

Diversidad funcional del fitoplancton de la Ciénaga de Paredes (Santander, Colombia) durante
un periodo de aguas altas del 2022

Frank Yesid Niño Tello

Trabajo de grado para optar por el título de Biólogo

Director

Diana Marcela Sánchez Lobo

Bióloga

Codirector

Edwin Orlando López Delgado

Ph.D en Ciencias de la Vida Silvestre y Pesqueras

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Biología

Bucaramanga

2025

Agradecimientos

A la profesora Diana, por ser brújula, sendero y compañía en mi travesía. Al profe Edwin por convertir mis ideas dispersas en jardines de conocimiento. A mi mamá, papá, hermano y abuela por ser suelo fértil que me permitió continuar en este camino. A Camilo por la ayuda oportuna en el momento preciso. Al Laboratorio de Hidrobiología y ADN ambiental por ser un puerto de aprendizaje, donde la curiosidad y la ciencia se entrelazan. A los amigos que compartieron este viaje conmigo, brisas fugaces o raíces profundas, por esparcir las esporas de su esencia en mí. Y por último a Cami, marea constante, refugio en la tormenta y brisa en los días serenos de este andar.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	9
1. Marco Teórico.....	11
1.1 Generalidades del fitoplancton	11
1.2 Morfología funcional del fitoplancton	11
1.3 Grupos morfofuncionales del fitoplancton	12
1.4 Diversidad funcional del fitoplancton.....	13
1.5 Las ciénagas	15
2. Objetivos	17
2.1 Objetivo General.....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3. Competencias	18
4. Materiales y Métodos.....	19
4.1 Área de estudio	19
4.2 Material biológico.....	19
4.3 Fase de laboratorio.....	20
4.4 Fase de análisis	22
5. Resultados	23
5.1 Estructura y composición del fitoplancton	24
5.2 Morfología funcional del fitoplancton	27
5.2.1 Rasgos morfológicos categóricos	27
5.2.2 Máxima Dimensión Linear (MDL).....	28

5.2.3 Biovolumen (BioV)	30
5.2.4 Área superficial (S).....	32
5.2.5 Relación superficie/volumen (S/V).....	34
5.3 Grupos funcionales basados en la morfología (GFBM)	36
5.3.1 GFBM I.....	38
5.3.2 GFBM III	38
5.3.3 GFBM IV	38
5.3.4 GFBM V	39
5.3.5 GFBM VI.....	39
5.4 Índices de diversidad funcional	39
5.4.1 Diversidad alfa funcional.....	39
5.4.2 Diversidad beta funcional	44
6. Discusión de resultados.....	44
7. Conclusiones	51
8. Recomendaciones	53
Referencias bibliográficas.....	54

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Clave dicotómica para clasificar el fitoplancton en los Grupos Funcionales Basados en Morfología (GFBM) (Kruk et al., 2010)</i>	22
Tabla 2 <i>Composición taxonómica de las morfoespecies fitoplanctónicas identificadas en la ciénaga de Paredes.</i>	24
Tabla 3 <i>Morfoespecies del fitoplancton con rasgos funcionales categóricos.</i>	27
Tabla 4 <i>Grupos funcionales basados en la morfología, grupos representativos, promedios de los rasgos continuos y la presencia-ausencia de los rasgos categóricos.</i>	37
Tabla 5 <i>Valores de los índices de diversidad funcional para cada estación</i>	43

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Ubicación de la ciénaga de Paredes (Santander, Colombia) y puntos de estudio</i>	20
Figura 2 <i>Variación espacial del biovolumen fitoplanctónico dentro de la ciénaga.</i>	25
Figura 3 <i>Rasgos morfológicos categóricos</i>	28
Figura 4 <i>Máxima Dimensión Lineal (MDL) de los organismos fitoplanctónicos en cada estación de estudio.</i>	29
Figura 5 <i>Biovolumen (BioV) de los organismos fitoplanctónicos en cada estación de estudio.</i> ..	31
Figura 6 <i>Área superficial (S) de los organismos fitoplanctónicos en cada estación de estudio.</i>	33
Figura 7 <i>Relación superficie/volumen (S/V) de los organismos fitoplanctónicos en cada estación de estudio.</i>	35
Figura 8 <i>Porcentaje de Biovolumen de los GFBM por estación.</i>	37
Figura 9 <i>Valores del promedio ponderado (CWM) de la máxima dimensión lineal (MDL)</i>	39
Figura 10 <i>Valores del promedio ponderado (CWM) del Biovolumen (BioV)</i>	40
Figura 11 <i>Valores del promedio ponderado (CWM) del área superficial (S)</i>	41
Figura 12 <i>Valores del promedio ponderado (CWM) de relación superficie/volumen (S/V)</i>	42

Resumen

Título: Diversidad funcional del fitoplancton de la ciénaga de Paredes (Santander, Colombia) durante un periodo de aguas altas del 2022^{1***}

Autor: Frank Yesid Niño Tello^{2*3*}

Palabras Clave: Diversidad funcional, fitoplancton, morfología funcional, ciénagas.

Descripción: Las ciénagas son cuerpos de agua conectados a un río y presentan fluctuaciones en profundidad, ya sea de forma temporal o permanente. Estas fluctuaciones en el nivel del agua influyen en la dinámica del fitoplancton, cuya respuesta a los cambios durante el pulso de inundación puede analizarse a través de sus rasgos funcionales. En Colombia, los estudios limnológicos se han centrado en inventarios y análisis de diversidad de la hidrobiota. En esta investigación se evaluó la morfología y diversidad funcional del fitoplancton en la Ciénaga de Paredes durante aguas altas en 2022. Se colectaron muestras de fitoplancton en cuatro estaciones: afluente, efluente, centro y una zona con mayor cobertura de bosque. Se realizaron muestreos cualitativos con red de 23 micras y cuantitativos con un tubo de PVC (1”). La identificación se realizó con microscopía óptica y el conteo utilizando cámara de Utermöhl. Se estimó densidad, biomasa y biovolumen, además de calcular índices de diversidad funcional y clasificar los grupos morfofuncionales según dimensiones morfológicas y rasgos funcionales. Los resultados indicaron que las estaciones de entrada y salida presentaron los mayores valores de diversidad funcional, mientras la zona con la mayor cobertura de bosque presentó el menor valor. Se encontraron cinco de los siete grupos funcionales basados en la morfología, identificando 30 morfoespecies, donde los grupos más abundantes fueron cianobacterias grandes y filamentosas con aerótopos, pertenecientes a los Grupos III y IV. Estos grupos son característicos de ecosistemas eutróficos, reflejando la alta disponibilidad de nutrientes, baja transparencia y naturaleza somera de la ciénaga.

^{1*}Trabajo de Grado

^{2**} Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Biología. Director: Diana Marcela Sánchez Lobo. Bióloga. Codirector: Edwin Orlando López Delgado. Ph.D en ciencias de la vida silvestre y pesqueras

^{3*}frank2183034@correo.uis.edu.co

Abstract

Title: Functional diversity of phytoplankton in the Ciénaga de Paredes (Santander, Colombia) during a high-water period in 2022^{4*}

Author(s): Frank Yesid Niño Tello^{5*}

Key Words: Functional diversity, phytoplankton, functional morphology, wetlands.

Description: Wetlands are water bodies connected to a river that experience depth fluctuations, either temporarily or permanently. These variations influence phytoplankton dynamics, whose response to changes during the flood pulse can be analyzed through their functional traits. In Colombia, limnological studies have focused on inventories and diversity analyses of hydrobiota. This study evaluated the morphology and functional diversity of phytoplankton in the Ciénaga de Paredes during high-water periods in 2022. Phytoplankton samples were collected at four stations: inflow, outflow, center, and an area with greater forest cover. Qualitative sampling was performed using a 23-micron net, while quantitative sampling used a 1” PVC tube. Identification was conducted with optical microscopy, and counting was performed using an Utermöhl chamber. Density, biomass, and biovolume were estimated, in addition to calculating functional diversity indices and classifying morphofunctional groups based on morphological dimensions and functional traits. The results indicated that the inflow and outflow stations had the highest functional diversity values, while the area with the greatest forest cover had the lowest. Five of the seven morphology-based functional groups were found, identifying 30 morphospecies. The most abundant groups were large, filamentous cyanobacteria with aerotopes, belonging to Groups III and IV. These groups are characteristic of eutrophic ecosystems, reflecting high nutrient availability, low transparency, and the shallow nature of the wetland.

^{4*}Degree Work

^{5*}Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Biología. Director: Diana Marcela Sánchez Lobo. Bióloga. Codirector: Edwin Orlando López Delgado. Ph.D en ciencias de la vida silvestre y pesqueras

Introducción

El fitoplancton es un grupo de microorganismos fotosintéticos pertenecientes al plancton. Presentan adaptaciones para vivir en aguas de forma parcial o continua (Reynolds, 2006). Estos organismos, ampliamente distribuidos, responden a los cambios en las condiciones físicas y químicas del ecosistema que habitan, así como a las constantes presiones antrópicas (Zhou et al., 2022). Dichas presiones generan cambios en la estructura y composición de la comunidad (Longhi & Beisner, 2010), los cuales se ven reflejados en sus características morfológicas y funcionales. En este sentido, rasgos como tamaño, volumen, área y forma determinan su reproducción, crecimiento y protección, siendo esta la razón por la cual son considerados rasgos funcionales (Capblancq & Catalan, 1994).

La filogenia permite organizar las especies según su parentesco, y aunque los linajes comparten ciertos rasgos en ocasiones no permite comprender el rol funcional que desempeñan en el ecosistema, ya que las considera equivalentes en función y respuesta ambiental (Brooks & McLennan, 1991). Sin embargo, las especies filogenéticamente distantes pueden reaccionar de manera similar a las condiciones ambientales, mientras que las especies cercanas pueden responder de forma distinta (Brooks & McLennan, 1991; Webb et al., 2002).

Por ello, para comprender mejor las condiciones ambientales y la ecología del ecosistema donde habitan las comunidades fitoplanctónicas, se propone clasificarlas siguiendo criterios distintos a los taxonómicos (Kruk et al., 2010; Reynolds, 2006; Webb et al., 2002). Los rasgos funcionales permiten clasificar a los organismos según características morfológicas, fisiológicas y ecológicas, ofreciendo una perspectiva más precisa sobre el nicho funcional que ocupan en su ecosistema (Elton, 2001), a diferencia de la diversidad taxonómica, este enfoque capta la variabilidad en las respuestas de las especies a las condiciones ambientales y en sus

funcionamientos dentro de la comunidad (Kruk et al., 2010; Reynolds, 2006). Sin embargo, la obtención de rasgos fisiológicos detallados es compleja para muchas especies de fitoplancton, por lo que la clasificación basada en rasgos morfológicos se presenta como una alternativa viable (Kruk et al., 2010).

Los estudios limnológicos en las ciénagas son limitados, enfocándose principalmente sobre la caracterización biótica (Moreno & Aguirre, 2009). En los ecosistemas inundables del departamento de Santander los estudios sobre morfología funcional han sido reportados en dos tesis de pregrado, uno en la Ciénaga de Río Viejo (Rivero-García, 2020) y el otro reportado en la Ciénaga de Paredes (Sánchez-Lobo, 2017).

Las ciénagas o planicies inundables, son cuerpos de agua que tiene conexión directa o indirecta a un río (Moreno & Aguirre, 2009) y su fluctuación depende del nivel del río al que están conectados de forma temporal o permanente (Lewis, 1983). Estas fluctuaciones responden a los pulsos de inundación (Lewis, 1983). En la cuenca del Magdalena Medio, el régimen pluviométrico es de tipo bimodal, siendo de aguas altas al final de los meses de mayo y noviembre y aguas bajas para los meses de diciembre, enero y febrero (Ricaurte et al., 2019). Los periodos de aguas altas se caracterizan por el aumento de las precipitaciones donde se evidencian menores temperaturas y mayor caudal de los cuerpos de agua (Torres & Martínez, 2013). La ciénaga de Paredes forma parte del plano inundable del río Magdalena, es extensa y con gran valor ecológico e hídrico, vital para las poblaciones pesqueras locales que basan gran parte de su economía en esta (Londoño et al., 2014).

En la presente pasantía de investigación se plantea evaluar la morfología y diversidad funcional del fitoplancton a nivel espacial en la ciénaga de Paredes durante un periodo de aguas

altas en el 2022, ampliando así el conocimiento sobre la biodiversidad fitoplanctónica de una ciénega del Magdalena Medio.

1. Marco Teórico

1.1 Generalidades del fitoplancton

Por definición, el fitoplancton está compuesto por organismos autótrofos, en su mayoría microscópicos, que viven sujetos a las corrientes de la columna de agua (Reynolds, 2006; Roldán & Restrepo, 2008). Son los principales productores primarios de los ecosistemas acuáticos y, a su vez, algunos de los organismos más estudiados en estos ambientes (Reynolds, 1984; Roldán & Restrepo, 2008). Estos organismos presentan variedad de formas y tamaños (Reynolds, 1984), capaces de modificar las condiciones físicas y químicas de la columna de agua (Tozzi et al., 2004; Winder & Sommer, 2012).

Los organismos fitoplanctónicos son un modelo ideal de estudio debido a características como presencia en una amplia variedad de cuerpos de agua, desde charcos pequeños hasta océanos y por ser de rápido crecimiento obteniendo varias generaciones en cortos periodos de tiempo (Harris, 2012). Estos organismos se encuentran vinculados a las dinámicas de la columna de agua, donde la estructura y composición taxonómica varía en función de la temperatura, profundidad, mezcla de la columna de agua y disponibilidad de nutrientes (Anderson et al., 2002; Harris, 2012; Winder & Sommer, 2012).

1.2 Morfología funcional del fitoplancton

La morfología funcional se define por la relación entre las estructuras de los organismos y sus funciones, manifestándose en adaptaciones, que a su vez pueden reflejar estrategias evolutivas (Reynolds, 1984). Dado que la clasificación filogenética no siempre refleja las funciones

ecológicas, se propone relacionar los organismos según su morfología funcional, con este enfoque se pretende una mejor comprensión de las dinámicas del ecosistema que habitan (Kruk et al., 2010; Salmaso & Padisák, 2007; Villéger et al., 2008) Por otra parte debido a que los grupos morfofuncionales de Kruk no evidencian cambios en la estructura de la comunidad como lo sugieren algunos autores se analizó la diversidad funcional y los cambios en la diversidad funcional (Pineda et al., 2022).

Las especies del fitoplancton presentan características como el tamaño, forma y características fisiológicas, dentro de estos últimos se incluyen los aerótopos, heterocistos, flagelos, mucílago y estructuras exoesqueléticas de sílice (Salmaso & Padisák, 2007). Los rasgos funcionales reflejan las adaptaciones de los organismos a las condiciones del ecosistema en el que habitan, dado que los cuerpos de agua son dinámicos e inestables, los organismos desarrollan estrategias adaptativas para garantizar su supervivencia ante estos cambios (Reynolds, 1984; Roldán & Restrepo, 2008).

1.3 Grupos morfofuncionales del fitoplancton

La clasificación morfofuncional del fitoplancton se fundamenta en rasgos morfológicos simples, que permiten capturar la variabilidad de las características funcionales de los organismos; estos rasgos están estrechamente relacionados con propiedades funcionales como la tasa de crecimiento, la densidad y la biomasa de la comunidad, lo que los convierte en un buen indicador de las funciones ecológicas de las especies en el ecosistema (Kruk et al., 2010; McGill et al., 2006; Reynolds, 1988).

