 kicks con una red tipo D en los hábitats identificados, abarcando un área total de 2,5 m². El número de kicks realizados en cada hábitat fue proporcional al área ocupada por éste en la unidad de muestreo. En los cuerpos lóticos el muestreo se realizó en la dirección contraria al flujo de agua (Figura 5). En los ríos no vadeables, el muestreo se efectuó en sólo una de sus orillas. Las muestras fueron tamizadas en campo con ayuda de un tamiz de 350 micras para eliminar el exceso de material particulado.



Figura 4. Toma de muestra de fitoperifiton por medio de raspados.



Figura 5. Toma de muestra de macroinvertebrados acuáticos con ayuda de la red tipo D.

Toma de muestra con draga

En algunos de los puntos de muestreo definidos previamente se efectuaron tres dragados. Este método se empleó principalmente en ciénagas y en el río Magdalena, donde la profundidad del cuerpo de agua no permitió efectuar la técnica con Kicks o había ausencia de macrófitas. La muestra obtenida se depositó en un tamiz con ojo de malla de 350 micras, donde fue lavada para evitar el exceso

de sedimentos. Para la toma de muestra se ancló el bote, se aseguró la draga con una cuerda y se lanzó verticalmente hasta el fondo del cuerpo de agua, después de haber llegado al fondo se jaló de la cuerda para accionar el cierre de esta, posteriormente se subió la draga, para recibir el material béntico (Figura 6).



Figura 6. Toma de muestra de la comunidad bentónica por medio de la draga.

Macrófitas acuáticas

Para evaluar la composición y abundancia de la comunidad de macrófitas se utilizaron cuadrantes de 1x1 m (Figura 7). Dependiendo de las características del sitio se establecieron entre 1 y 10 transectos de 100 m, en cada transecto se ubicaron 10 cuadrantes. La localización de los transectos siguió el esquema presentado en la Figura 8. La abundancia fue calculada teniendo en cuenta el porcentaje de cobertura obtenida en el área total evaluada.



Figura 7. Medición de cobertura por medio de cuadrantes de 1 x 1 m.

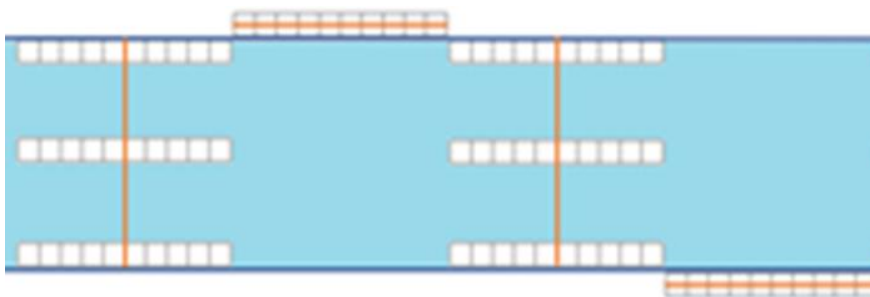


Figura 8. Esquema para la forma de monitoreo de macrófitas en ríos vadeables.

Preservación y análisis de muestras

Comunidades planctónicas (fitoplancton y zooplancton)

Luego de obtenidas cada una de las muestras fitoplanctónicas, se adicionó un mililitro de lugol por cada 100 ml de muestra y una solución fijadora de formalina al 4% en relación 1:1. Para la comunidad zooplanctónica se añadió agua carbonatada o soda para relajar los individuos y una solución fijadora de formalina al 4% en relación 1:1

Para el análisis de laboratorio del fitoplancton cada muestra fue sedimentada durante una hora por mililitro de la columna. Se ubicó la cámara con el sedimento sobre la platina del microscopio invertido y se marcó la cámara con el código de la muestra (González de Infante, 1988). Se contaron todas las células presentes hasta encontrar 400 de la morfoespecie más abundante en aumento de 40X, para esto se hizo un barrido con campos al azar, hasta completar las 400 células mínimo en cuatro campos.

En los casos donde se alcanzó las 400 células en un solo campo óptico se contaron cuatro campos más, para confirmar que la abundancia de la muestra si fuera alta y evitar sobreestimaciones por la agregación de células en un solo punto. Se realizó un barrido de toda la cámara en aumento de 40X, teniendo en cuenta todas las células de las morfoespecies que no se observaron en el conteo, con el fin de reportar la diversidad de estas. Cuando se presentaron algas coloniales, se realizó el conteo del número de células presentes en la colonia.

El conteo del zooplancton se efectuó en una cámara Sedgwick Rafter de 1 ml, el volumen total analizado para cada muestra fue de 10 ml. Antes de la toma de cada una de las alícuotas la muestra se homogeneizó mediante agitación y se efectuó el conteo de todos los individuos encontrados en la cámara.

Para la clasificación taxonómica de las algas se hizo uso de *algaebase* mientras que para la comunidad zooplanctónica se tuvo en cuenta la base de datos taxonómica *Integrated Taxonomic Information System* (ITIS). Las muestras serán depositadas en el Museo Javeriano de Historia Natural (MPUJ).

Fitoperifiton

Una vez efectuado todos los raspados correspondientes para el área se adicionó 0,5 ml de lugol y se fijó con solución de formalina al 4% en proporción 1:1.

El análisis cuantitativo inició con un barrido de toda la S-R a la menor magnificación, esto ayudó a conocer de forma rápida la densidad y distribución de la comunidad perifítica. Este barrido permite realizar una selección de la cantidad de muestra que debe ser analizada y definir si es necesario diluirla (UNESCO, 2010). Se contaron todas las células presentes hasta encontrar 400 del morfotipo más abundante a 40X, para esto se hizo un barrido con campos al azar, hasta completar las 400 células mínimo en cuatro campos. En los casos donde se alcanzó las 400 células en un solo campo óptico se contaron cuatro campos más, para confirmar que la abundancia de la muestra si fuera alta y evitar sobreestimaciones por la agregación de células en un solo punto. Para la clasificación taxonómica de las algas se hizo uso de *algaebase*. Las muestras serán depositadas en el Museo Javeriano de Historia Natural (MPUJ).

Macroinvertebrados acuáticos

Cada muestra fue trabajada de manera independiente sometiéndose a un lavado con agua sobre unos tamices de 250 μm y 710 μm cuyo objetivo fue separar los organismos del material vegetal y sedimentos. La separación se llevó a cabo en cajas de Petri bajo el estereoscopio. Una vez separados los organismos, se identificaron utilizando literatura especializada resaltando las siguientes referencias: Domínguez y Fernández (2009), Hamada et al. (2018), entre otros. Los organismos separados fueron depositados en frascos con etanol al 70%. La clasificación taxonómica que se usó fue la base de datos taxonómica *Integrated Taxonomic Information System* (ITIS). Las muestras serán depositadas en el Museo Javeriano de Historia Natural (MPUJ).

Macrófitas acuáticas

El procedimiento para el análisis de las macrófitas estuvo basado en la propuesta APHA (2012) donde las plantas fueron sometidas a un lavado con agua de la llave para eliminar el exceso de preservante y de sedimento, luego se ubicó sobre una bandeja con agua para resaltar cualquier estructura necesaria para su identificación. Se examinó a cada individuo con la ayuda de literatura especializada y claves taxonómicas referenciando las siguientes: Brunner y Beck (1990); Cirujano et al (2005); Hiscock (2003); García-Murillo et al. (2009) y Smagula y Connor (2007). Para la clasificación taxonómica y verificación de la correcta escritura de los nombres se tuvo en cuenta la página Tropicos.org del Missouri Botanical Garden (<http://www.tropicos.org>) con el sistema de clasificación APG IV y se asignó la división y clase de acuerdo a la colección vegetal del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia (ICN). Las muestras serán depositadas en el Herbario del Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt.

Preparación de datos

El DwC de comunidades hidrobiológicas cuenta con 6 matrices, la primera enfocada hacia el evento, donde se registró la estación (parentEventID) y las tres submuestras de cada una de las comunidades para cada unidad de muestreo (eventID), excepto para la comunidad de macrófitas acuáticas, que solo contó con una muestra general. Adicionalmente, en el DwC se documentó el esfuerzo de muestreo, la cantidad de muestra, el método de colecta, una breve descripción de las características bióticas y abióticas de la estación y datos generales de la ubicación, como la vereda, el corregimiento y las correspondientes coordenadas.

Las restantes cinco matrices corresponden a cada una de las comunidades (fitoplancton, zooplancton, fitoperifiton, macroinvertebrados acuáticos y macrófitas acuáticas). En las cuales se registró por cada submuestra las condiciones de preservación, la abundancias absoluta (obtenida a partir de los conteos de las muestras) y la densidad calculada, ya sea por área o volumen, esta última, con el fin de estandarizar el número de individuos para aquellas estaciones en que los esfuerzos de muestreo o los métodos de colecta no fueron los mismos. En estas matrices también se registró la información de identificación taxonómica hasta el mínimo nivel posible.

La resolución taxonómica empleada para cada comunidad hidrobiológica fue la siguiente: fitoplancton y zooplancton se trabajó a nivel de morfoespecie, fitoperifiton y macroinvertebrados acuáticos a nivel de género, y macrófitas acuáticas se trabajó al nivel de especie. Cuando no fue posible llegar a la resolución taxonómica especificada para cada comunidad, los datos no fueron incluidos en los análisis. Para el zooplancton los valores de densidad obtenidos dentro de las morfoespecies Maxillipoda Mf1 y Maxillipoda Mf2, se sumaron a las densidades de los géneros *Mesocyclops* sp1 y *Prionodiptomus* sp. Para sumar este valor se tuvo presente los valores obtenidos por estos dos géneros en su densidad y según la proporción de cada uno en las diferentes unidades de muestreo, se sumaron los valores de las morfoespecies. En las Unidades donde no se presentó ningún organismo de estos dos géneros la proporción usada para transferir los datos fue de 50:50.

Posteriormente, dicha DwC de las comunidades hidrobiológicas fue sometida a evaluación por parte del equipo I2D del Instituto Humboldt para su validación, y publicación como conjunto de datos (http://i2d.humboldt.org.co/ceiba/resource.do?r=hidrob_anh_2021). Con la matriz validada, se construyeron los análisis que se presentan a continuación.

Finalmente, para complementar la información de todos los registros realizamos una GDB en la cual incluimos información que no está consignada en las anteriores bases de datos y que está relacionada con información de categorías de amenaza de las morfoespecies a nivel nacional e internacional (CITES, IUCN y resolución de 1912), información sobre distribución, migración, veda, uso cultural de las morfoespecies, gremio trófico, abundancia relativa y abundancia absoluta.

Resultados

Esfuerzo de muestreo

Por tipo de cuerpos de agua

Para la mayoría de las comunidades se tomaron tres muestras en cada una de las unidades de muestreo sin importar el cuerpo de agua, con excepción de la comunidades de macrófitas donde se tomó una sola muestra compuesta de las diferentes especies o morfoespecies de hidrófitas (plantas que cumplen todos sus ciclos de vida asociadas al agua) y de helófitas (plantas que al menos uno de sus ciclos de vida está asociado al agua). En el caso de las comunidades planctónicas (fitoplancton y zooplancton) el esfuerzo de muestreo fue el mismo entre los diferentes cuerpos de agua; el cual consistió en nueve botellas de 2 litros filtradas por redes para cada muestra (un total de 18 Litros por muestra y de 54 litros en total por unidad de muestreo filtrados en redes de 23 o 63 micras).

Para la comunidad fitoperifítica, en la medida de lo posible se efectuaron 12 raspados para cada muestra (área raspada por muestra 108 cm^2), en los diferentes tipos de cuerpos de agua. En aquellos donde no fue posible obtener sustratos que permitieran la obtención de los raspados con los cuadrantes de $3 \times 3 \text{ cm}$, se seleccionaron fragmentos de macrófitas o troncos cilíndricos y se tomaron entre 10 o 12 fragmentos para después raspar y medir estos para la obtención del área. En este caso las áreas como esfuerzo de muestreo oscilaron entre $49,63 \text{ cm}^2$ hasta $178,34 \text{ cm}^2$.

Por otro lado, para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se obtuvieron diferentes esfuerzos de muestreo según la técnica asociada. En la mayor parte de los cuerpos de agua vadeables se usó la técnica de muestreo por Kicks con red Tipo D, con un esfuerzo por muestra de 20 pateos o kicks y para un total de esfuerzo de muestreo de 60 kicks por punto o 3 m^2 . En las ciénagas y algunos cuerpos lóticos como los asociados a algunas zonas de caño negro, donde la profundidad no permitió efectuar la técnica anterior, se tomaron cinco arrastres con Red tipo D asociado a las macrófitas acuáticas con un área total por muestra de $0,45 \text{ m}^2$ y un área total por unidad de muestreo de $1,35 \text{ m}^2$. Finalmente en los puntos asociados al río Magdalena se efectuaron tres dragados por muestra para un esfuerzo por muestra de $0,072 \text{ m}^2$ y de $0,216 \text{ m}^2$ por unidad de muestreo.

La cobertura de muestreo obtenida para los caños, ciénagas y quebradas en las comunidades de fitoplancton, zooplancton, fitoperifiton y macroinvertebrados estuvo por encima del 98%, en el caso de los ríos (río Magdalena) la cobertura estuvo por encima del 82%. En el caso de las macrófitas acuáticas, los porcentajes de cobertura de muestreo estuvieron entre el 70% y el 79%.

Las comunidades planctónicas (fitoplancton y zooplancton) presentaron la mayor riqueza de morfoespecies en los caños, seguido por las ciénagas y las quebradas

(Figura 9A y 9B). La mayor riqueza de géneros de fitoperifiton se observó en las ciénagas, seguido por los caños y las quebradas (Figura 9C). Las comunidades de macroinvertebrados presentaron los mayores valores de riqueza de géneros en quebradas y caños (Figura 9D). Las macrófitas acuáticas presentaron valores de riqueza de especies similares para todos los tipos de cuerpo de agua, excepto para el río, donde obtuvo valores de riqueza bajos (Figura 9E).

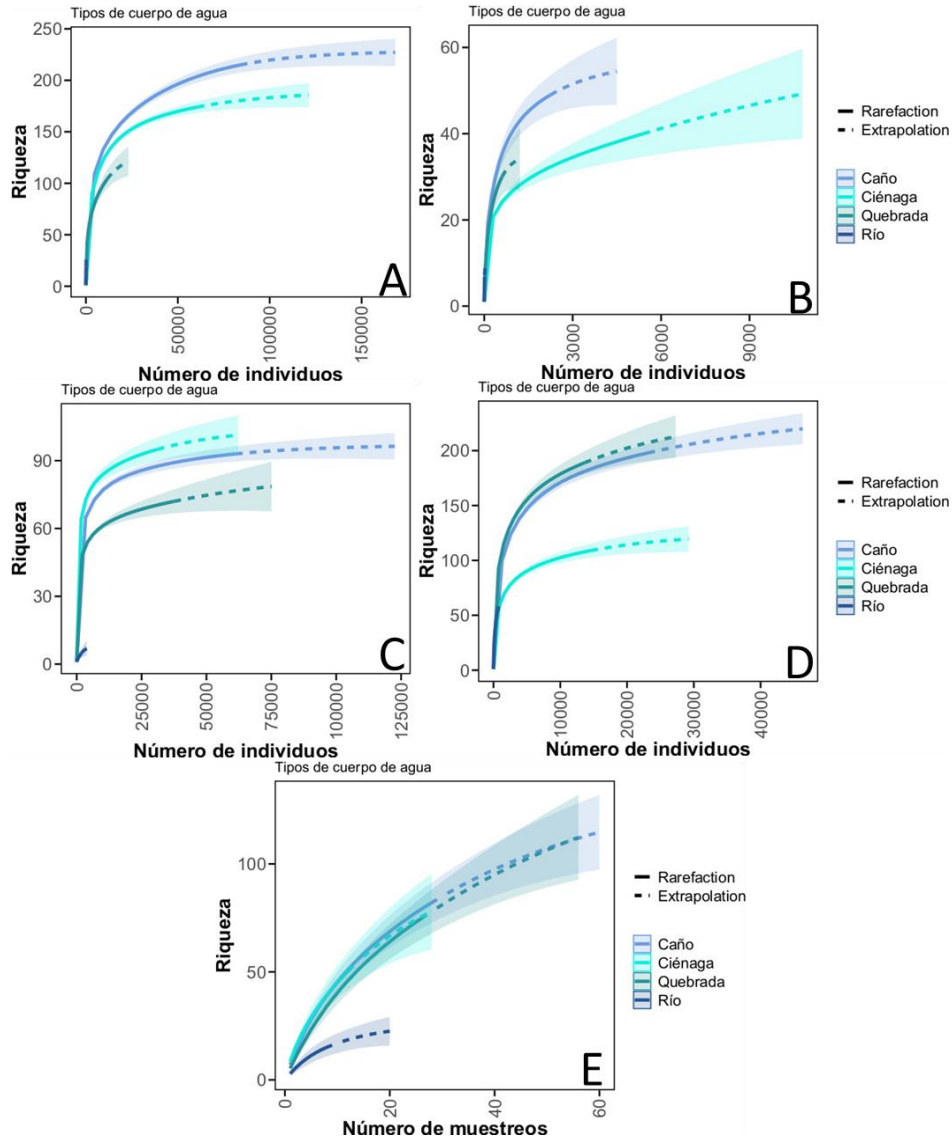


Figura 9. Curvas de rarefacción/extrapolación de la riqueza para las diferentes comunidades hidrobiológicas colectados **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados **E.** Macrófitas acuáticas. para los distintos cuerpos de agua en ambas temporadas climáticas, cálculos basados en la abundancia de las morfoespecies colectadas y para macrófitas en la incidencia (número de eventos con presencia).

Por zona de trabajo

Asociado a cada una de las zonas estudiadas el esfuerzo de muestreo cambió asociado con la cantidad de unidades de muestreo existentes en cada una y las técnicas usadas para cada comunidad. Para la zona de Kale, la comunidad de macrófitas acuáticas tuvo un esfuerzo total de muestreo de 1210 m² en ambas temporadas climáticas. Para el fitoplancton y zooplancton el volumen total filtrado fue de 2295 litros respectivamente. Para el fitoperifiton el área total raspada 10207,84 cm² y para los macroinvertebrados acuáticos el esfuerzo total fue de 129,702 m². Valores obtenidos para ambas temporadas climáticas a partir de los diferentes muestreos explicados con antelación.

En el caso de la zona de Platero la comunidad de macrófitas alcanzó un área total muestreada de 1872 m², el fitoplancton y zooplancton un volumen total; como esfuerzo de muestreo, de 2430 litros respectivamente. El fitoperifiton un área total de 11517,53 cm² y los macroinvertebrados acuáticos un total de 229,932 m². Valores igualmente asociados a ambas temporadas climáticas y a las diferentes técnicas. Por último la zona de caracterización obtuvo valores para macrófitas de 512 m²; para fitoplancton y zooplancton un volumen total de 810 litros respectivamente, para fitoperifiton un área total de 3849,78 cm² y para macroinvertebrados un área total de 80,73 m².

La cobertura de muestreo en todas las zonas y para todas las comunidades hidrobiológicas estuvo por encima del 99%, excepto para las macrófitas acuáticas que presentó coberturas de muestreo inferiores al 78% en Kale, 81% en Platero y 44% en la zona de Caracterización. La zona de Kale presentó la mayor riqueza esperada en todas las comunidades, a excepción del zooplancton, donde se espera una mayor riqueza en la zona de Platero (Figura 10).

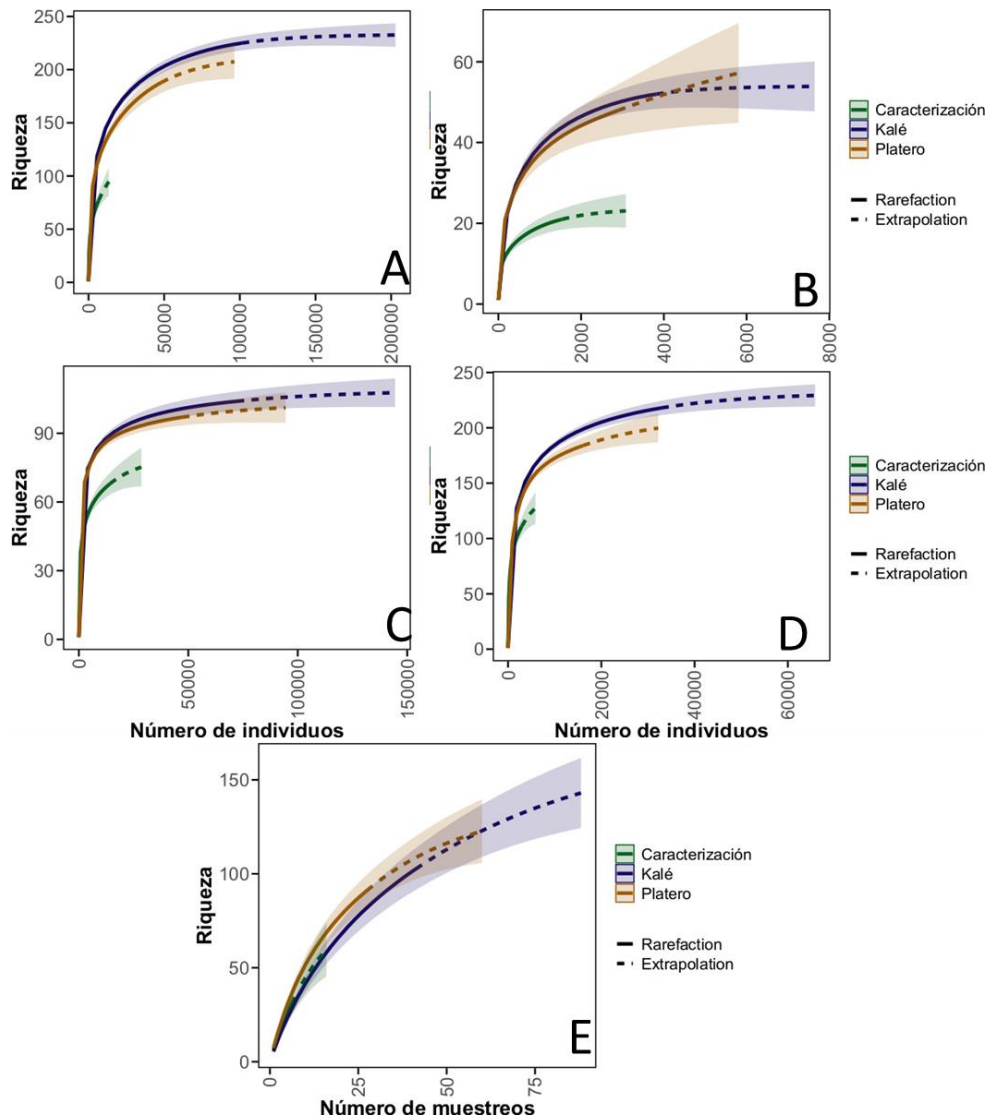


Figura 10. Curvas de rarefacción/extrapolación de la riqueza para las zonas de muestreo de Kale, Platero y Caracterización para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados **E.** Macrófitas acuáticas. Cálculos basados en la abundancia de las morfoespecies colectadas y para macrófitas en la incidencia (número de eventos con presencia).

Por cada tipo de cuerpo de agua y temporada climática

Las coberturas de muestreo para la comunidad de fitoplancton estuvieron por encima del 98% para los caños, ciénagas y quebradas en las dos temporadas climáticas. En el río, en temporada de aguas altas, se obtuvo una cobertura de muestreo del 85%; durante aguas bajas no se registraron organismos de esta comunidad. El comportamiento de la riqueza de morfoespecies en esta comunidad, en los caños, fue similar en ambas temporadas, mientras que en las ciénagas la riqueza fue menor durante la temporada de aguas bajas (Figura 11A y 11A´).

