

**Morfología funcional del fitoplancton durante un período de aguas bajas en la Ciénaga El
Llanito 2022**

Camilo Andrés Bustos Beleño

Trabajo de Grado para Optar al Título de Biólogo

Director

Edwin Orlando López Delgado

Ph.D en Ciencias de la Vida Silvestre y Pesquerías

Codirectora

Diana Marcela Sánchez Lobo

Bióloga

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Biología

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A mi madre, una mujer luchadora cuyo apoyo incondicional ha sido la base en cada etapa de mi vida. Por ser mi mayor inspiración y fortaleza, por brindarme siempre su respaldo y abrirme cada puerta con amor y certeza. Su confianza inquebrantable y su cariño han sido pilares esenciales en mi crecimiento, porque sin ella, no sería quien soy hoy.

Agradecimientos

A mis padres y hermanos, por ser mi apoyo incondicional a lo largo de estos años y un soporte fundamental a lo largo de mi formación.

A mi tía Danys y Elkin, así como a mis primos Karol y Styward, por ser mi segunda familia, por ser un respaldo invaluable en mi vida y ser quienes influenciaron en gran parte mi amor por la biología.

Al Laboratorio de Hidrobiología y a todos sus integrantes, por acogerme y acompañarme durante todo mi proceso académico. En especial, agradezco a la profesora Marisol y María Isabel, a Mario y Tala, quienes me dieron la bienvenida, así como a Pinto y Frank, con quienes inicié este camino. A mi director, el profe Edwin López Delgado, por su guía constante, enseñanzas y paciencia, y a Diana Sánchez Lobo, mi codirectora, maestra y amiga, cuya pasión por la limnología, la enseñanza, el arte y el cambio social ha sido una fuente de inspiración.

A mis amigos de la universidad, por ser ese refugio desde el primer semestre, quienes muchas veces sin saberlo, me ayudaron a seguir adelante. Gracias por las risas que aligeraron los días, las lágrimas compartidas y cada aventura en campo y laboratorio que convirtió este camino una experiencia inolvidable. Les deseo éxito en sus futuros como profesionales. En especial a Lina, Alex, Harold, Stepha y Liz por embarcarse sin duda a cada una de mis ideas, por más insólitas que fueran y por seguir siendo parte de mi vida hasta el día de hoy.

A Angélica, cuya compañía, cariño y apoyo hicieron esta travesía menos turbulenta.

Al arte y a todas sus formas de expresión por ser refugio, guía y medio para mi reconocimiento.

A cada persona que me ha acompañado en este proceso y ha sido clave en mi desarrollo personal y académico, les estoy profundamente agradecido.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
2. Objetivos.....	13
2.1 Objetivo General.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
2.3 Competencias desarrolladas por el pasante.....	14
3. Metodología	14
3.1 Área de estudio	14
3.2 Fase de campo.....	15
3.3 Análisis de laboratorio	16
3.4 Análisis de datos	18
4. Resultados.....	19
4.1 Composición y estructura del fitoplancton	19
4.2 Rasgos funcionales del fitoplancton.....	21
4.2.1 Rasgos categóricos.....	21
4.2.2 Rasgos continuos	22
4.2.2.1 Volumen.....	22
4.2.2.2 Área superficial	24
4.2.2.3 Relación Superficie/Volumen (S/V)	25
4.2.2.4 Máxima Dimensión Lineal (MDL)	27
4.3 Grupos funcionales del fitoplancton	28
4.4 Biovolumen.....	34

4.5 Relación Variables Fisicoquímicas y Morfología Funcional.....	36
5. Discusión.....	39
5.1 Composición y estructura del fitoplancton	39
5.2 Rasgos funcionales del fitoplancton	40
5.3 Grupos funcionales y biovolumen	41
5.4 Relación entre las variables fisicoquímicas y la estructura del fitoplancton	43
6. Conclusiones	44
7. Recomendaciones	45
Referencias Bibliográficas	47
Apéndices.....	58

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Rasgos categóricos del fitoplancton</i>	22
Tabla 2 <i>Características morfológicas y taxonómicas de los grupos funcionales basados en morfología (GFBM)</i>	32

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Ubicación geográfica de los puntos de estudio en la Ciénaga El Llanito (Santander - Colombia)</i>	15
Figura 2 <i>Riqueza del fitoplancton identificado en la Ciénaga El Llanito</i>	20
Figura 3 <i>Variabilidad del volumen del fitoplancton entre estaciones</i>	23
Figura 4 <i>Variabilidad del área superficial del fitoplancton entre estaciones</i>	25
Figura 5 <i>Variabilidad de la relación superficie/volumen del fitoplancton entre estaciones</i>	26
Figura 6 <i>Variabilidad de la máxima dimensión lineal del fitoplancton entre estaciones</i>	28
Figura 7 <i>Distribución de la Riqueza total y relativa de los grupos funcionales (GFBM) por estación</i>	29
Figura 8 <i>Variabilidad de los rasgos continuos en los grupos funcionales del fitoplancton</i>	33
Figura 9 <i>Distribución del biovolumen total ($\mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) y relativo de los grupos funcionales (GFBM) por estación</i>	35
Figura 10 <i>Análisis de Redundancia (RDA) que muestra la relación entre las variables fisicoquímicas y las morfoespecies de fitoplancton en diferentes estaciones</i>	37
Figura 11 <i>Análisis de Correspondencia Canonica (CCA) que muestra la relación entre las variables fisicoquímicas y los grupos funcionales del fitoplancton en diferentes estaciones</i>	38

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A <i>Composición de las Especies La Comunidad Fitoplanctónica de La Ciénaga El Llanito – Santander</i>	58
Apéndice B <i>Mediciones ambientales en las estaciones de muestreo de la Ciénaga El Llanito durante el periodo de aguas bajas de 2022</i>	61
Apéndice C <i>Algunos de las especies representantes que componen la comunidad fitoplanctónica en la ciénaga</i>	62

Resumen

Título: Morfología funcional del fitoplancton durante un período de aguas bajas en la Ciénaga El Llanito, Santander-Colombia

Autor: Camilo Andrés Bustos Beleño, Edwin Orlando López Delgado, Diana Marcela Sánchez Lobo

Palabras Clave: Microalgas, grupo funcional, biovolumen, Magdalena Medio, Morfología funcional.