Una de las principales ventajas de este enfoque es su independencia de las afiliaciones taxonómicas (Kruk et al., 2010). Además, reconoce que los individuos responden individualmente a los cambios en su entorno, y que las condiciones tienden a favorecer a los grupos de especies

con características adaptativas similares (Webb et al., 2002). Los rasgos funcionales se distinguen por ser propiedades medibles a nivel individual, reflejar la capacidad de los organismos para adquirir recursos como luz y nutrientes, favorecer el crecimiento y reducir la mortalidad causada por factores como la sedimentación, la herbivoría o el arrastre hidrológico (Margalef, 1978; McGill et al., 2006; Violle et al., 2007).

Kruk y colaboradores (2010), proponen agrupar los organismos fitoplanctónicos mediante una clave dicotómica, en donde se tienen en cuenta ocho rasgos funcionales, tres son continuos: máxima dimensión lineal (MLD), volumen (V) y área superficial (S) y cinco rasgos som categóricos: aerótopos (Aer), flagelo (Fla), mucílago (Muc), heterocistos (Het) y estructuras exoesqueléticas de sílice (Si). Se agrupa a los organismos en siete tipos de Grupos Funcionales Basados en Morfología (GFBM). El Grupo I está compuesto por los organismos de menor tamaño con una relación superficie/volumen alta; el Grupo II incluye microorganismos flagelados con estructuras exoesqueléticas de sílice y una relación S/V baja; el Grupo III agrupa a organismos con aerótopos y heterocistos, y un valor más alto de MDL; el Grupo IV consta de organismos unicelulares grandes y coloniales sin ninguno de los caracteres categóricos; el Grupo V incluye especies flageladas unicelulares; el Grupo VI reúne a organismos no flagelados con exoesqueleto de sílice; y el Grupo VII está formado por organismos coloniales mucilaginosos.

1.4 Diversidad funcional del fitoplancton

La diversidad funcional puede ser descrita como una dimensión de la biodiversidad enfocada en evaluar la variedad y la importancia de los rasgos funcionales de los organismos dentro de una comunidad (Díaz & Cabido, 2001). Aunque se han desarrollado varios índices para cuantificar la diversidad funcional, todavía no existe consenso sobre cuál es más adecuado, ya que ninguno cumple con todos los criterios necesarios para un uso generalizado como la sensibilidad

a la riqueza de especies, detección de diferencias funcionales relevantes y la facilidad de interpretación ecológica (Casanoves et al., 2011; Magneville et al., 2022; Mason et al., 2003; Smith et al., 1997). Los índices de diversidad funcional tienen en cuenta los rasgos funcionales y la densidad de los organismos y en algunos la biomasa, ya que la biomasa está ligada directamente a la cantidad de energía y la asimilación de recursos entre las especies (Grime, 1998).

Villérger (2008) propone cuantificar la diversidad funcional dentro de un espacio multidimensional empleando tres medidas principales: riqueza funcional (FRic), equitatividad funcional (FEve) y divergencia funcional (FDiv). La riqueza funcional representa el volumen del espacio funcional ocupado por la comunidad fitoplanctónica, es decir, lo diversa en términos de los roles ecológicos que desempeñan sus especies donde una comunidad con mayor riqueza tiende a incluir organismos con estrategias ecológicas más variadas; la equitatividad funcional describe la regularidad con la que se distribuyen las abundancias dentro de ese volumen, indicando si las funciones están dominadas por pocas especies o repartidas equitativamente; y la divergencia funcional evalúa cómo se distribuyen las abundancias dentro del espacio funcional, reflejando su grado de separación o divergencia, una alta divergencia sugiere que las especies dominantes poseen rasgos muy distintos entre sí (Mason et al., 2003).

Otros autores proponen evaluar la dispersión funcional (FDis) (Laliberté & Legendre, 2010), distancia funcional media por pares (FMPD) (Weiher et al., 1998), distancia funcional media al vecino más cercano (FNND) (Weiher et al., 1998), originalidad funcional (FOri) (Mouillot et al., 2013) y especialización funcional (FSpe) (Mouillot et al., 2013). La dispersión funcional es el espacio volumétrico definido por el casco convexo que engloba a las especies dentro del ensamblaje, refleja que tan diferentes son los rasgos funcionales de las especies presentes (Laliberté & Legendre, 2010); la distancia funcional media por pares corresponde a la

distancia media calculada entre cada par de especies (Weiher et al., 1998); la distancia funcional media al vecino más cercano se define como la distancia ajustada hasta la especie más cercana dentro del ensamble (Weiher et al., 1998). Por otra parte, la originalidad funcional es la distancia promedio ponderada a la especie más próxima dentro del conjunto global de especies, indicando cuán únicos son los rasgos funcionales de una especie en comparación con el resto; y la especialización funcional como la distancia promedio ponderada al centro del espacio funcional del conjunto global de especies (Mouillot et al., 2013).

1.5 Las ciénagas

Las ciénagas son lagos tropicales y hacen parte de los humedales, se encuentran ubicados en depresiones poco profundas y conectadas a los ríos a través de canales meandros, formados por la inundación y erosión fluvial (Lewis, 1983; Roldán & Restrepo, 2008). En Colombia se reportan alrededor de 1900, localizadas en su mayoría en el complejo cenagoso del río Magdalena. Se pueden encontrar por debajo de los 1000 m.s.n.m y presentan una columna de agua que no supera los 10 m de profundidad, estos cuerpos de agua presentan estratificaciones durante el día y son sistemas polimícticos cálidos continuos (Lewis, 1983; Moreno & Aguirre, 2009).

Las ciénagas se pueden clasificar en cuatro tipos, teniendo en cuenta el tipo de conexión que presentan, las tipo 1 son ciénagas simples y primarias conectadas directamente al río, las tipo 2 son racimos de ciénagas donde una primaria está conectada al río y una o más ciénagas secundarias están conectadas de forma indirecta o directa a la ciénaga primaria, las tipo 3 son ciénagas primarias conectadas de forma indirecta y las tipo 4 son ciénagas aisladas sin conexión con el río (Arias, 1985).

Estos cuerpos de agua dependen del pulso de inundación, que a su vez están determinados por el régimen de lluvias; en Colombia se presenta un régimen de tipo bimodal, donde los valores

más altos de lluvias se presentan al final de los meses de mayo y noviembre (aguas altas) y los mínimos en diciembre, enero y febrero (aguas bajas)(Ricaurte et al., 2019). Durante los periodos de lluvia, las inundaciones afectan las tierras adyacentes y facilitan el intercambio de agua con el río y en épocas de no lluvia, los caños pueden secarse provocando la desconexión del río (Arias, 1985; Roldán & Restrepo, 2008), estos cambios periódicos generan cambio a su vez en las propiedades físicas y químicas del agua (Ducharme, 1975; J & Gocke, 1990).

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar la morfología y diversidad funcional del fitoplancton a nivel espacial en la ciénaga de Paredes durante un periodo de aguas altas en 2022.

2.2 Objetivos Específicos

Caracterizar la composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica de la ciénaga de Paredes.

Estimar la diversidad funcional de la comunidad fitoplanctónica de la ciénaga de Paredes durante el periodo de aguas altas del 2022.

Analizar cambios a nivel espacial de los grupos funcionales basados en la morfología (GFBM) de la ciénaga de Paredes durante el periodo de aguas altas del 2022.

3. Competencias

Para el desarrollo de la presente pasantía de investigación se propusieron cinco competencias que se mencionan a continuación:

1. Utiliza claves para la identificación taxonómica de muestras fitoplanctónicas.
2. Emplea debidamente las cámaras de sedimentación y del microscopio invertido para conteo y cuantificación de los organismos.
3. Desarrolla destrezas en la identificación, medición y clasificación de los rasgos morfofuncionales.
4. Reconoce los softwares de análisis de bases de datos realizando pruebas de diversidad funcional y demás análisis requeridos.
5. Comprende la estructura y el funcionamiento de ecosistemas acuáticos cenagosos, así como las estrategias adaptativas del fitoplancton por medio de un marco conceptual referente a la ecología funcional.

4. Materiales y Métodos

4.1 Área de estudio

La ciénaga de Paredes está ubicada en el valle Medio del río Magdalena (García-Lozano & Dister, 1990), entre los municipios de Sabana de Torres y Puerto Wilches ($73^{\circ}46'W$, $7^{\circ}26'N$) (Figura 1.), se encuentra a 75 m.s.n.m con un área aproximada de 1.431 hectáreas y está rodeada de relictos de bosque húmedo Tropical (bh-T) (Mojica-Figueroa & Díaz-Olarte, 2016). Presenta una profundidad promedio de 4 m en periodos de aguas altas y de aproximadamente 0,9 m en aguas bajas (Castelblanco-Martínez et al., 2005). Se clasifica como una ciénaga palustre de tipo 3, pues el complejo de caño Peruétano conecta con el Río Lebrija, siendo a su vez afluente del Río Magdalena (Arias, 1985; Roldán & Restrepo, 2008). Su principal afluente de abastecimiento es la quebrada la Gómez, con algunos afluentes secundarios como la Quebrada el Champán, Quebrada la Hoya y su efluente principal Caño Peruétano, este último se encuentra conectado al río Lebrija que drena al río Magdalena (Barón-Rodríguez et al., 2006; Sánchez-Lobo, 2017).

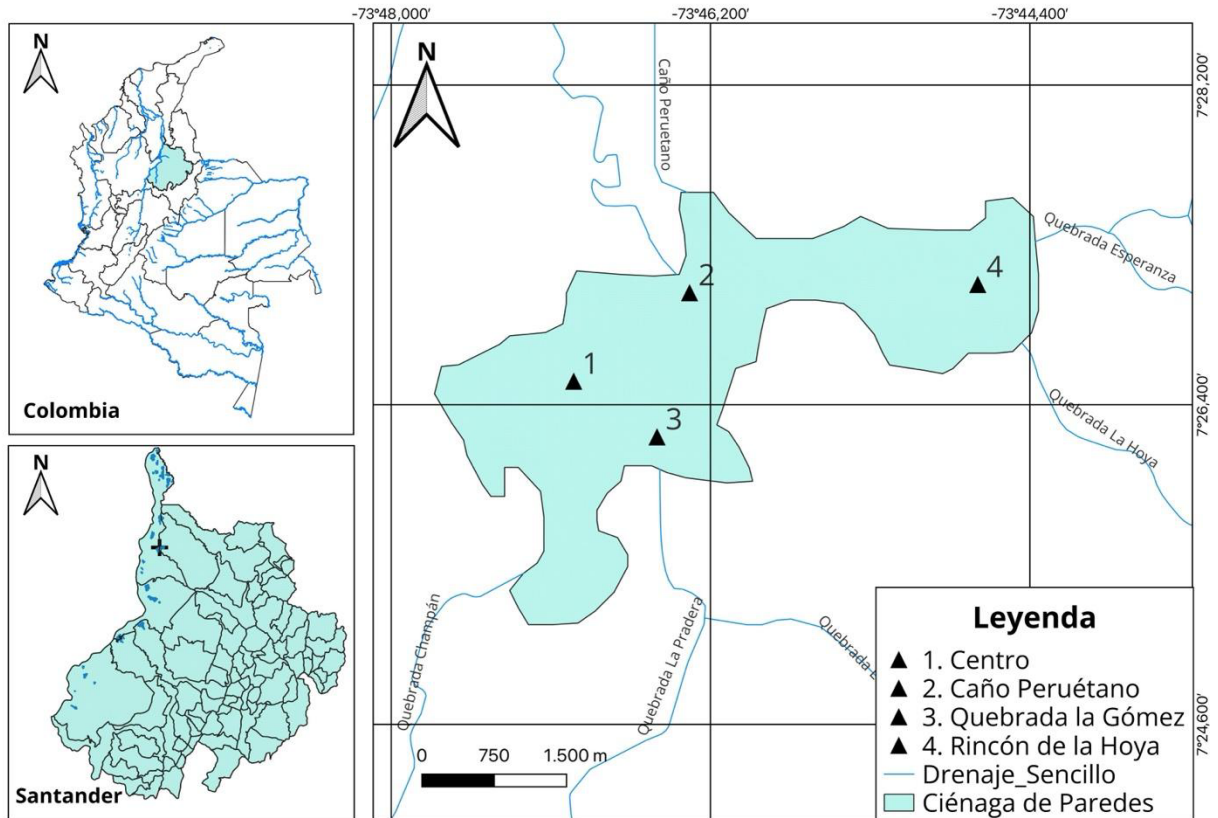
4.2 Material biológico

El presente estudio se realizó usando ocho muestras de fitoplancton depositadas en la Colección de Hidrobiología, asociada al Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander, con los códigos de depósito UIS-MHN-3633 a la UIS-MHN-3644. Las muestras fueron colectadas en cuatro puntos de la ciénaga de Paredes (Figura 1), como parte del proyecto de maestría “Morfología funcional del fitoplancton en las ciénagas del Magdalena Medio santandereano”.

La colecta de las muestras fitoplanctónicas se realizó en el mes de mayo del 2022, correspondiente a un periodo de aguas altas, de acuerdo con los valores de precipitación del IDEAM(IDEAM, 2025).

Figura 1

Ubicación de la ciénaga de Paredes (Santander, Colombia) y puntos de estudio



En cada punto de estudio fue colectada una muestra cuantitativa y una cualitativa. La muestra cuantitativa se colectó utilizando un tubo PVC (1") ubicado a lo largo de la columna de agua, hasta la zona de compensación, que se estableció como tres veces la profundidad obtenida con del disco Secchi (Margalef, 1978; Ramírez, 2000). Las muestras se homogenizaron y preservaron con lugol y formol (4%). Para la muestra cualitativa se realizó un arrastre horizontal con una red cónica estándar, con un ojo de malla de 23 μm de abertura y un diámetro de 70 cm.

4.3 Fase de laboratorio

Con las muestras cualitativas se identificaron los organismos fitoplanctónicos llegando al mínimo nivel taxonómico posible, usando claves taxonómicas disponibles en el Laboratorio de

Hidrobiología (Cox, 1996; Ettl, 1983; Ettl et al., 1985; González & Inostroza, 2017; Komárek, 1974, 1983; O. Parra et al., 1982b, 1982a; O. O. Parra, 1982; Rivera et al., 1982a, 1982b; Starmach, 1983; Tell & Conforti, 1986).

Las muestras cuantitativas se sedimentaron según la metodología de Utermöhl (1958), utilizando la columna de sedimentación de 50 ml, durante 48 horas. Las muestras sedimentadas se analizaron en un microscopio invertido Zeiss, donde se realizó el conteo de los organismos. Se contabilizó entre 360 a 440 individuos de la morfoespecie más abundante, asegurando un límite de confiabilidad del 95% (Wetzel & Likens, 2000). Se calcularon las densidades de cada morfoespecie y se expresaron en individuos/mililitro (Ros et al., 1979; Wetzel & Likens, 2000).

Mediante el uso de un microscopio óptico Zeiss Axio, asociado a una cámara AxioCam ERc5s y el software Zeiss Zen 3.6, se tomaron las medidas necesarias para hallar el volumen (V) y el área superficial (S), y se midió la Máxima dimensión lineal (MDL) para todos los individuos. Para saber qué medidas tomar y con cuál forma geométrica hallar el área superficial (μm^2) y el volumen ($\mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) se tuvieron en cuenta los artículos de Hillebrand (1999) y Sun y Liu (2003). Se midieron diez individuos de cada una de las morfoespecies identificadas.

Se estimó la biomasa celular expresada como biovolumen ($\mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) a partir del producto del volumen geométrico y la densidad de los individuos de cada morfoespecie en el recuento realizado (Hillebrand et al., 1999; Kruk et al., 2010; Ramírez, 2000; Sun, 2003).