Las coberturas de muestreo obtenidas para la comunidad de zooplancton estuvieron por encima del 80% en los caños, ciénagas, quebradas y el río durante las dos temporadas climáticas. En el río no se tuvieron muestras de esta comunidad durante la temporada de aguas altas. La riqueza observada en los caños y ciénagas fue similar. Sin embargo, en las ciénagas se espera un mayor número de morfoespecies al aumentar el muestreo (Figura 11B y 11B').

Las coberturas de muestreo obtenidas para la comunidad de fitoperifiton en los diferentes cuerpos de agua, durante ambas temporadas climáticas, estuvieron por encima del 99%, a excepción del río en temporada de aguas bajas, donde no se observaron individuos de esta comunidad. El comportamiento de la riqueza de géneros en esta comunidad, en los caños, fue similar en ambas temporadas, mientras que en las ciénagas y quebradas la riqueza fue mayor durante la temporada de aguas bajas (Figura 11C y 11C').

Las coberturas de muestreo obtenidas para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los diferentes cuerpos de agua, durante ambas temporadas climáticas, estuvieron por encima del 94%. La riqueza fue mayor en las quebradas y caños que en las ciénagas, este mismo patrón se observó en ambas temporadas climáticas. (Figura 12A y 12A').

Las coberturas de muestreo obtenida para la comunidad de macrófitas acuáticas fueron las más bajas, con un valor máximo de 81% en el río durante la temporada de aguas altas, los otros ecosistemas estuvieron por debajo del 71% hasta el valor más bajo que se presentó en el río en temporada de aguas bajas con 45% (Figura 12B y 12B').

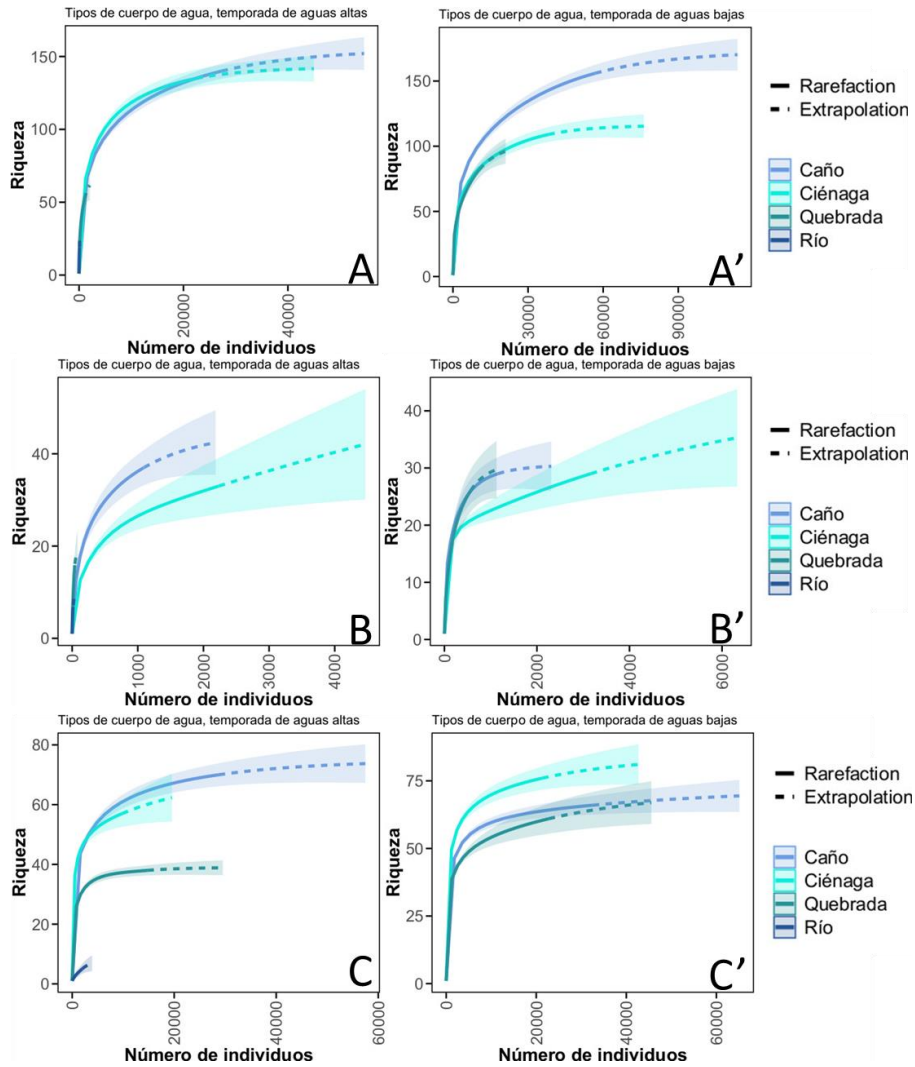


Figura 11. Curvas de rarefacción/extrapolación de la riqueza para las temporadas de aguas altas y aguas bajas (primera) para las diferentes comunidades en los distintos cuerpos de agua **A.** Fitoplancton aguas altas **A'.** Fitoplancton aguas bajas **B.** Zooplancton aguas altas **B'.** Zooplancton aguas bajas **C.** Fitoperifiton aguas altas **C'.** Fitoperifiton aguas bajas. Cálculos basados en la abundancia de las morfoespecies colectadas.

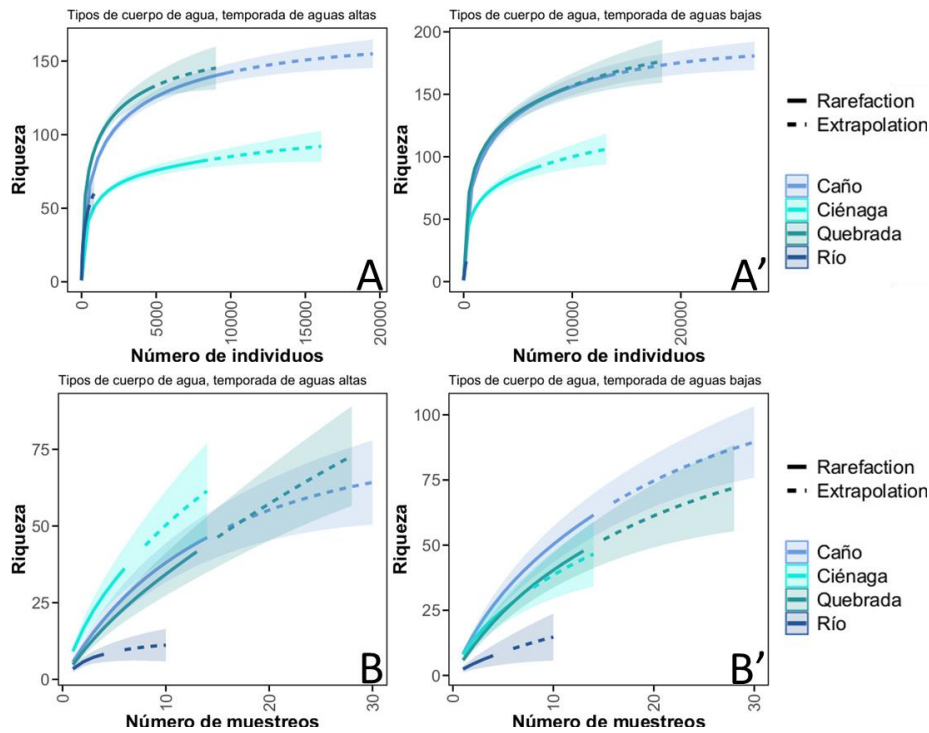


Figura 12. Curvas de rarefacción/extrapolación de la Riqueza para las temporadas de aguas altas y aguas bajas (prima:) para las diferentes comunidades de macroinvertebrados y macrófitas acuáticas en los distintos cuerpos de agua **A.** macroinvertebrados aguas altas **A'.** macroinvertebrados aguas bajas **B.** macrófitas aguas altas **B'.** macrófitas aguas bajas. Cálculos basados en la incidencia total de las morfoespecies colectadas para macrófitas

Composición y diversidad de morfoespecies

La densidad total obtenida para las comunidades de fitoperifiton fue de 15'086.278 Cel/cm²; para el fitoplancton fue de 14'108.440 Cel/l; para los macroinvertebrados acuáticos fue de 28.701 individuos/m² ; y para el zooplancton fue 1.859 individuos/l. La cobertura de muestreo total obtenida para las macrófitas acuáticas fue de 1.004 m² (Anexo 1A, 1B, 1C, 1D y 1E-Hidrobiológicos).

Se registraron 294 morfoespecies de fitoplancton distribuidas en 114 géneros, 67 familias, 36 órdenes, 15 clases, 9 phyla y 4 reinos. La densidad fue mayor en temporada de aguas bajas (Figura 13A), mientras que la riqueza varió dependiendo el nivel taxonómico, como por ejemplo, a nivel de morfoespecie, se reportó el 74,1% del total para aguas altas y el 72,8% para aguas bajas; contrario, a nivel de género donde la diferencia fue inversa y más acentuada y presentó el 82,5% de los géneros totales para aguas bajas y el 71,1% para aguas altas.

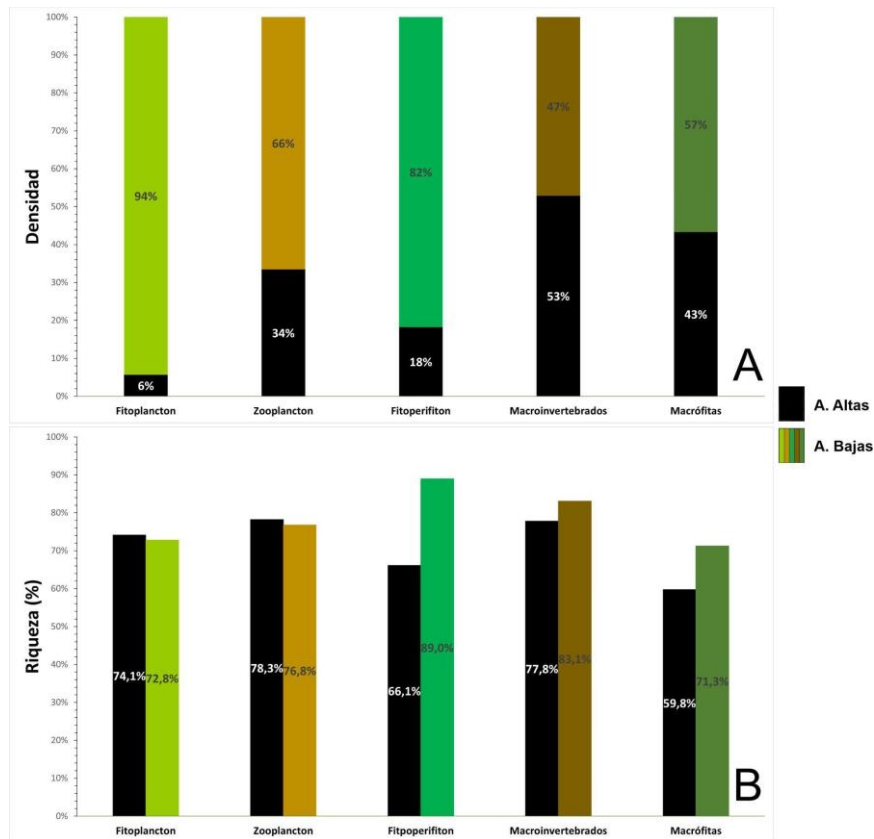


Figura 13. Porcentaje general de **A.** Densidad y **B.** Riqueza de las comunidades hidrobiológicas en temporadas de aguas altas y aguas bajas.

Las familias de fitoplancton que presentaron la mayor riqueza en cada temporada climática fueron: Desmidiaceae (aguas altas: 27,5% y aguas bajas: 20,5%), Eunotiaceae (11,4% y 7,9%), Euglenidae (8,7% y 7%), Closteriaceae (6,8% y 7,9%), Pinnulariaceae (5,9% y 5,1%) y Phacidae (2,2% y 7%) (Figura 14A). Desmidiaceae aportó más del 50% de la densidad total (Anexo 1A-Hidrobiológicos).

Se registraron 69 morfoespecies de zooplancton distribuidas en 31 géneros, 27 familias, 10 órdenes, 6 clases, 4 phyla y 2 reinos. La mayor densidad se presentó en la temporada de aguas bajas (Figura 13A). Las familias que presentaron el mayor número de morfoespecies fueron Lecanidae (aguas altas: 24% y aguas bajas: 30,1%), Brachionidae (14,8% y 15%), Arcellidae (5,5% y 3,7%) y Bosminidae (5,5 y 5,6%) (Figura 14B). El orden Maxillopoda que aportó el 44% de la densidad total (Anexo 1B-Hidrobiológicos).

Las familias Cyprididae, Diaptomidae, Proalidae, Monidae, Asplanchnidae, Filiniidae y Synchaetidae obtuvieron valores que oscilaron entre el 6,74% y 1,5% de la riqueza total respectivamente mientras que las demás se encontraron por debajo del 1%. Cabe resaltar que, la variación de morfoespecies para cada familia en cada temporada varió de forma diferente, donde la familia Lecanidae presentó la mayor variación, tanto en abundancia como en riqueza (Figura 14B). Finalmente, en el ranking de las familias con mayor riqueza, Dicranophoridae y Epiphanidae

ocurrieron solo en temporada de aguas altas, mientras que, Chydoridae solo se encontró en temporada de aguas bajas.

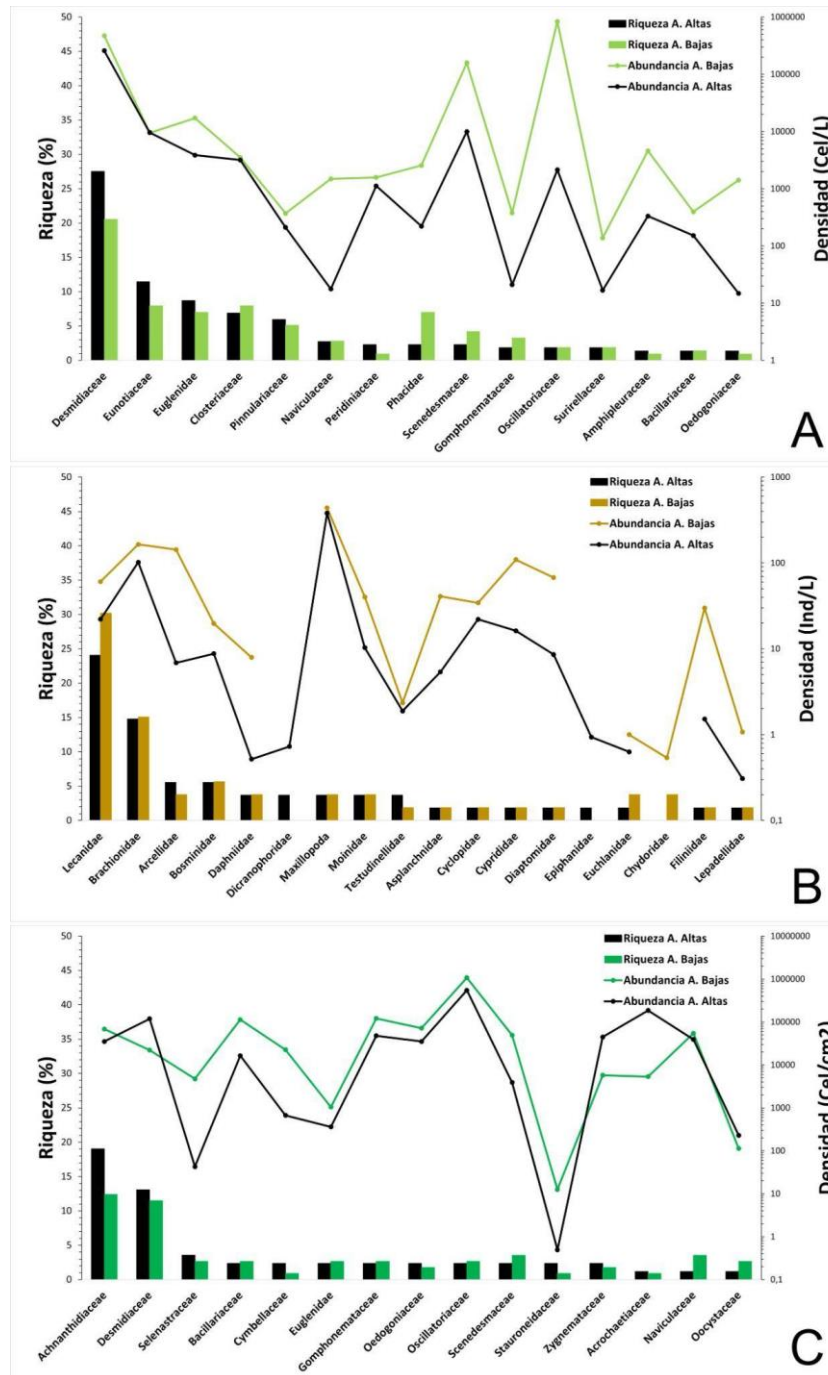


Figura 14. Porcentaje de riqueza y densidad de abundancias de las principales familias de las comunidades hidrobiológicas; **A.** Fitoplancton; **B.** Zooplancton y **C.** Fitoperifiton.

Se registraron 127 morfoespecies de fitoperifiton distribuidas en 111 géneros, 66 familias, 37 órdenes, 14 clases, 9 phyla y 4 reinos. El 82% de la abundancia total se obtuvo en la temporada de aguas bajas, al igual que la mayor riqueza de taxones por familias (Figura 13B). Las familias Achnanthesiaceae (aguas altas: 19% y aguas

bajas: 12,3%), y Desmidiaceae (13% y 11,5%) aportaron la mayor riqueza en ambas temporadas (Figura 14C). Mientras que las familias Heteroleibleiniaceae, Leptolyngbyaceae, Nostocaceae y Oscillatoriaceae aportaron más del 70% de la densidad total (Anexo 1C-Hidrobiológicos). En general, la variación de riqueza por familia entre las dos temporadas fue baja, evidenciándose una mayor variación en las familias Achnanthidiaceae y Desmidiaceae (Figura 14C).

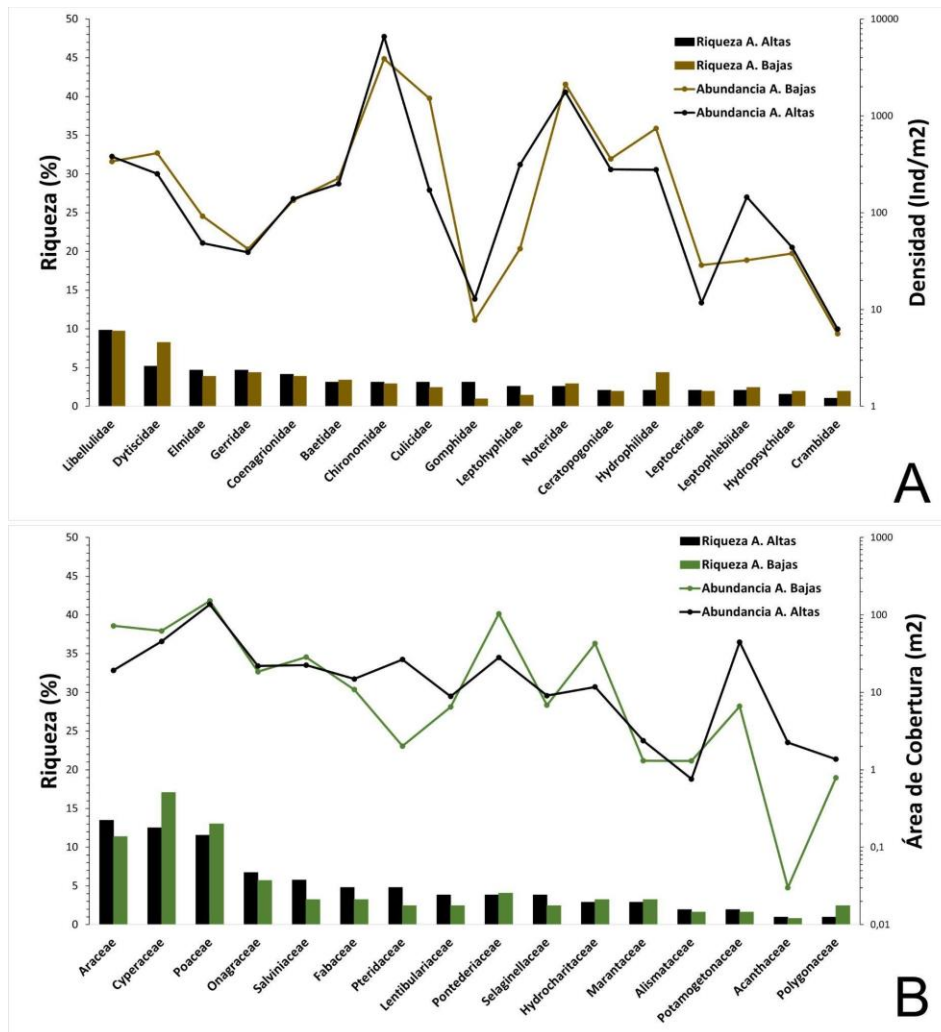


Figura 15. Porcentaje de riqueza y densidad de abundancias de las principales familias de las comunidades hidrobiológicas; **A.** Macroinvertebrados acuáticos y **B.** Macrófitas acuáticas.

Se registraron 248 morfoespecies de macroinvertebrados pertenecientes a 240 géneros, 83 familias, 22 órdenes, 8 clases y 3 phyla, todos del reino animal. a mayor densidad se presentó durante la temporada de aguas altas (Figura 13A) y la mayor riqueza en la temporada de aguas bajas (Figura 13B). Las familias con el mayor número de morfoespecies fueron Libellulidae (9,7% para ambas temporadas) y Dytiscidae (aguas altas:5,1% y aguas bajas: 8,2%) (Figura 15A). Las familias Chironomidae, Noteridae, Cyclestheriidae y Culicidae aportaron el 36%,13%, 8% y

6% respectivamente, de la densidad total. Las familias restantes aportaron menos del 5% (Anexo 1D-Hidrobiológicos). La variación de la riqueza entre temporadas fue evidente en las familias Dytiscidae, Hydrophilidae y Gomphidae, siendo mayor la riqueza en la temporada de aguas bajas en las dos primeras familias, mientras que en la tercera la riqueza fue mayor en la temporada de aguas altas.

Se registraron 174 especies de macrófitas acuáticas distribuidas en 85 géneros, 46 familias, 27 órdenes, 7 clases y 5 phyla del reino vegetal. El mayor porcentaje de cobertura se reportó durante la temporada de aguas bajas (Figura 13A). Las familias con mayor riqueza de morfoespecies fueron Cyperaceae (aguas altas: 12,5% y aguas bajas: 17%), Araceae (13,4 y 11,3%) y Poaceae (11,5% y 13%; Figura 15B).

Las familias que presentaron el mayor porcentaje de cobertura fueron Poaceae, con el 28,6% de la cobertura total, seguida de Pontederiacae con el 13,1%, Cyperaceae con el 10,71% y Araceae con el 9,1%. Las demás familias presentaron porcentajes de cobertura por debajo del 6% (Figura 15B y Anexo 1E-Hidrobiológicos).

Al revisar las gráficas de Rango-Densidad para las distintas comunidades encontramos los siguientes resultados:

Fitoplancton - Las morfoespecie *Microcystis* sp1, *Planktothrix* sp1 y *Volvox* sp1 obtuvieron la mayor densidad durante aguas bajas. La primera especie no fue observada durante la temporada de aguas altas, mientras que las dos restantes se registraron en una menor densidad. Durante aguas bajas las morfoespecies más abundantes fueron *Anabaena* sp1, seguido de las morfoespecies *Botryococcus* sp1 y *Desmidium* sp1 (Figura 16A). En general, la mayoría de morfoespecies presentaron una menor densidad durante la temporada de aguas altas (Figura 16A). Los perfiles de dominancia de la comunidad fueron similares en ambas temporadas.