Descripción: La Ciénaga El Llanito, ubicada en la cuenca media del río Magdalena, desempeña un papel clave en la conservación de la biodiversidad y la regulación del ciclo del agua. Las comunidades fitoplanctónicas en estos ecosistemas responden rápidamente a cambios ambientales, lo que las convierte en buenos indicadores del estado trófico del agua. La presente investigación analiza los rasgos morfológicos del fitoplancton y su clasificación en grupos funcionales en la Ciénaga El Llanito durante un periodo de aguas bajas en 2022. Se tomaron muestras cualitativas y cuantitativas en cuatro estaciones para identificar taxonómicamente las especies y determinar densidades, biomasa y biovolumen. En total, se identificaron 55 morfoespecies y seis grupos funcionales distribuidos en cinco phyla: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Euglenophyta y Ochrophyta. El análisis de redundancia (RDA) indicó que la transparencia, nitratos y la conductividad eléctrica fueron las principales variables ambientales que influyeron en la comunidad fitoplanctónica. Los grupos IV y V presentaron las densidades y biovolumenes más altos. El grupo IV se caracterizó por presentar una alta flexibilidad ecológica, eficiencia en la captación de recursos y por su capacidad de proliferación en sistemas eutróficos con alta disponibilidad de luz, mientras que el grupo V se caracterizó por su capacidad para regular su posición en la columna de agua y plasticidad mixotrófica. Este estudio destaca como variables fisicoquímicas a nivel local juegan un papel clave en la estructuración de la comunidad.

Abstract

Title: Functional morphology of phytoplankton during a low-water season in the El Llanito

Marsh, Santander-Colombia

Author(s): Camilo Andrés Bustos Beleño, Edwin Orlando López Delgado, Diana Marcela Sánchez Lobo

Keywords: Microalgae, functional group, biovolume, Magdalena Medio, Functional morphology.

Description: Ciénaga El Llanito, located in the middle basin of the Magdalena River, plays a key role in biodiversity conservation and water cycle regulation. Phytoplankton communities in these ecosystems respond rapidly to environmental changes, making them good indicators of the trophic state of water. This research paper analyzes the morphological traits of phytoplankton and their classification into functional groups in the Ciénaga El Llanito during a low-water season in 2022. Qualitative and quantitative samples were taken at four stations to taxonomically identify species and determine densities, biomass and biovolume. In total, 55 morphospecies and six functional groups were identified, distributed into five phyla: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Euglenophyta and Ochrophyta. The redundancy analysis (RDA) indicated that water transparency, nitrates and electrical conductivity were the main environmental variables influencing the phytoplankton community. Groups IV and V showed the highest densities and biovolumes. Group IV was characterized by high ecological flexibility, resource uptake efficiency and proliferation capacity in eutrophic systems with high light availability, unlike group V, which was characterized by its ability to regulate its position in the water column and mixotrophic plasticity. Group IV was characterized by high ecological flexibility, resource efficiency and proliferation capacity in eutrophic systems with high light availability, while group V, which was characterized by its ability to regulate its position in the water column and mixotrophic plasticity. This study highlights how physicochemical variables at the local level play a key role in community structuring.

Introducción

Las ciénagas son ecosistemas clave para la conservación de la biodiversidad, ya que proporcionan una amplia gama de servicios ecosistémicos, entre los que destacan una alta productividad biológica, estabilización microclimática y regulación del ciclo de nutrientes (Castellanos, 2001). Además, desempeñan un papel crucial en el bienestar de las comunidades locales al proveer recursos y servicios culturales (Moreno & Fonseca, 1987). Su conexión con los ríos, ya sea directa o indirectamente, genera variaciones en la columna de agua, que influyen en la estructura y dinámica del ecosistema, contribuyendo tanto al equilibrio ecológico como al desarrollo socioeconómico (Moreno & Aguirre, 2009; Hernández-Atilano et al., 2012).

Dentro de estos ecosistemas, las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, como la temperatura, turbiedad, pH, oxígeno disuelto, entre otros son determinantes en el estudio y monitoreo de las comunidades hidrobiológicas. Estas propiedades interactúan dinámicamente, afectando la disponibilidad de hábitats, productividad primaria, diversidad y la abundancia de especies fitoplanctónicas (Rhee, 1982; Roldán & Ramírez, 2008; Martínez et al., 2016; Demetrio et al., 2022).

Dado que el fitoplancton es la base de la red trófica, no solo es responsable de la productividad primaria, sino que también cumple un rol como indicador del estado trófico de las aguas (Beltrán, 2016). El fitoplancton refleja rápidamente variaciones en la estacionalidad, la disponibilidad de nutrientes y la circulación del agua, lo que a su vez puede modificar la estructura y funcionamiento del sistema acuático (Mora, 2015; Peraza, 2017).

El fitoplancton se define como un grupo de microorganismos acuáticos fotosintéticos, los cuales se encuentran suspendidos en el agua y que, mediante corrientes, son transportados de

manera pasiva (Torres et al., 2021). La distribución del fitoplancton está influenciada principalmente por la luz, temperatura, disponibilidad de nutrientes, competencia, herbivoría y la dinámica hidráulica (Reynolds, 1980; Rhee, 1982; Margalef, 1993; Reynolds, 2006).

El estudio de la morfología funcional del fitoplancton, que vincula la forma de los organismos con su respuesta al medio, facilita la detección de cambios en los sistemas acuáticos, ya que las variaciones en sus rasgos morfológicos responden a factores como la disponibilidad de nutrientes, turbidez y condiciones físicas y químicas (Margalef, 1978; Segura et al., 2018; Amorim et al., 2019). Estas adaptaciones reflejan estrategias evolutivas orientadas a optimizar la supervivencia frente a presiones ambientales específicas, favoreciendo la selección de formas biológicas más estables y eficientes en términos hidrodinámicos, como formas esféricas, alargadas, aplanadas o compactas, que mejoran la interacción con el entorno acuático (Lins et al., 2017; Kruk et al., 2017; Muñoz-López et al., 2017).