Con estas muestras se realizaron las medidas sugeridas para cada morfoespecie siguiendo las fórmulas de Sun y Liu (2003) y Hillebrand (1990) complementadas con el volumen (V), área superficial (S), máxima dimensión lineal (MDL) y los caracteres categóricos (aerótopos (Aer), flagelo (Fla), mucílago (Muc), heterocistos (Het) y estructuras exoesqueléticas de sílice (Si)).

4.4 Fase de análisis

Con las bases de datos de las especies y los rasgos funcionales se procedió a usar la clave dicotómica propuesta por Kruk y colaboradores (2010) para agrupar a los organismos en cada uno de los Grupos Funcionales Basados en la Morfología (GFBM)(Tabla 1).

Tabla 1

Clave dicotómica para clasificar el fitoplancton en los Grupos Funcionales Basados en Morfología (GFBM) (Kruk et al., 2010)

1 Presencia de flagelo	2 Presencia de estructuras silíceas	Grupo II			
	2' Ausencia de estructuras silíceas	3 MDL<2μm	Grupo I		
		3' MDL>2μm	Grupo V		
1' Ausencia de flagelo	2 Presencia de estructuras silíceas	Grupo VI			
	2' Ausencia de estructuras silíceas	3 Presencia de mucílago	4 Presencia de aerótopos	5 S/V>0.6μm ⁻¹	Grupo III
				5' S/V<0.6μm ⁻¹	Grupo VII
			4' Ausencia de aerótopos	5 V<10μm ³	Grupo I
				5' V>10μm ³	Grupo VII
		3' Ausencia de mucílago	4 V<30μm ³	5 MDL<20μm ³	Grupo I
				5' MDL>20μm ³	Grupo IV
			4' V>30μm ³	5 Presencia de aerótopos	Grupo III
				5' Ausencia de aerótopos	Grupo IV

Para calcular los índices de diversidad funcional se realizaron matrices de densidad de todas las morfoespecies para cada estación de estudio donde se comparó el valor medio entre los sitios con Kruskal-Wallis en donde un p-valor menor a 0.05 indica que se presentan diferencias entre las estaciones. Se construyeron tres matrices: una con los valores promedio de los rasgos

funcionales continuos (V, S, S/V, BioV y MDL) y categóricos (presencia o ausencia de flagelo, exoesqueleto de sílice, aerótopos, heterocistos y mucílago) por morfoespecie; otra con la abundancia relativa de cada morfoespecie por estación; y una tercera que contenía la clasificación de los rasgos funcionales evaluados, categorizados como numéricos (Q) los rasgos V, S/V, MDL, BioV y S y ordinales el resto de rasgos. Con estas matrices y utilizando el paquete *FD* de R (Laliberté & Legendre, 2010) se calcularon los valores promedios ponderados por abundancia (*CWM*, *Community Weighted Mean*) de los rasgos funcionales continuos, lo cual permitió evaluar el valor promedio de cada rasgo considerando la densidad de cada morfoespecie en las comunidades de cada estación.

Posteriormente con el paquete de Diversidad Funcional Multifacética (*mFD*) de R (Magneville et al., 2022) se procedió a evaluar la diversidad funcional. Este paquete primero separó y validó las matrices de datos, luego, se calcularon las distancias basadas en los rasgos entre especies y se generó un espacio funcional multidimensional que se evaluó seleccionando la mejor representación de la diversidad funcional. A su vez se evaluó diversidad b funcional donde a partir del espacio que tuvo mayor relación con los rasgos de superficie/volumen, biovolumen y máxima dimensión lineal se calcularon los índices de riqueza funcional (FRic), identidad funcional (Fide), dispersión funcional (FDis) divergencia funcional (FDiv), equitatividad funcional (FEve), originalidad funcional (FOri), especialización funcional (FSpe), distancia funcional media por pares (FMPD) y distancia funcional media al vecino más cercano (FNND), arrojando los resultados en valores de 0 a 1 y gráficas de alta resolución basadas en ggplot (Gómez-Rubio, 2017) mediante el programa Rstudio (RStudio Team, 2023).

5. Resultados

5.1 Estructura y composición del fitoplancton

Se identificaron un total de 30 morfoespecies, distribuidas en 7 phyla, 12 clases, 16 órdenes, 22 familias y 24 géneros. El phyla con la mayor diversidad de morfoespecies fue Chlorophyta, mientras que la clase predominante fue Chlorophyceae, el orden con mayor riqueza fue Sphaeropleales. Dentro de las familias, Scenedesmaceae presentó el mayor número de morfoespecies, y el género con mayor riqueza fue Ankistrodesmus (Tabla 2).

Tabla 2

Composición taxonómica de las morfoespecies fitoplanctónicas identificadas en la ciénaga de Paredes.

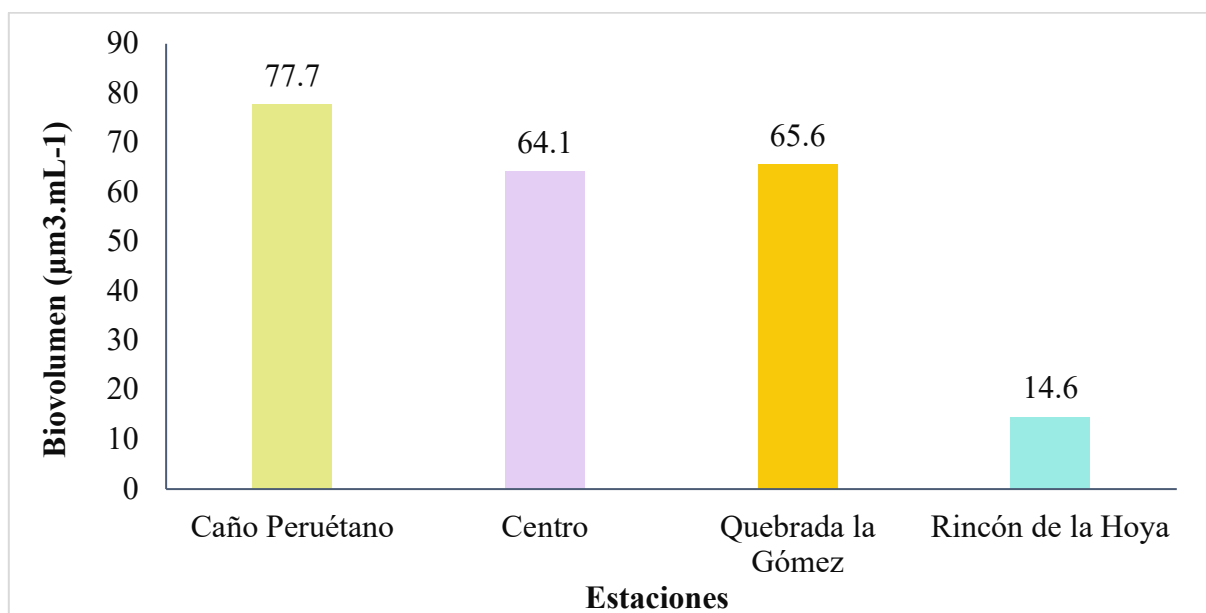
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Morfoespecie
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	<i>Gyrosigma</i>	<i>Gyrosigma</i> sp1
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	<i>Tabellaria</i>	<i>Tabellaria</i> sp1
	Coccinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira</i>	<i>Aulacoseira distans</i> , <i>Aulacoseira granulata</i>
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiiales	Closteriaceae	<i>Closterium</i>	<i>Closterium</i> sp1, <i>Closterium</i> sp2
			Desmidiaceae	<i>Cosmarium</i>	<i>Cosmarium</i> sp1
			Chlamydomonadales	Volvocaceae	<i>Eudorina</i>
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Desmodesmus</i>	<i>Desmodesmus</i> sp1
				<i>Scenedesmus</i>	<i>Scenedesmus</i> sp1, <i>Scenedesmus</i> sp2
			Schroederiaceae	<i>Schroederia</i>	<i>Schroederia</i> sp1
			Selenastraceae	<i>Ankistrodesmus</i>	<i>Ankistrodesmus</i> sp1, <i>Ankistrodesmus</i> sp2, <i>Ankistrodesmus</i> sp3
				Trebouxiophyceae	Chlorellales

		Trebouxiophyceae ordo incertae sedis	Trebouxiophyceae incertae sedis	<i>Crucigenia</i>	<i>Crucigenia</i> sp1
	Zygnematophyceae	Desmidiiales	Desmidiaceae	<i>Staurastrum</i>	<i>Staurastrum</i> sp1, <i>Staurastrum</i> sp2
				<i>Stauroidesmus</i>	<i>Stauroidesmus</i> sp1
		Leptolyngbyales	Leptolyngbyaceae	<i>Planktolyngbya</i>	<i>Planktolyngbya</i> sp1
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Aphanizomenonaceae	<i>Dolichospermum</i>	<i>Dolichospermum</i> sp1
			Nodulariaceae	<i>Anabaenopsis</i>	<i>Anabaenopsis</i> sp1
Dynoflagellata	Dinophyceae	Peridinales	Peridiniaceae	<i>Peridinium</i>	<i>Peridinium</i> sp1
			Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i>	<i>Trachelomonas</i> sp1
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	<i>Lepocinclis</i>	<i>Lepocinclis</i> sp1
	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	<i>Cymbella</i> sp1
Ochrophyta	Chrysophyceae	Chromulinales	Dinobryaceae	<i>Dinobryon</i>	<i>Dinobryon</i> sp1
	Xanthophyceae	Mischococcales	Pleurochloridaceae	<i>Isthmochloron</i>	<i>Isthmochloron</i> sp1
			Sciadiaceae	<i>Centrtractus</i>	<i>Centrtractus</i> sp1

El biovolumen total del fitoplancton cambió respecto a la estación de estudio (Figura 2). La estación con mayor biovolumen corresponde a Caño Peruétano seguida por Quebrada la Gómez y la estación con menor biovolumen corresponde a Rincón de la Hoya, donde este valor es cinco veces menor que en Caño Peruétano. Se identificaron 23 morfoespecies en Caño Peruétano, 21 morfoespecies en Rincón de la Hoya y para las estaciones de Centro y Quebrada la Gómez un total de 18 morfoespecies en cada una de las estaciones. Rincón de la Hoya se caracterizó por la presencia de especies únicas como *Gyrosigma* sp1 y *Lepocinclis* sp1.

Figura 2

Variación espacial del biovolumen fitoplanctónico dentro de la ciénaga.



El biovolumen de Caño Peruétano fue de $77,73 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$, donde los mayores valores fueron aportados por la clase Cyanophyceae ($28,84 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y Coscinodiscophyceae ($16,96 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) representados por las morfoespecies *Anabaenopsis* sp1 ($15,95 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Aulacoseira granulata* ($15,65 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) respectivamente.

En la Quebrada la Gómez el valor de biovolumen fue de $65,59 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$, representado mayormente por la clase Cyanophyceae ($39,44 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) en donde se destacó la morfoespecie *Anabaenopsis* sp1 con un valor de $30,24 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$.

En la estación Centro se obtuvo un valor de $64,14 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$, en donde las clase Zygnematophyceae ($19,72 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y Cyanophyceae ($18,13 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) fueron las que más aportaron siendo estas clases representadas por las morfoespecies *Staurastrum* sp2 ($16,17 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Anabaenopsis* sp1 ($16,05 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) respectivamente.

Rincón de la Hoya fue la estación con menor biovolumen total con un valor de $14,58 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$, siendo las clases Euglenophyceae y Zygnematophyceae las que más aportaron con valores de $6,12 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$ y $4,51 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$ respectivamente. Las morfoespecies que mayor valor

de biovolumen total en esta estación fueron *Lepocinclis* sp1 ($4,5 \mu\text{m}^3 \cdot \text{ml}^{-1}$) y *Planktolyngbya* sp1 ($2,95 \mu\text{m}^3 \cdot \text{ml}^{-1}$).

Las clases con mayores valores de biovolumen fueron Cyanophyceae con $90,14 \mu\text{m}^3 \cdot \text{ml}^{-1}$ y Coscinodiscophyceae con un valor de $39,55 \mu\text{m}^3 \cdot \text{ml}^{-1}$. Las especies con mayores valores de biovolumen total en todos los sitios de estudio fueron *Anabaenopsis* sp1 ($62,98 \mu\text{m}^3 \cdot \text{ml}^{-1}$), *Aulacoseira granulata* ($36,72 \mu\text{m}^3 \cdot \text{ml}^{-1}$) y *Eudorina* sp1 ($21,48 \mu\text{m}^3 \cdot \text{ml}^{-1}$).

5.2 Morfología funcional del fitoplancton

5.2.1 Rasgos morfológicos categóricos

Se identificaron cinco rasgos morfológicos categóricos para 16 morfoespecies, clasificados en aerótopos, flagelo, mucílago, heterocistos y estructuras exoesqueléticas de sílice (Tabla 2)(Figura). El rasgo categórico más frecuente en las especies identificadas fueron las estructuras exoesqueléticas de sílice, registradas en siete morfoespecies, seguido del flagelo y el mucílago, presentes en cuatro morfoespecies cada uno, los aerótopos en dos morfoespecies y los heterocistos en una morfoespecie (Tabla 3). Además, dos morfoespecies presentaron más de un rasgo morfológico: *Anabaenopsis* sp1 mostró aerótopos y heterocistos, mientras que *Dolichospermum* sp1 presentó aerótopos y mucílago.

Tabla 3

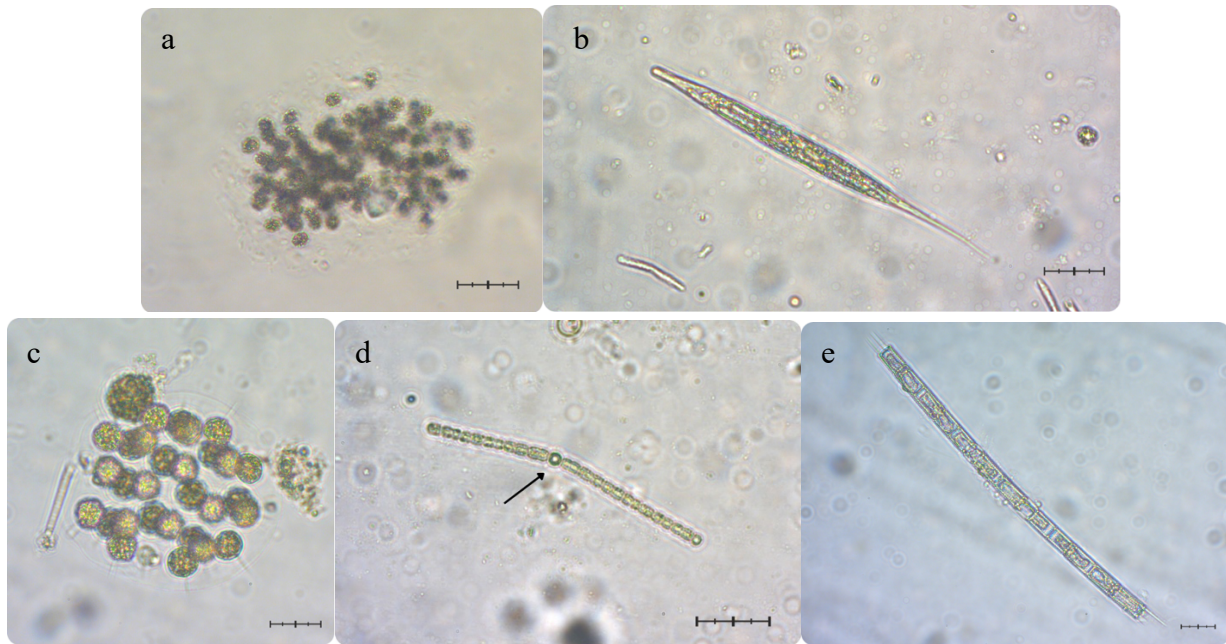
Morfoespecies del fitoplancton con rasgos funcionales categóricos.