Zooplancton - Las morfoespecie *Mesocyclops* sp1 y *Prianodiptomus* sp1 presentaron una alta densidad en ambas temporadas (Figura 16B). En general, la mayoría de las morfoespecies presentaron una menor densidad durante la temporada de aguas altas (Figura 16B). Los perfiles de dominancia de la comunidad fueron similares en ambas temporadas.

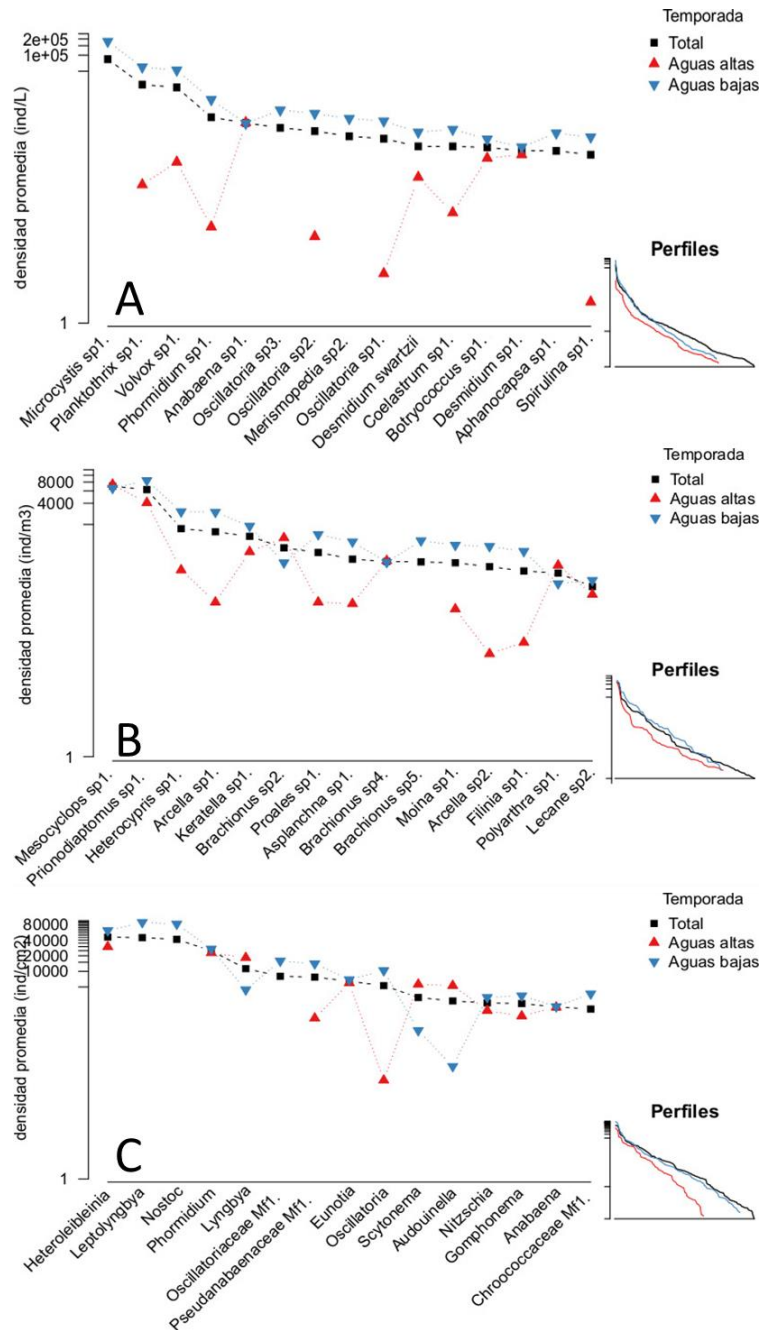


Figura 16. Rango-densidad, orden según las densidades promedio totales, mostrando las temporadas climáticas aguas altas y aguas bajas de las comunidades de **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton y **C.** Fitoperifiton. El subgráfico “Perfiles” incluye todas los taxones y está ordenado según las densidades en cada temporada.

Fitoperifiton - Durante la temporada de aguas bajas los géneros *Heteroleibleinia*, *Leptolyngbya* y *Nostoc* presentaron la mayor densidad (Figura 16C). Durante aguas altas solo el género *Heteroleibleinia* fue identificado en los muestreos. Los perfiles de dominancia observados en esta comunidad presentaron diferencias entre temporadas, observándose un comportamiento más lineal durante aguas bajas.

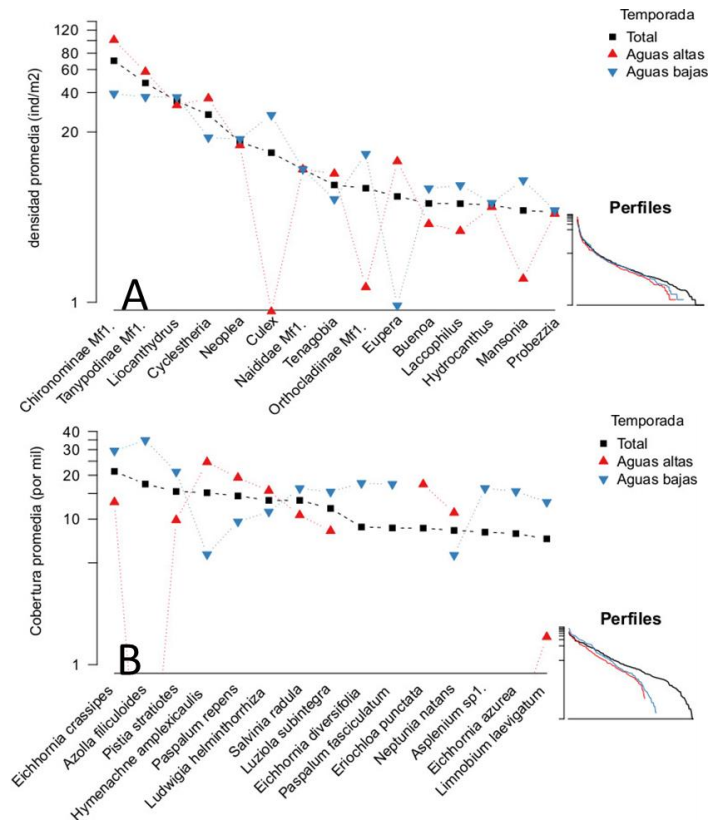


Figura 17. Rango-densidad y Rango-Coberturas promedio para las temporadas climáticas aguas altas y aguas bajas de las comunidades de **A.** Macroinvertebrados **B.** Macrófitas acuáticas. El subgráfico “Perfiles” incluye todas las morfoespecies y está ordenado según las abundancias en cada temporada.

Macroinvertebrados acuáticos - Los géneros *Chironominae* Mf1, *Tanypodinae* Mf1 y *Liocanthydrus* presentaron las mayores densidades durante ambas temporadas climáticas, los dos primeros géneros presentaron una mayor abundancia durante aguas altas. Algunos géneros presentan una fuerte diferencia en sus densidades entre ambas temporadas. Los perfiles de dominancia de la comunidad fueron similares en ambas temporadas (Figura 17A).

Macrófitas acuáticas - La especie *Eichhornia crassipes* presentó la de mayor densidad en ambas temporadas climáticas (Figura 17B). Los perfiles de dominancia de la comunidad fueron similares en ambas temporadas (Figura 17B).

Al revisar las gráficas de Rango-Densidad para las comunidades en los diferentes ecosistemas encontramos los siguientes resultados:

Fitoplancton - La morfoespecie *Microcystis* sp1 fue la de mayor densidad en los caños y las ciénagas, mientras que en las quebradas las morfoespecies con mayor densidad fueron *Desmidium swartzii* y *Desmidium* sp1. Estas dos especies fueron

altamente dominantes en estos ecosistemas, esto se evidencia en el perfil de diversidad de esta comunidad (Figura 18A).

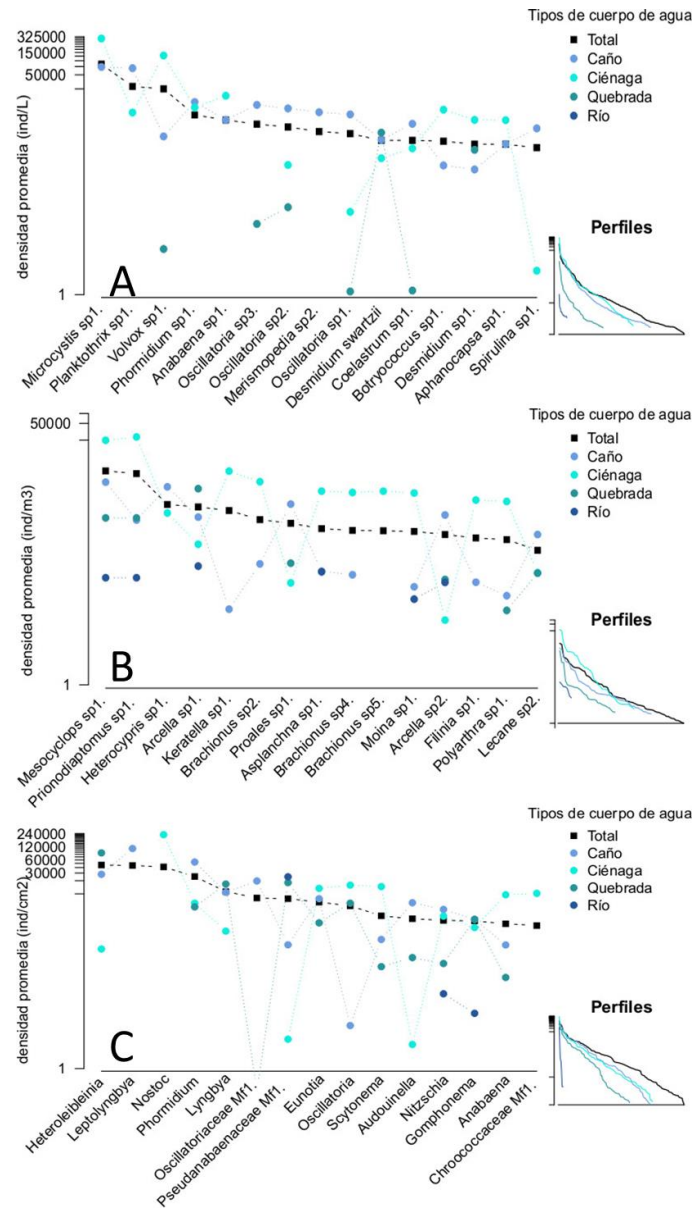


Figura 18. Rango-densidad promedio para los diferentes tipos de cuerpo de agua (caño, ciénaga, quebrada y río) de las comunidades de **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton y **C.** Fitoperifiton. El subgráfico “Perfiles” incluye todas las morfoespecies y está ordenado según las abundancias en cada temporada.

Zooplankton - En los caños las morfoespecies *Mesocyclops* sp1 y *Heterocypris* sp1 presentaron la mayor densidad, mientras que en las ciénagas fueron las morfoespecies *Mesocyclops* sp1 y *Prinodiatomus* sp1. *Arcella* sp1 fue la morfoespecie con mayor densidad en las quebradas (Figura 18B). Los perfiles de

dominancia observados en esta comunidad presentaron diferencias entre los tipos de cuerpos de agua.

Fitoperifiton - Los géneros *Leptolyngbya* y *Phormidium* fueron los que presentaron la mayor densidad en caños, mientras que en ciénagas fue el género *Nostoc* y en quebradas los géneros *Heteroleibleinia* y *Pseudanabaenaceae* Mf1 (Figura 18C). Los perfiles de diversidad de caños y ciénagas presentan el mismo patrón, diferenciándose de lo observado en quebradas.

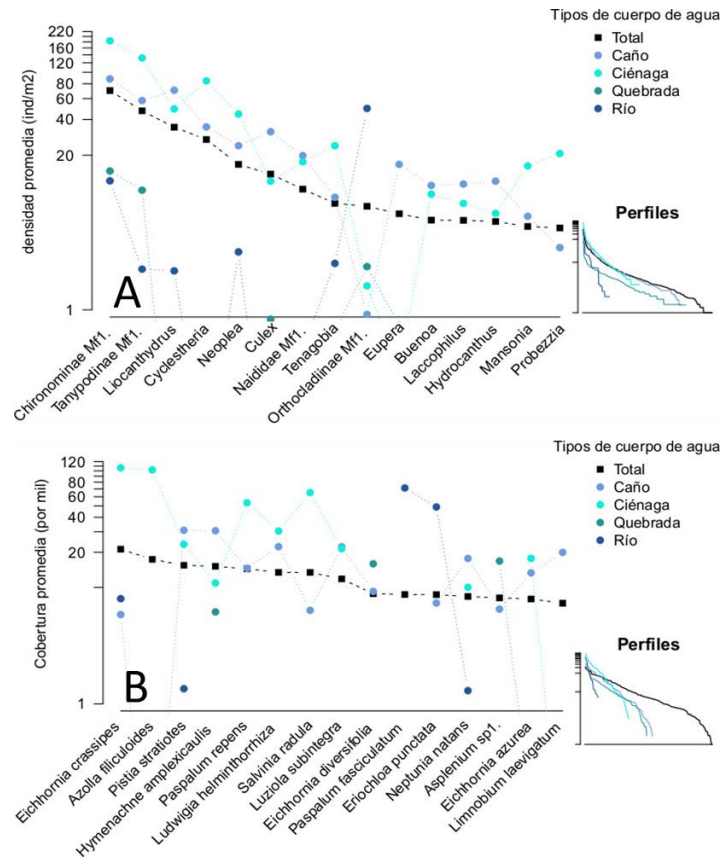


Figura 19. Rango-densidad y rango-cobertura promedio para los diferentes tipos de cuerpo de agua (caño, ciénaga, quebrada y río) de las comunidades de **A.** Macroinvertebrados **B.** Macrófitas acuáticas. El subgráfico “Perfiles” incluye todas las morfoespecies y está ordenado según las abundancias en cada temporada.

Macroinvertebrados acuáticos - Los géneros *Chironominae* Mf1 y *Liocanthydrus* presentaron la mayor densidad en los caños, mientras que en la ciénagas y quebradas fueron los géneros *Chironominae* Mf1 y *Tanypodinae* Mf1 (Figura 19A). Los perfiles de diversidad de caños y ciénagas presentan el mismo patrón, diferenciándose de lo observado en quebradas.

Macrófitas acuáticas - Las especies *Pistia stratiotes* y *Hymenachne amplexicaulis* presentaron el mayor porcentaje de cobertura en caños, mientras *Eichhornia*

crassipe y *Azolla filiculoides* presentaron mayor porcentaje de cobertura en ciénagas y *Asplenium* sp1 y *Eichhornia diversifolia* en quebradas (Figura 19B). En términos generales se presentó una alta heterogeneidad entre los diferentes ecosistemas, asociado con las variaciones de densidades y taxones. Los perfiles de diversidad de caños y quebradas presentan el mismo patrón, diferenciándose de lo observado en ciénagas.

Por su parte, el análisis de rango-densidad con respecto a las zonas de muestreo, demostró que para la comunidad de fitoplancton la morfoespecie *Microcystis* sp1 es la de mayor densidad asociada a la zona de muestreo de Kale. La zona de Platero tuvo una composición diferente, donde la morfoespecie *Volvox* sp1, fue la de mayor densidad y presentó una distribución de las densidades diferente a las de las demás zonas. Y por su parte la zona de Caracterización también tuvo una composición de organismos diferente y solo se observa en los perfiles ya que no compartían las mismas morfoespecies abundantes con las zonas de Kale y Platero (**Figura 20A**).

En el caso de la comunidad de zooplancton, las densidades generales y el rango general, presentaron similitud con las densidades y rangos de las plataformas Kale y Platero (**Figura 20B**), sin embargo, la plataforma Platero tuvo como el taxón de mayor densidad a *Prianodiptomus* sp1, mientras que en general y para la plataforma Kale, el taxón de mayor densidad fue *Mesocyclops* sp1, al igual que en la zona de Caracterización..

Por parte de la comunidad de fitoperifiton, se observan algunos taxones con densidades similares para las diferentes zonas de monitoreo, sin embargo, los rangos de distribución de las densidades cambian para cada plataforma y se observa que en la plataforma Kale el taxón de mayor densidad fue *Heteroleibleinia*, mientras que la plataforma Platero tuvo como taxón de mayor densidad a *Leptolyngbya* y la zona de caracterización tuvo a *Lyngbya* como el taxón más denso (**Figura 20C**).

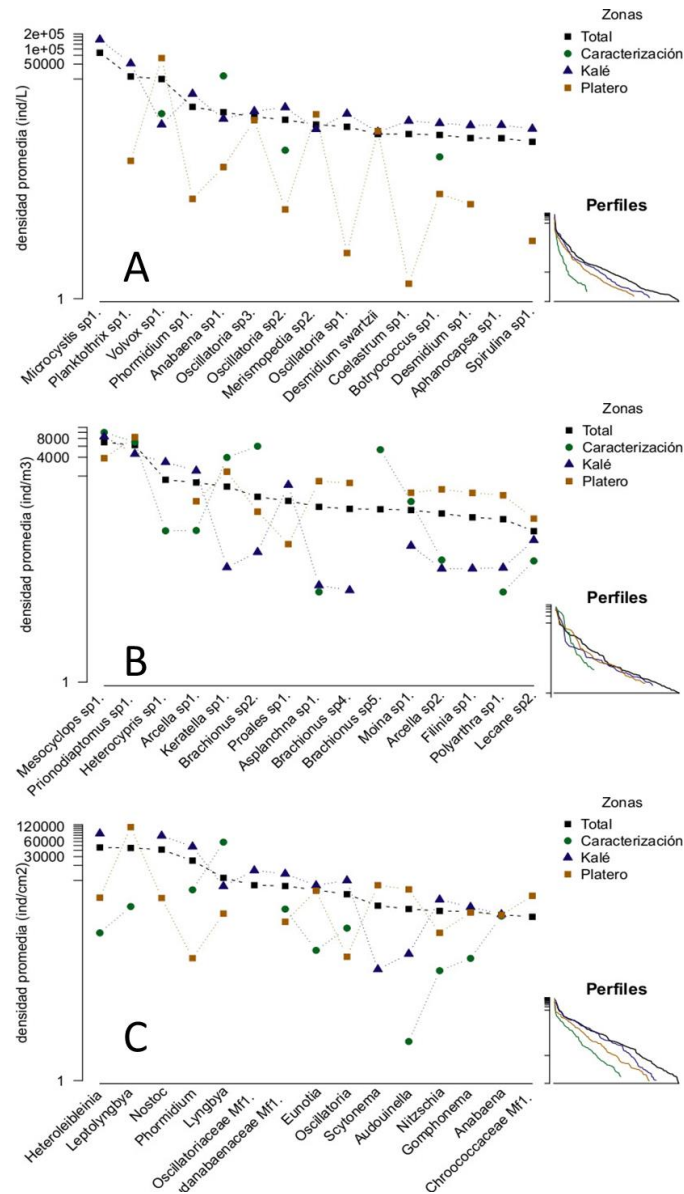


Figura 20. Rango-densidad promedio para las diferentes zonas de muestreo (Caracterización, Kale y Platero) de las comunidades de **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton y **C.** Fitoperifiton. El subgráfico “Perfiles” incluye todas las morfoespecies y está ordenado según las abundancias en cada temporada.

Con respecto a la comunidad de macroinvertebrados, se observó un rango y distribución de las densidades similar entre el total y la plataforma Kale, donde el taxón Chironominae Mf1, fue el de mayor densidad, el cual también fue el de mayor densidad en la zona de Caracterización, sin embargo, esta zona presentó un rango diferente, mientras que la Plataforma Platero tuvo como el taxón de mayor densidad a Tanypodinae Mf1 (**Figura 21A**), lo cual muestra que hay diferencias en la composición entre las zonas de Kale, Platero y Caracterización.

Por último, la comunidad de macrófitas acuáticas también presentó comunidades heterogéneas entre las diferentes zonas de monitoreo puesto que las coberturas promedio y los rangos de cada zona son diferentes. Para la zona de Kale la especie de mayor cobertura promedio fue *Eichhornia crassipes*, mientras que para Platero, fue *Azolla filiculoides* y para la zona de Caracterización, *Paspalum repens* (Figura 21B).

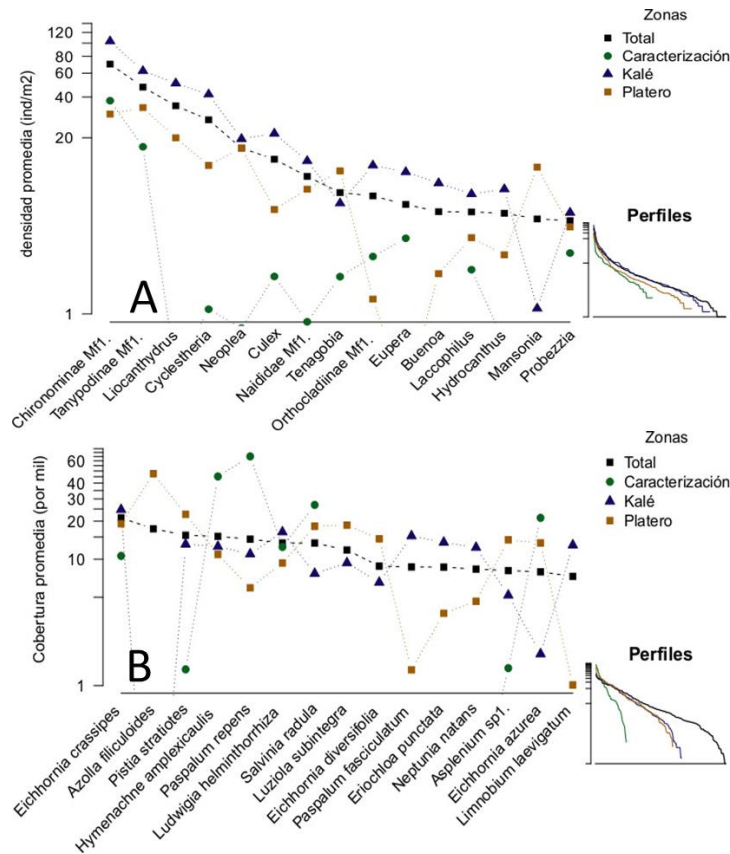


Figura 21. Rango-densidad y rango-cobertura promedio para las diferentes zonas de muestreo (Caracterización, Kale y Platero) de las comunidades de **A.** Macroinvertebrados **B.** Macrófitas acuáticas. El subgráfico “Perfiles” incluye todas las morfoespecies y está ordenado según las abundancias en cada temporada.

Índices de diversidad

A partir de los índices de diversidad de orden q se observó que la comunidad de fitoplancton presentó la mayor riqueza de especies en los caños ($q_0 = 230$), la diversidad de especies, expresada como el número de especies comunes y dominantes, fue $q_1=25$ y $q_2=15$ en los caños (Figura 22A). Los otros ecosistemas (ciénaga, quebrada y río) presentaron el mismo comportamiento pero con un número menor de morfoespecies efectivas.

En el caso de la comunidad de zooplancton las ciénagas presentaron la mayor riqueza de especies (q_0). La diversidad de especies, expresada como el número de especies comunes (q_1) fue mayor en los caños y de especies dominantes (q_2) fue mayor en el río (Figura 22B).

Para la comunidad de fitoperifiton el ecosistema de mayor riqueza (q_0 y q_1) fue la ciénaga, seguida de los caños. La diversidad de especies, expresada como el número de especies dominantes (q_2) fue mayor en el caño (Figura 22C).