En este contexto, el modelo de clasificación propuesto por Kruk et al. (2010) es una herramienta para comprender la estructura y dinámica del fitoplancton a partir de sus estrategias ecológicas, ya que agrupa a los organismos en siete grupos funcionales basados en morfología (GFBM I-VII). Estos grupos se determinan mediante atributos medibles como el volumen, el área superficial, la máxima dimensión lineal y la presencia de estructuras como vainas mucilaginosas, flagelos, vesículas de gas (aerótopos), heterocistos y estructuras exoesqueléticas de sílice. Cada uno de estos atributos tiene implicaciones ecológicas clave: por ejemplo, una alta relación S/V mejora la captación de recursos; los flagelos proporcional movilidad para la búsqueda de nutrientes y luz; los aerótopos regulan la flotabilidad para optimizar la posición en la columna de agua; y las estructuras exoesqueléticas de sílice brindan protección física, lo que facilita la interpretación de

los procesos que ocurren en los ecosistemas acuáticos (Weithoff, 2003; Kruk et al., 2010; Muñoz-López et al., 2017).

La ciénaga El Llanito, se encuentra ubicada en el municipio de Barrancabermeja, departamento de Santander, es un ecosistema cuya composición y distribución del fitoplancton puede estar influenciada no solo por factores naturales, sino también por presiones antropogénicas, ya que actividades como la explotación petrolera, la deforestación para establecimiento de cultivos extensivos y la expansión de la frontera agrícola pueden generar un aumento en la carga de materia orgánica y nutrientes al sistema, afectando su dinámica ecológica (Burton, 1980; Barón, 2015; Galvis, 2023). Estas condiciones pueden modificar la estructura de la comunidad fitoplanctónica favoreciendo la proliferación de ciertos grupos funcionales, mientras limita la diversidad de otros (Almanza et al., 2016; Kruk et al., 2017). En este contexto, resulta esencial comprender la relación entre los rasgos morfológicos del fitoplancton y las características físicas y químicas del agua, analizando cómo estos factores influyen en la comunidad de microalgas y cianobacterias durante un periodo de aguas bajas.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Analizar la relación entre los rasgos morfológicos del fitoplancton y las variables fisicoquímicas en la ciénaga el Llanito durante un periodo de aguas bajas en el año 2022.

2.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar los organismos presentes en el ensamble fitoplanctónico en la Ciénaga El Llanito durante el periodo de aguas bajas del 2022.

- Clasificar los organismos fitoplanctónicos identificados de la Ciénaga El Llanito en los grupos funcionales basados en morfología.
- Identificar la influencia de las variables fisicoquímicas en los rasgos morfológicos del fitoplancton en la Ciénaga El Llanito durante el periodo de aguas bajas de 2022.

2.3 Competencias desarrolladas por el pasante

- Habilidad para realizar la toma de muestras, técnicas de fijación y conservación de muestras fitoplanctónicas.
- Destreza en la identificación y clasificación de organismos fitoplanctónicos mediante el uso de claves taxonómicas actualizadas, microscopía óptica y técnicas digitales.
- Capacidad para procesar y analizar datos estadísticos relacionados con características del fitoplancton y su relación con variables ambientales.

3. Metodología

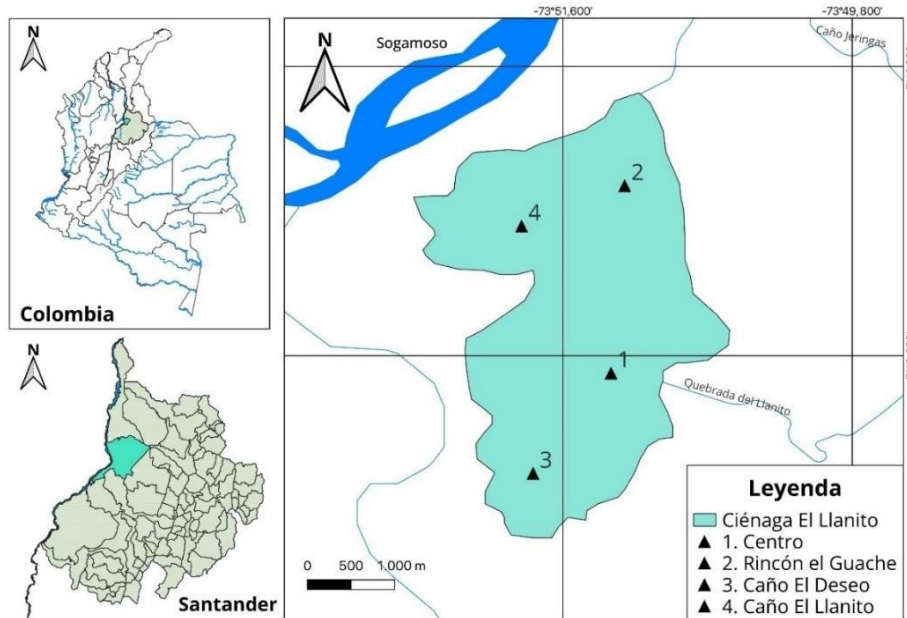
3.1 Área de estudio

La Ciénaga El Llanito, ubicada en el municipio de Barrancabermeja, en el departamento de Santander a 75.94 m.s.n.m. ($7^{\circ}10'16,3''$ N y $73^{\circ}51'21,7''$ W), presenta una temperatura promedio anual de $28,3^{\circ}\text{C}$ y hace parte del valle Medio de la cuenca del río Magdalena (Figura 1) (Solano, 2021). La Ciénaga El Llanito presenta una extensión de 917.17 ha, por el norte limita con el río Sogamoso, al sur con la ciénaga de San Silvestre al sur y al occidente con el río Magdalena, está rodeada por relictos de bosque húmedo tropical (bh-T), sirve de hábitat a un gran número de especies y presta una gran variedad de servicios ecosistémicos como abastecimiento, fuente de nutrientes, reservorio de agua y es amortiguadora de las crecientes durante la temporada de lluvias

de los ríos Sogamoso y Magdalena (Gavilán-Díaz, 2000; Díaz & Rueda, 2006; Barón, 2015; Castellanos et al., 2011).

Figura 1

Ubicación geográfica de los puntos de estudio en la Ciénaga El Llanito (Santander - Colombia)



3.2 Fase de campo

Las muestras de fitoplancton fueron colectadas en el mes de febrero del 2022 como parte del proyecto de tesis de maestría titulado “Morfología funcional del fitoplancton en las ciénagas del Magdalena Medio santandereano”. El muestreo se llevó a cabo en cuatro zonas de la Ciénaga El Llanito: El Centro, la zona más profunda; Rincón del Guache, ubicado junto al afluente principal Caño Jeringas; Antiguo Caño el Llanito, un antiguo efluente; y Caño El Deseo, principal drenaje de la ciénaga (Gavilán-Díaz, 2000).