Rasgo	Morfoespecie
Aerótopos (Aer)	<i>Anabaenopsis</i> sp1, <i>Dolichospermum</i> sp1
Flagelo (Fla)	<i>Dinobryon</i> sp1, <i>Lepocinclis</i> sp1, <i>Peridinium</i> sp1, <i>Trachelomonas</i> sp1
Mucílago (Muc)	<i>Crucigenia</i> sp1, <i>Crucigeniella</i> sp1, <i>Dolichospermum</i> sp1, <i>Eudorina</i> sp1
Heterocistos (Het)	<i>Anabaenopsis</i> sp1

Estructuras de sílice (Si) *Aulacoseira distans*, *Aulacoseira granulata*, *Centritractus* sp1, *Cymbella* sp1, *Gyrosigma* sp1, *Schroederia* sp1, *Tabellaria* sp1

Figura 3

Rasgos morfológicos categóricos



Nota. (a) *Microcystis* sp1, presencia de aerótopos. (b) *Lepocinlis* sp1, muestra flagelo. (c) *Eudorina* sp1, rodeada por mucílago. (d) *Dolichospermum* sp1, con heterocistos (indicado por la flecha). (e) *Aulacoseira granulata*, con frústulas silíceas como estructuras exoesqueléticas. Barras de escala: 20 μm .

5.2.2 Máxima Dimensión Linear (MDL)

La máxima dimensión lineal de los organismos fitoplanctónicos para la Ciénaga de Paredes tuvo un rango de 6,12 μm a 296,84 μm y un promedio de 61,76 μm , pero con un p-valor de 0,97 (Figura 3) indicando que no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones muestreadas. Los menores valores para las cuatro estaciones estuvieron representados

por las morfoespecies *Scenedesmus* sp1 y *Trachelomonas* sp1 (<26,24 μm) y los mayores valores por las morfoespecies *Lepocinclis* sp1, *Closterium* sp1 y *Dolichospermum* sp1 (>45,03 μm).

La estación Centro presentó el mayor valor promedio de MDL (69,61 μm) (Figura 3), con valores mínimos de 8,66 μm y máximos de 273,1 μm . Los menores valores estuvieron representados por las morfoespecies *Scenedesmus* sp1 (11,2 μm) y *Scenedesmus* sp2 (12,23 μm) y los mayores por las morfoespecies *Closterium* sp1 (224,85 μm) y *Centrtractus* sp1 (173,5 μm).

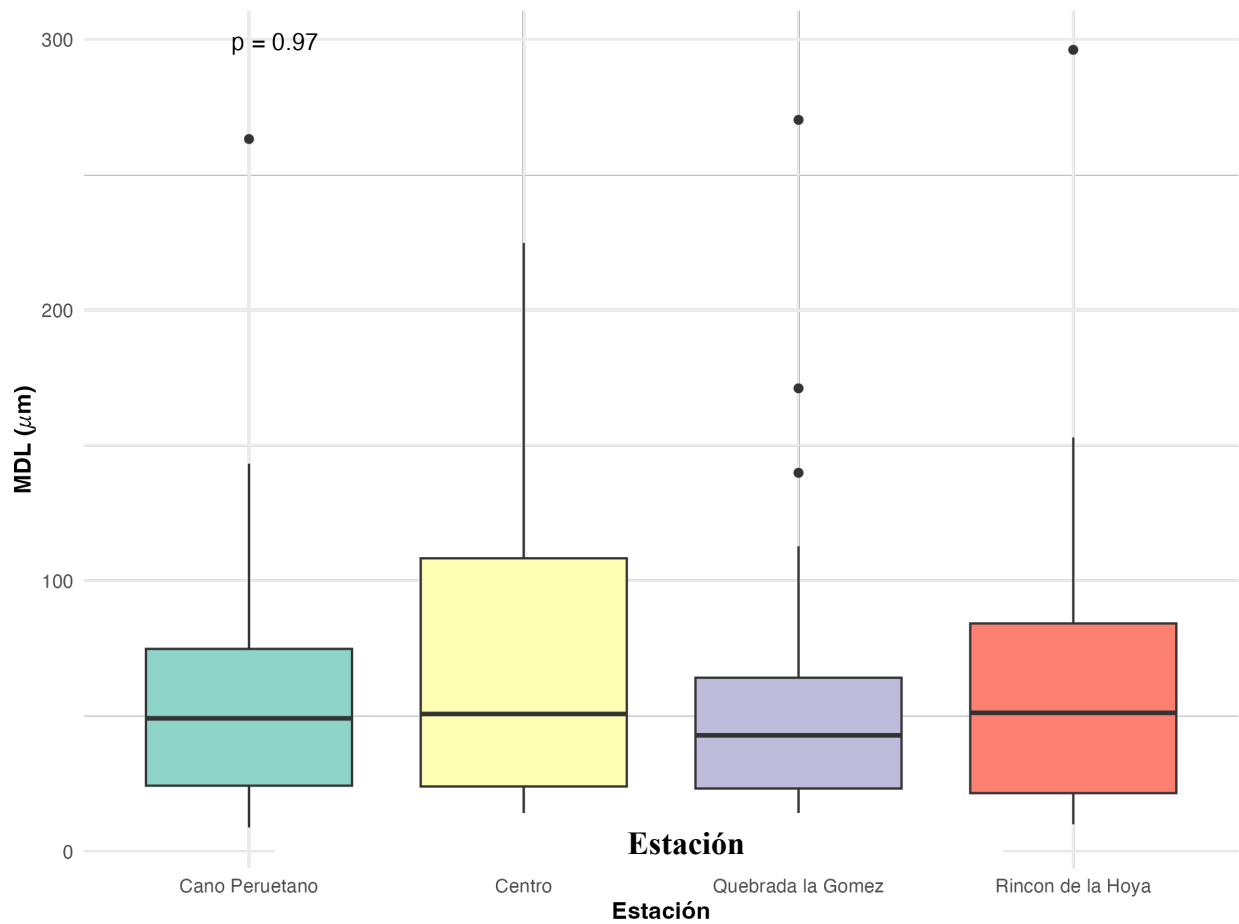
La estación Caño Peruétano presentó el valor promedio de MDL de 62,52 μm con valores máximos 263,33 μm y mínimos de 6,58 μm siendo representados los de menor valor por las morfoespecies *Scenedesmus* sp1 (8,89 μm) y *Scenedesmus* sp2 (11,69 μm) y los de mayor valor por las morfoespecies *Closterium* sp2 (263,22 μm) y *Centrtractus* sp1 (143,29 μm).

El valor promedio de MDL de la estación Rincón de la Hoya fue de 59,08 μm , con valores máximos de 344,83 μm y mínimos de 6,65 μm . Las morfoespecies *Scenedesmus* sp1 y *Crucigenia* sp1 fueron las de menor aporte con valores de 10,07 μm y 13,69 μm respectivamente. Las morfoespecies de mayor valor fueron *Closterium* sp1 (296,18 μm) y *Lepocinclis* sp1 (152,98 μm).

En la Quebrada la Gómez se encontró un valor promedio de 56,49 μm con valores desde 6,12 μm hasta 282,21 μm . Los menores valores estuvieron representados por *Scenedesmus* sp1 (8,35 μm) y *Crucigenia* sp1 (9,7 μm) y los de mayor valor por *Closterium* sp1 (270,3 μm) y *Dolichospermum* sp1 (171,13 μm).

Figura 4

Máxima Dimensión Linear (MDL) de los organismos fitoplanctónicos en cada estación de estudio.



5.2.3 Biovolumen (*BioV*)

En la ciénaga de Paredes se encontró un valor promedio de biovolumen de $0,42 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$, con valores máximos de $4,98 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$ y valores mínimos de $0,00013 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$, con un p-valor de 0,042 indicando que sí se presentó estadísticamente diferencias significativas entre las estaciones estudiadas. Las morfoespecies que representaron los valores mínimos fueron *Crucigenia* sp1 ($<0,00013 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Ankistrodesmus* sp3 ($<0,0011 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y para los valores máximos las morfoespecies *Staurastrum* sp2 ($>1,9 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Anabaenopsis* sp1 ($>0,02 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$).

Caño Peruétano obtuvo el mayor valor de biovolumen ($0,488 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$)(Figura 3), con valores máximos de $3,62 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$ y mínimos de $0,0005 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$. Los menores valores correspondieron a las morfoespecies de *Scenedesmus* sp1 ($0,0026 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Closterium* sp1 ($0,0028 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y los mayores valores a las morfoespecies *Anabaenopsis* sp1 ($1,59 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Aulacoseira granulata* ($1,95 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$).

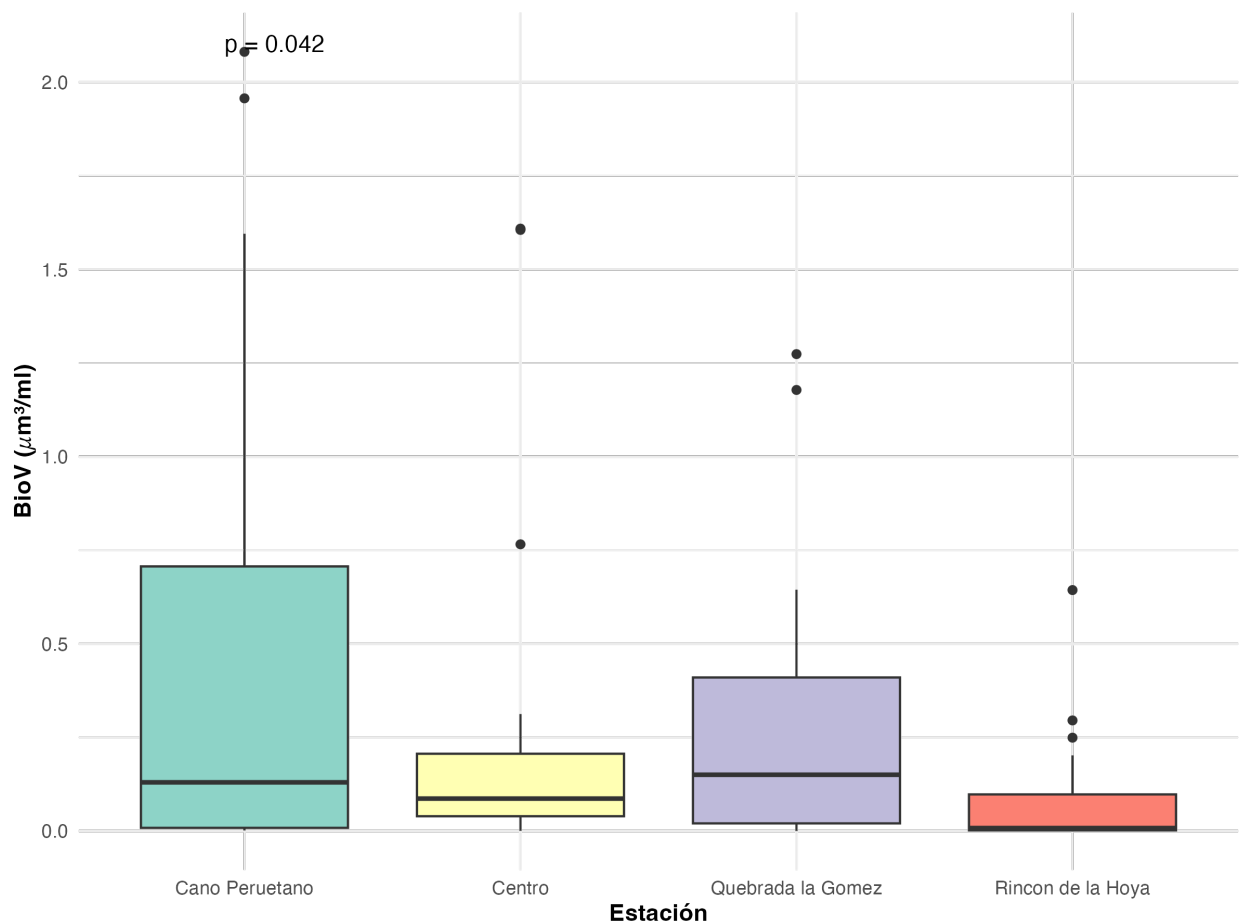
La estación del Centro tuvo un valor de biovolumen promedio de $0,482 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$, con valores mínimos de $0,00018 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$ y máximos de $5,62 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$. Las morfoespecies que aportaron a los valores mínimos fueron *Ankistrodesmus* sp1 ($0,001 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Scenedesmus* sp2 ($0,0005 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y a los valores máximos *Staurastrum* sp2 ($5,38 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Aulacoseira granulata* ($1,61 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$).

En Quebrada la Gómez se encontró un valor de biovolumen promedio de $0,41 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$, con valores máximos de $4,87 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$ y mínimos de $0,00013 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$. Las morfoespecies con los menores valores fueron *Crucigenia* sp1 ($0,00013 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Scenedesmus* sp1 ($0,005 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y las morfoespecies con los mayores valores correspondieron a *Anabaenopsis* sp1 ($3,02 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Aulacoseira granulata* ($3,64 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$).

Rincón de la Hoya se registraron los menores valores de biovolumen ($0,11 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$), con valores mínimos de $0,00019 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$ y máximos de $3,98 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$, donde el aporte a los menores valores se dieron por las morfoespecies *Aulacoseira granulata* ($0,0014 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Crucigeniella* sp1 ($0,0003 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y los mayores valores por las morfoespecies *Lepocinclis* sp1 ($0,64 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$) y *Staurastrum* sp1 ($0,24 \mu\text{m}^3.\text{ml}^{-1}$).

Figura 5

Biovolumen (BioV) de los organismos fitoplanctónicos en cada estación de estudio.



5.2.4 Área superficial (S)

El área superficial de los organismos fitoplanctónicos estuvo entre $26,42 \mu\text{m}^2$ y $45384,62 \mu\text{m}^2$ con un promedio de $2562,69 \mu\text{m}^2$ con un p -valor de 0,12 (Figura 5) que indica que no hay diferencias significativas entre las estaciones. Los valores máximos se representaron por las morfoespecies *Eudorina* sp1 ($<3090,74 \mu\text{m}^2$) y *Aulacoseira granulata* ($<49,11 \mu\text{m}^2$) y los valores mínimos por *Scenedesmus* sp2 ($>524,2 \mu\text{m}^2$) y *Scenedesmus* sp1 ($>274,14 \mu\text{m}^2$).

La estación Caño Peruetano obtuvo el mayor valor promedio de área superficial ($3515,84 \mu\text{m}^2$) (Figura 5), con valores máximos de $32447,89 \mu\text{m}^2$ y mínimos de $26,42 \mu\text{m}^2$. Las morfoespecies que aportaron a los valores mínimos fueron *Scenedesmus* sp2 ($108,17 \mu\text{m}^2$) y

Scenedesmus sp1 (90,74 μm^2) y las especies que aportaron a los mayores valores fueron *Eudorina* sp1 (21616,17 μm^2) y *Aulacoseira granulata* (10665,71 μm^2).