Para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos el ecosistema de mayor riqueza (q_0 , q_1 y q_2) fueron los caños (Figura 22D). Mientras que en la comunidad de macrófitas acuáticas los mayores valores de riqueza (q_0 , q_1 y q_2) se observaron en las quebradas (Figura 22E).

Distribución espacial de la riqueza y la abundancia de morfoespecies

La concentración de la densidad y/o porcentaje de cobertura y la riqueza para todas las comunidades, excepto los macroinvertebrados acuáticos, se presentó en el occidente del área de estudio, área caracterizada por ser la parte más baja de las microcuencas de la región y también por ser el área que presenta la mayoría de ecosistemas tipo ciénaga y caño (Figura 23). A continuación, se describen los resultados de la distribución de la densidad y/o porcentaje de cobertura y la riqueza para cada una de las comunidades hidrobiológicas evaluadas.

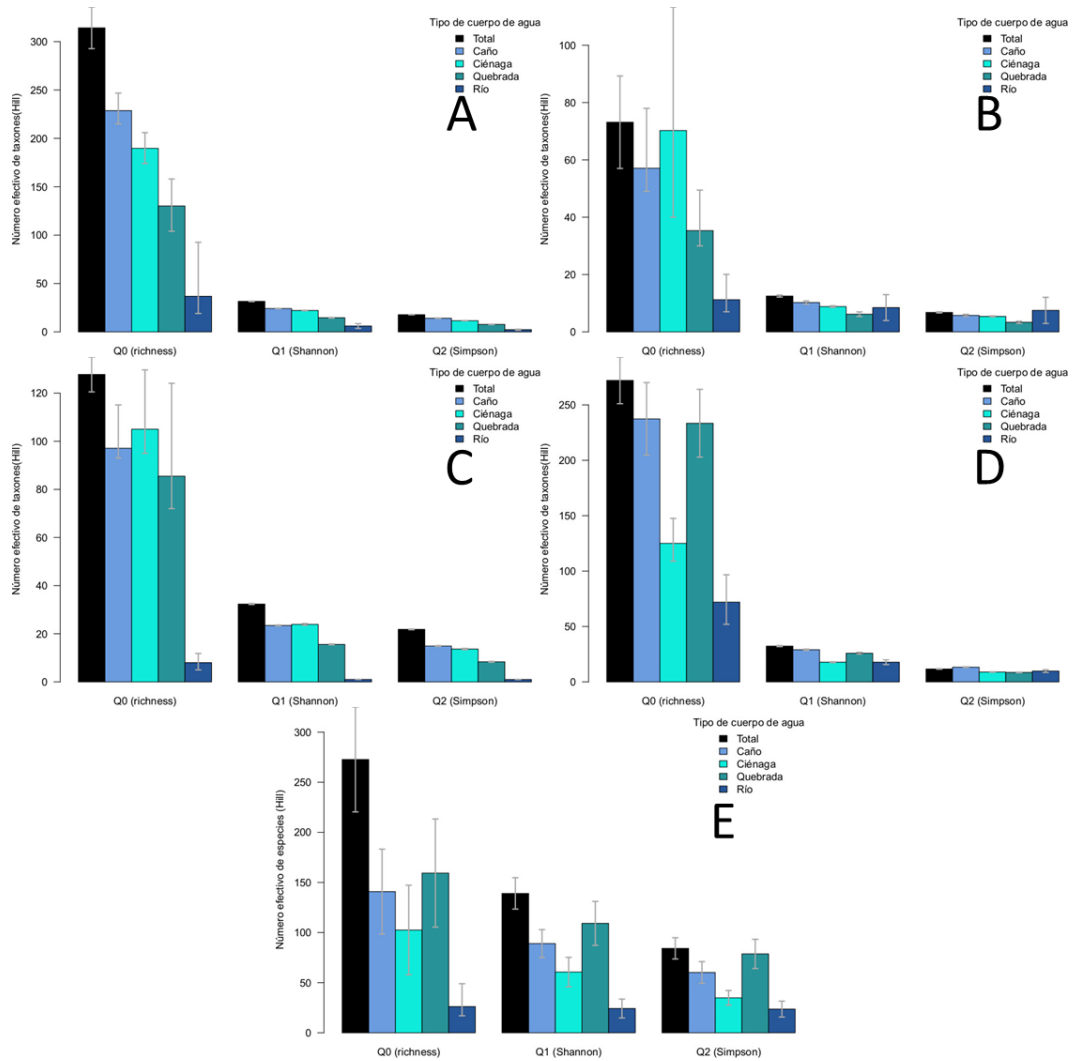


Figura 22. Perfiles de números de morfoespecies efectivas de Hill. Índices de diversidad del orden Q (Q0, Q1y Q2) asociado a los diferentes tipos de cuerpos de agua para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas. Las barras de errores representan los intervalos de confianza de las estimaciones de los números de Hill

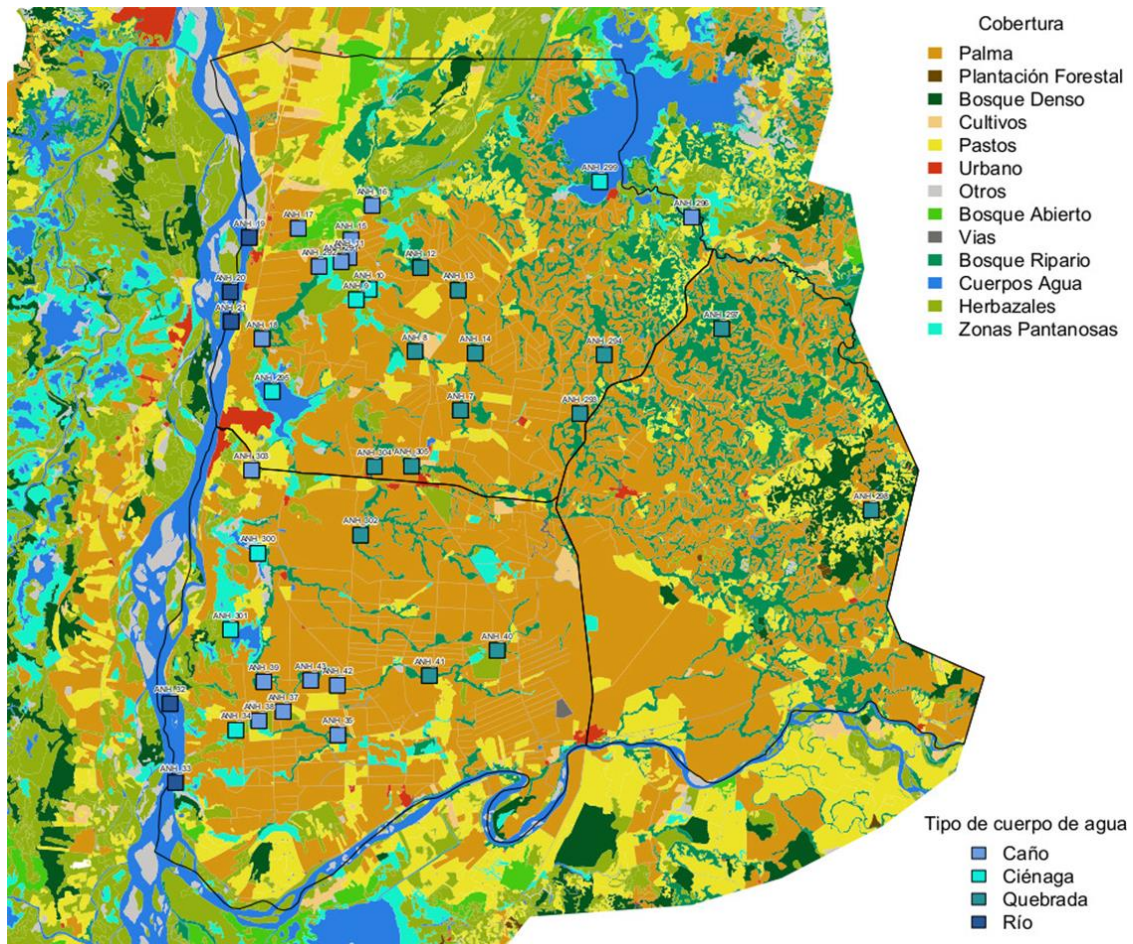


Figura 23. Mapa de distribución de unidades muestrales y tipos de ecosistemas o cuerpos de agua.

Fitoplancton

Se observaron diferencias entre temporadas, tanto en la densidad, como en la riqueza de morfoespecies. Durante aguas bajas la densidad presentó áreas de concentración hacia el noroccidente, cercanas a la zona de influencia de la plataforma potencial Kalé y asociadas a todas las unidades de muestreo del Caño Negro, Caño Raicero, las ciénagas Poza de los Caimanes y Aguas Negras. Se observaron además otras áreas de concentración cercanas a Caño Salado y ciénagas Corredor y Yariri de la zona Platero y Ciénaga Paredes de la zona de caracterización (Figura 24C). Durante aguas altas los puntos concentración cercanos a Kale y Caracterización fueron los mismos, pero redujeron su magnitud con respecto a aguas bajas, mientras que en la Ciénaga Corredor permaneció constante (Figura 24A).

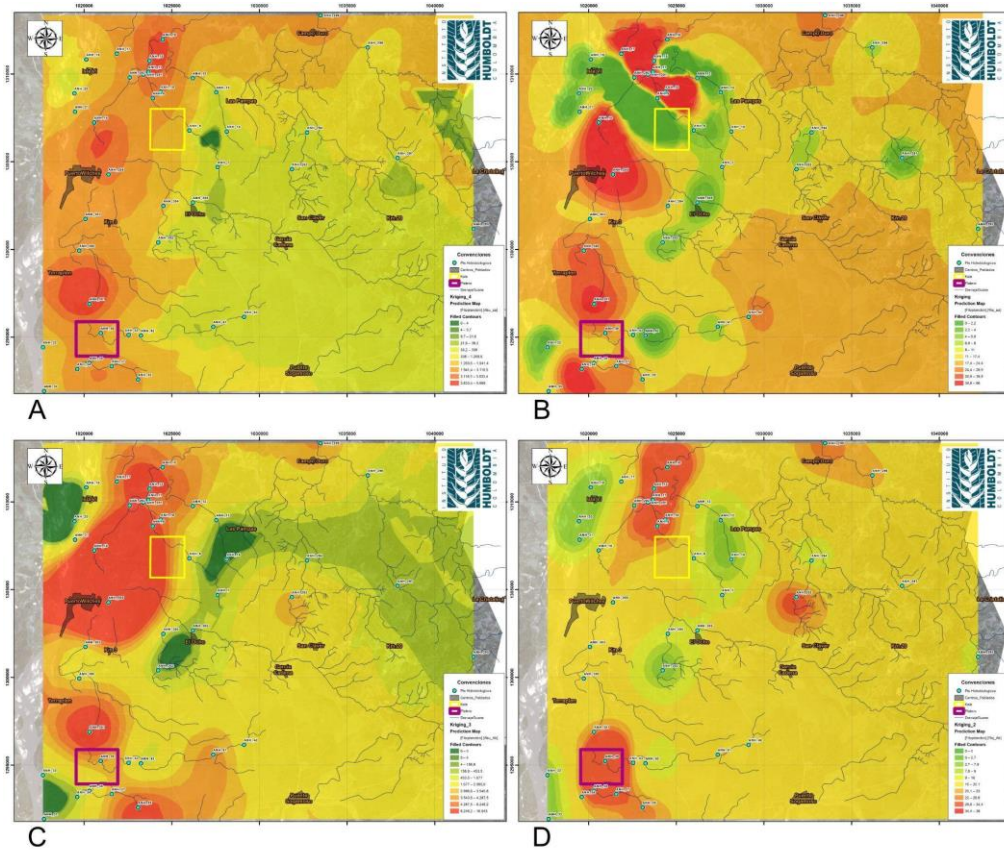


Figura 24. Mapas de calor de la riqueza y densidad de fitoplancton para las dos temporadas. **A.** Densidad Aguas Altas; **B.** Riqueza Aguas Altas; **C.** Densidad Aguas Bajas y **D.** Riqueza Aguas Bajas.

Durante la temporada de aguas altas la riqueza fue mayor cerca hacia el occidente del área de estudio, tanto de la zona de influencia de Kalé, como de Platero, en las unidades de muestreo ubicadas en Caño Negro, Caño Raicero y gran parte de las Ciénagas (Poza de los Caimanes, Yariri, Monte Cristo, Corredor, El Salado y Aguas Negras) (Figura 24B). Mientras que en aguas bajas, la concentración de riqueza se localizó principalmente en Caño Negro y Caño Corredor (Figura 24D).

Zooplancton

Para la comunidad zooplanctonica, las diferencias entre temporadas fueron evidentes en la riqueza, durante aguas altas se distribuyó hacia el occidente, tanto para la zona de Kalé en varias de las unidades de Caño Negro y en las ciénagas Monte Cristo, Corredor y El Salado, como para la zona de Platero en el Caño y la ciénaga el Salado; otra zona con alta riqueza se ubicó en la Ciénaga de Paredes, como parte de la zona de Caracterización (Figura 25B). Mientras que, en la temporada de aguas bajas, la riqueza se dispersó, perdiendo intensidad en las unidades muestrales reportadas en aguas altas y aumentando en cuerpos de agua ubicados al oriente como la quebrada La Arenosa y San Martín para la zona de Kalé y Caño El Salado y Caño Corredor para Platero (Figura 25D), cabe resaltar que la ciénaga Paredes mantuvo su patrón espacial de riqueza en las dos temporadas.

Respecto a la densidad, se observa un patrón dominante al occidente del área de estudio durante ambas temporadas, el cual fue más fuerte durante la temporada de aguas bajas (Figura 25A y 25C).

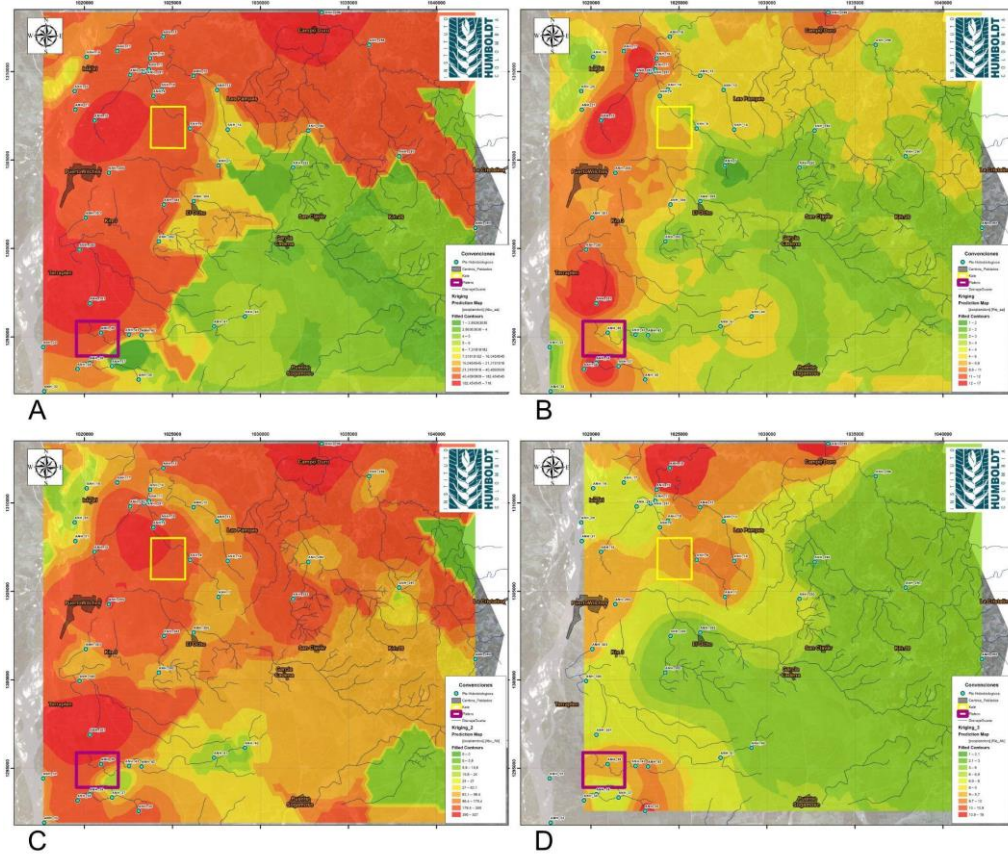


Figura 25. Mapas de calor de la riqueza y densidad de zooplancton para las dos temporadas. **A.** Densidad Aguas Altas; **B.** Riqueza Aguas Altas; **C.** Densidad Aguas Bajas y **D.** Riqueza Aguas Bajas.

Fitoperifiton

La distribución espacial de la riqueza y de la densidad fue homogénea en toda la zona de estudio durante la temporada de aguas altas (Figura 26A y 26B). Referente a la densidad, esta se concentró, durante la temporada de aguas bajas, en algunas unidades de muestreo ubicadas al occidente (Figura 26C). La riqueza durante aguas bajas se concentró en dos focos, uno en la zona cercana a la plataforma Kalé, cerca a Caño Negro y en el sur, en la ciénaga de Corredor (Figura 26D).

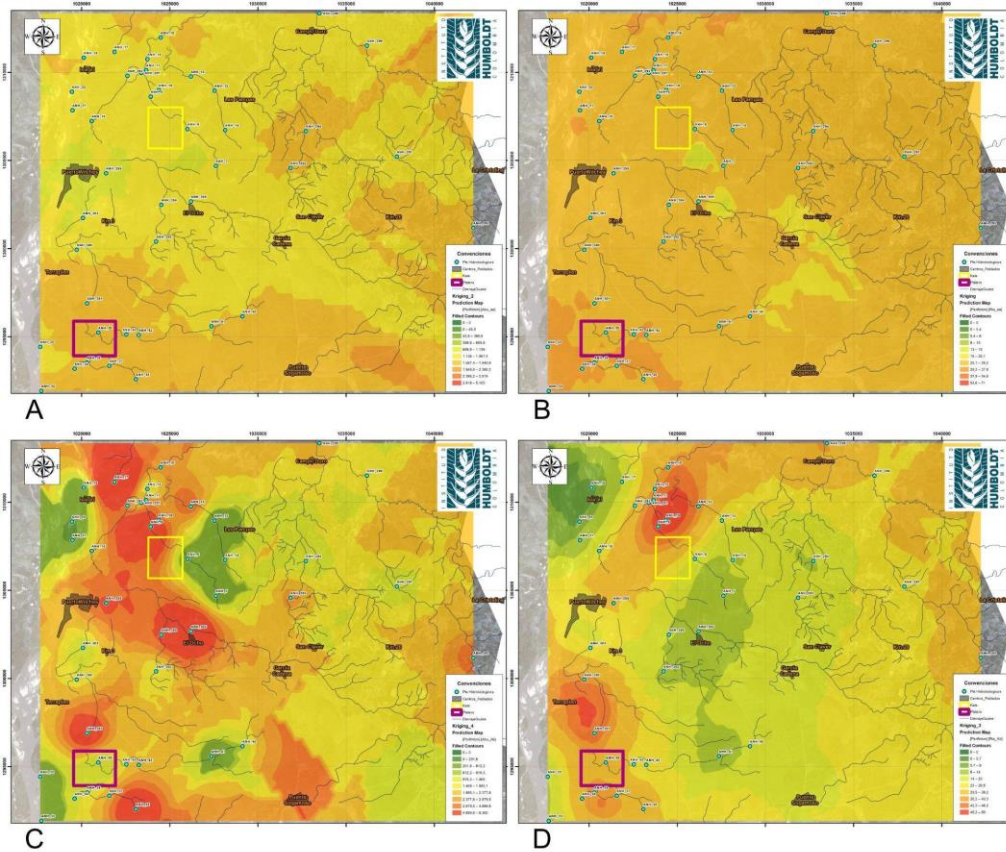


Figura 26. Mapas de calor de la riqueza y densidad del fitoperifiton para las dos temporadas. **A.** Densidad Aguas Altas; **B.** Riqueza Aguas Altas; **C.** Densidad Aguas Bajas y **D.** Riqueza Aguas Bajas.

Macroinvertebrados acuáticos

La riqueza durante aguas altas se concentró en dos focos, uno en la zona cercana a la plataforma Kalé, cerca a Caño Negro, y en cercanías al centro poblado conocido como Km 8 . Durante aguas bajas, se presentó una fuerte variación espacial debido a que la mayor concentración se observó en la zona oriental, cerca al Caño La Gómez (Figura 27 B y D).

La densidad durante aguas bajas fue homogénea en toda el área de estudio. Durante aguas altas se concentró en la zona cercana a la plataforma Kalé, cerca a Caño Negro y Km 8 (Figura 27 A y C).

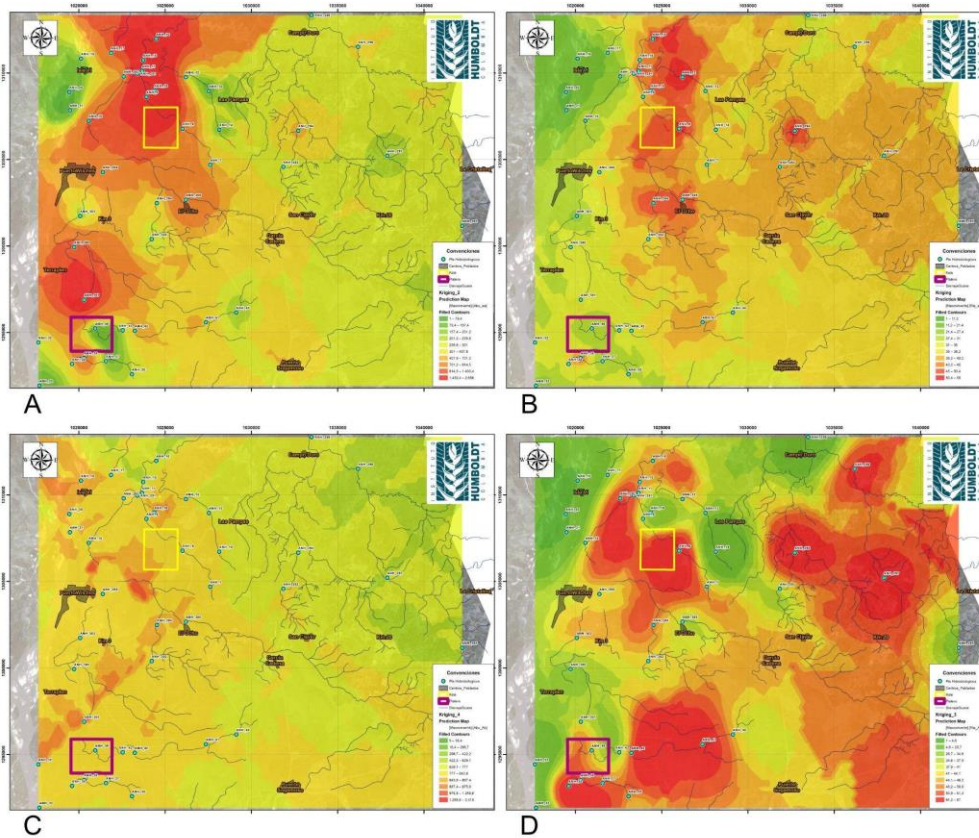


Figura 27. Mapas de calor de la riqueza y densidad de macroinvertebrados acuáticos para las dos temporadas. **A.** Densidad Aguas Altas; **B.** Riqueza Aguas Altas; **C.** Densidad Aguas Bajas y **D.** Riqueza Aguas Bajas.

Macrófitas acuáticas

Durante las dos temporadas, tanto la riqueza como la cobertura, estuvo distribuida hacia el occidente del área de estudio, con valores altos en la zona de Platero (Figura 28A, B, C y D).