Se colectaron muestras cualitativas y cuantitativas. La muestra cualitativa se obtuvo mediante un arrastre superficial, usando una red de malla de 23 micras, en círculos durante un período de 5 minutos acoplada a una lancha. Para la muestra cuantitativa, se utilizó un tubo de

PVC de 1'' de diámetro, dispuesto a lo largo de la columna de agua, la longitud del tubo fue equivalente a tres veces el obtenido con el Disco Secchi de (Odum, 1986).

Las muestras fueron fijadas y conservadas en lugol y formaldehído tamponado al 4% (APHA, 2005). Posteriormente fueron depositadas en la Colección de Hidrobiología del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander y analizadas en el Laboratorio de Hidrobiología y ADN Ambiental.

En cada punto de muestreo se registraron variables fisicoquímicas in situ como la transparencia (disco Secchi), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) el pH, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto (mg/L) y porcentaje de saturación de oxígeno disuelto con la ayuda de una sonda multiparamétrica Hach. Adicionalmente se colectó un litro de agua para realizar los análisis de nutrientes. Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander, donde se analizaron los siguientes parámetros: demanda bioquímica de oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{L}$) mediante el método Respirométrico (SM 5210 D); Nitrógeno amoniacal ($\text{mg N-NH}_3/\text{L}$) por método Titrimétrico (SM 4500-C-NH₃); Alcalinidad total y dureza total ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$) también por métodos Titrimétrico (SM 2320 B y SM 2340 C respectivamente); concentración de Nitratos ($\text{mg NO}_3^-/\text{L}$), Nitritos ($\text{mg NO}_2^-/\text{L}$), Ortofosfatos ($\text{mg PO}_4^{3-}/\text{L}$), Silicios ($\text{mg SiO}_2/\text{L}$) y) y fósforo total ($\text{mg P}/\text{L}$) mediante métodos Espectrofotométricos (J.Rodier Modificado; SM 4500-NO₂ -B; SM 4500 P E; SM 3050 B y 4500-SiO₂; y SM 4500-P-B,C respectivamente). Todos los análisis se realizaron siguiendo los lineamientos metodológicos establecidos por APHA (2005) (Apéndice B).

3.3 Análisis de laboratorio

Las muestras cualitativas fueron usadas para la identificación de las morfoespecies fitoplanctónicas. Cada organismo fue identificado hasta el mínimo nivel taxonómico posible

mediante el uso del microscopio óptico Zeiss Axio y claves especializadas disponibles en el Laboratorio de Hidrobiología: Huber-Pestalozzi (1955), Patrick y Reimer (1966), Barber y Haworth (1981), Ettl (1983), Starmach (1983, 1985), Tell (1986), Komárek (1974, 1983), Komárek y Foot (1983), Komárek y Anagnostidis (1999, 2005), Parra (1982a, 1982b, 1982c, 1983a, 1983b), Cox (1996), Comas (1996) Matthews (2016a, 2016b) y González e Inostroza (2017).

Las muestras cuantitativas del fitoplancton fueron sedimentadas durante 48 horas utilizando una cámara de sedimentación Utermöhl, con la columna de 50 ml, siguiendo la metodología de Utermöhl (1958). Posteriormente, se analizaron con un microscopio invertido Primovert Zeiss a 40X para estimar la densidad de los organismos mediante conteos de franjas hasta alcanzar entre 360-440 individuos de la morfoespecie más abundante, asegurando un límite de confiabilidad del 95% (Lund, 1958; Wetzel y Likens, 2000). Los organismos filamentosos o coloniales se contaron como unidades individuales (Gómez et al., 2011). La densidad se expresó en individuos por mililitro según Ros (1979):

$$N = \frac{n \times A}{A_c \times A_o \times V}$$

Siendo N= densidad de individuos; n= número de individuos; A= área de la cámara; A_c= Área del campo ocular; A_o= número de campos contados; V= volumen sedimentado.

A partir de esta densidad, se calculó el biovolumen ($\mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) como una estimación de biomasa, multiplicando el volumen promedio de cada taxón por su densidad (individuos mL^{-1}).

Para el análisis morfológico, todos los organismos observados fueron fotografiados haciendo uso de un microscopio óptico Zeiss Axio y una cámara AxioCam ERc5s, utilizando el software ZEN 2.3 (Blue edition). Se tomaron las medidas requeridas (diámetro, altura y en caso de ser necesario, profundidad) de 10 individuos por morfoespecie en cada estación, para el cálculo

de la máxima dimensión lineal (MDL), volumen (V) y área (A) siguiendo la metodología de Hillebrand et al. (1999) y Sun y Liu (2003). Adicionalmente, se verificó la presencia de estructuras especializadas como vainas mucilaginosas, flagelos, aerótopos, heterocistos y exoesqueletos de sílice, lo que permitió clasificar a los individuos en los Grupos Funcionales Basados en Morfología (GFBM) siguiendo la clave dicotómica de Kruk et al (2010).

Esta clave agrupa al fitoplancton en siete categorías según sus adaptaciones morfológicas y ecológicas: organismos pequeños con alta relación superficie/volumen (Grupo I), flagelados con estructuras silíceas (Grupo II), filamentos con aerótopos (Grupo III), organismos sin rasgos especializados (Grupo IV), flagelados de tamaño medio a grande (Grupo V), organismos con paredes silíceas (Grupo VI) y colonias mucilaginosas (Grupo VII). Esta clasificación facilita el análisis de las estrategias ecológicas y adaptaciones morfológicas de los organismos frente a las condiciones ambientales.

3.4 Análisis de datos

El análisis de los datos se realizó en R (R Core Team, 2024) utilizando los paquetes `vegan`, `Hmisc` y `corrplot`. Previo a los análisis multivariados, se evaluó la multicolinealidad entre las variables ambientales mediante la correlación de Spearman, utilizando el paquete `Hmisc` (Harrell, 2024). Aquellas variables con una correlación alta ($\rho > 0.7$) y significativa ($p < 0.05$) fueron eliminadas para evitar redundancias y mejorar la estabilidad de los análisis de ordenación. La matriz de correlaciones fue visualizada con el paquete `corrplot`, lo que permitió identificar de manera gráfica los patrones de asociación entre variables (Wei & Simko, 2021).