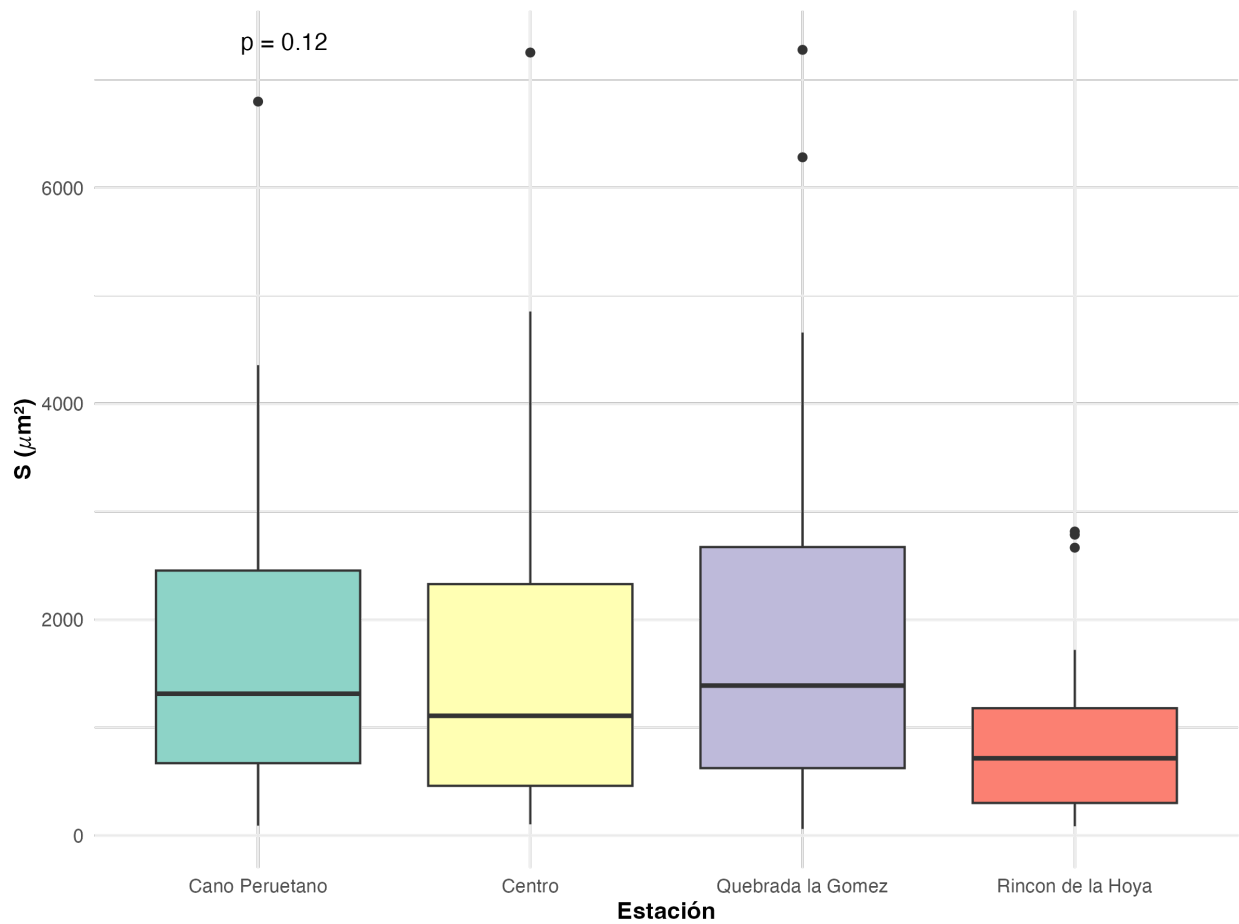
En la estación Centro encontramos un valor promedio de 3288,39 μm^2 , con valores desde 46,97 μm^2 hasta los 45384,62 μm^2 , los valores mínimos se encontraron con las morfoespecies *Scenedesmus* sp1 (103,34 μm^2) y *Scenedesmus* sp2 (115,08 μm^2) y los valores máximos por las morfoespecies *Eudorina* sp1 (18518,86 μm^2) y *Aulacoseira granulata* (7253,39 μm^2).

La estación Quebrada la Gómez registró valores de área superficial mínimos de 53,1 μm^2 y máximos de 34149,98 μm^2 , con un promedio de 2138,15 μm^2 . Donde los menores valores se obtuvieron de las morfoespecies *Scenedesmus* sp1 (127,97 μm^2) y *Crucigenia* sp1 (60,39 μm^2) y los mayores valores por *Aulacoseira granulata*(6282,82 μm^2) y *Eudorina* sp1 (7278,35 μm^2).

En Rincón de la Hoya el valor máximo fue de 4654,98 μm^2 y mínimo de 33,9 μm^2 con un promedio de 1082,64 μm^2 . Los valores mínimos fueron aportados por las especies *Staurastrum* sp1 (579,28 μm^2) y *Scenedesmus* sp1 (85,23 μm^2) y los valores máximos de área superficial por las morfoespecies *Anabaenopsis* sp1 (2666, μm^2) y *Lepocinclis* sp1 (2815,97 μm^2).

Figura 6

Área superficial (S) de los organismos fitoplanctónicos en cada estación de estudio.



5.2.5 Relación superficie/volumen (S/V)

La relación superficie/volumen (S/V) de los organismos fitoplanctónicos de la Ciénaga de Paredes varió entre $4,85 \mu\text{m}^{-1}$ y $0,082 \mu\text{m}^{-1}$ con un promedio de $1,1 \mu\text{m}^{-1}$ y un p -valor de 0,39 (Figura 6) indicando que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones. Los menores valores de relación S/V para todas las estaciones se vieron representados por *Peridinium* sp1 ($<0,37 \mu\text{m}^{-1}$) y *Trachelomonas* sp1 ($<0,66 \mu\text{m}^{-1}$) y los mayores valores por *Crucigeniella* sp1 ($>1,42 \mu\text{m}^{-1}$) y *Ankistrodesmus* sp1 ($>1,11 \mu\text{m}^{-1}$).

La estación Rincón de la Hoya presentó los mayores valores de relación S/V en promedio con $1,4 \mu\text{m}^{-1}$ (Figura 6), valores mínimos de $0,082 \mu\text{m}^{-1}$ y valores máximos de $4,85 \mu\text{m}^{-1}$

representados por las morfoespecies *Staurodesmus* sp1 ($0,84 \mu\text{m}^{-1}$) y *Aulacoseira distans* ($2,49 \mu\text{m}^{-1}$) respectivamente.

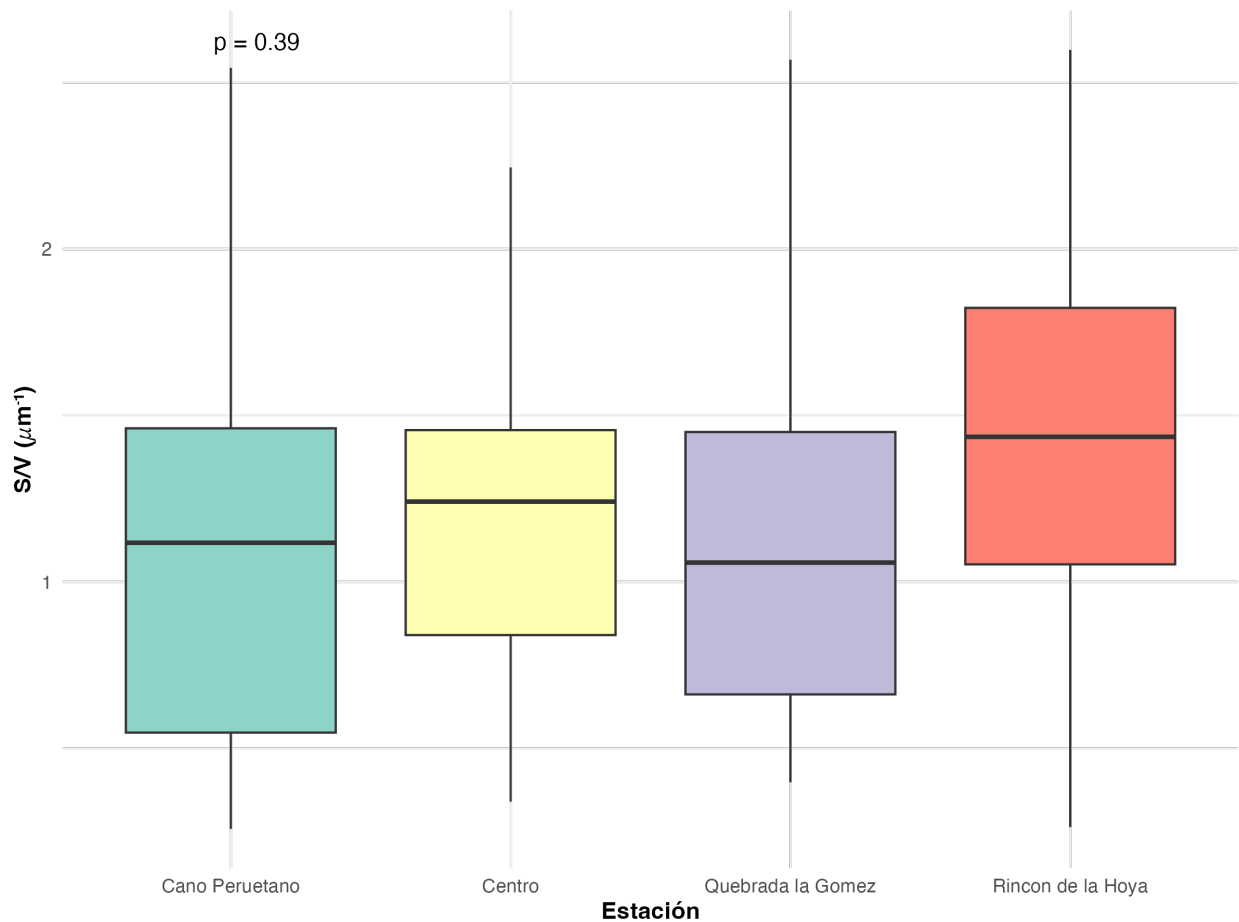
Las estaciones Centro y Quebrada la Gómez presentaron como valores promedios de relación S/V $1,06 \mu\text{m}^{-1}$. En la estación Centro los valores mínimos de $0,28 \mu\text{m}^{-1}$ y valores máximos de $2,91 \mu\text{m}^{-1}$. Los valores mínimos fueron aportados por las morfoespecies *Eudorina* sp1 ($0,54 \mu\text{m}^{-1}$) y *Trachelomonas* sp1 ($0,33 \mu\text{m}^{-1}$) y los valores máximos por *Ankistrodesmus* sp1 ($2,24 \mu\text{m}^{-1}$).

En la estación Quebrada la Gómez los valores máximos obtenidos tuvieron valores de $2,89 \mu\text{m}^{-1}$ y mínimos de $0,1 \mu\text{m}^{-1}$. En esta estación los valores mínimos fueron representados por las morfoespecies *Peridinium* sp1 ($0,23 \mu\text{m}^{-1}$) y *Staurodesmus* sp1 ($0,8 \mu\text{m}^{-1}$) y los valores mayores por *Crucigeniella* sp1 ($2,56 \mu\text{m}^{-1}$).

Caño Peruétno fue la estación con menor valor promedio ($0,95 \mu\text{m}^{-1}$), con valores máximos de $3,17 \mu\text{m}^{-1}$ y valores mínimos de $0,13 \mu\text{m}^{-1}$. Estos valores se vieron representados por las morfoespecies *Ankistrodesmus* sp1 ($2,54 \mu\text{m}^{-1}$) para los de mayor valor y para los de menor valor *Peridinium* sp1 ($0,25 \mu\text{m}^{-1}$) y *Staurastrum* sp1 ($0,53 \mu\text{m}^{-1}$).

Figura 7

Relación superficie/volumen (S/V) de los organismos fitoplanctónicos en cada estación de estudio.



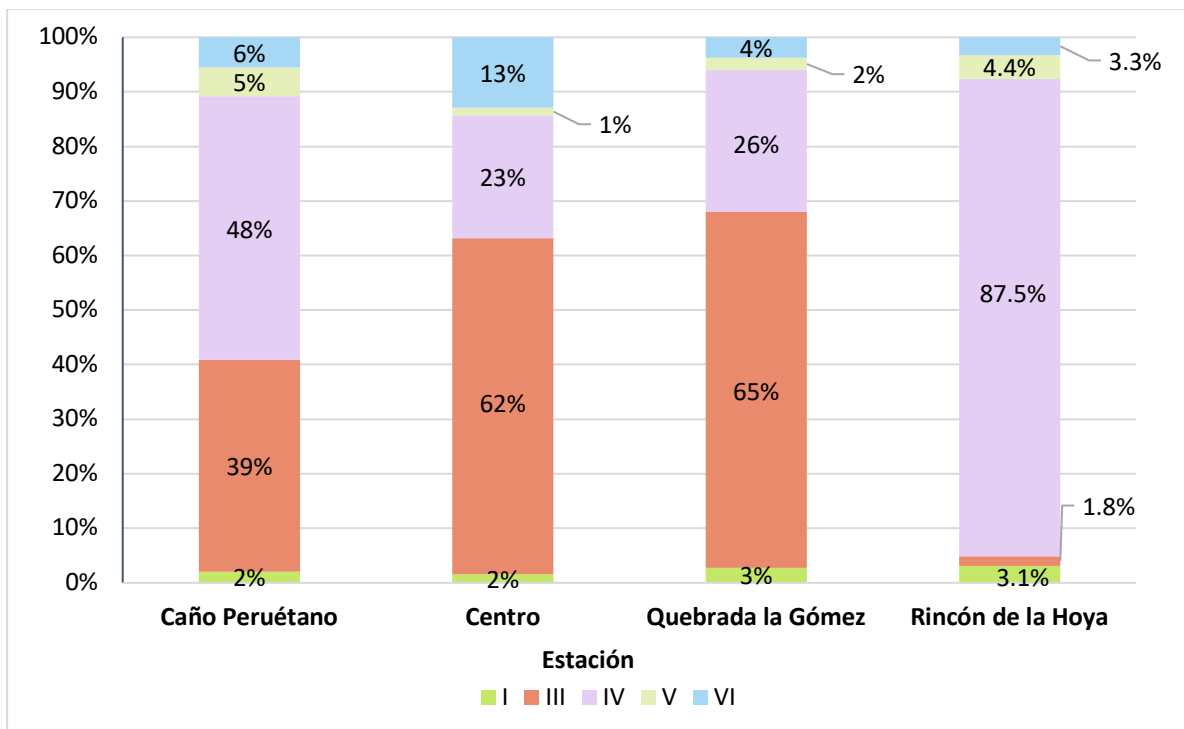
5.3 Grupos funcionales basados en la morfología (GFBM)

En total se midieron los rasgos de 573 individuos, correspondientes a las 30 morfoespecies de los sitios de estudio. De los siete GFBM propuestos por Kruk y colaboradores (2010) solo se registraron cinco, el Grupo I, Grupo III, Grupo IV, Grupo V y el Grupo VI.

En todas las estaciones se registraron los cinco GFBM, el biovolumen de cada grupo se presenta en la Figura 7. En Caño Peruétano el grupo con mayor biovolumen fue el Grupo IV seguido por el Grupo III; en el Centro se encontró que el Grupo III fue el de mayor valor seguido por el Grupo IV; en la estación de Quebrada la Gómez el grupo con el mayor biovolumen fue el Grupo III seguido por el Grupo IV; y en el Rincón de la Hoya el Grupo IV fue el de mayor valor seguido por el Grupo VI.

Figura 8

Porcentaje de Biovolumen de los GFBM por estación.



Cada grupo se caracterizó por tener valores diferentes de volumen, área superficial, relación superficie volumen (S/V), biovolumen y la presencia o ausencia de los rasgos categóricos, estas características se ilustraron en la Tabla 4.

Tabla 4

Grupos funcionales basados en la morfología, grupos representativos, promedios de los rasgos continuos y la presencia-ausencia de los rasgos categóricos.