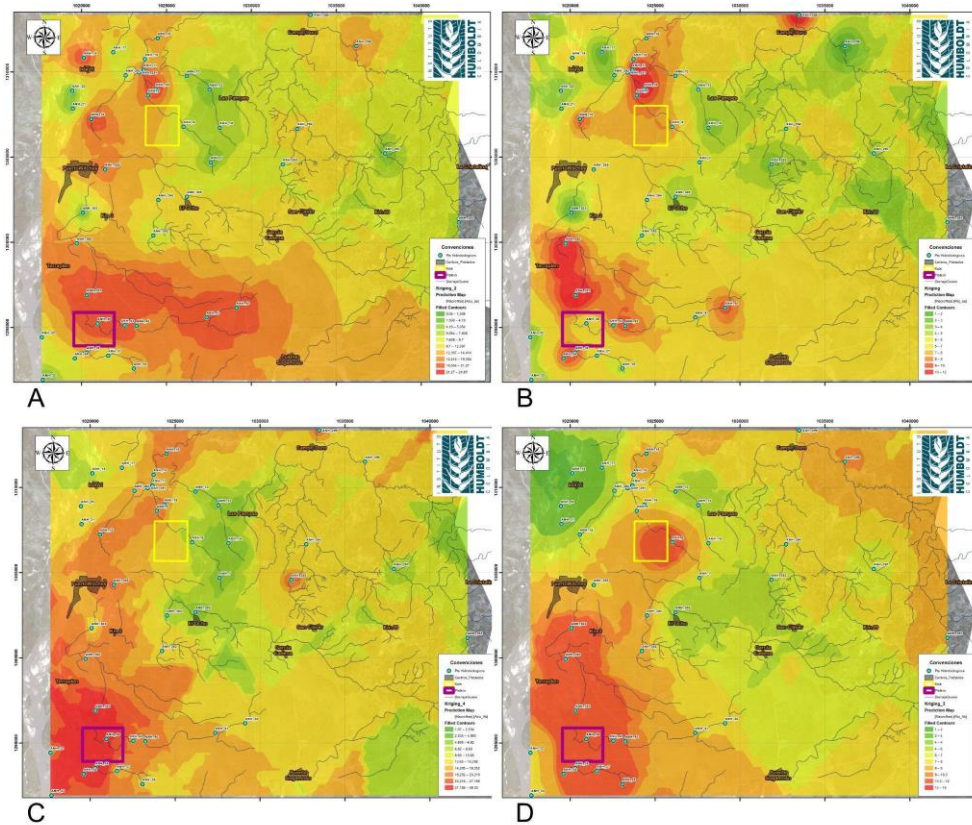


Figura 28. Mapas de calor de la riqueza y cobertura de macrófitas acuáticas para las dos temporadas. **A.** Cobertura Aguas Altas; **B.** Riqueza Aguas Altas; **C.** Cobertura Aguas Bajas y **D.** Riqueza Aguas Bajas.

Análisis de similitud

La similitud de cada una de las comunidades hidrobiológicas se evaluó teniendo en cuenta el tipo de cuerpo de agua (ciénaga, caño, quebrada o río), entre temporadas (aguas altas o aguas bajas) y entre zonas de estudio (Kalé, Platero o Caracterización).

En el análisis de similitud entre tipos de cuerpo de agua, se suprimieron las unidades muestrales del ecosistema tipo “Río” para la comunidad fitoplanctónica, debido a que no presentaron suficientes taxones comunes (Figura 29A). Las diferentes comunidades hidrobiológicas mostraron cierto grado de organización entre los diferentes cuerpos de agua con una mayor similitud entre ciénagas y caños, separadas espacialmente de las quebradas; patrón que se evidencia claramente en la comunidad fitoplanctónica (Figura 29A). Los caños se ubican en una posición intermedia entre las ciénagas y quebradas (Figura 29A, B, D y E). En la comunidad de fitoperifiton se observó un mayor solapamiento espacial, evidenciado principalmente en las quebradas que fueron similares a los demás tipos de cuerpo de agua (Figura 29C). Por último, el ecosistema tipo “río” mostró aislamiento en la composición de macroinvertebrados acuáticos, con amplia

variación espacial producto de algunos intercambios con otros ecosistemas (Figura 29D). En la comunidad de macrófitas acuáticas este ecosistema presentó aislamiento total de las quebradas (Figura 29D).

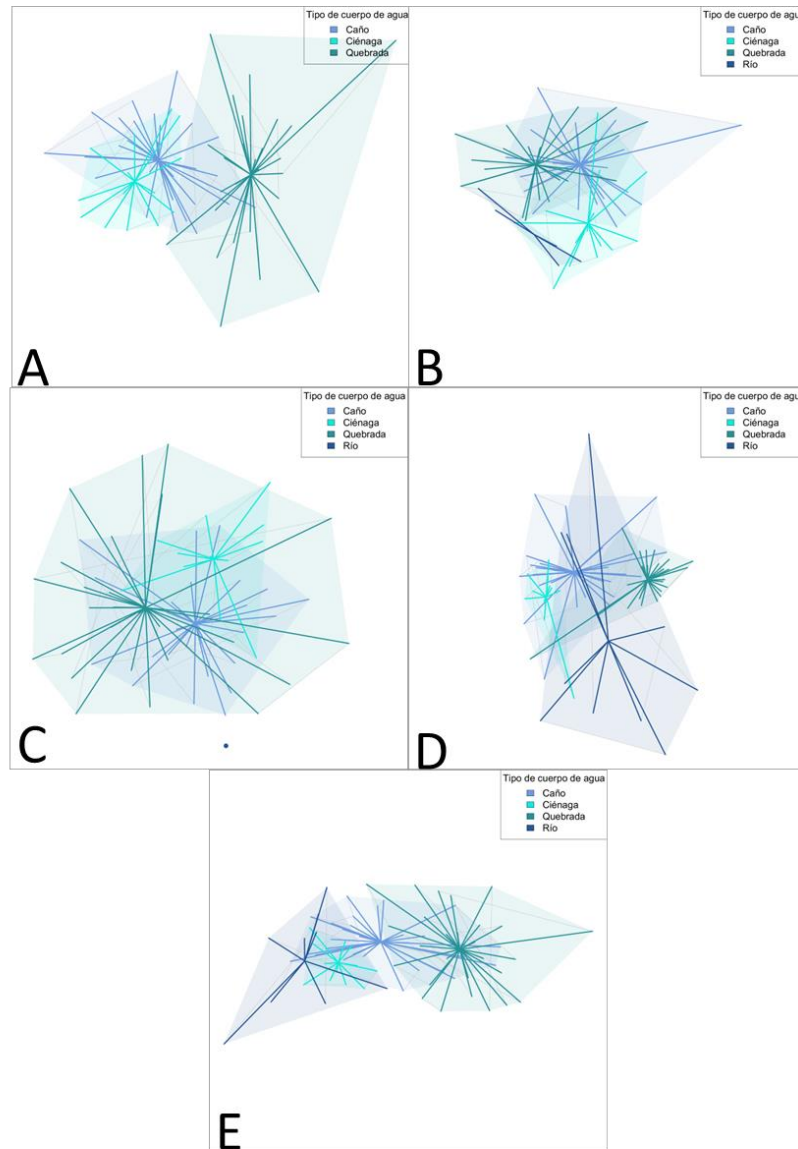


Figura 29. Representación de los tipos de cuerpo de agua en el espacio de la NMDS para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas. Las líneas de color gris conectan los sitios (ANH) muestreados en las dos temporadas.

El análisis de similitud por temporadas no mostró diferencias evidentes en la composición de las comunidades (Figura 30A, B, C, D y E), resultados que muestran un solapamiento en las composiciones y a su vez, intercambio eficaz de morfoespecies entre las dos temporadas.

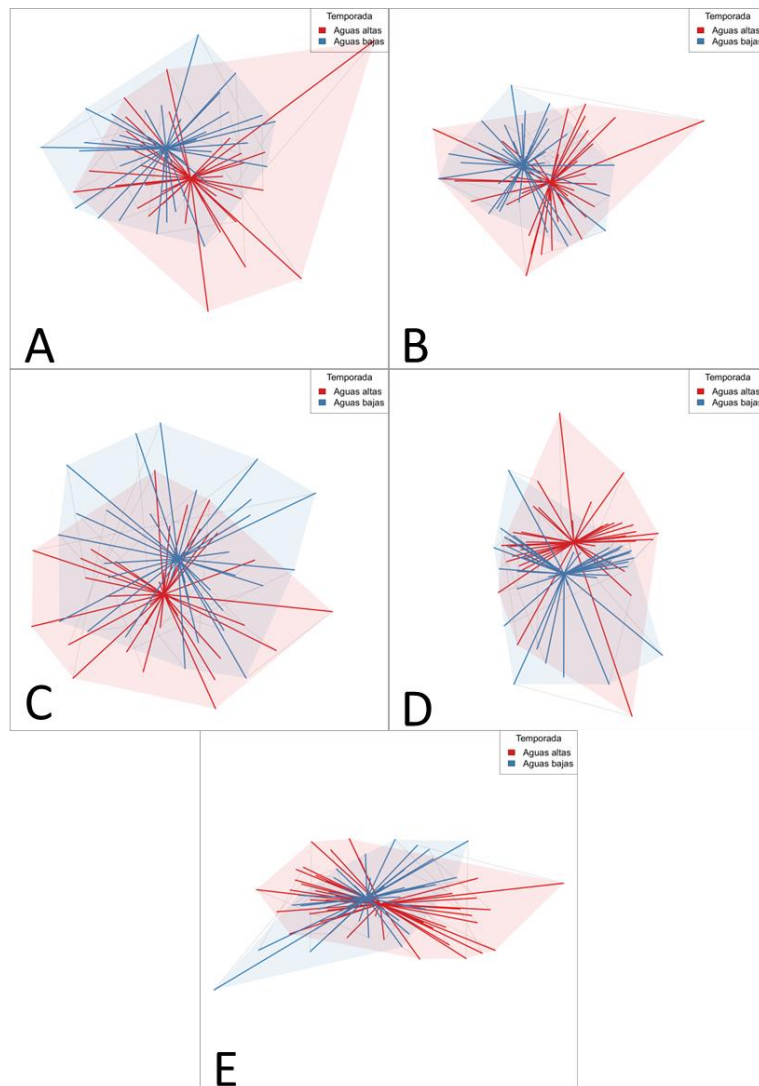


Figura 30. NMDS asociado a los diferentes temporadas climáticas para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas.

Se observó una amplia similitud en la composición de las diferentes comunidades hidrobiológicas en las zonas de trabajo (Figura 31 A, C, D y E). Solo se observó un leve aislamiento de la zona de caracterización en las comunidades de fitoperifiton (Figura 31C).

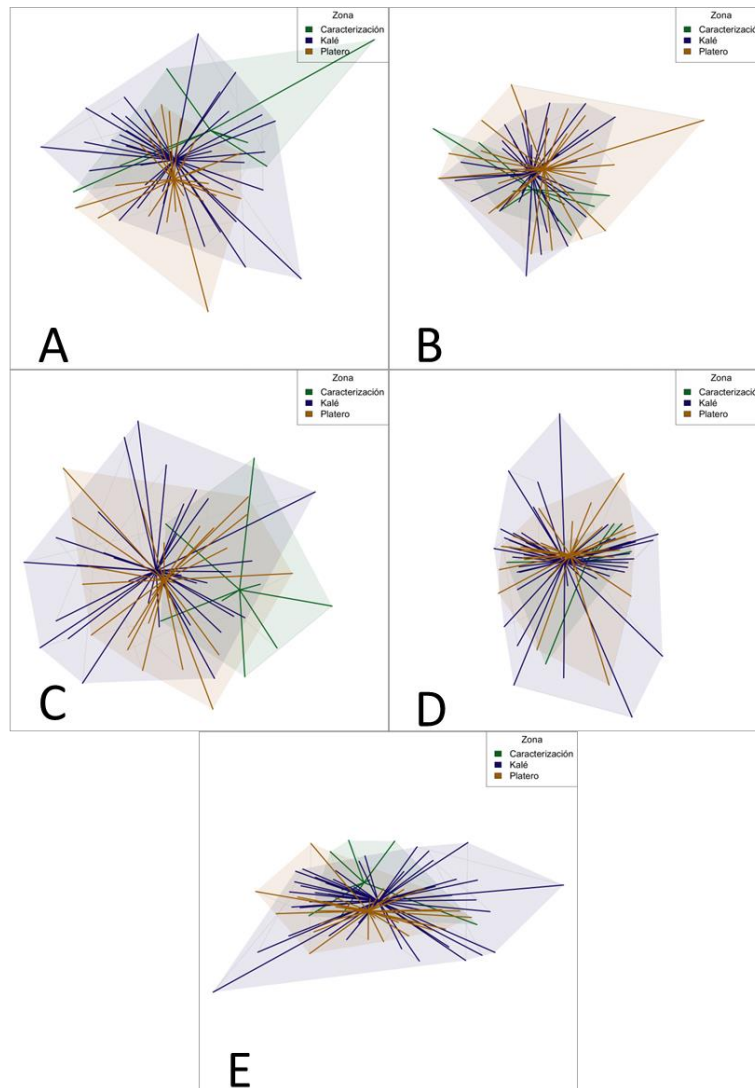


Figura 31. NMDS asociado a los diferentes zonas de muestreo (Caracterización, Kale y Platero) para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas.

Análisis de redundancia

Previo al análisis de redundancia se seleccionó el conjunto de covariables que presentaban el coeficiente de correlación más alto para cada comunidad (Tabla 3).

La variación explicada para cada comunidad fue 17,15% para macroinvertebrados acuáticos, 9,81% para zooplancton, 6,725% para fitoplancton, 4,71% para fitoperifiton y 3,67% para las macrófitas acuáticas. La Figura 32 muestra la asociación entre las comunidades, las unidades de muestreo y las variables fisicoquímicas para las dos temporadas climáticas. Cabe resaltar que las varianzas

obtenidas son bajas, por lo que las diferentes variables y parámetros no explican claramente la distribución de estas en el espacio del RDA.

Tabla 3. Conjunto de covariables seleccionadas para cada comunidad hidrobiológica y coeficiente de correlación.

Comunidad hidrobiológica	Fitoplancton	Zooplancton	Fitoperifiton	Macroinvertebrados Acuáticos	Macrófitas Acuáticas
Correlación de Spearman	0,34	0,19	0,26	0,53	0,25
Temperatura (°C)	X	X		X	X
pH	X	X	X		
Oxígeno Disuelto (mg/L)				X	
Conductividad (µS/cm)			X	X	
Saturación de Oxígeno Disuelto (%)	X		X	X	
Sólidos Disueltos Totales (in situ) (mg/L)	X			X	
Fósforo Disponible (mg/L)		X		X	X
Magnesio (mg/L)		X			
Sólidos totales (mg/L)	X		X	X	
Sólidos en Suspensión (mg/L)	X		X	X	
Fosfatos (mg/L)			X		
Nitratos (mg/L)	X		X		
Sustancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)		X	X		
Carbonatos (mg/L)				X	
Dureza Cálctica (mg/L)			X	X	X
Dureza Total (mg/L)				X	
Capa fótica (m)		X			X
Profundidad media (m)				X	

Asociado con la poca varianza explicada, se observaron pocas asociaciones para las diferentes comunidades. En el caso del fitoplancton la única asociación evidente se dio con el taxon *Ulnaria* sp1 y los nitratos en la unidad de muestreo ANH 11 que

corresponde a un caño (Figura 32A). Para la comunidad de zooplancton se observaron asociaciones positivas entre *Lecane papuana* y el magnesio cerca a los caños de las unidades de muestreo ANH7 y ANH305 y de la quebrada del punto ANH15 de la temporada de aguas bajas. La otra asociación positiva se dio entre *Prianodiptomus* sp1 y la profundidad de la capa fótica cerca de la unidad de muestreo ANH32 que corresponde al río Magdalena y ANH296 correspondiente al caño la Gomez durante la temporada de aguas altas (Figura 32B).

En el caso de la comunidad de fitoperifiton, se observó la asociación positiva entre el género *Navicula* y la variable saturación de oxígeno en la unidad de muestreo ANH40 correspondiente a la quebrada Corredor, así como también con ANH35 (caño Salado), ambas para la temporada de aguas altas (Figura 32C). Los macroinvertebrados mostraron que el género *Thraulodes* se asoció positivamente con los parámetros de oxígeno en la unidad de muestreo de la quebrada Corredor (ANH41) durante la temporada de aguas altas y el género *Chaoborus* presentó asociación positiva con la temperatura en la unidad de muestreo de caño Salado (ANH38) en la misma temporada (Figura 32D). Finalmente la comunidad de macrófitas acuáticas presentó asociación positiva entre la especie *Websteria confervoides* con la variable fósforo en la unidad de muestreo de caño Salado (ANH37) durante la temporada de aguas bajas (Figura 32E).

Desde la ordenación por medio de intervalos de confianza del 95% podemos observar que la varianza es explicada de mejor forma a partir de la categoría “tipo de ecosistema” (Figura 35), y en menor grado por “zonas de estudio” y “temporada”; sin dejar de ser bajas para todas.

Para las temporadas climáticas, existe solapamiento de ambas con respecto a las características bióticas, abióticas y las unidades de muestreo para todas las comunidades. Sin embargo, a pesar de la poca varianza explicada, se observaron correlaciones de las variables fisicoquímicas hacia alguna de las dos temporadas, ya sea positiva o negativa, que dependen de la importancia para cada comunidad. Por ejemplo, para la comunidad fitoplanctónica la mayoría de las variables fisicoquímicas se asocian a unidades muestreadas durante la temporada de aguas altas, no obstante, la correlación se da de forma negativa con respecto a esta comunidad, donde valores elevados de sólidos suspendidos, sólidos totales, pH, temperatura y una baja saturación de oxígeno desfavorecen el establecimiento o la composición en general del fitoplancton (Figura 33A).

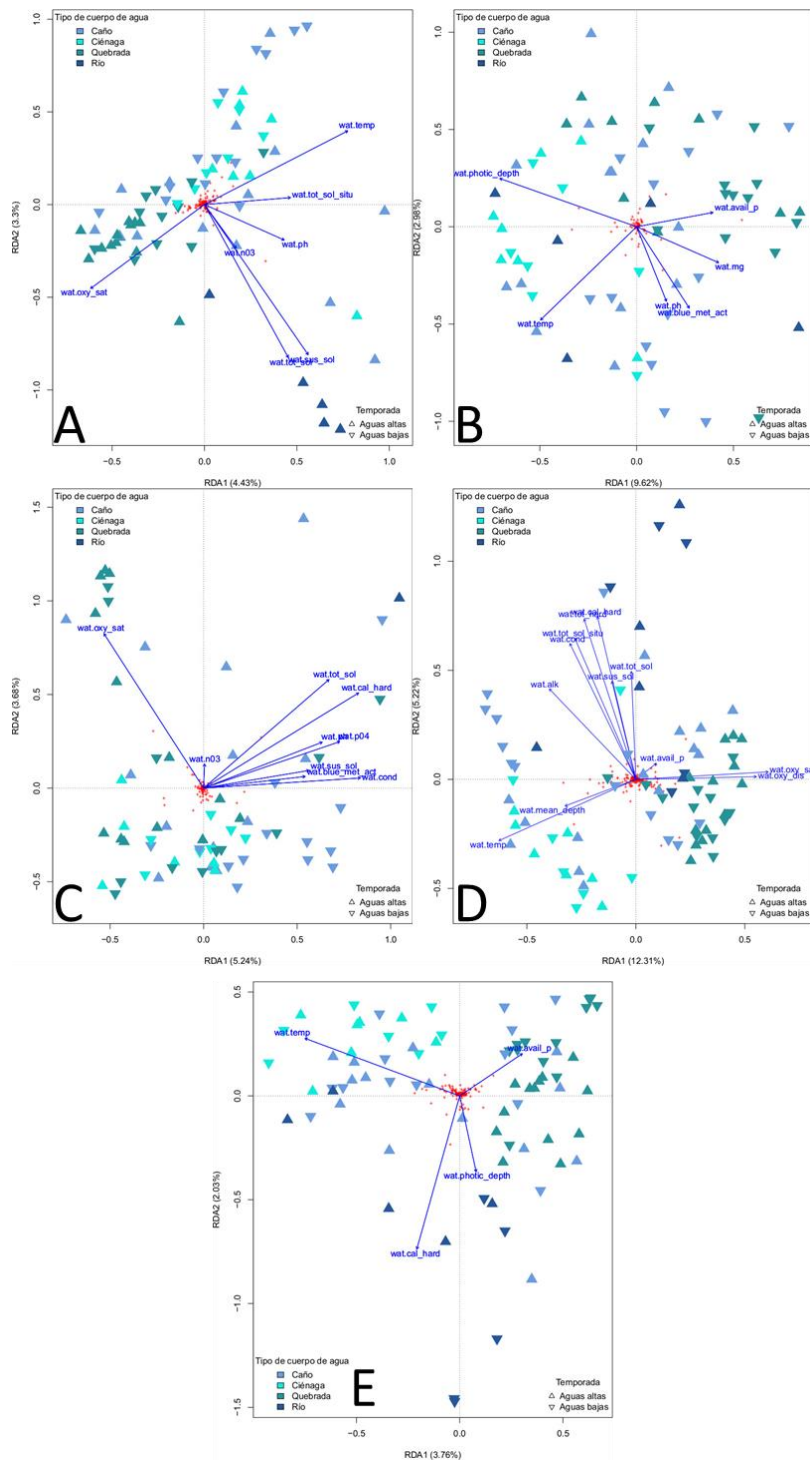


Figura 32. ‘Triplot’ de la RDA aplicada sobre la matriz de densidad de las diferentes comunidades **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas . Las unidades de muestreo están mostradas gracias a símbolos que representan los tipos de cuerpo de agua y las temporadas. Las variables ambientales están representadas por flechas que muestran (ángulos) las correlaciones entre ellas y con los ejes, así como la influencia de esas relaciones (longitud). Finalmente los taxones están representados por cruces rojas.

Para el caso de macroinvertebrados acuáticos se diferencian tres grupos espaciales, el primero determinado por la variable oxígeno disuelto, el segundo por las variables de temperatura y profundidad, y el tercero por el resto de variables correlacionadas (Tabla 3). Este último grupo se asoció con las unidades de muestreo de aguas bajas, mientras que los dos primeros con las unidades de muestreo tomadas en aguas altas. Las correlaciones para los dos primeros grupos son positivas respecto a algunos organismos de la comunidad como los géneros *Farrodes*, *Thraulodes*, *Hexacylloepus*, *Microcyllloepus*, *Smicridea*, entre otros, correlacionados con la disponibilidad de oxígeno; o *Tropisternus*, *Neoplea*, *Liocanthydrus*, *Culex*, entre otros, correlacionados con la temperatura y profundidad. Para el tercer grupo tenemos únicos taxones que se ven beneficiados como los organismos de la familia Hydrobiidae y Naididae, y los géneros *Macrobrachium*, *Eupera* y *Pisidium*, que presentaron correlación negativa de este conjunto de variables con la mayoría de la comunidad (Figura 33D).

En menor magnitud la comunidad de fitoperifiton presentó dos grupos con correlaciones alejadas de la comunidad, el primero con la variable saturación de oxígeno que favorece a unidades de muestreo de temporada de aguas altas tipo quebrada, con el género *Navicula* como único taxón correlacionado y el segundo grupo, conformado por el resto de variables (Tabla 3), sin incidir de manera directa en la comunidad, y con cierta correlación a unidades de muestreo de la temporada de aguas bajas, los únicos géneros que se ven mayormente favorecidos por estas condiciones fueron *Phormidium* y *Leptolyngbya*.