Para reducir la dimensionalidad e identificar las variables ambientales más relevantes, realizó un análisis de componentes principales (PCA) mediante el paquete `vegan` (Oksanen et al., 2022). Posteriormente los datos de la densidad de morfoespecies del fitoplancton fueron ajustados

mediante la transformación de Hellinger para reducir el impacto de los valores extremos y mejorar la interpretación ecológica (Legendre y Gallagher, 2001). Con los datos transformados, se llevó a cabo un Análisis de Redundancia (RDA) para examinar la relación entre las morfoespecies de fitoplancton y las variables fisicoquímicas. Asimismo, se realizó un Análisis de Correlación Canónica (CCA) para evaluar la relación entre los grupos funcionales del fitoplancton y las variables fisicoquímicas. Se eligió el RDA para los datos que mostraban una relación lineal entre las variables explicativas y de respuesta, mientras que el CCA fue aplicado en los casos en que dicha relación seguía un patrón unimodal. Ambos análisis se complementaron con pruebas de permutación de Monte Carlo (999 permutaciones), implementadas a través del paquete *vegan*.

Por último, para evaluar el comportamiento de los rasgos morfofuncionales continuos del fitoplancton, tanto a nivel espacial (entre estaciones), como por grupos funcionales, se emplearon medidas de tendencia central y dispersión. Para determinar diferencias significativas entre estos rasgos, se realizó un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis de una vía, aplicado tanto entre estaciones como entre grupos funcionales. Los resultados fueron representados mediante un diagrama de cajas y bigotes, lo que permitió visualizar la distribución y variabilidad y posibles diferencias entre los rasgos morfofuncionales continuos en función espacial y funcional.

4. Resultados

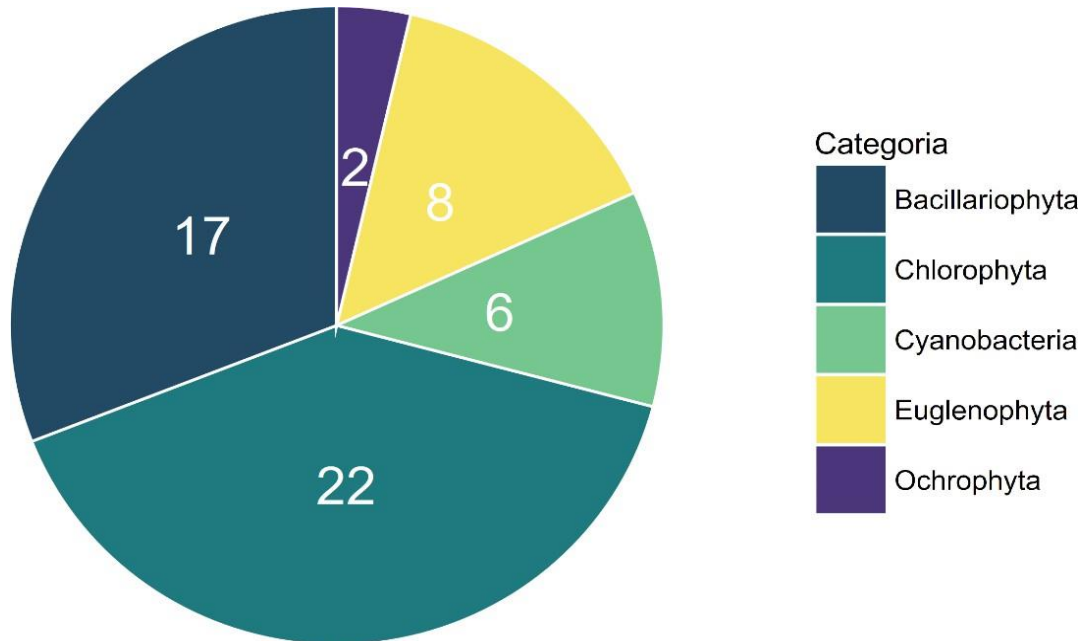
4.1 Composición y estructura del fitoplancton

En total se identificaron 55 morfoespecies, distribuidas en cinco phyla, ocho clases, 15 órdenes, 25 familias y 38 géneros. El phylum con mayor diversidad fue Chlorophyta (22 morfoespecies), seguido por Bacillariophyta (17 morfoespecies) y Euglenophyta (8

morfoespecies). En contraste Cyanobacteria (6 morfoespecies) y Ochrophyta (2 morfoespecies) presentaron la menor riqueza (Figura 2), (Apéndice A).

Figura 2

Riqueza del fitoplancton identificado en la Ciénaga El Llanito



A nivel espacial, Caño El Deseo presentó la mayor riqueza con 36 morfoespecies, seguido de Antiguo Caño El Llanito (31 morfoespecies), Rincón del Guache (29 morfoespecies) y El Centro (28 morfoespecies). Además, en todas las estaciones se registraron especies únicas, destacándose Caño El Deseo con el mayor número (9 especies únicas), seguido de Antiguo Caño El Llanito (6 especies), Rincón del Guache (5 especies) y El Centro (3 especies).

La densidad total del fitoplancton para la Ciénaga El Llanito fue de 795 ind·ml⁻¹. Las especies que aportaron la mayor densidad fueron *Planktolyngbya* sp1, *Trachelomonas volvocina* y *Oscillatoria* sp1, alcanzando densidades totales de 243 ind·ml⁻¹, 88 ind·ml⁻¹ y 80 ind·ml⁻¹ respectivamente. A nivel de phyla, la mayor densidad correspondió a Cyanobacteria (366 ind·ml⁻¹), seguida de *Euglenophyta* (184 ind·ml⁻¹) y Bacillariophyta (128 ind·ml⁻¹), mientras que

Chlorophyta (115 ind·ml⁻¹) a pesar de tener el mayor número de especies presento las densidades más bajas, junto a Ochrophyta (2 ind·ml⁻¹).