GFBM	Grupos taxonómicos	Taxa representativo	Volumen (µm³)	Área (µm²)	S/V	BioV (µm³/ml)	Ae r	Fla	Muc	Het	Si
I	Chlorophyta	<i>Scenedesmus, Eudorina</i>	529.2	6642.7	1.38	0.29	0	0	0-1	0	0
III	Cyanobacteria	<i>Anabaenopsis</i>	1840.5	2239.5	1.3	1.08	1	0	0-1	0-1	0
IV	Charophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Ochrophyta	<i>Planktolyngbya</i>	3461.1	4053.1	1.09	0.23	0-1	0	0	0-1	0

V	Dinoflagellata, Euglenophyta, Ochrophyta	<i>Trachelomonas</i>	9343.2	4209.2	0.42	0.33	0	1	0	0	0
VI	Bacillariophyta, Chlorophyta, Ochrophyta	<i>Aulacoseira</i>	9293.8	7348.6	1.08	0.40	0	0	0	0	1

5.3.1 GFBM I

El Grupo I lo integraron seis morfoespecies *Crucigeniella* sp1, *Eudorina* sp1, *Scenedesmus* sp1, *Scenedesmus* sp2, *Crucigenia* sp1 y *Staurastrum* sp1 siendo en su mayoría morfoespecies coloniales, con formas rectangulares, esferas y prismas. En este grupo se asociaron los organismos de menor tamaño (desde 8,1 μm hasta 28,09 μm), con alta relación superficie/volumen ($0,56 \mu\text{m}^{-1}$ hasta $2,14 \mu\text{m}^{-1}$) y áreas superficiales con valores desde $33,9 \mu\text{m}^2$ hasta $16098,46 \mu\text{m}^2$. De los rasgos morfológicos categóricos este grupo solo presentó mucílago en los morfotipos de *Crucigenia* sp1, *Crucigeniella* sp1 y *Eudorina* sp1.

5.3.2 GFBM III

El Grupo III se conformó por las morfoespecies *Anabaenopsis* sp1 y *Dolichospermum* sp1, caracterizadas por ser filamentosos y con alto valor de biovolumen (desde $0,26 \mu\text{m}^3/\text{ml}$ hasta $1,89 \mu\text{m}^3/\text{ml}$), área superficial ($1790,1 \mu\text{m}^2$ y $2688,4 \mu\text{m}^2$) y una relación S/V de $1,23 \mu\text{m}^{-1}$. Todos los individuos de este grupo presentaron aerótopos, solo *Anabaenopsis* sp1 presentó heterocistos y *Dolichospermum* sp1 el único con presencia de mucílago.

5.3.3 GFBM IV

El Grupo IV con 15 morfoespecies siendo el grupo con mayor riqueza de especies de las cuales vale la pena resaltar: *Ankistrodesmus* sp1, *Anabaenopsis* sp1, *Ankistrodesmus* sp2, *Ankistrodesmus* sp3, *Closterium* sp1, *Closterium* sp2, *Cosmarium* sp1, *Desmodesmus* sp1, *Isthmochloron* sp1, *Planktolyngbya* sp1, *Scenedesmus* sp1, *Staurastrum* sp1, *Staurastrum* sp2 y *Staurodesmus* sp1. Este grupo se caracterizó por tener un tamaño medio, con valores desde los

17,96 μm los hasta 147,62 μm , un área superficial promedio de 1172,84 μm^2 y una relación S/V de 1,16 μm^{-1} . En este grupo solo se registraron aerótopos y heterocistos en la morfoespecie *Anabaenopsis* sp1.

5.3.4 GFBM V

El Grupo V conformado por cuatro morfoespecies, *Dinobryon* sp1, *Lepocinclis* sp1, *Peridinium* sp1 y *Trachelomonas* sp1. Se caracterizo por organismos unicelulares de tamaño mediano a grande teniendo valores promedio de biovolumen de 0,33 $\mu\text{m}^3/\text{ml}$, área superficial de 3450,55 μm^2 y un promedio de relación S/V de 0,42 μm^{-1} . Este grupo la mayoría de formas fueron de tipo esferoide prolato y esferas, todas las morfoespecies presentaron flagelo.

5.3.5 GFBM VI

El Grupo VI estuvo compuesto por siete morfoespecies, *Aulacoseira distans*, *Aulacoseira granulata*, *Centritractus* sp1, *Cymbella* sp1, *Gyrosigma* sp1, *Schroederia* sp1 y *Tabellaria* sp1. Este grupo se caracterizó por tener exoesqueleto de sílice como único rasgo morfológico categórico, con valores de biovolumen promedios de 0,4 $\mu\text{m}^3/\text{ml}$, área superficial de 2533,39 μm^2 y relación S/V de 1,08 μm^{-1} .

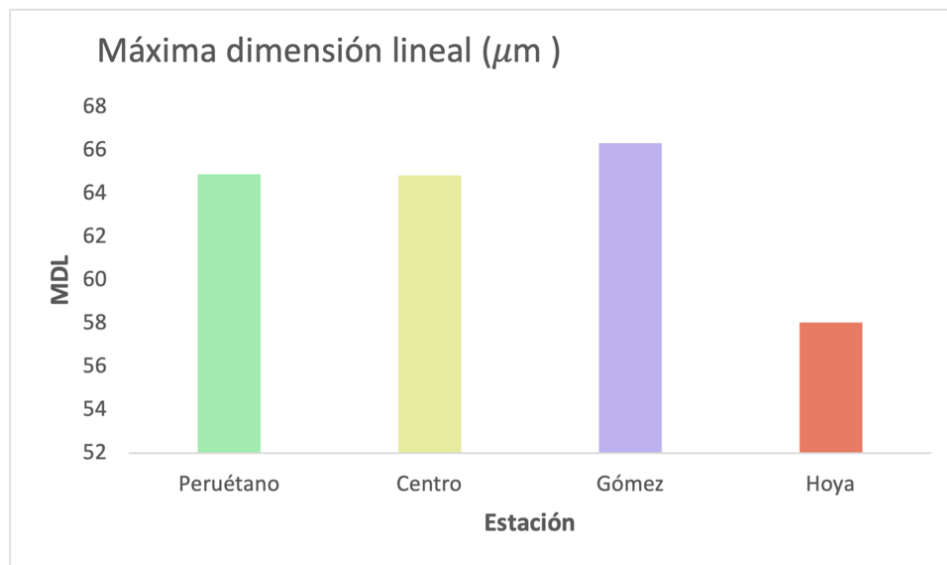
5.4 Índices de diversidad funcional

5.4.1 Diversidad alfa funcional

Se calculó la media ponderada por comunidad (CWM, Community Weighted Mean) para los rasgos funcionales cuantitativos, con el fin de identificar el valor promedio dominante de cada rasgo en cada estación de muestreo. Esta métrica considera la abundancia relativa de las especies que poseen cada rasgo, ofreciendo una perspectiva del perfil funcional más representativo en la comunidad.

Figura 9

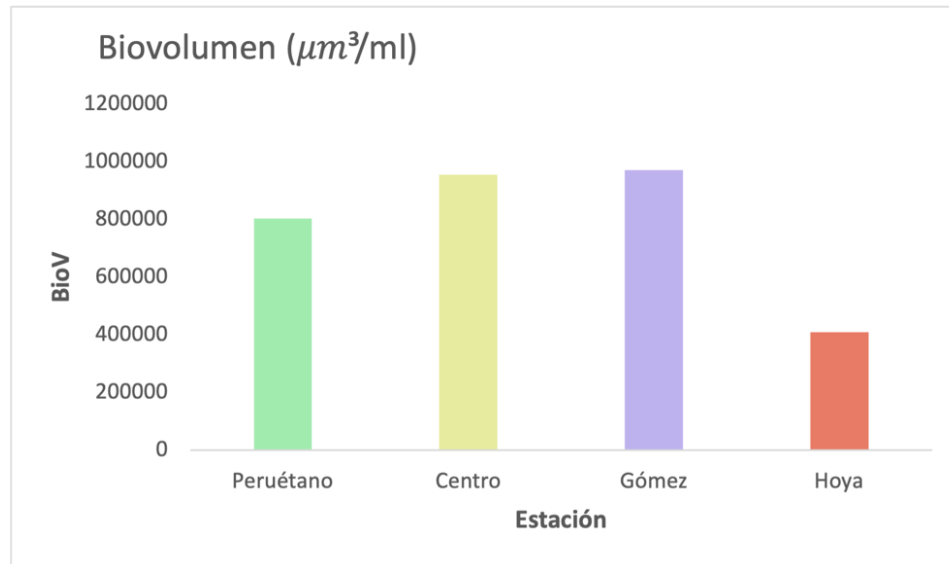
Valores del promedio ponderado (CWM) de la máxima dimensión lineal (MDL)



Se observó que la estación Quebrada la Gómez presentó el valor más alto de MDL ponderado (66,32 μm), seguida por Caño Peruétano y Centro, ambos con valores superiores a los 64 μm . Esto indica que las especies dominantes en estas estaciones son de mayor tamaño. En contraste, la estación Rincón de la Hoya mostró un valor menor de 58,02 μm sugiriendo que en esta estación predominan especies de menor tamaño.

Figura 10

Valores del promedio ponderado (CWM) del Biovolumen (BioV)



En cuanto al biovolumen ponderado por comunidad, se evidenció que en las estaciones Quebrada la Gómez ($971370 \mu\text{m}^3/\text{ml}$) y Centro ($954148 \mu\text{m}^3/\text{ml}$) presentaron los valores más altos, ambos superiores a los $950.000 \mu\text{m}^3/\text{ml}$. La estación Caño Peruétnano mostró un valor intermedio ($803164 \mu\text{m}^3/\text{ml}$), mientras que la estación Rincón de la Hoya registró el valor más bajo ($409435 \mu\text{m}^3/\text{ml}$). Esta distribución indica una variación en el volumen celular promedio de las especies dominantes entre las estaciones.

Figura 11

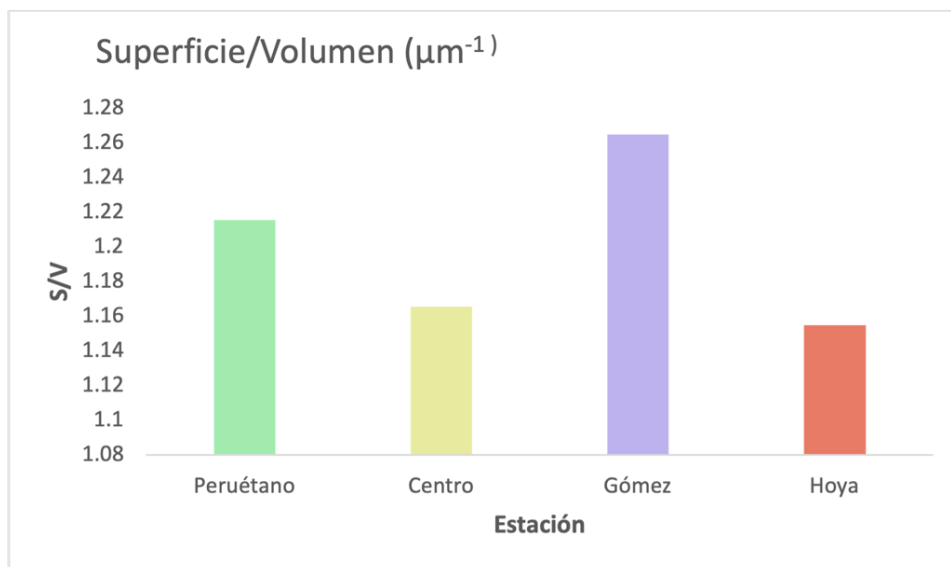
Valores del promedio ponderado (CWM) del área superficial (S)



Los valores del área superficial ponderada mostraron una mayor proporción en la estación Centro (3545,25 µm²), seguido de las estaciones Quebrada la Gómez (2460,97 µm²) y Caño Perúétano (2153,2 µm²). Por su parte, la estación Rincón de la Hoya presentó el valor más bajo de área superficial (1225,48 µm²).

Figura 12

Valores del promedio ponderado (CWM) de relación superficie/volumen (S/V)



Los valores promedios ponderados de la comunidad para el rasgos superficie/volumen fue mayor en la estación Quebrada la Gómez, con un valor de $1,26 \mu\text{m}^{-1}$, seguida por Caño Peruétano, que obtuvo un valor de $1,21 \mu\text{m}^{-1}$. En contraste, las estaciones Centro y Rincón de la Hoya con valores de $1,16 \mu\text{m}^{-1}$ y $1,15 \mu\text{m}^{-1}$ respectivamente.

En la Ciénaga de Paredes se observaron variaciones en la diversidad funcional entre las estaciones (Tabla 5). La Quebrada la Gómez presentó la mayor originalidad funcional (0.64) y especialización funcional (0.72), indicando que en esta estación se encuentran especies con rasgos funcionales únicos dentro del ecosistema. Caño Peruétano, por otro lado, registró la mayor riqueza funcional (0.85), lo que sugiere una mayor variedad de funciones ecológicas en comparación con las demás estaciones. En cuanto a la equidad funcional, el valor mayor se registró en la estación Centro (0.59), lo que indica una distribución más homogénea de los rasgos funcionales entre las especies presentes. Además, esta estación se destacó por presentar el mayor índice de dispersión funcional (0.80), reflejando una amplia variabilidad en los rasgos funcionales de las especies que la componen. En contraste, Rincón de la Hoya presentó los valores más bajos en todos los índices, con la menor riqueza funcional (0.34) y originalidad funcional (0.12), lo que sugiere una comunidad más homogénea y con menor diversidad de estrategias funcionales en comparación con el resto de las estaciones.

Tabla 5

Valores de los índices de diversidad funcional para cada estación

	Dispersión funcional	Distancia f. media por pares	Distancia f. media al vecino más cercano	Equidad funcional	Riqueza funcional	Divergencia funcional	Originalidad funcional	Especialización funcional
Caño Peruétano	0.67	0.64	0.42	0.50	0.85	0.64	0.41	0.51
Centro	0.80	0.74	0.61	0.59	0.55	0.82	0.58	0.67

Quebrada la Gómez	0.76	0.81	0.64	0.49	0.60	0.80	0.64	0.72
Rincón de la hoya	0.23	0.47	0.13	0.34	0.78	0.29	0.12	0.21

5.4.2 Diversidad beta funcional

El análisis de diversidad beta funcional entre las estaciones mostró un valor de 0.6, indicando una diferenciación moderada en la composición funcional del fitoplancton entre las estaciones. El recambio funcional presentó un valor de 0.75 (Jaccard), lo que sugiere que la variación en la composición funcional entre estaciones se debe en gran medida a la sustitución de especies con diferentes rasgos funcionales en lugar de la pérdida progresiva de funciones y por otro lado, el anidamiento funcional presentó valores negativos (-0.15), lo que indica que la composición funcional de las estaciones no sigue un patrón de anidamiento, sino que las diferencias están principalmente impulsadas por el recambio de especies con distintos rasgos funcionales.

6. Discusión de resultados

Las especies de fitoplancton encontradas en este estudio coinciden con la información reportada en esta ciénaga y en otras ciénagas de Colombia (Criales-Hernández et al., 2020; Jaramillo-Londoño & Aguirre-Ramírez, 2012; Sánchez-Lobo, 2017). El ensamblaje estuvo dominado principalmente por cianobacterias, destacándose las morfoespecies *Planktolyngbya* sp1 y *Anabaenopsis* sp1. Las diferencias en su densidad fueron notables, en el afluente la ciénaga (Caño Peruétano) y en el Centro la especie dominante fue *Planktolyngbya* sp1, alcanzando un biovolumen de 0,79 $\mu\text{m}^3/\text{ml}$. Por otro lado, en el efluente (Quebrada la Gómez) y en Rincón de la Hoya, la especie dominante fue *Anabaenopsis* sp1 con valores de hasta 4,87 $\mu\text{m}^3/\text{ml}$.