Para el caso de la comunidad zooplanctónica y macrófitas acuáticas, la distribución de la composición y las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua no presentan patrones distinguibles entre temporadas (Figura 33C).

La ordenación por zonas no muestra diferencias, sin embargo, se evidencia que la zona de Caracterización se restringe a espacios más reducidos dentro de la varianza total en las comunidades de fitoplancton y macroinvertebrados acuáticos (Figura 34A y 34D), mientras que, en la comunidad de fitoperifiton las variables fisicoquímicas de mayor peso se correlacionaron a esta zona, un espacio poco favorable para la comunidad.

Por último, los RDA asociados a los tipos de cuerpos de agua presentan igualmente solapamiento entre estos y poca varianza explicada. Y al igual que los demás análisis presentan pocas asociaciones. En el caso del fitoplancton se observaron diferencias entre los caños, quebradas y ciénagas y el río, enmarcadas por la presencia de las unidades de muestreo ANH19, ANH20, ANH21 y ANH33 en la temporada de aguas altas con asociación a la variables sólidos totales, sin embargo ningún taxón se asoció a esta correlación (Figura 35A).

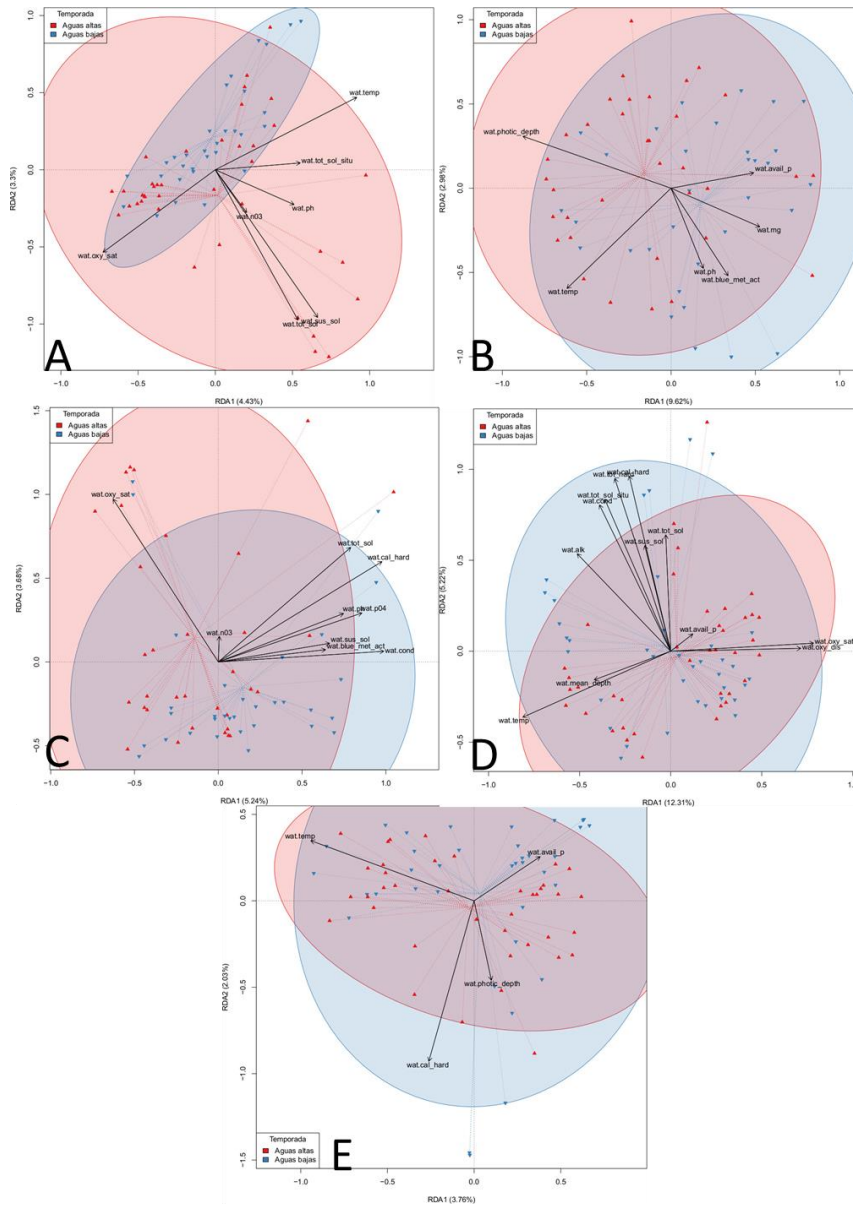


Figura 33. Representación de las temporadas en el espacio de la RDA para cada una de las comunidades hidrobiológicas **A.** Fitoplancton **B.** Zooplancton **C.** Fitoperifiton **D.** Macroinvertebrados acuáticos **E.** Macrófitas acuáticas. Las elipses corresponden a los intervalos de confianza (95%) bivariados de las posiciones de las unidades de muestreo de ambas temporadas. Los intervalos de confianza están computados gracias a una distribución de χ^2 a 2 grados de libertad las correlaciones entre ellas y con los ejes, así como la influencia de esas relaciones (longitud). Finalmente los taxones están representados por cruces rojas.

respectivamente). Por su parte los ecosistemas de quebrada, estuvieron influenciados por las variables fósforo y magnesio para unidades de muestreo como quebrada la Morena y la 13 (ANH302 y ANH305 respectivamente) en la temporada de aguas bajas y la quebrada los Chorreros (ANH298) en la temporada de altas y con una leve asociación del taxón *Lecane* papuana con la variable magnesio (Figura 35B).

Para el caso de la comunidad de fitoperifiton también se solaparon los diferentes ecosistemas. Se observó una leve asociación para los ecosistemas de quebrada con la saturación de oxígeno en las unidades de muestreo de la Trece (ANH305) para las dos temporadas, las quebradas la Arenosa, Corredor y los Chorreros (ANH13, ANH41 y ANH297 respectivamente) en la temporada de aguas altas y quebrada la Morena (ANH304) en la temporada de aguas bajas pero sin asociación de taxones (Figura 35C).

Por su parte para los macroinvertebrados los diferentes tipos de ecosistema presentaron igualmente solapamiento por lo que no hay diferencias claras entre los tipos de cuerpo de agua y esta comunidad. Por otro lado, se observó una asociación entre las unidades del río Magdalena (ANH19, ANH21 y ANH33 de aguas bajas y ANH20 de aguas altas) con las variables dureza total, dureza cálcica, sólidos totales y conductividad pero ningún taxón relacionado (Figura 35D).

Finalmente, la comunidad de macrófitas acuáticas presentó también solapamiento de los diferentes ecosistemas, sin embargo en este caso se observaron diferencias entre los ecosistemas de ciénaga y quebrada con influencia de la variable temperatura sobre las ciénagas Yairirí y Montecristo para aguas bajas (ANH295 y ANH300 respectivamente) y Paredes en aguas altas (ANH299) con asociación de las especies *Paspalum repens* y *Ludwigia helminthorrhiza*. mientras que las quebradas, presentaron asociación con la variable fósforo en las unidades de muestreo de la quebrada San Martín, Corredor y la Morena (ANH8, ANH40 y ANH304 respectivamente) en aguas bajas y con las especies *Websteria confervoides* y *Acroceras zizanioides* (Figura 35E).

Complementariedad del muestreo

Para la comunidad fitoplanctónica a través de la revisión de bases de datos y literatura para la zona de la cuenca del Magdalena medio se esperaban un total de 128 géneros de los cuales se reportaron 56 dentro de los muestreos efectuados, lo que corresponde al 43,75% de los esperados. En total para ambas temporadas se obtuvieron un total de 109 géneros de los cuales 38 fueron nuevos registros para el área dentro de los que se encontraron los géneros *Planothidium*, *Audouinella*, *Treubaria*, *Nephrocytium*, *Didymocystis*, *Encyonopsis*, *Placoneis*, *Arthrodesmus*, *Desmidium*, *Euastrum*, *Pleurotaenium*, *Sphaerosozma*, *Penium*, *Actinella*, *Goniochloris*, *Tetraedriella*, *Gymnodinium*, *Ulnaria*, *Isthmochloron*, *Centritractus*, *Brachysira*, *Capartogramma*, *Kobayasiella*, *Dolichospermum*, *Rivularia*,

Bulbochaete, Rhodomonas, Stauridium, Tetraedron, Acutodesmus, Comasiella, Dimorphococcus, Ankistrodesmus, Snowella, Heteroleibleinia, Mallomonas, Botryococcus y Netrium (Anexo 2A-Hidrobiológicos).

Por su parte, para la comunidad zooplanctónica se identificaron un total de 60 géneros esperados de los cuales se encontraron 24 dentro de esta investigación que corresponden al 40%. Adicionalmente se reportaron siete nuevos géneros para la zona (*Heterocypris, Proales, Lepadella, Beauchampiella, Encentrum, Macrothrix, Prionodiptomus*) (Anexo 2B-Hidrobiológicos).

Para la comunidad fitoperifítica se encontraron 130 géneros asociados a la zona de la cuenca del Magdalena medio, de estos se registraron dentro de esta investigación un total de 58 que corresponden al 44,62% de los géneros esperados. Adicionalmente se reportaron 48 nuevos géneros para la zona como son: *Netrium, Cylindrocystis, Pseudendoconium, Botryococcus, Mallomonas, Leptolyngbya, Heteroleibleinia, Ankistrodesmus, Dimorphococcus, Acutodesmus, Radiococcus, Stauridium, Characium, Komvophoron, Bulbochaete, Stigonema, Scytonema, Rivularia, Nostoc, Hapalosiphon, Craticula, Kobayasiella, Capartogramma, Caloneis, Cosmioneis, Centritractus, Aneumastus, Achnanthaceae, Gymnodinium, Actinella, Monomorphina, Teilingia, Spondylosium, Pleurotaenium, Euastrum, Desmidium, Placoneis, Anomoeoneis, Cladophora, Echinocoleum, Didymocystis, Nephrocystium, Ballia, Tryblionella, Audouinella, Planothidium* (Anexo 2C-Hidrobiológicos).

Para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se reportaron en otros estudios un total de 225 morfotaxones (entre géneros y familias) de los cuales se reportaron para este estudio un total de 119 morfotipos que corresponden al 52,88%. Para este estudio se reportaron 90 nuevas morfoespecies entre las que están los géneros *Pyrgophorus, Stenophysa, Pelonomus, Anodocheilus, Bidessonotus, Copelatus, Hemibidessus, Hydrodessus, Hydrodytes, Laccodytes, Liodessus, Megadytes, Neobidessus, Pachydrus, Thermonectus, Austrolimnius, Gyrelmis, Xenelmis, Gymnochthebius, Helobata, Paracymus, Phaenonotum, Liocanthydus, Mesonoterus, Scirtes, Corethrella, Aedeomyia, Limnophora, Apobaetis, Aturbina, Cloeodes, Mayobaetis, Caenis, Cabecar, Traverhyphes, Traverella, Ulmeritoides, Eurygerris, Metrobates, Ovatametra, Telmatometra, Ranatra, Veloidea, Parapoynx, Nonagria, Climacia, Andaeschna, Coryphaeschna, Staurophlebia, Anisagrion, Epipleoneura, Oxyagrion, Lauromacromia, Agriogomphus, Dasythemis, Elasmothermis, Elga, Gynothemis, Mesamphiagrion, Pachydiplax, Pseudoleon, Sympetrum, Tramea, Perilestes, Palaemnema, Macronema, Macrostemum, Bredinia, Cernotina y Eupera; los demás taxones corresponden a familia (Anexo 2D-Hidrobiológicos).*

Por último, para la comunidad de macrófitas acuáticas se identificaron en otros estudios un total de 91 especies (entre géneros y especies) para el área de estudio. En este proyecto, se registraron 25 especies que corresponden al 27,47% del total de morfos esperados. Se registraron 116 nuevas especies para la zona:

Echinodorus tenellus, *Limnocharis flava*, *Landoltia punctata*, *Lemna aequinoctialis*, *Spathiphyllum cannifolium*, *Najas guadalupensis*, *Vallisneria americana*, *Nymphoides flaccida*, *Achyranthes aspera*, *Coccoloba ovata*, *Polygonum acuminatum*, *Eichhornia diversifolia*, *Eichhornia heterosperma*, *Desmodium adscendens*, *Mimosa pudica*, *Neptunia natans*, *Neptunia plena*, *Zygia longifolia*, *Oldenlandia lancifolia*, *Callicostella pallida*, *Utricularia hydrocarpa*, *Benjaminia reflexa*, *Caperonia castaneifolia*, *Caperonia palustris*, *Phyllanthus fluitans*, *Miconia stephananthera*, *Ludwigia affinis*, *Ludwigia decurrens*, *Ludwigia quadrangularis*, *Ludwigia rigida*, *Ludwigia sedoides*, *Ludwigia torulosa*, *Cabomba piauhyensis*, *Nymphaea novogranatensis*, *Cyclanthus bipartitus*, *Calyptrocarya glomerulata*, *Cyperus laxus*, *Cyperus luzulae*, *Cyperus odoratus*, *Cyperus prolixus*, *Cyperus surinamensis*, *Eleocharis acicularis*, *Eleocharis interstincta*, *Fuirena umbellata*, *Rhynchospora corymbosa*, *Scleria melaleuca*, *Scleria microcarpa*, *Websteria confervoides*, *Tonina fluviatilis*, *Acroceras zizanioides*, *Eriochloa punctata*, *Luziola bahiensis*, *Luziola peruviana*, *Luziola subintegra*, *Oplismenus hirtellus*, *Oryza latifolia*, *Panicum aquaticum*, *Panicum pilosum*, *Panicum polygonatum*, *Paspalum fasciculatum*, *Paspalum virgatum*, *Urochloa mutica*, *Blechnum serrulatum*, *Tectaria incisa*, *Thelypteris serrata*, *Adiantum petiolatum*, *Adiantum tetraphyllum*, *Ceratopteris thalictroides*, *Salvinia delasotae*, *Salvinia radula*, *Salvinia sprucei*, *Myriophyllum aquaticum*, *Selaginella conduplicata*, *Selaginella fragilis*, *Selaginella parkeri*, *Selaginella radiata*, *Selaginella revoluta*, *Sphenoclea zeylanica*, *Heliconia marginata*; las demás morfoespecies reportadas se encuentran a nivel de género (Anexo 2E-Hidrobiológicos)

Descripción fisicoquímica

Los caños, ciénagas y quebradas no presentaron diferencias muy marcadas entre temporadas climáticas para los parámetros de temperatura, sólidos totales, sólidos disueltos totales (*in situ*), porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, dureza total, dureza cálcica y alcalinidad. El río Magdalena presentó una mayor diferencia en su composición fisicoquímica con respecto a los demás cuerpos de agua estudiados para la mayor parte de los parámetros, exhibiendo variaciones entre temporadas en parámetros como la alcalinidad, dureza cálcica, dureza total, sólidos disueltos totales, los sólidos totales y la temperatura (Figura 36A, 36B, 36C y 36G, 36H, 36I).

En el caso puntual de la alcalinidad el promedio para la temporada de aguas altas fue de 46,4 mg/L y para aguas bajas de 47,0 mg/L. Los valores para los diferentes tipos de cuerpo de agua y temporadas oscilaron entre 161,9 mg/L (aguas altas-caño raicero ANH 17) y 11,22 mg/L (aguas altas- quebrada la arenosa ANH 13). Los demás valores para cada tipo de cuerpo de agua se encontró dentro del rango mencionado anteriormente (Figura 36A).

Para la dureza total y cálcica el promedio obtenido para aguas altas fue de 41,5 mg/L y de 28,5 mg/L respectivamente; mientras que para aguas bajas el promedio

registrado fue de 51,4 mg/L para la dureza total y 33,0 mg/L para la cálcica. La dureza total varió para las diferentes temporadas y entre los diferentes cuerpos de agua entre 158,0 mg/L (caño Raicero ANH 17 -aguas altas) y 9,0 mg/L (quebrada arenosa ANH 13 - aguas altas); mientras que la dureza cálcica osciló entre 110 mg/L (caño Raicero ANH 17 -aguas altas) y 7 mg/L (quebrada la Morena - aguas altas)(Figura 36B y 36C).

Para el Magnesio se evidenció que los valores obtenidos entre temporadas presentaron variaciones notables entre estas; para la temporada de aguas bajas se presentaron valores de concentración más altos en los caños, ciénagas y quebradas; mientras que para el río no se observaron diferencias entre temporadas pero los valores más altos se presentaron en aguas altas. Adicionalmente, en la temporada de aguas altas el promedio determinado fue de 1,7 mg/L y de 4,4 mg/L en aguas bajas, y los valores oscilaron en general entre 11,52 mg/L (caño Negro/Dantas- aguas bajas) y 0,05 mg/L (ciénaga Aguas Negras - aguas altas) (Figura 36D).

El parámetro de pH mostró que los datos en la temporada de aguas bajas fueron más altos en la mayoría de los tipos de cuerpo a excepción de los ríos en donde la variación entre temporadas fue mínima y obtuvo los datos en un rango más reducido en la temporada de aguas bajas. Adicionalmente, en la temporada de aguas altas el promedio fue de 6,0 unidades de pH y de 6,6 unidades de pH para aguas bajas. Los valores de este parámetro variaron entre temporadas y entre los diferentes cuerpos de agua entre 8,05 unidades de pH (río Magdalena ANH 21- aguas altas) y 4,2 unidades de pH (quebrada la Morena ANH 302 - aguas altas). Los demás valores se mantuvieron dentro de este rango (Figura 36E).

En cuanto a los valores obtenidos del porcentaje de saturación de oxígeno, se encontró un ligero aumento para la mayoría de los tipos de cuerpo de agua en la temporada de aguas altas; con un promedio para esta temporada de 52,7% y de 36,9% para aguas bajas. A lo largo de ambas temporadas y en los diferentes tipos de cuerpos de agua los valores de este parámetro se encontraron entre 96,5% (quebrada los Chorros ANH 297 - Aguas bajas) y 0% (quebrada la arenosa ANH 12 - aguas bajas), lo que revela una amplia variación (Figura 36F).

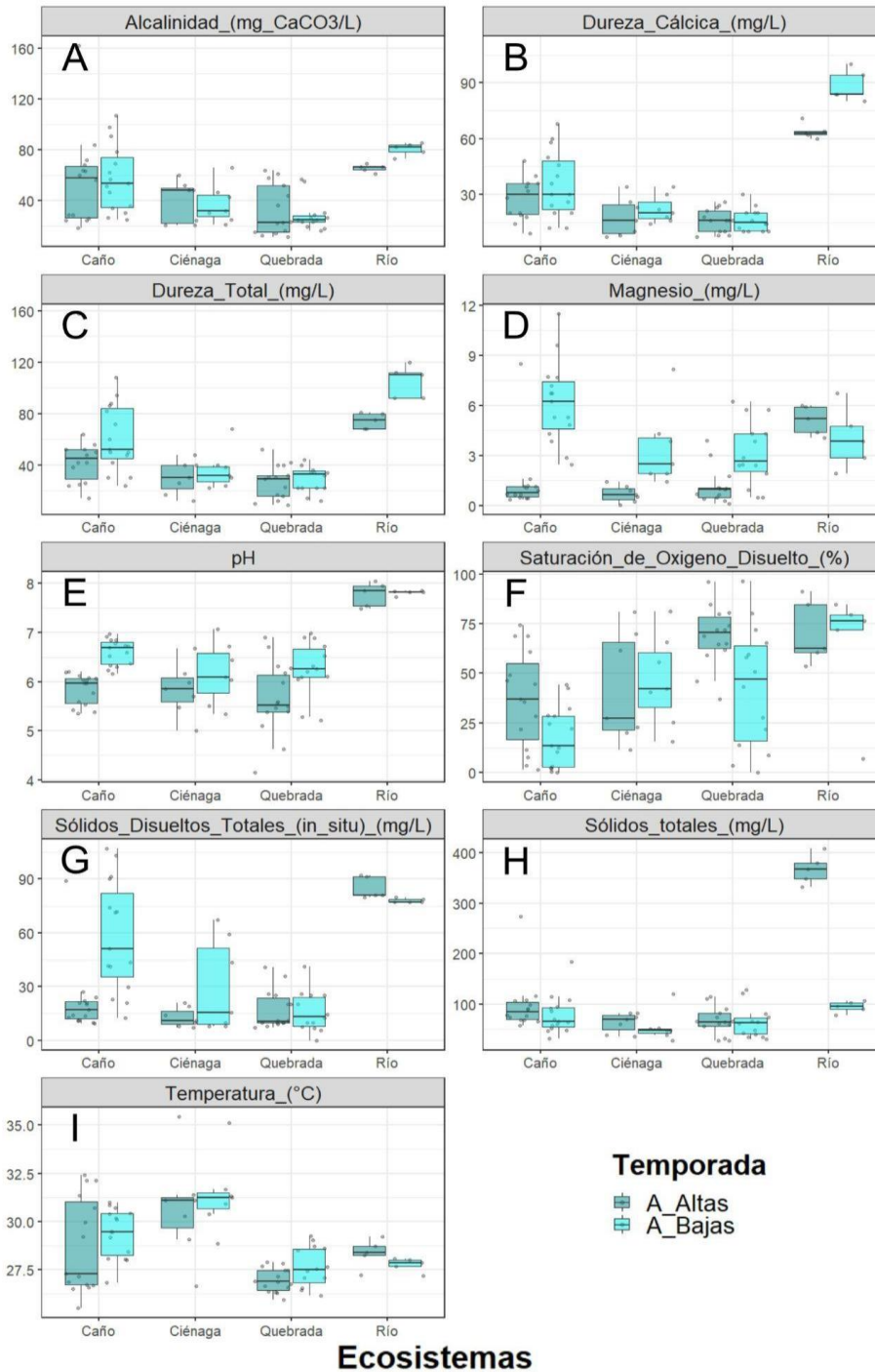


Figura 36. Diferencia de las variables fisicoquímicas entre los tipos de ecosistemas y las dos temporadas evaluadas.

En el caso de los sólidos disueltos totales (*In situ*) se observó que los datos para la temporada de aguas bajas fueron mayores en los diferentes cuerpos de agua, a excepción del río Magdalena donde los valores más altos se reportaron en aguas altas. En la temporada de aguas altas el promedio fue de 26,2 mg/L y de 41,4 mg/L para aguas bajas. En esta misma temporada se reportaron los valores más altos y

bajos para este parámetro asociado a los diferentes ecosistemas. Se alcanzó una concentración máxima de 106,9 mg/L (caño Raicero ANH 17- aguas bajas) y una concentración mínima de 0,021 (quebrada la Arenosa -ANH 12- aguas bajas) (Figura 36G).

Por su parte los sólidos totales, a diferencia de los sólidos totales disueltos, mostraron valores más altos en la temporada de aguas altas para todos los tipos de cuerpo de agua estudiados. En esta temporada el promedio fue de 115,7 mg/L, mientras que para aguas bajas fue de 71,2 mg/L, con un valor máximo registrado en aguas altas de 408,0 mg/L (río Magdalena ANH 20) y mínimos de 28,0 mg/L para esta misma temporada (quebrada Corredor ANH 41 y quebrada la Arenosa ANH 13) (Figura 36H).

Por último, la temperatura no mostró amplias variaciones, con un promedio durante aguas altas de 28,3°C y de 28,9°C para aguas bajas. El mayor y menor valor registrado se dio durante la época de aguas altas con 35,44°C (ciénaga aguas negras- ANH 9) y 25,52°C (caño Corredor ANH 39) (Figura 36I).

Discusión

La cobertura de muestreo es una medida de la integridad de la muestra, dando la proporción del número total de individuos en una comunidad que pertenecen a las morfoespecies representadas en la muestra, para analizarlo se utilizó la propuesta de Chao & Jost (2012), la cual utiliza el número de individuos por taxones encontrados en el área de estudio para analizar si el esfuerzo de muestreo es suficiente, al contrario de las curvas de rarefacción, la cobertura de muestreo realizado con el paquete iNEXT, extrapola los datos obtenidos con el fin de igualar las muestras y de esta manera no desperdiciar datos, como se haría con las curvas de rarefacción que hacen corte en el menor valor.