En términos espaciales, Caño El Deseo presentó la mayor densidad (392 ind·ml⁻¹), con *Planktolyngbya* sp1 (173 ind·ml⁻¹) y *Fragilaria* sp1 (36 ind·ml⁻¹) como las especies más representativas. Rincón del Guache registró una densidad de 194 ind·ml⁻¹, con *Planktolyngbya* sp1 (34 ind·ml⁻¹) y *Oscillatoria* sp1 (25 ind·ml⁻¹). El Centro presentó densidades de 131 ind·ml⁻¹, siendo *Trachelomonas volvocina* (53 ind·ml⁻¹) y *Oscillatoria* sp1 (17 ind·ml⁻¹) las especies más abundantes. Finalmente, el Antiguo Caño El Llanito tuvo la menor densidad con 77 ind·ml⁻¹, destacando nuevamente a *Planktolyngbya* sp1 (27 ind·ml⁻¹) y *Monoraphidium* sp1 (10 ind·ml⁻¹) como principales representantes.

4.2 Rasgos funcionales del fitoplancton

4.2.1 Rasgos categóricos

Al identificar los rasgos categóricos que presentaron los organismos fitoplanctónicos se observó que 33 de las 55 morfoespecies identificadas presentaron al menos uno. El rasgo más común fue la presencia de sílice (18 morfoespecies), destacando la predominancia de diatomeas y otros organismos con exoesqueletos resistentes. Le siguieron la presencia de flagelos (8 morfoespecies) y mucílago (5 morfoespecies), mientras que los rasgos menos frecuentes fueron los aerótopos (3 morfoespecies) y los heterocistos (2 morfoespecies) (Tabla 1).

Tabla 1*Rasgos categóricos del fitoplancton*

Rasgo morfológico	Morfoespecies
Sílice	<i>Amphipleura</i> sp1, <i>Aulacoseira distans</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Centrित्रactus</i> sp1, <i>Fragillaria</i> sp1, <i>Fragillaria</i> sp2, <i>Gyrosigma</i> sp1, <i>Navicula</i> sp1, <i>Navicula</i> sp2, <i>Navicula</i> sp3, <i>Pinnularia</i> sp1, <i>Pinnularia</i> sp2, <i>Pinnularia</i> sp3, <i>Stauroneis</i> sp1, <i>Surirella</i> sp1, <i>Synedra</i> sp1, <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Tabellaria</i> sp1
Flagelo	<i>Euglena</i> sp1, <i>Euglena</i> sp2, <i>Lepocinclis</i> sp1, <i>Phacus</i> sp1, <i>Trachelomonas hispida</i> , <i>Trachelomonas</i> sp1, <i>Trachelomonas</i> sp2, <i>Trachelomonas volvocina</i>
Heterocistos	<i>Anabaenopsis</i> sp1, <i>Dolichospermum</i> sp1
Aerótopos	<i>Anabaenopsis</i> sp1, <i>Arthrospira</i> sp1, <i>Dolichospermum</i> sp1
Mucilago	<i>Crucigenia tetrapedia</i> , <i>Crucigeniella</i> sp1, <i>Dictyosphaerium</i> sp1, <i>Dolichospermum</i> sp1, <i>Oocystis</i> sp1

4.2.2 Rasgos continuos

4.2.2.1 Volumen

Los organismos fitoplanctónicos en la ciénaga presentaron un volumen que varió entre 4,7 y 26286 μm^3 , con un promedio de 2251 μm^3 . Los valores más bajos estuvieron representados por las morfoespecies *Crucigenia tetrapedia* (23,80 μm^3) y *Monoraphidium* sp1 (77,18 μm^3), mientras que los valores más altos correspondieron a *Trachelomonas hispida* (12685 μm^3), *Aulacoseira granulata* (8192 μm^3), *Anabaenopsis* sp1 (7771 μm^3) y *Oscillatoria* sp1 (7760 μm^3). El ANOVA no mostro diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.65$) en el volumen entre estaciones, lo que se refleja en la distribución de los datos en el diagrama de cajas y bigotes (Figura 3).

En la estación Centro, el volumen osciló entre 64,66 y 14699 μm^3 (promedio: 1727 μm^3), destacándose *Desmodesmus* sp5 (92,39 μm^3), *Monoraphidium* sp1 (97,44 μm^3), *Crucigenia tetrapedia* (128,85 μm^3) y *Tabellaria fenestrata* (134,70 μm^3) como las morfoespecies con menores valores y *Dolichospermum* sp1 (9165 μm^3), *Euglena* sp1 (7925 μm^3) y *Lepocinclis* sp1 (6144 μm^3) con los mayores valores.

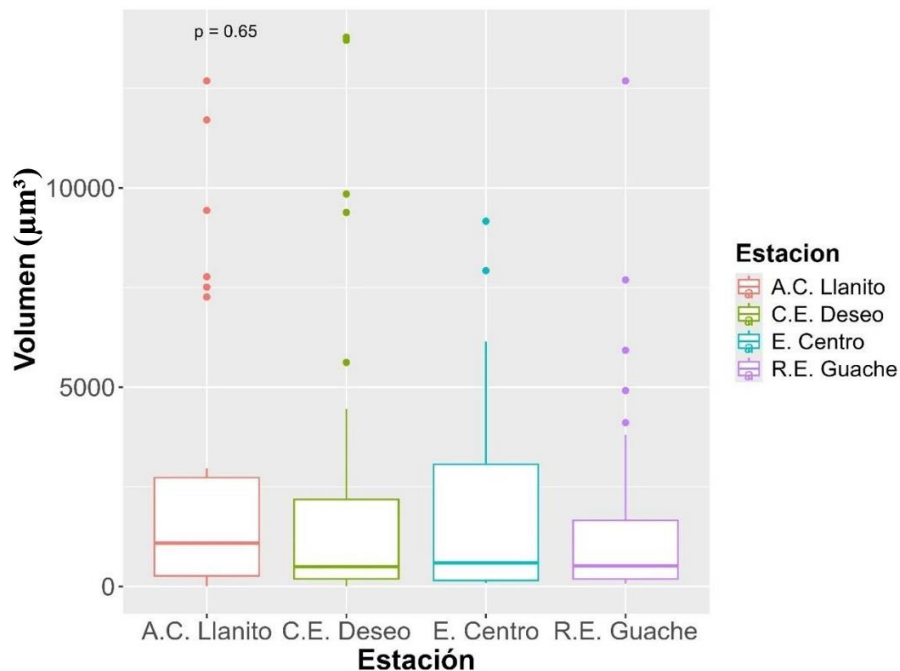
En el Rincón del Guache, el rango fue de 51,38 a 14607 μm^3 (promedio: 2532 μm^3), con valores mínimos de las morfoespecies *Tabellaria fenestrata* (73,68 μm^3), *Monoraphidium* sp1 (80,55 μm^3) y *Crucigenia tetrapedia* (99,08 μm^3), y valores máximos en *Trachelomonas hispida* (12685 μm^3), *Oscillatoria* sp1 (8709 μm) y *Aulacoseira granulata* (7695 μm^3).