En estudios realizados en otras ciénagas con altas densidades de cianobacterias han reportado que son especies con bajas tasas de crecimiento, pero sus poblaciones tienen alta capacidad de suspensión, lo que proporciona pocas pérdidas por sedimentación y baja herbivoría por parte del zooplancton (Chorus & Bartram, 1999; Mur, 1983). Otra característica identificada en las cianobacterias es que son organismos resistentes a las deficientes capacidades lumínicas del ecosistema (Reynolds, 2006). En artículos de investigación realizados en la ciénaga de Paredes la caracterizan por presentar una zona fótica limitada, donde en la mayoría de las estaciones no supera un metro de profundidad (Castelblanco-Martínez et al., 2005; Sánchez-Lobo, 2017) siendo un ambiente adecuado para el desarrollo de cianobacterias siendo esto consecuente con los valores de biovolumen de cianobacterias encontrados en el presente estudio (Josué et al., 2019).

Reynolds (1998) y otros autores reportan que las cianobacterias en comparación con otros grupos de fitoplancton son menos consumidas por el zooplancton o peces (Gilbert, 1996) debido a que pueden producir cianotoxinas (de Lima Pinheiro et al., 2023; Solis et al., 2016; Vasconcelos & Pereira, 2001). Los géneros de *Planktolyngbya* sp1 y *Anabaenopsis* sp1 han sido clasificadas con potenciales de riesgo ecotoxicológico en lugares donde hay peces de consumo, siendo especies que potencialmente pueden causar florecimientos algales, teniendo en cuenta los datos obtenidos en la ciénaga de Paredes la cantidad de cianobacterias registrada no es problemática (de Lima Pinheiro et al., 2023; Lanaras & Cook, 1994).

Las variaciones en la composición taxonómica, densidades y biomasa pueden ser causadas por factores ambientales, como la temperatura, las precipitaciones, la disponibilidad de nutrientes, entre otros (Reynolds, 1988; Zalocar De Domitrovic et al., 1998). En la Ciénaga de Paredes, las diferencias espaciales entre las estaciones de estudio podrían estar relacionadas con variaciones en la conectividad del río, la profundidad y la influencia de aportes alóctonos a la ciénaga (Mojica-

Figueroa & Díaz-Olarte, 2016; Zalocar De Domitrovic et al., 1998). La mayor densidad de cianobacterias observada en las estaciones de Rincón de la Hoya y Centro sugiere que estos ambientes presentan condiciones favorables para el desarrollo de estos organismos, estos puntos de estudio posiblemente tienen una alta disponibilidad de nutrientes y menor mezcla (Mouillot et al., 2013; Zalocar De Domitrovic et al., 1998).

En contraste, en las estaciones de Quebrada la Gómez y Caño Peruétano, la comunidad fitoplanctónica estuvo dominada por organismos con estructuras exoesqueléticas de sílice, lo que indica que hay alta presencia de diatomeas en la ciénaga, las cuales corresponden a especies de estrategias tipo K (Kruk et al., 2010). Estos organismos de gran tamaño y crecimiento lento poseen una alta relación superficie sobre volumen que les otorga capacidades de tolerancia a las condiciones de luz limitadas (Kruk et al., 2010). Este rasgo se caracteriza por presentar hundimiento de los organismos, pero menores pérdidas por herbivoría (Reynolds, 1988).

Otro rasgo morfofuncional dominante en la comunidad fitoplanctónica fue la presencia de flagelos. Los organismos con este tipo de estructuras son clasificados con estrategias tipo r, siendo organismos de menor tamaño, menor volumen y mayor tasa de crecimiento, agrupando en estos organismos mixotróficos que combinan la fotosíntesis con la ingesta de materia orgánica otorgándoles una ventaja en ambientes con baja disponibilidad de nutrientes (Kruk et al., 2010; Reynolds, 1988). El flagelo les confiere motilidad, lo cual otorga pocas pérdidas por sedimentación y facilita la adquisición de nutrientes del medio, siendo organismos tolerantes a ecosistemas con limitaciones de estos (Kruk et al., 2010).

En cuanto a los GFBM, el Grupo III fue el grupo con mayor porcentaje de biovolumen en tres de las cuatro estaciones (Caño Peruétano, Quebrada la Gómez y Centro), la densidad de este grupo está influenciada de forma positiva por el fósforo y la atenuación de la luz (Kruk & Segura,

2012). Por su morfología este grupo se caracteriza como estrategias tipo K, con alta relación superficie sobre volumen teniendo relación con los altos resultados de este carácter obtenido para este grupo (Kruk & Segura, 2012). La alta relación superficie sobre volumen permite aprovechar mejor la luz disponible en ecosistemas con alta turbidez debido a la suspensión de material orgánico en la columna de agua (Kruk & Segura, 2012), esta adaptación favorece su éxito en este tipo de ambientes viéndose reflejado en la alta densidad de este grupo.

El Grupo IV presentó el segundo valor más alto de biovolumen en la Ciénaga de Paredes, sobre este grupo influyen características ambientales como el nitrógeno, la profundidad y turbulencia media, son organismos de pequeño tamaño y muy susceptibles a herbivoría (Sterner & Elser, 2017). Al igual que el Grupo III se caracteriza por ser tolerante a bajas condiciones de luz y nutrientes (Kruk et al., 2010). Sin embargo, algunos de las morfoespecies identificadas están asociada a ecosistemas con fluctuaciones transitorias en el régimen anual de lluvias (Reynolds et al., 2002), esto podría explicar su densidad en estaciones con menor mezcla en la columna de agua, donde las variaciones en la conectividad con el río y la disponibilidad de recursos generan un ambiente propicio para su desarrollo.

Los GFBM encontrados en la ciénaga de Paredes guardan relación con lo encontrado en diferentes ciénagas del Magdalena Medio (Rivero-García, 2020; Sánchez-Lobo, 2017) así como en otros tipos de humedales de la Orinoquía (Marciales-Caro et al., 2012) y en otros lagos cálidos de tierras bajas en Suramérica (Kruk et al., 2017). La similitud en la composición respecto a la dominancia de los GFBM entre otros sistemas lénticos tropicales sugiere que las condiciones ambientales de la ciénaga favorecen la presencia de grupos funcionales característicos de ecosistemas cálidos, someros y con alta disponibilidad de nutrientes (Kruk et al., 2017). En estos complejos cenagosos se reportaron los mismos GFBM incluyendo el GFBM VII, grupo que

aunque no fue reportado en esta investigación ya ha sido reportado en la Ciénaga de Paredes en otros estudios (Sánchez-Lobo, 2017). La ausencia de este grupo podría estar relacionada con variaciones temporales en la dinámica fluvial del ecosistema, cambios en la conectividad y la disponibilidad de recursos (Sterner & Elser, 2017).

Con relación a los índices de diversidad funcional, la dispersión funcional refleja la diversidad de rasgos funcionales en una comunidad (Laliberté & Legendre, 2010). La estación del Centro presentó el mayor valor (0,80), lo que indica una comunidad con especies que ocupan una amplia variedad de funciones ecológicas. En contraste, Rincón de la Hoya, registró el menor valor (0,23), lo que sugiere una menor variabilidad funcional y una posible dominancia de especies con estrategias similares. Estudios previos han señalado que la alta densidad de ciertos grupos, como las cianobacterias pueden reducir la dispersión funcional de otros organismos (Josué et al., 2019; Vasconcelos & Pereira, 2001), esto podría explicar la baja dispersión en Rincón de la Hoya, donde se observó una alta densidad de *Anabaenopsis* sp1, lo que sugiere que su dominancia podría estar limitando la diversidad funcional de la comunidad fitoplanctónica en esta estación.

El índice de distancia funcional media por pares indica qué tan distantes o cercanos entre sí están funcionalmente las especies de la comunidad, valores altos como en la estación Centro (0,8) indican que las especies tienen rasgos diferentes, esto se puede relacionar con que las comunidades están estructuradas a partir de la competencia por recursos y demás variables (J & Gocke, 1990; Weiher et al., 1998).

El mayor valor del índice de distancia funcional media al vecino más cercano fue para las estaciones de Centro 0,61 y Quebrada la Gómez donde de 0,64. Este índice indica la dispersión o el agrupamiento de las especies respecto al espacio funcional, los valores altos sugieren que las

especies están funcionalmente dispersas, donde la competencia directa se reduce y que el espacio funcional está distribuido entre las especies (Weiher et al., 1998).

El índice de equidad funcional mide la distribución de las abundancias de las especies en todo el espectro del espacio funcional, en este índice las estaciones Caño Peruétano (0,51 y Quebrada la Gómez obtuvieron un valor de 0,59 siendo los más altos. Este valor se puede atribuir a que hay especies con densidad altas como *Anabaenopsis* sp1 y *Planktolyngbya* sp1. La dominancia de estas especies puede generar sobreposición de ciertas funciones ecológicas dentro de la comunidad fitoplanctónica, ya que ambas pertenecen al grupo de las cianobacterias y comparten algunos rasgos funcionales, donde son conocidos por su capacidad de fijación de nitrógeno y su tolerancia a ambientes con alta disponibilidad de nutrientes, sin embargo, también es posible que las condiciones ambientales presentes estén favoreciendo a organismos de estas características, permitiendo que no se de una fuerte competencia por nicho contribuyendo a mantener una equidad funcional elevada pese a la dominancia relativa de pocas especies (Lehtinen et al., 2017; Villéger et al., 2008).

El índice de riqueza funcional se encarga de medir el volumen del espacio funcional ocupado por las especies de la comunidad, en este índice la estación con mayor valor fue la de Caño Peruétano con un valor de 0.87, que podría estar relacionado con que esta es la estación con la mayor cantidad de morfoespecies, indicando que hay una alta diversidad de rasgos funcionales y que estos rasgos permiten a las comunidades desarrollarse en diferentes funciones ecológicas así como explotar diferentes recursos (Lehtinen et al., 2017; Vallina et al., 2017; Villéger et al., 2008).

La estación del Centro obtuvo un valor de 0.82 en el índice de divergencia funcional siendo el mayor valor en todas las estaciones. Este índice evalúa la forma en que se distribuyen las abundancias de las especies dentro del espacio funcional reflejando la especialización funcional

dentro de la comunidad (Villéger et al., 2008). En esta estación, la alta divergencia funcional sugiere que las morfoespecies presentes desempeñan funciones ecológicas distintas y están especializadas en el aprovechamiento de diferentes recursos. Estudios señalan que comunidades con alta divergencia funcional pueden ser más eficientes en la utilización de los recursos disponibles y más resistentes a cambios ambientales, ya que la diferenciación de funciones reduce la competencia directa entre especies (Vallina et al., 2017).

El índice de originalidad funcional evalúa qué tan únicas o distintas son las especies de una comunidad en función de las combinaciones de rasgos funcionales que presentan (Mouillot et al., 2013), ayudando a entender qué tan diferenciados son los roles de las especies dentro del ecosistema. Quebrada la Gómez fue la de mayor valor con 0.64. Al analizar los datos, se observó que en esta estación hay presencia de los cinco rasgos categóricos (mucílago, heterocistos, aerótopos, flagelo y estructuras de sílice) aunque no todas las morfoespecies presentan todos los rasgos simultáneamente. Esta diversidad en la combinación de rasgos funcionales puede incrementar la capacidad de respuesta diferencial ante perturbaciones ambientales. Esta funcionalidad diversificada es un componente clave para la resiliencia del fitoplancton en ecosistemas variables (Mouillot et al., 2013; Weisse, 2017).

El índice de especialización funcional mide el grado en que las especies de una comunidad están restringidas a un conjunto limitado de estrategias ecológicas (Mouillot et al., 2013). Quebrada la Gómez presentó el valor más alto de este índice (0,72), lo que sugiere que muchas de las morfoespecies en esta estación comparten combinaciones similares de rasgos, probablemente reflejado en una convergencia funcional impulsada por filtros ambientales y recursos. En esta estación se observa que morfoespecies como *Anabaenopsis* sp1 y *Dolichospermum* sp1 poseen dos de los rasgos categóricos y el resto de las morfoespecies muestra combinaciones más limitadas.

Esto podría indicar una especialización hacia condiciones particulares del ambiente y una posible redundancia funcional, donde varias especies cumplen roles similares. Este patrón puede indicar una alta competencia por los mismos recursos, ya que muchas de las especies pueden estar explotando nichos similares (Weisse, 2017).

7. Conclusiones

Los grupos con estrategias tipo k fueron los más representativos, indicando un ecosistema donde predominan las especies competitivas y adaptadas a condiciones relativamente estables, sin embargo, la presencia de grupos con estrategias de tipo r sugiere que las propiedades físicas y químicas del ecosistema generan un entrono mixto.

La Ciénaga de Paredes en el periodo de aguas altas del 2022 se vio representada por 30 morfoespecies, donde se encontraron especies dominantes del grupo de cianobacterias, siendo el grupo más representativo en la ciénaga de Paredes durante el 2022.

Se presentaron cinco de los siete Grupos Funcionales Vasados en Morfología, el GFBM I, GFBM III, GFBM IV, GFBM V y GFBM VI, lo que indica una comunidad diversa y adaptada a un ambiente fluctuante. El Grupo III, presentó el mayor biovolumen, sugiriendo que la alta disponibilidad de nutrientes favorece a las cianobacterias con estrategias de flotación y fijación de nitrógeno, indicando que es una ciénaga con eutrofización. El enfoque funcional permitió complementar y profundizar los análisis tradicionales basados en taxonomía, los GFBM ofrecieron una visión general de las estrategias ecológicas dominantes y los análisis basados en rasgos funcionales permitió identificar con mayor resolución las adaptaciones específicas de las morfoespecies.

Finalmente los índices de diversidad funcional aportaron una visión más integradora, ayudando a identificar áreas como mayor complejidad funcional frente a otras más simplificadas. Sugirieron que las estaciones de la entrada (Quebrada la Gómez) y salida de agua (Caño Peruétano) a la ciénaga son las de mayor diversidad funcional, esto siendo relacionado con la influencia de los flujos de agua, que favorecen una mayor disponibilidad de nutrientes y heterogeneidad ambiental. Por otro lado el Centro y por último el Rincón de la Hoya tuvieron los menores valores. A esta última estación se le atribuye estos valores bajos de diversidad funcional, lo que puede atribuirse a las afectaciones antropogénicas observadas en la zona como actividades agrícolas.

8. Recomendaciones

Se recomienda que en futuros trabajos se asocien los rasgos morfofuncionales con las diferentes variables ambientales.

Reconocer los cambios de las condiciones del agua influenciados por el régimen bimodal de lluvias que se da en la zona y asociarlo con los rasgos funcionales en cada periodo.

Evaluar y clasificar las perturbaciones que se dan en las estaciones de estudio para obtener un registro de las variables que pueden estar influenciando cambios en la composición, estructura y rasgos funcionales de la comunidad fitoplanctónica.

Estudiar la influencia de los rasgos morfológicos sobre los organismos de niveles tróficos superiores.