En general al evaluar la cobertura de muestreo se pudo observar que para los caños, las ciénagas y las quebradas en las comunidades de fitoplancton, zooplancton, fitoperifiton y macroinvertebrados, se obtuvo una cobertura por encima del 98%, lo cual señala que se contó con una muestra representativa de dichas comunidades. En el caso de los ríos (río Magdalena), la cobertura se encontró por encima del 82%, por lo que se obtuvo una muestra representativa, aunque el número de unidades de muestreo fueron inferiores a las ubicadas en otros tipos de ecosistema. En el caso de las macrófitas acuáticas, los porcentajes de cobertura de muestreo fueron menores, con valores que se ubican entre el 70% y 79%, por lo que el esfuerzo de muestreo no fue suficiente.

Al evaluar la cobertura de muestreo para cada plataforma, se observó que las comunidades de fitoplancton, zooplancton, fitoperifiton y macroinvertebrados en las plataformas de Kale y Platero presentaron una cobertura de muestreo del 99%. Para la zona de caracterización, se alcanzó una cobertura de muestreo por encima del 91%, por lo que se considera que el esfuerzo de muestreo fue suficiente para obtener una muestra representativa de estas comunidades, a pesar de tener un número reducido de eventos. La comunidad de macrófitas acuáticas presentó coberturas de muestreo bajas, con un 79% para Kale, 80% Platero y 13% para caracterización, lo que indica que el esfuerzo de muestreo no fue suficiente para ninguna de las zonas evaluadas.

Las comunidades hidrobiológicas más abundantes en este estudio fueron fitoperifiton y fitoplancton. Gómez (2007) señala algunas de las características que hacen a estos grupos tan exitosos y abundantes, como el hecho de ser organismos autótrofos microscópicos que representan el primer eslabón en las redes tróficas de los ecosistemas acuáticos, además de su capacidad para colonizar diferentes tipos de ecosistemas dulceacuícolas, tanto lénticos como lóticos, que en el caso de estos últimos, al ser ecosistemas con mayor variación morfológica y temporal, permiten asimismo una mayor diversificación. Adicionalmente, Azcon-Bieto & Talón (2013), mencionan que son los organismos responsables de casi la mitad de la transformación de la energía solar a biomasa en toda la tierra.

La comunidad zooplanctónica, conformada por una amplia variedad de grupos de organismos, desde protozoos hasta microcrustáceos; poco diversos en aguas continentales (Roldán & Ramírez, 2008), junto con la comunidad de macroinvertebrados acuáticos conformada por insectos, crustáceos, nematodos, entre otros (Hanson *et al.*, 2010), al ser organismos heterótrofos de mayores dimensiones, hacen parte de niveles tróficos superiores que dependen más estrictamente de la variabilidad de los ecosistemas y la disposición de energía producida por organismos autótrofos desde una visión de “control desde abajo” o “*bottom-up*”, que considera que la biomasa de un nivel trófico está directamente determinada por el nivel inmediato inferior como mencionó McQueen *et al.* (1986). Una segunda visión del mismo autor “*top-down*” o “control desde arriba”, donde al ser eslabones en la red trófica, sirven de alimento de otros organismos superiores y en el que la biomasa de un nivel se determina por el efecto del nivel inmediatamente superior, lo que explica de una u otra forma la reducción de individuos en niveles superiores en comparación con el plancton o fitoperifiton fotosintético.

La mayor abundancia y variación, se presentó durante la temporada de aguas bajas para las comunidades de fitoplancton, fitoperifiton y zooplancton, en el caso del plancton, han sido poco los estudios en los que hacen referencia a las abundancias generales entre épocas climáticas, se destacan las investigaciones como las de Dorado (2009) en ciénagas del bajo Magdalena, que atribuyó el aumento de la densidad durante la temporada de aguas altas probablemente por la entrada de

nutrientes a los complejos cenagosos provenientes del río Magdalena. A pesar de esto, se puede atribuir el incremento de las densidades en estas comunidades, al aumento de nutrientes en los cuerpos de agua durante temporada de aguas bajas, posiblemente a las descargas alóctonas producto de la actividad agrícola y ganadera de la zona y no propiamente a la influencia del río Magdalena sobre el complejo de ciénagas. Esta idea se le atribuye a la concentración alta de magnesio (Figura 36D), que mencionó Planas (1973), la cual aumenta su concentración tras la evaporación del agua durante épocas secas, lo que favorece la proliferación de organismos fotosintéticos (Lenntech, 2022), además, del evidente aumento de sólidos disueltos totales (Figura 36G). Por otro lado, la baja abundancia de fitoperifiton durante la temporada de aguas altas, se puede explicar desde dos puntos, el primero, es la baja disponibilidad de sustratos por el aumento de la profundidad y el segundo, apoyado por Donato (2008) en el que menciona que los valores moderados de la velocidad de la corriente, promueven las bajas densidades, ya sea por acción mecánica o por la baja disponibilidad de nutrientes por proceso de lavado.

Con relación a la riqueza, las familias fitoplanctónicas que presentaron mayor número de morfoespecies fueron las Diatomeas: Desmidiaceae y Eunotiaceae en la temporada de aguas altas. Según Nuñez-Avellaneda & Duque (2000) y Bustos (2018), son grupos diversos en los trópicos, que prefieren ambientes oligotróficos con valores de pH y conductividad bajos y que a su vez pueden estar asociadas con macrófitas y se pueden encontrar en tierras bajas en diversos ecosistemas (Nuñez-Avellaneda & Duque 2000). Su presencia y riqueza es normal dentro de estas zonas, aunque puede deberse el aumento de estas familias dentro de esta comunidad a procesos de remoción del fitoperifiton asociado con los pulsos de inundación en la zona. Por otro lado, Montoya & Aguirre (2013) mencionan que las comunidades fitoplanctónicas tienen mayor variación entre temporadas que las del fitoperifiton, lo que no corresponde con lo encontrado en esta investigación, ya que ambas mantuvieron rangos de riqueza similares, mayores en temporada de aguas altas.

El fitoperifiton, también presentó dos familias de diatomeas como las más diversas, Achnanthesiaceae y Desmidiaceae, un resultado común en esta comunidad. Montoya y Aguirre (2013), mencionan sobre el ensamblaje perifítico, que el predominio de diatomeas tanto en sustratos naturales como artificiales es bastante común, ya que son organismos que pueden colonizar rápida y eficientemente gracias a la presencia de estructuras especializadas de fijación.

Dorado (2009) reportó las familias Lecanidae y Brachionidae como las más abundantes y las más diversas para la comunidad zooplanctónica en ciénagas del bajo Magdalena, en el caso de Lecanidae, en este estudio se superó el número reportado, con nueve morfoespecies más. Así mismo este autor cita que, en estudios anteriores se reportó la misma composición para zonas de Brasil, y riquezas mayores en estudios locales. En el caso de Epiphanidae, obtuvo apenas

un solo género, mientras que Chydoridae, que solo se encontró en temporada de aguas bajas. Serafim et al. (2003) y Dorado (2009), plantean la correlación positiva de esta familia con las zonas litorales, más exactamente con las macrófitas acuáticas, considerándolo un factor medioambiental que incrementa la distribución y diversidad de estas (Figura 13).

Asociado con la comunidad de macroinvertebrados, la familia Libellulidae con porcentajes de riqueza cercanos a 9,7% para ambas temporadas y con un total de 24 géneros, fue la más diversa entre esta comunidad. Son pocos los estudios que en náyades o estados inmaduros se han efectuado a este nivel taxonómico para esta región. Román (2020) cita la alta diversidad en los trópicos; además, reporta a la familia Libellulidae como la más diversa, con 29 morfoespecies en 15 géneros. Mediante una lista actualizada de odonatos para Colombia, Pérez-Gutiérrez & Palacino-Gutiérrez (2011) reportan 23 géneros en departamentos que se encuentran sobre la cuenca del Magdalena, sin embargo, Garzón & Realpe (2009) por medio de imagos, reportan un total de 22 morfoespecies en 12 géneros para el municipio de Sabana Torres, Santander. Debido a la riqueza encontrada dentro de este estudio es recomendable que para futuras investigaciones se efectúe la descripción y la asociación de los estadios nayadales con los estadios maduros, para lograr acercarse más a la diversidad verdadera de la zona. Adicionalmente los odonatos no suelen encontrarse como el grupo de mayor riqueza dentro del ensamblaje de la comunidad de macroinvertebrados (Roldán y Ramírez, 2008) por lo que su aumento podría estar asociada con la fragmentación de los hábitats en la zona, que favorecen dicho aumento.

La segunda familia más diversa fue Dytiscidae, con 5,1% de la riqueza para la temporada de aguas altas y 8,2% para la temporada de aguas bajas y con un total de 17 géneros. Esta familia es la más diversa dentro de los escarabajos acuáticos con un total de 10 subfamilias a nivel mundial (Nilsson & Hájek 2019); como lo señala Quijano-Tristancho *et al.* (2020), en Colombia se han reportado 7 subfamilias de las 8 reportadas en el neotrópico, además de reportar para la región de la Orinoquia un total de 13 géneros. Por lo que su éxito puede deberse a que son capaces de colonizar una gran variedad de ecosistemas lénticos, como lagunas, humedales, charcas, fitotelmatas, entre muchos otros, y zonas de poca corriente y alto contenido de materia orgánica en ecosistemas lóticos.

Las familias de macrófitas acuáticas con mayor cantidad de morfoespecies fueron Cyperaceae, con el 12,5% en temporada de aguas bajas y 17% en temporada de aguas altas, seguida por Araceae con el 13,4% y el 11,3% y Poaceae con el 11,5% y 13% respectivamente. A este nivel taxonómico la composición fue mayor a lo reportado por Pérez-Vásquez et al. (2015) en el complejo cenagoso del bajo Sinú, superando el umbral a nivel de especie, en el que se reportó más del doble de morfoespecies. En el mismo estudio, Poacea fue de las familias más abundantes, superada solamente por Lemnaceae, que en este caso no se reportó. Sin embargo, los resultados siguen el patrón de composición que plantea Chambers et al. (2008),

quienes registran y sustentan a las familias Poaceae, Asteraceae y Cyperaceae como las familias de mayor riqueza y abundancia en el mundo, particularmente en el Neotrópico.

El modelo de Rango-Densidad para la comunidad de Fitoplancton, arrojó que las morfoespecies encontradas en esta comunidad presentaron una distribución de las densidades relativamente equitativa, encontrando que el rango y las densidades de la temporada de aguas bajas fue similar, ajustándose a la serie logarítmica. En este modelo son pocas las morfoespecies abundantes o dominantes y hay una gran proporción de morfoespecies raras. La equidad para estas comunidades es mayor que en el modelo geométrico (Magurran, 1988). Mientras que en aguas altas se presentaron grandes variaciones, con la morfoespecie *Anabaena* sp1 como la de mayor densidad y se ajustó al modelo de serie geométrica, este modelo representa cómo las pocas morfoespecies dominantes tienen preferencia por una gran proporción del hiperespacio del nicho (Magurran, 1988), lo que demuestra una baja equidad en la comunidad.

La comunidad de Zooplancton tuvo como la morfoespecie de mayor densidad a *Mesocyclops* sp1, para las dos temporadas climáticas, seguido de *Prianodiptomus* sp1, sin embargo, se observan diferencias en las densidades de algunos taxones para la temporada de aguas altas, por lo que dicha temporada no presentó el mismo rango que la temporada anterior y las densidades variaron en los taxones con respecto a las temporadas. Sin embargo, estas dos temporadas se ajustaron al modelo de serie logarítmica, en este modelo son pocas las morfoespecies abundantes o dominantes y hay una gran proporción de morfoespecies raras (Magurran, 1988).

Para la comunidad de Fitoperifiton se presentó una tendencia similar a la encontrada en la comunidad anteriormente nombrada, donde el taxón *Heteroleibleinia* fue el de mayor densidad para las dos temporadas; cabe anotar que este suele ser un organismo colonial, lo que permite aumentar su densidad aunque con variaciones en los rangos con respecto a las dos temporadas. Los perfiles identificados para esta comunidad dan cuenta de un modelo geométrico, este modelo representa cómo las pocas morfoespecies dominantes tienen preferencia por una gran proporción del hiperespacio del nicho (Magurran, 1988), en la gráfica se pudo observar cómo los tres primeros taxones presentan la mayor densidad lo que muestra la dominancia de estas sobre las demás y una baja equidad.

Por su parte, la comunidad de macroinvertebrados tuvo como el organismo de mayor densidad para las dos temporadas a *Chironominae* Mf1, sin embargo, los

valores fueron mayores en la temporada de aguas altas; aunque presentaron diferentes rangos para las dos temporadas, donde diferentes taxones tuvieron densidades variables con respecto a la temporada de muestreo. En este caso esta comunidad también se ajustó al modelo logarítmico, dado que los perfiles presentados demuestran cómo se reparten las densidades progresivamente, sin taxones tan dominantes, se considera que las comunidades que se encuentran en el modelo de serie logarítmica tienen un cierto nivel de disturbio (Hill & Hamer, 1998) pero son más equitativas y estables que las del modelo geométrico.

En cuanto a la comunidad de Macrófitas acuáticas, se observó que la especie *Eichhornia crassipes* fue la de mayor densidad tanto en temporada de aguas altas, como en aguas bajas, pero al igual que en la comunidad de macroinvertebrados, cada temporada presentó un rango diferente, donde distintos taxones tuvieron diferentes densidades. En este caso, se observó que la distribución de las densidades se dio de manera relativamente equitativa y según May (1975, 1981) se encuentra en comunidades poco alteradas. En cuanto a la distribución de morfoespecies, suele ajustarse con preferencia a la serie normal logarítmica, por lo que podría considerarse como una de las comunidades más conservadas o menos alteradas.

En el caso del análisis de Rango-Densidad por plataformas, se observó que la plataforma Kale tuvo una distribución de las densidades más equitativa, ajustando el perfil a un modelo logarítmico, donde se predice un número pequeño de morfoespecies abundantes y una gran proporción de morfoespecies raras (Magurran, 1988). Considerando que las comunidades que se encuentran en el modelo de serie logarítmica tienen un cierto nivel de disturbio (Hill & Hamer, 1998) pero son más equitativas y estables que las del modelo geométrico, dicho lo anterior, la plataforma de Platero tuvo una distribución de las densidades menos equitativa ajustándose al modelo geométrico, al igual que la zona de Caracterización, que presentó la menor equidad en la distribución de las densidades entre los taxones, para Magurran (1988), el modelo geométrico se presenta cuando se evidencia un menor grado de equidad y unos pocos géneros son más abundantes, mientras que la mayoría son poco frecuentes u ocupan escasa extensión. Aunque el ajuste a las series geométricas y logarítmicas ha sido justificado por el modo de distribución espacial de los organismos vivos (Tokeshi 1993).

La diversidad es un tipo de medida de la complejidad de una comunidad, desde el punto de vista de un individuo en la comunidad, una propiedad que caracteriza

cualquier medida de complejidad basado en abundancias relativas es el principio de transferencias: Una transferencia de abundancia desde una especie común a una especie rara debe incrementar o no cambiar la medida; en ningún caso este tipo de transferencia de abundancia puede bajar la medida (Jost & González-Oreja, 2012). Por tal motivo al evaluar la diversidad de una comunidad podríamos utilizar esta medida como un indicador de la calidad del hábitat dado que a mayor complejidad se supone mejor conservado se encuentra el ecosistema (**Figura 37**).

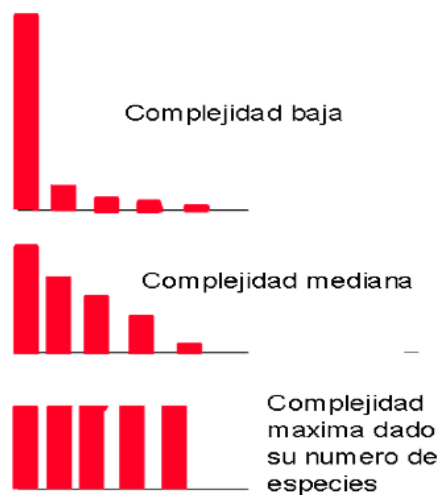


Figura 37. Grado de complejidad de una comunidad

Para cada una de los ecosistemas se calcularon los índices de diversidad del orden Q, Jost (2006), dado que estos índices toman el número efectivo de especies, lo que muestra puntualmente la riqueza, equidad y dominancia en número de especies presentes en el área de muestreo.

Los índices de diversidad del orden Q, mostraron para la comunidad de fitoplancton que la mayor diversidad se encontró en los caños, lo que revela que los diferentes ecosistemas existentes en la zona de estudio presentan impactos que afectan la diversidad de morfoespecies, puesto que aunque se observa una alta riqueza, la equidad es baja, con unos pocos taxones muy dominantes, los otros ecosistemas (ciénaga, quebrada y río) presentaron el mismo comportamiento pero con un número menor de morfoespecies efectivas.

En el caso de la comunidad de zooplancton se observaron algunas variaciones entre los diferentes índices, donde la riqueza tuvo a las ciénagas como los ecosistemas con el mayor número de morfoespecies efectivas, sin embargo para la equidad, se observó que la mayor cantidad de morfoespecies efectivas estuvo en

los caños y la mayor dominancia se observó en el río, lo que indica que, aunque el río presentó la menor riqueza, es el ecosistema de mayor complejidad, dado que las pocas morfoespecies encontradas distribuyen sus organismos de manera equitativa entre los diferentes taxones y por consiguiente el ecosistema de menor complejidad es la ciénaga.

Para la comunidad de fitoperifiton también se presentó como el ecosistema de mayor riqueza a las ciénagas, seguida de los caños, comportamiento que se repite en la equidad, mientras que para la dominancia el caño presenta un par de taxones por encima de las ciénagas, por lo que estos dos ecosistemas presentan la mayor complejidad. Aunque de igual forma pueden presentar algún tipo de impacto que afecta estos organismos, dado que presentan alta riqueza con baja equidad y dominancia por parte de unos pocos taxones.

Para el caso de los macroinvertebrados, la mayor riqueza y equidad se presentó en los caños y quebradas, mientras que la ciénaga no es un ecosistema que albergue tanta diversidad para esta comunidad, en este caso también se observó baja complejidad del ecosistema, puesto que se obtuvo una alta riqueza, pero de equidad baja y con alta dominancia asociada a unos pocos organismos. Esta tendencia fue igual para todos los ecosistemas monitoreados.

En cuanto a la comunidad de macrófitas acuáticas, esta presentó la mayor complejidad en todos los ecosistemas, dado que los valores de riqueza, equidad y dominancia, fueron similares para cada ecosistema, donde las quebradas tuvieron los mayores valores para los diferentes estimadores. Por consiguiente, las quebradas se presentaron como el ecosistema de mayor complejidad para esta comunidad, lo que ratifica la importancia de esta en los ecosistemas acuáticos, ya que sirven de refugio a diferentes organismos o comunidades como las evaluadas.

Dejando por ahora de lado el efecto de la temporalidad, el cual fue explicado en la discusión de la composición y diversidad de morfoespecies, podemos deducir que las zonas de mayor abundancia y riqueza se concentraron de forma general hacia el occidente del área de estudio para la mayoría de comunidades, como por ejemplo, fitoplancton, perifiton y macrófitas acuáticas (Figura 24, 26 y 28). Mientras que, en el caso de zooplancton, a pesar de que la riqueza presentó el mismo patrón anteriormente mencionado (Figura 25B y 25D), la abundancia presentó una mayor extensión (Figura 25A y 25C). Al contrario de los macroinvertebrados, donde la abundancia mantuvo el patrón general (Figura 27A y 27C) y la riqueza tuvo una distribución un poco más aleatoria en el espacio (Figura 27B Y 27D).

Al reconocer el área como una microcuenca, nos damos cuenta, que los ecosistemas tipo “quebradas”, se encuentran en las cabeceras hacia el oriente, y que la mayoría de caños y ciénagas están ubicados al occidente en las mismas áreas donde se presentan las abundancias de los organismos fotosintéticos (Figura

23). Este patrón de distribución, puede estar dado por un efecto del “río continuo”. Como menciona Perez (2011), los gradientes físicos se forman en una red de drenaje, y son reconocidas diferentes estrategias y adaptaciones biológicas, que tienen el fin de aprovechar la mayor cantidad de energía alóctona o autóctona posible del ecosistema, lo que permite la presencia de diferentes grupos tróficos que pueden ser regulados a su vez, por procesos fluviales y geomorfológicos, posibilitando, según Vannote et al. (1980), la predicción de la composición de las comunidades acuáticas a lo largo del río o la cuenca.

Pérez (2011) señala que los riachuelos o quebradas ubicados en las zonas más escarpadas o zonas más altas del drenaje, tiene una reducción de la producción primaria, para esta investigación, las bajas densidades que ocurren en las comunidades fotosintéticas (fitoplancton, fitoperifiton y macrófitas acuáticas), debido a la sombra que generan los bosques ribereños, que a su vez, son los que proveen de materia vegetal, animal y mineral denominada “alóctona”, dando como resultado aumento en la cantidad de materia particulada gruesa, que puede ser aprovechada, como manifiesta Vannote et al. (1980), por macroinvertebrados acuáticos de tipo colector y fragmentador, en este caso, por ejemplo: los géneros *Hexacylloepus*, *Microcyllloepus*, *Xenelmis*, *Tricorytodes*, *Farrodes*, entre otros, basados en la clasificación de grupos funcionales expuesta por Rivera et al. (2013) y Tomanova & Usseglio-Polatera (2007) y evidenciada en la correlación con este tipo de ecosistemas en los análisis de redundancia (Figura 35D).

Ya en cuerpos de agua de mediana magnitud, la materia particulada gruesa se transforma en materia particulada fina; por lo general en este intervalo, hay aumento del cauce, que en consecuencia dan paso a los claros que generan mayor paso de luz sobre el espejo de agua (Pérez, 2011); estas características permiten el desarrollo de la producción primaria, por lo que, las comunidades hidrobiológicas serían menos dependientes de la materia alóctona; es el caso del área occidental de este estudio, donde se encuentran los ecosistemas tipo “caño” y “ciénaga” y que, con los patrones de distribución de la comunidad de fitoplancton, fitoperifiton y macrófitas acuáticas sigue el ajuste de la teoría.

Por otra parte, para los ríos o cuerpos de agua de gran magnitud, en el presente caso el río Magdalena, también se ve reflejada la teoría, por lo menos en los aumentos de la abundancia del zooplancton para estas unidades de muestreo (Figura 25A y 25C). Además, enfatiza Pérez (2011), que el incremento de la materia particulada fina y la turbidez (Figura 27G y 27H), ocasiona la disminución de la productividad primaria (Figura 24, 26 y 28).

Para el análisis de similitud, se observó menor grado de diferencia entre temporadas y zonas de influencia, a diferencia de los tipos de ecosistemas. Estos últimos permiten observar el intercambio de morfoespecies entre ciénagas y caños, y el aislamiento espacial de las quebradas y ríos, como se observa de mejor forma en las comunidades fitoplanctónica y de macrófitas acuáticas (Figura 29 A y E).

Este intercambio y asociación se puede explicar, de acuerdo con la descripción de Jiménez-Segura (2010) para las ciénagas, como un tipo de lago (ecosistema léntico) que están presentes en los planos de inundación, que son sistemas de alta productividad y su dinámica hidrológica depende de los aportes que el río principal hace en la temporada de aguas altas; estos aportes son generados por los caños, que podrían servir como conectores en el intercambio constante de la composición. De forma similar lo planteó Deluque *et al.* (2006), como la existencia de otros ecosistemas en estos planos, que influyen en la hidrología de las ciénagas. Hernández *et al.* (2016), reportó la misma organización respecto a los tipos de sistemas lénticos y lóticos que llegan a compartir menos del 50% de la composición de macroinvertebrados.