En Caño El Deseo, los valores fluctuaron entre 5,87 y 22223 μm^3 (promedio: 2011 μm^3), registrándose los menores valores *Crucigenia tetrapedia* (13,16 μm^3) y *Monoraphidium* sp1 (55,11 μm^3), y los mayores valores *Anabaenopsis* sp1 (13783 μm^3) y *Trachelomonas* sp2 (13704 μm^3).

Finalmente, en la estación Antiguo Caño El Llanito, el volumen varió entre 4,7 y 26286 μm^3 (promedio: 2867 μm^3), con valores mínimos para *Crucigenia tetrapedia* (5,31 μm^3) y *Monoraphidium* sp1 (48,86 μm^3), y máximos para *Trachelomonas hispida* (12685 μm^3), *Euglena* sp1 (11708 μm^3) y *Oscillatoria* sp1 (9436 μm^3) (Figura 3).

Figura 3

Variabilidad del volumen del fitoplancton entre estaciones



4.2.2.2 Área superficial

Las medidas del área superficial en los organismos fitoplanctónicos en la ciénaga variaron de 24,32 a 14836 μm^2 , con un promedio de 1322 μm^2 . Las morfoespecies con menores valores fueron *Crucigenia tetrapedia* (65,58 μm^2) *Desmodesmus* sp5 (139,50 μm^2) y *Monoraphidium* sp1 (151,79 μm^2), mientras que *Anabaenopsis* sp1 (8623 μm^2), *Surirella* sp1 (7244 μm^2), *Dolichospermum* sp1 (4247 μm^2) y *Oscillatoria* sp1 (4132 μm^2) registraron los valores más altos. El ANOVA no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.52$) en el área superficial entre estaciones, lo que se evidencia en la distribución de los datos en el diagrama de cajas y bigotes (Figura 4).

En la estación Centro, el rango fue de 103,11 a 9924 μm^2 (promedio: 1041 μm^2), con valores más bajos para *Desmodesmus* sp5 (139,50 μm^2), *Cosmarium* sp1 (142,86 μm^2) y *Monoraphidium* sp1 (190,29 μm^2), y máximos para *Dolichospermum* sp1 (7040 μm^2), *Aulacoseira granulata* (2695 μm^2) y *Euglena* sp1 (2669 μm^2).

En el Rincón del Guache, los valores variaron entre 124,36 y 10282 μm^2 (promedio: 1466 μm^2), destacándose *Monoraphidium* sp1 (149,04 μm^2), *Tabellaria fenestrata* (152,50 μm^2) y *Cosmarium* (156,82 μm^2) como las de menor área superficial y *Dolichospermum* sp1 (4875 μm^2), *Oscillatoria* sp1 (4511 μm^2) y *Aulacoseira granulata* (3062 μm^2) como las de mayor.

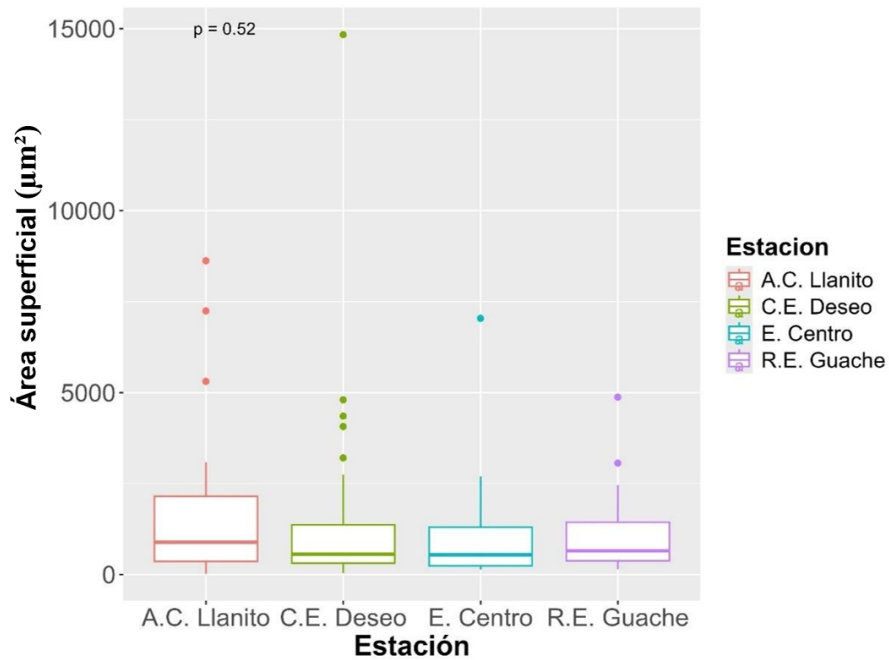
En Caño Deseo, el área osciló entre 30,93 y 14836 μm^2 (promedio: 1209 μm^2), con los valores más bajos para *Crucigenia tetrapedia* (53,36 μm^2), *Monoraphidium* sp1 (119,64 μm^2) y *Cosmarium* sp2 (153,49 μm^2), y los más altos para *Anabaenopsis* sp1 (14836 μm^2) y *Oscillatoria* sp1 (4803 μm^2).

En la estación Antiguo Caño El Llanito, el rango fue de 24,32 a 13938 μm^2 (promedio: 1637 μm^2), registrándose los menores valores para *Crucigenia tetrapedia* (26,86 μm^2) y

Monoraphidium sp1 (105,22 μm^2), y los mayores para *Anabaenopsis* sp1 (8623 μm^2), *Surirella* sp1 (7244 μm^2) y *Oscillatoria* sp1 (5308 μm^2) (Figura 4).