Referencias bibliográficas

- Anderson, D. M., Glibert, P. M., & Burkholder, J. M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 25(4), 704–726. <https://doi.org/10.1007/BF02804901>
- Arias, P. (1985). Las ciénagas en Colombia. *Revista Divulgación Pesquera Inderena*, 22, 39–70.
- Barón-Rodríguez, M. M., Gavilán-Díaz, R. A., & Ramírez Restrepo, J. J. (2006). Variabilidad espacial y temporal en la comunidad de cladóceros de la Ciénaga de Paredes (Santander, Colombia) a lo largo de un ciclo anual. *Limnetica*, 25(2), 623–636. <https://doi.org/10.23818/limn.25.41>
- Brooks, D. R., & McLennan, D. A. (1991). *Phylogeny, Ecology, and Behavior: A Research Program in Comparative Biology*. University of Chicago Press.
- Capblancq, J., & Catalan, J. (1994). *Phytoplankton: Which, and how much?* (pp. 9–36).
- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. A. (2011). *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8190>
- Castelblanco-Martínez, D. N., Holguín, V., & Zapata, J. M. (2005). Conservación y manejo del manatí en la Ciénaga de Paredes (Santander). *Programa nacional de manejo y conservación de manatíes*, 105–113.
- Chorus, I., & Bartram, J. (Eds.). (1999). *Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring, and management*. E & FN Spon.
- Cox, E. J. (1996). Identification of freshwater diatoms from live material. (*No Title*). <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282272029160448>

- Criales-Hernández, M. I., Sanchez-Lobo, D. M., & Almeyda-Osorio, J. K. (2020). Expanding the knowledge of plankton diversity of tropical lakes from the Northeast Colombian Andes. *Revista de Biología Tropical*, 68(S2), S159–S176. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68iS2.44347>
- de Lima Pinheiro, M. M., Temponi Santos, B. L., Vieira Dantas Filho, J., Perez Pedroti, V., Cavali, J., Brito dos Santos, R., Oliveira Carreira Nishiyama, A. C., Guedes, E. A. C., & de Vargas Schons, S. (2023). First monitoring of cyanobacteria and cyanotoxins in freshwater from fish farms in Rondônia state, Brazil. *Heliyon*, 9(8), e18518. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18518>
- Díaz, S., & Cabido, M. (2001). Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(11), 646–655. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2)
- Ducharme, A. (1975). Estudio fisicoquímico y biológico del lago de La Tota. *Revisión bibliográfica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá*, 126.
- Elton, C. S. (2001). *Animal Ecology*. University of Chicago Press.
- Ettl, H. (1983). *Chlorophyta. I. Phytomonadina* In: Ettl H, Gerloff J, Heynig H, Molenhauer D, editors. *Süßwasserflora von Mitteleuropa 9*. Stuttgart: G. Fischer Verlag.
- Ettl, H., Gerloff, J., & Hegnig, H. (1985). *Chrysophyceae und Haptophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- García-Lozano, L. C., & Dister, E. (1990). La planicie de inundación del Medio-Bajo Magdalena, restauración y conservación de habitats. *Interciencia*, 15(6), 396–410.

- Gilbert, J. J. (1996). Effect of food availability on the response of planktonic rotifers to a toxic strain of the cyanobacterium *Anabaena flos-aquae*. *Limnology and Oceanography*, 41(7), 1565–1572. <https://doi.org/10.4319/lo.1996.41.7.1565>
- Gómez-Rubio, V. (2017). **ggplot2**—Elegant Graphics for Data Analysis (2nd Edition). *Journal of Statistical Software*, 77(Book Review 2). <https://doi.org/10.18637/jss.v077.b02>
- González, M., & Inostrosa, I. (2017). Manual taxonómico y fotográfico de géneros fitoplanctónicos (excl. Diatomeas) de 7 lagunas del Gran Concepción, Concepción, Chile. *Concepción, Chile: Ficolab, Grupo de investigación microalgal, Departamento de Botánica, Universidad de Concepción. Chile. Recuperado el, 7.*
- Grime, J. P. (1998). Benefits of plant diversity to ecosystems: Immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology*, 86(6), 902–910. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1998.00306.x>
- Harris, G. P. (2012). *Phytoplankton Ecology: Structure, Function and Fluctuation*. Springer Science & Business Media.
- Hillebrand, H., Dürselen, C., Kirschtel, D., Pollinger, U., & Zohary, T. (1999). BIOVOLUME CALCULATION FOR PELAGIC AND BENTHIC MICROALGAE. *Journal of Phycology*, 35(2), 403–424. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x>
- IDEAM. (2025). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. <https://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>
- J, C. A. H., & Gocke, K. (1990). PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA, COLOMBIA. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.1990.19.0.430>

- Jaramillo-Londoño, J. C., & Aguirre-Ramírez, N. J. (2012). CAMBIOS ESPACIO-TEMPORALES DEL PLANCTON EN LA CIÉNAGA DE AYAPEL (CÓRDOBA-COLOMBIA), DURANTE LA ÉPOCA DE MENOR NIVEL DEL AGUA. *Caldasia*, 34(1), 213–226.
- Josué, I. I. P., Cardoso, S. J., Miranda, M., Mucci, M., Ger, K. A., Roland, F., & Marinho, M. M. (2019). Cyanobacteria dominance drives zooplankton functional dispersion. *Hydrobiologia*, 831(1), 149–161. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3710-0>
- Komárek, J. (1974). *The morphology and taxonomy of crucigenioid algae (Scenedesmaceae, Chlorococcales)*. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCAL7537000139>
- Komárek, J. (1983). Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung Chlorococcales. *Das Phytoplankton des Süßwassers*, 1–1044.
- Kruk, C., Devercelli, M., Huszar, V. L. M., Hernández, E., Beamud, G., Diaz, M., Silva, L. H. S., & Segura, A. M. (2017). Classification of Reynolds phytoplankton functional groups using individual traits and machine learning techniques. *Freshwater Biology*, 62(10), 1681–1692. <https://doi.org/10.1111/fwb.12968>
- Kruk, C., Huszar, V. L. M., Peeters, E. T. H. M., Bonilla, S., Costa, L., Lüring, M., Reynolds, C. S., & Scheffer, M. (2010). A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, 55(3), 614–627. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x>
- Kruk, C., & Segura, A. M. (2012). The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups. En N. Salmaso, L. Naselli-Flores, L. Cerasino, G. Flaim, M. Tolotti, &

- J. Padisák (Eds.), *Phytoplankton responses to human impacts at different scales* (pp. 191–202). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5790-5_15
- Laliberté, E., & Legendre, P. (2010). A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology*, *91*(1), 299–305. <https://doi.org/10.1890/08-2244.1>
- Lanaras, T., & Cook, C. M. (1994). Toxin extraction from an *Anabaenopsis milleri*—Dominated bloom. *Science of The Total Environment*, *142*(3), 163–169. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90324-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90324-7)
- Lehtinen, S., Tamminen, T., Ptacnik, R., & Andersen, T. (2017). Phytoplankton species richness, evenness, and production in relation to nutrient availability and imbalance. *Limnology and Oceanography*, *62*(4), 1393–1408. <https://doi.org/10.1002/lno.10506>
- Lewis, W. M. (1983). A Revised Classification of Lakes Based on Mixing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *40*(10), 1779–1787. <https://doi.org/10.1139/f83-207>
- Londoño, T. L., Lopez, T. H., Lopez, T. Y., Matos, T. N., Medina, I., Mendoza, T. E., Moreno, T. J. R., Reales, W., Reina, T. Y., Rengifo, T. Y., Reza, T. L., & Rivera, T. M. (2014). *PERSONAL TÉCNICO Y PROFESIONAL DEL CONVENIO*.
- Longhi, M. L., & Beisner, B. E. (2010). Patterns in taxonomic and functional diversity of lake phytoplankton. *Freshwater Biology*, *55*(6), 1349–1366. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02359.x>
- Magneville, C., Loiseau, N., Albouy, C., Casajus, N., Claverie, T., Escalas, A., Leprieur, F., Maire, E., Mouillot, D., & Villéger, S. (2022). mFD: An R package to compute and illustrate the multiple facets of functional diversity. *Ecography*, *2022*(1), ecog.05904. <https://doi.org/10.1111/ecog.05904>

- Marciales-Caro, L. J., Duque, S. R., & Realpe, E. (2012). *FUNCTIONAL GROUP DIVERSITY BASED ON THE MORPHOLOGY OF PHYTOPLANKTON IN WETLANDS OF THE COLOMBIAN ORINOQUIA*.
- Margalef, R. (1978). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica acta*, 1(4), 493–509.
- Mason, N. W. H., MacGillivray, K., Steel, J. B., & Wilson, J. B. (2003). An index of functional diversity. *Journal of Vegetation Science*, 14(4), 571–578. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02184.x>
- McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E., & Westoby, M. (2006). Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(4), 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.02.002>
- Mojica-Figueroa, B. H., & Díaz-Olarte, J. 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. <https://doi.org/10.21068/C2016s01a02>
- Moreno, Y. M., & Aguirre, N. (2009). Estado del arte de la limnología de lagos de planos inundables (Ciénagas) en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 12(3), Article 3.
- Mouillot, D., Graham, N. A. J., Villéger, S., Mason, N. W. H., & Bellwood, D. R. (2013). A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(3), 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.004>
- Mur, L. R. (1983). Some aspects of the ecophysiology of cyanobacteria. *Annales de l'Institut Pasteur / Microbiologie*, 134(1, Supplement B), 61–72. [https://doi.org/10.1016/S0769-2609\(83\)80097-0](https://doi.org/10.1016/S0769-2609(83)80097-0)

- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera, P., & Orellana, M. (1982a). *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. I. Cyanophyceae.*
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera, P., & Orellana, M. (1982b). *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. III. Cryptophyceae-Dinophyceae-Euglenophyceae.*
- Parra, O. O. (1982). *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales: Con especial referencia al fitoplancton de Chile* (Vol. 1). Universidad de Concepción.
- Pineda, A., Bortolini, J. C., & Rodrigues, L. C. (2022). Effects of space and environment on phytoplankton distribution in subtropical reservoirs depend on functional features of the species. *Aquatic Sciences*, 84(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s00027-021-00837-0>
- Ramírez, J. (2000). Fitoplancton de aguas dulces: Aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios (p. 207). *Medellin: Universidad de Antioquia.*
- Reynolds, C. S. (1984). Phytoplankton periodicity: The interactions of form, function and environmental variability. *Freshwater Biology*, 14(2), 111–142. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1984.tb00027.x>
- Reynolds, C. S. (1988). *Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton* | *Plant science*. Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/us/academic/subjects/life-sciences/plant-science/growth-and-reproductive-strategies-freshwater-phytoplankton>, <https://www.cambridge.org/us/academic/subjects/life-sciences/plant-science>
- Reynolds, C. S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press.

- Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., & Melo, S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 24(5), 417–428. <https://doi.org/10.1093/plankt/24.5.417>
- Ricaurte, L. F., Patiño, J. E., Zambrano, D. F. R., Arias-G, J. C., Acevedo, O., Aponte, C., Medina, R., González, M., Rojas, S., Flórez, C., Estupinan-Suarez, L. M., Jaramillo, Ú., Santos, A. C., Lasso, C. A., Nivia, A. A. D., Calle, S. R., Vélez, J. I., Acosta, J. H. C., Duque, S. R., ... Junk, W. J. (2019). A Classification System for Colombian Wetlands: An Essential Step Forward in Open Environmental Policy-Making. *Wetlands*, 39(5), 971–990. <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01149-8>
- Rivera, P., Parra, O., González, M., Dellarossa, V., & Orellana, M. (1982a). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. *Tomo IV Bacillariophyceae*.
- Rivera, P., Parra, O., González, M., Dellarossa, V., & Orellana, M. (1982b). *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. IV. Bacillariophyceae*.
- Rivero-García, E. N. (2020). *Estudio de la morfología funcional del fitoplancton en un lago tropical: Ciénaga Río*.
- Roldán, G. P., & Restrepo, J. J. R. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia.
- Ros, J., Miracles, R. M., Vallespinós, F., Estrada, M., Flos, J., Planas, D., Riera, T., & Lavall, A. (1979). *Prácticas de ecología*. <https://digital.csic.es/handle/10261/340763>
- RStudio Team. (2023). *Rstudio* (Versión 4.3.1) [Software]. <http://www.rstudio.com/>.

- Salmaso, N., & Padisák, J. (2007). Morpho-Functional Groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). *Hydrobiologia*, 578(1), 97–112. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0437-0>
- Sánchez-Lobo, D. (2017). *Estudio de la morfología funcional del fitoplancton en la ciénaga de Paredes (Santander-Colombia) durante un pulso de inundación* [PhD Thesis]. Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Smith, T. M., Shugart, H. H., & Woodward, F. I. (1997). *Plant Functional Types: Their Relevance to Ecosystem Properties and Global Change*. Cambridge University Press.
- Solis, M., Pawlik-Skowrońska, B., & Kalinowska, R. (2016). Seasonal changes of phytoplankton and cyanobacteria/cyanotoxin risk in two shallow morphologically altered lakes: Effects of water level manipulation (Wieprz-Krzna Canal System, Eastern Poland). *Ecological Indicators*, 66, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.021>
- Starmach, K. (1983). Euglenophyta—Eugleniny, vol. 3 of. *Flora Ślaskowa Polski*.
- Sterner, R. W., & Elser, J. J. (2017). *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400885695>
- Sun, J. (2003). Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 25(11), 1331–1346. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbg096>
- Tell, G., & Conforti, V. (1986). Euglenophyta pigmentadas de la Argentina. Berlin-Stuttgart. *Ed. Cramer Bibl. Phycol*, 75.
- Torres, Ó. F., & Martínez, N. Ó. V. (2013). *NELSON ÓMAR VARGAS MARTÍNEZ Subdirector de Hidrología – IDEAM*.

- Tozzi, S., Schofield, O., & Falkowski, P. (2004). Historical climate change and ocean turbulence as selective agents for two key phytoplankton functional groups. *Marine Ecology Progress Series*, 274, 123–132. <https://doi.org/10.3354/meps274123>
- Vallina, S. M., Cermeno, P., Dutkiewicz, S., Loreau, M., & Montoya, J. M. (2017). Phytoplankton functional diversity increases ecosystem productivity and stability. *Ecological Modelling*, 361, 184–196. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.06.020>
- Vasconcelos, V. M., & Pereira, E. (2001). Cyanobacteria diversity and toxicity in a Wastewater Treatment Plant (Portugal). *Water Research*, 35(5), 1354–1357. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00512-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00512-1)
- Villéger, S., Mason, N. W. H., & Mouillot, D. (2008). NEW MULTIDIMENSIONAL FUNCTIONAL DIVERSITY INDICES FOR A MULTIFACETED FRAMEWORK IN FUNCTIONAL ECOLOGY. *Ecology*, 89(8), 2290–2301. <https://doi.org/10.1890/07-1206.1>
- Violle, C., Navas, M., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882–892. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>
- Webb, C. O., Ackerly, D. D., McPeck, M. A., & Donoghue, M. J. (2002). Phylogenies and Community Ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33(1), 475–505. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150448>
- Weiher, E., Clarke, G. D. P., & Keddy, P. A. (1998). Community Assembly Rules, Morphological Dispersion, and the Coexistence of Plant Species. *Oikos*, 81(2), 309. <https://doi.org/10.2307/3547051>

- Weisse, T. (2017). Functional diversity of aquatic ciliates. *European Journal of Protistology*, 61, 331–358. <https://doi.org/10.1016/j.ejop.2017.04.001>
- Wetzel, R. G., & Likens, G. E. (2000). *Limnological Analyses*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3250-4>
- Winder, M., & Sommer, U. (2012). Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia*, 698(1), 5–16. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1149-2>
- Zalocar De Domitrovic, Y., Asselborn, V. M., & Casco, S. L. (1998). Variaciones espaciales y temporales del fitoplancton en un lago subtropical de Argentina. *Revista Brasileira de Biologia*, 58(3), 359–382. <https://doi.org/10.1590/S0034-71081998000300003>
- Zhou, Q., Zhang, Y., Tao, J., Ye, L., Wang, H., Shan, K., Jeppesen, E., & Song, L. (2022). Water depth and land-use intensity indirectly determine phytoplankton functional diversity and further regulate resource use efficiency at a multi-lake scale. *Science of The Total Environment*, 834, 155303. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155303>