Para el caso de las macrófitas acuáticas, por lo general, en las quebradas se presentó una composición adaptada a las adversas condiciones que ofrecen estos ecosistemas, como el lavado de nutrientes, corrientes rápidas y menor cantidad de luz disponible a nivel del sotobosque (Gómez-Rodríguez *et al.*, 2017). Por lo que, las morfoespecies que se pueden encontrar en estos lugares son más de hábitos enraizantes que colonizan el litoral y las orillas; a diferencia de los sistemas lénticos y caños, en el que el flujo de corriente es menos abrupta y puede albergar vegetación de tipo flotante con adaptación facultativa al enraizamiento, dependiendo del nivel del agua o la temporada en la que se encuentren (Pérez-Vásquez, 2015). Además, cabe resaltar la diferencia mencionada por Jose de Paggi & Paggi (2014) entre ecosistemas lóticos y lénticos en la composición del zooplancton; a pesar de que esta comunidad es más abundante en ambientes marinos (Brusca & Brusca, 2003), en los continentes tienden a ser más común en sistemas lénticos, limitando su presencia en cuerpos de agua lótico, debido a lo efímeras que pueden ser sus poblaciones por el efecto de arrastre de la corriente (Roldán & Ramírez, 2008).

De las variables con influencia en las comunidades hidrobiológicas evaluadas, la temperatura del agua juega un papel importante en la dinámica de los ecosistemas acuáticos, ya que de ella depende el estado de muchas otras variables fisicoquímicas, como por ejemplo el oxígeno. Roldán (2003), destaca como el oxígeno se ve afectado por los cambios de temperatura, donde a mayores valores de temperatura en el agua habrá una menor concentración de oxígeno. Además, Roldán & Ramírez (2008), mencionan no solamente el efecto sino la correlación y capacidad predictora que tiene en variables bióticas y abióticas; como por ejemplo la cantidad de luz que llega al espejo y calienta la columna de agua que en consecuencia, genera el aumento en la producción fotosintética llevada a cabo por las comunidades de microalgas. Diferentes asociaciones se observaron en los resultados, como por ejemplo: En el grupo de consumidores de insectos como *Tropisternus*, *Buenoa*, *Hydrocanthus*, *Culex*, *Neoplea* entre otros, todos con adaptación respiratoria holopneustica que no dependen del oxígeno disuelto en agua (Ruppert & Barnes, 1996), se asociaron con el aumento de la temperatura (Anexo 3D).

En cuanto a la producción primaria, en este estudio se presentaron microalgas que se favorecen con el aumento de la temperatura y otras que no. Y que a su vez, se correlacionan positivamente con el oxígeno. En el grupo de las que se ven favorecidas están las morfoespecies *Oscillatoria* sp2, *Anabaena* sp1, *Staurastrum* sp1, entre otras. Y al otro extremo *Surirella* sp3, *Frustulia* sp2, *Eunotia* sp3, entre otras (Anexo 3A). Gómez (2007) menciona que a pesar de su simplicidad y la amplitud de su distribución, las algas habitan únicamente en lugares donde existen condiciones específicas para cada grupo o especie, entre los factores limitantes menciona la radiación solar, la temperatura, la disponibilidad de oxígeno y la concentración de determinados nutrientes.

Para las macrófitas acuáticas están *Paspalum repens*, *Ludwigia helminthorrhiza* y *Eichhornia crassipes* asociadas a la temperatura alta (Anexo 3E). Para los tres casos, estas son plantas flotantes que enraizan en la superficie o cerca a las orillas. Sabbatini (1985) mencionó para estas tres especies, que es común encontrarlas formando asociaciones entre ellas mismas y otras plantas, este mismo autor discute la favorabilidad de la temperatura en el desarrollo de las vainas foliares y la flotabilidad de los vástagos en *P. repens*, además, a modo general Bornette & Puijalon (2011), argumentan que la mayoría de las especies de plantas acuáticas exhiben tasas óptimas de fotosíntesis a temperaturas relativamente altas, sobre todo las que se encuentran cerca a la superficie.

El análisis de redundancia (RDA), mostró que las variables biológicas, presentaron asociaciones poco significativas con las variables ambientales en las diferentes unidades de muestreo para las dos temporadas. Sin embargo, las asociaciones observadas, eran esperadas en la mayoría de las comunidades. Ya que la comunidad de fitoplancton presentó el taxón *Ulnaria* sp1, asociado positivamente a los nitratos, por lo que estos benefician su crecimiento. En el caso del zooplancton, la asociación positiva entre *Prianodiptomus* sp1, y la profundidad de la capa fótica, también era de esperarse, puesto que en la capa fótica se encuentra al fitoplancton para realizar su proceso de fotosíntesis, y los organismos del zooplancton, aprovechan este espacio para alimentarse, al depredar esta otra comunidad.

Por su parte la comunidad de fitoperifiton tuvo al género *Navicula* asociado positivamente a la variables saturación de oxígeno, posiblemente porque por procesos fotosintéticos, las zonas donde se encuentran estos organismos, son los de mayor producción de oxígeno. Para los macroinvertebrados se observó al género *Thraulodes* asociado positivamente con el oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno, relación típica, puesto que estos organismos son bastante sensibles a los cambios ambientales y suelen necesitar características óptimas de calidad del agua para su desarrollo, como sería el caso de unos altos niveles de oxígeno.

Finalmente la comunidad de macrófitas acuáticas, evidenció asociación positiva entre la especie *Websteria confervoides* con la variable fósforo. Se debe tener en

cuenta que para el desarrollo de las plantas se hace fundamental este parámetro, así como el nitrógeno, por lo cual es normal dicha asociación.

Por su parte los análisis RDA para los diferentes ecosistemas mostraron de igual manera que la varianza explicada es inferior al 15%, lo cual señala que las variables analizadas no explican la distribución de los organismos en los diferentes ecosistemas. Ya que la mayoría de ecosistemas se sobrelapan para las diferentes comunidades. Sin embargo, se observaron algunas tendencias y diferencias, en el caso del fitoplancton, donde las unidades de muestreo asociadas al río Magdalena presentaron una mayor diferencia; influenciados por los sólidos totales, resultado esperado, dado que este ecosistema presenta una alta cantidad de sólidos totales, con aguas turbias, que pueden afectar los procesos fotosintéticos de esta comunidad.

En el caso del zooplancton la mayor diferencia se dio entre ciénagas y quebradas donde para las ciénagas las variables temperatura y profundidad de la capa fótica fueron las más influyentes. Por lo tanto, se debe tener presente que en la capa fótica, que normalmente está prevista de la mayor temperatura es donde se desarrolla el fitoplancton y la comunidad zooplanctónica lo usa como recurso alimenticio.

En la comunidad de fitoperifiton también se solaparon los diferentes ecosistemas y se observó una pequeña diferencia para los ecosistemas de quebrada, los cuales se vieron influenciados por la saturación de oxígeno, comportamiento esperado, dado que en estos ecosistemas se presenta el mayor rompimiento de la tensión superficial del agua, incorporando la mayor cantidad de oxígeno, además que allí se presenta la mayor cantidad de microhábitats donde se asocia el fitoperifiton que también es productor de oxígeno. En el caso de la comunidad de macroinvertebrados los diferentes ecosistemas se sobrelapan, por lo que no hay diferencias entre las comunidades asociadas a estos.

Finalmente, la comunidad de macrófitas acuáticas presentó también solapamiento de los diferentes ecosistemas. Sin embargo, se observaron algunas diferencias entre los ecosistemas de ciénaga y quebrada por la asociación de la variable temperatura sobre las ciénagas y las especies *Paspalum repens* y *Ludwigia helminthorrhiza*, comúnmente la temperatura influye en las ciénagas, dado que el espejo de agua está totalmente expuesto a los rayos solares, lo cual potencializa el desarrollo de las macrófitas, dado que la radiación solar aumenta el proceso fotosintético y desarrollo de las plantas. Para las quebradas, estas se asociaron a la variable fósforo y a las especies *Websteria confervoides* y *Acroceras zizanioides*. Cabe señalar que el fósforo comúnmente llega por procesos de escorrentía a los cuerpos de agua, dado que en las zonas de monitoreo se presentan monocultivos que constantemente son fertilizados y durante las épocas de lluvia se puede arrastrar este elemento a los cuerpos de agua, el cual se

constituye como un elemento fundamental para el desarrollo de las plantas, influenciando su crecimiento y desarrollo.

Por último, desde los análisis por temporadas se observó que los valores elevados en sólidos suspendidos y sólidos totales durante la temporada de aguas altas en unidades de muestreo sobre el río Magdalena, no favorecen la manutención de la comunidad fitoplanctónica (Figura 33A) debido a que afectan la incidencia lumínica y la convierten en un factor limitante. Al inicio se explicó el efecto abiótico de la luz en la temperatura, sin embargo, en esta ocasión se explica el efecto biótico, en el que el aumento de sólidos totales en el agua, sobre todo los que se encuentran suspendidos, interfieren en la cantidad de luz que llega a la columna de agua y causa disminución en la tasa fotosintética de las microalgas (Roldán & Ramírez, 2008). El aumento de la turbidez ocasionado por la cantidad de estos, puede deberse a la cantidad de materia orgánica que baja de los afluentes y es concentrada en el río Magdalena, sobre todo en la temporada de lluvias donde aumenta la escorrentía y el arrastre de materiales.

Conclusiones

En este estudio, el tipo de cuerpo de agua fue un factor más relevante que la temporada climática o la zona de estudio (Kale, Platero y Caracterización), para explicar diferencias en la composición de especies en las diferentes comunidades hidrobiológicas evaluadas.

El intercambio de morfoespecies está dado por los tipos de ecosistema, más que por la temporalidad, que sin duda, se le atribuye efecto en el cambio de densidades. Respecto al tipo de zona de influencia, tanto Kale, como Platero y Caracterización tienen alto grado de similitud en casi todas las comunidades, ya que en la zona de caracterización se ve simplificada en dicho intercambio para las comunidades de fitoplancton y fitoperifiton.

Para la mayoría de las comunidades evaluadas, los valores de cobertura de muestreo obtenidos, evidencian que el esfuerzo de muestreo fue suficiente para tener una muestra representativa, a excepción de la comunidad de macrófitas acuáticas que presentó cobertura por encima del 70%.

Con respecto a la cobertura de muestreo por ecosistemas, se observó que los caños, las ciénagas y las quebradas tuvieron cobertura de muestreo por encima del 98%, mientras que el ecosistema de río solo alcanzó el 82%, lo que muestra que se deben aumentar el número de unidades de muestreo para dicho ecosistema con el fin de obtener muestras lo suficientemente representativas.

Los modelos de rango-densidad demostraron que las diferentes comunidades evaluadas para las dos temporadas climáticas, se ajustaron al modelo de serie logarítmica, lo cual se relaciona con los valores encontrados en los índices de diversidad que indican una complejidad media de los ecosistemas.

Los índices de diversidad demostraron que los diferentes ecosistemas evaluados presentaron una complejidad media, siendo las ciénagas y los caños los puntos de mayor diversidad y presentándose como ecosistemas estratégicos para la conservación de la fauna y flora acuática.

La distribución de la abundancia y la riqueza para la comunidad de macroinvertebrados se presentó de forma aleatoria, en cambio, para las demás comunidades, se acentuó hacia el occidente del área de estudio, en cuerpos de agua ubicados en las áreas de mayor influencia de los pulsos de inundación.

Las variables fisicoquímicas tuvieron comportamiento muy similar entre las dos temporadas, observándose la mayor cantidad de cambios para el río, comportamiento esperado dado la cantidad de tributarios y vertimientos que llegan a este, los cuales alteran las variables y la calidad del cuerpo de agua.

Bibliografía

- Álvarez-Silva, J. P. (2013). Aspectos limnológicos Físico-química, fitoplancton y zooplancton de las ciénagas de Zapatosa, Mata de Palma y la Pachita Caribe Colombiano y su relación con la fluctuación en el nivel hidrométrico. En *Talking Shop: The Language Of Craft In An Age Of Consumption* (pp. 393-451). Instituto De Ciencias Naturales Universidad Nacional De Colombia.
- Andrade, A., Rivera, M., Caicedo, D., Navarrete, F., & Camargo, L. (2002). Política Nacional para humedales interiores de Colombia: Estrategias para su conservación y uso sostenible. *Ministerio de Medio Ambiente - Consejo Nacional Ambiental*, 67.

- APHA. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 199.
- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. *American Water Works Association, Water Environment Federation, Edición 23*.
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill.
- Barbour, M., Gerritsen, J., Snyder, B., & Stribling, J. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. *Environmental Protection Agency; Office of Water. U.S.A., Second Edition*.
- Benjumea, C. A., Wills, A., & Aguirre, N. J. (2008). Principales aspectos morfométricos de la ciénaga de Cachimbero, Santander – Colombia. *Gestión y ambiente*, 11(2), 1-8.
- Bornette, G., & Puijalón, S. (2011). Response of aquatic plants to abiotic factors: A review. *Aquatic Sciences*, 73(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00027-010-0162-7>
- Brunner, G., & Beck, P. (1990). *Nueva guía práctica de plantas acuáticas*. TetraVerlag.
- Brusca, R. C., & Brusca, G. J. (2003). *Invertebrates* (Segunda, Vol. 9). Sinauer Associates.

- Bustos, M. (2018). *Respuesta de la comunidad de diatomeas y sus rasgos biológicos a diferentes alteraciones antrópicas en ambientes lóticos del piedemonte de la Orinoquía colombiana*. <https://doi.org/10/8309>
- Chao, A., & Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533-2547.
- Chambers, P. A., Lacoul, P., Murphy, K. J., & Thomaz, S. M. (2008). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1), 9-26. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9154-6>
- Cirujano, S., Cambra, J., & Gutiérrez, C. (2005). Protocolos de Muestreo y análisis para Macrofitos. En *Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua* (pp. 1-43). M. d.-C. Ebro.
- De la Fuente, A. (2007). Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro. Protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton, fitobentos (microalgas bentónicas), macrófitos, invertebrados bentón. *Ministerio de Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Ebro*, 232.
- Deluque, J., Reyes, S., Sierra-Labastidas, T., & López, W. (2016). Primeros reportes de familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas

acuáticas en la Ciénaga del Cerro de San Antonio (Río Magdalena, Colombia). *Revista Intropica*, 3(1), 77-86.

Dominguez, E., & Fernandez, H. R. (2009). *Macroinvertebrados Bentonicos Sudamericanos*. Fundación Miguel Lillo.

Donato, J. C. (2008). *ECOLOGÍA DE UN RÍO DE MONTAÑA DE LOS ANDES COLOMBIANOS (RÍO TOTA, BOYACÁ)*. Universidad Nacional de Colombia.

Dorado, J. H. (2009). *Composición y distribución del zooplancton en el sistema cenagoso del Parque Via Parque Isla Salamanca en dos momentos hidrológicos*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.

García-Murillo, p, Fernández Zamudio, R., & Cirujano, S. (2009). *Los habitantes del agua. Macrófitos*. Agencia Andaluza del Agua.

Garzón, V. N., Córdoba, M. P., & Gutiérrez, J. C. (2014). Construcción participativa de estrategias de restauración ecológica en humedales del Magdalena Medio, Colombia: Una herramienta para el ordenamiento ambiental territorial. *Biota Colombiana*, 15(2), 58-86.

Garzón, C., & Realpe, E. (2009). DIVERSIDAD DE ODONATA (INSECTA) EN LA RESERVA NATURAL CABILDO-VERDE (SABANA DE TORRES-SANTANDER, COLOMBIA), UNA APROXIMACIÓN HACIA LA CONSERVACIÓN. *Caldasía*, 31(2), Art. 2.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/36132>

- Gómez, L. M. L. (2007). Microalgas: Aspectos Ecológicos y Biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*, 19(2), 3-20.
- Gómez-Rodríguez, A. M., Valderrama Valderrama, L. T., & Rivera-Rondón, C. A. (2017). Comunidades de macrófitas en ríos andinos: Composición y relación con factores ambientales. *Acta Biologica Colombiana*, 22(1), 45-58. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n1.58478>
- González de Infante, A. (1988). *El plancton de las aguas continentales*. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos: Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- Hamada, H., Thorp, J., & Rogers, C. (2018). *Keys to Neotropical Hexapoda* (4th Edition). Elsevier.
- Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista Biologica Tropical*, 58(4), 3-37.
- Hernández, J. L., Guzmán-Soto, C. J., & Tamaris-Turizo, C. E. (2016). Macroinvertebrados acuáticos de la ciénaga de Sahaya y en tres de sus afluentes (Cesar, Colombia). *Intropica*, 11, 11. <https://doi.org/10.21676/23897864.1857>
- Hill, J., & Hamer. (1998). Using species abundance models as indicators of habitat disturbance in tropical forests. *Journal of Applied Ecology*, 35, 458-460.

- Hiscock, p. (2003). *Encyclopedia of aquarium plants. A comprehensive exploration of aquarium plants, with practical advice on how to grow them to perfection.* Barron's Educational Series Inc.
- Jiménez-Segura, L. F., Carvajal-Quintero, J. D., & Aguirre, N. (2010). Las ciénagas como hábitat para los peces: Estudio de caso en la ciénaga de Ayapel (Córdoba), Colombia. *Actualidad Biológica*, 32(92), 53-64.
- José de Paggi, S. B., & Paggi, J. C. (2014). El zooplancton de los grandes ríos sudamericanos con planicie de inundación. *Revista FABICIB*, 18, 166-194. <https://doi.org/10.14409/fabicib.v18i0.4853>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *OIKOS*, 113(2), 363-375.
- Jost, L., & González-Oreja, J. A. (2012). Midiendo la diversidad biológica: Más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana*, 56, 3-14.
- Lewis Jr, W. M. (1983). A revised classification of lakes based on mixing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40(10), 1779-1787.
- Lenntech. (s. f.). *Magnesio y agua: Mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud* Magnesium (Mg) and water. Recuperado 13 de octubre de 2022, de <https://www.lenntech.es/magnesio-y-agua.htm>

- McQueen, D. J., Post, J. R., & Mills, E. L. (1986). Trophic Relationships in Freshwater Pelagic Ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43(8), 1571-1581. <https://doi.org/10.1139/f86-195>
- Magurran, A. E. (1988). Diversity indices and species abundance models. En *Ecological Diversity and its Measurement* (pp. 7-45). Springer Netherlands.
- May, R. M. (1975). Patterns of species abundance and diversity. En *Ecology and Evolution of Communities* (pp. 81-120). Harvard Univ. Press, Cambridge.
- May, R. M. (1981). Patterns in multispecies communities. En *Theoretical Ecology* (pp. 197-227). Blackwell Scientific Publications.
- Mojica-Figueroa, B., & Díaz-Olarte, J. (2016). Comunidad de peces de la ciénaga de Paredes, Magdalena medio, Santander (Colombia) y su asociación con variables espacio temporales y ambientales. *Biota Colombiana*, 17(1), 29-43.
- Montoya, Y., & Aguirre, N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16(3), Art. 3.
- Moreno, Y., & Aguirre, N. (2009). Estado del arte de la limnología de lagos de planos inundables. *Revista Gestión y Ambiente*, 12(3), 85-106.
- Nilsson, A., & Hájek, J. (2019). A World Catalogue of the Family Dytiscidae, or the Diving Beetles (Coleoptera, Adephaga).

- Núñez-Avellaneda, M., & Duque, S. (2000). Desmidias (zygnemaphyceae) de un pequeño tributario del río Amazonas en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 24(93), 493-499.
- Núñez, J. C., & Fragoso, P. J. (2019). Uso de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación del Agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia). *Información Tecnológica*, 30(5), 319-330.
- Paredes, J. R., De López, M. A., Medina, M., Herrera, P., & Peralta, E. L. (2011). Medición de la Biodiversidad Alfa de Insectos en el Bosque “Cruz de Chiriyacu” de Chillanes, Bolívar-Ecuador. *Memorias del I Congreso Binacional de Investigación en Ciencia y Tecnología de las 2 Universidades del Norte del Perú y del Sur del Ecuador*, 66-69.
- Pérez, M. M. A. (2011). *Relación de la cobertura vegetal riparia y la comunidad íctica, en dos periodos hidrológicos en riachuelos de la cuenca del Río La Vieja, Eje Cafetero de Colombia*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Pérez-Gutiérrez, L., & Palacino-Rodríguez, F. (2011). Updated checklist of the Odonata known from Colombia. *Odonatologica*, 40, 203-225.
- Pérez-Vásquez, N. D. S., Arias-Rios, J., & Quirós-Rodríguez, J. A. (2015). Variación espacio-temporal de plantas vasculares acuáticas en el complejo cenagoso del Bajo Sinú, Córdoba, Colombia. *Acta Biologica Colombiana*, 20(3), 155-165. <https://doi.org/10.15446/abc.v20n3.45380>

- Planas, M. D. (1973). Composición, ciclo y productividad del fitoplancton del lago de Banyoles. *Oecologia aquatica*, 1(1), 3-106.
- Quijano-Tristancho, J. C. (2020). Riqueza y abundancia de los escarabajos buceadores (coleoptera: Dytiscidae) y su relación con aguas negras, aguas claras y aguas blancas de la orinoquia colombiana. *instname:Universidad de los Andes*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/48607>
- Ríos, E., Palacio, J., & Aguirre, N. (2009). Productividad primaria y sustancias húmicas en la ciénaga El Eneal, San Onofre Sucre-Colombia. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 47, 67-72.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP Col*. Universidad de Antioquia.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Segunda edición). Universidad de Antioquia.
- Román Heracleo, J. (2019). Diversidad de libélulas (Insecta: Odonata) en ambientes lénticos con diferente grado de alteración antropogénica. *Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica*. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4624.2.5>
- Ruppert, E. E., & Barnes, R. D. (1996). *Zoología de los invertebrados*. McGraw-Hill.

- Rivera, U. J., Pinilla, A. G., & Camacho, P. D. (2013). Grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos en un humedal urbano Andino de Colombia. *Acta Biologica Colombiana*, 18(2), 279-292.
- Sabattini, R. A. (1985). Dinámica y productividad de *Paspalum repens* Bergius (<<canutillo>>) en un ambiente lenítico del valle aluvial del río Paraná. *Revista Hydrobiologia Tropical*, 18(1).
<https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:23152>
- Serafim Jr., M., Lansac-Tôha, F. A., Paggi, J. C., Velho, L. F. M., & Robertson, B. (2003). Cladocera fauna composition in a river-lagoon system of the upper Paraná River floodplain, with a new record for Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 63, 349-356. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842003000200020>
- Smagula, & Connor. (2007). *Aquatic Plants and algae of New Hampshire's Lakes* (First edition). Department of Environmental Services.
- Tokeshi, M. (1993). Species abundance patterns and community structure. *Advances in Ecological Research*, 24, 112-186.
- Tomanova, S., & Usseglio-Polatera, P. (2007). Patterns of benthic community traits in neotropical streams: Relationship to mesoscale spatial variability. *Fundamental and Applied Limnology*, 243-255. <https://doi.org/10.1127/1863-9135/2007/0170-0243>
- 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.

<https://doi.org/10.1139/f80-017>

Anexos

Anexo 1 - Hidrobiológicos. Listado de especies y abundancias por zona de trabajo, tipo de cuerpo de agua y temporada climática. (Buscar este anexo en Anexo General)

Anexo 2 - Hidrobiológicos. Especies de comunidades hidrobiológicas reportadas previamente para la zona y complementariedad del muestreo. (Buscar este anexo en Anexo General)