Figura 4

Variabilidad del área superficial del fitoplancton entre estaciones



4.2.2.3 Relación Superficie/Volumen (S/V)

La relación S/V en la ciénaga presentó un rango de 0,17 a 5,73 μm^{-1} , con un promedio de 1,26 μm^{-1} . Las morfoespecies con menores valores fueron *Trachelomonas hispida* (0,24 μm^{-1}), *Phacus* sp1 (0,29 μm^{-1}) y *Trachelomonas* sp2 (0,30 μm^{-1}), mientras que *Isthmochloron* sp1 (4,33 μm^{-1}) y *Crucigenia tetrapedia* (4,23 μm^{-1}) mostraron los valores más altos. El ANOVA no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.59$) en la relación S/V entre estaciones, lo que se evidencia en la distribución de los datos en el diagrama de cajas y bigotes (Figura 5).

En la estación Centro, la relación varió entre 0,29 y 3,13 μm^{-1} (promedio: 1,16 μm^{-1}), con valores más bajos para *Phacus* sp1 (0,30 μm^{-1}), *Oocystis* sp1 (0,34 μm^{-1}) y *Trachelomonas* sp2

(0,34 μm^{-1}) y más altos para *Navicula* sp1 (2,42 μm^{-1}), *Ankistrodesmus* sp1 (2,29 μm^{-1}) y *Monoraphidium* sp1 (1,97 μm^{-1}).

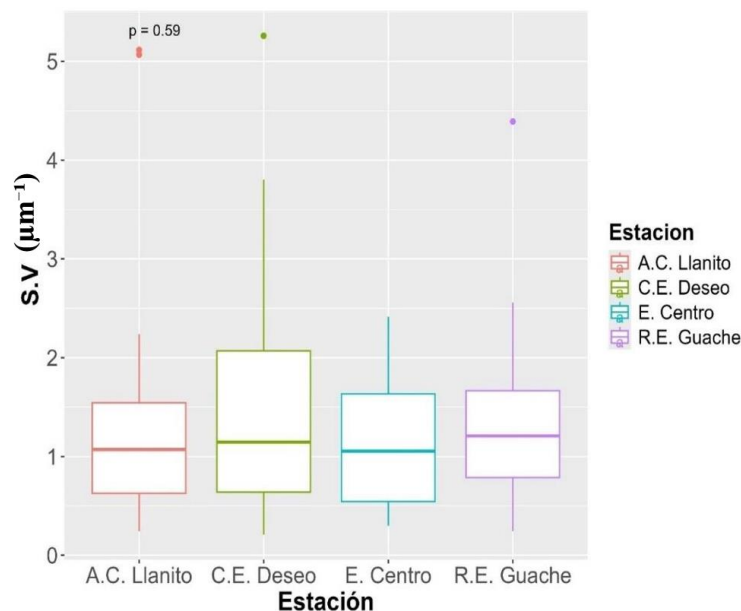
En el Rincón del Guache, el rango fue de 0,24 a 4,39 μm^{-1} (promedio: 1,07 μm^{-1}), con los menores valores en *Trachelomonas* hispida (0,24 μm^{-1}), *Phacus* sp1 (0,31 μm^{-1}) y *Euglena* sp1 (0,40 μm^{-1}) y los mayores en *Isthmochloron* sp1 (4,39 μm^{-1}) y *Ankistrodesmus* sp1 (2,56 μm^{-1}).

Para Caño Deseo, los valores estuvieron entre 0,21 y 4,38 μm^{-1} (promedio: 1,46 μm^{-1}), con valores mínimos para *Trachelomonas* sp2 (0,21 μm^{-1}), *Trachelomonas* volvocina (0,37 μm^{-1}) y *Euglena* sp1 (0,44 μm^{-1}), y valores máximos para *Crucigenia tetrapedia* (4,38 μm^{-1}), *Isthmochloron* sp1 (3,49 μm^{-1}) y *Actinastrum* sp1 (2,47 μm^{-1}).

En la estación Antiguo Caño El Llanito, la relación S/V varió entre 0,17 y 5,57 μm^{-1} (promedio: 1,28 μm^{-1}), registrándose los valores más bajos en *Trachelomonas* hispida (0,24 μm^{-1}), *Euglena* sp1 (0,26 μm^{-1}) y *Phacus* sp1 (0,27 μm^{-1}), y los más altos para *Isthmochloron* sp1 (5,12 μm^{-1}), *Crucigenia tetrapedia* (5,07 μm^{-1}) y *Fragilaria* sp1 (2,24 μm^{-1}) (Figura 5).

Figura 5

Variabilidad de la relación superficie/volumen del fitoplancton entre estaciones



4.2.2.4 Máxima Dimensión Lineal (MDL)

La MDL de los organismos fitoplanctónicos para la ciénaga varió entre 3,37 y 580,58 μm , con un promedio general de 56,77 μm . Las morfoespecies con menores valores en sus dimensiones fueron *Crucigenia tetrapedia* (5,31 μm), *Cosmarium* sp2 (9,24 μm) y *Desmodesmus* sp5 (10,51 μm), mientras que *Oscillatoria* sp1 (156,97 μm), *Dolichospermum* sp1 (121,79 μm) y *Aulacoseira granulata* (112,02 μm) presentaron los mayores valores. El ANOVA no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.69$) en la MDL entre estaciones, lo que se refleja en la distribución de los datos en el diagrama de cajas y bigotes (Figura 6).

En la estación Centro, el rango fue de 8,68 a 259,77 μm (promedio: 48 μm), con mínimos valores en *Crucigenia tetrapedia* (8,68 μm), *Desmodesmus* sp5 (10,51 μm) y *Desmodesmus* sp3 (11,26 μm) y máximos valores en *Dolichospermum* sp1 (190,56 μm), *Oscillatoria* sp1 (98,62 μm) y *Fragillaria* sp2 (95,81 μm).

En el Rincón del Guache, la MDL osciló entre 8,84 y 372,74 μm (promedio: 60,45 μm), destacándose *Crucigenia tetrapedia* (8,84 μm), *Cosmarium* sp2 (9,24 μm) y *Trachelomonas volvocina* (12,08 μm) con los menores tamaños y *Oscillatoria* sp1 (180,14 μm), *Dolichospermum* sp1 (136,92 μm) y *Aulacoseira granulata* (90,99 μm) con los mayores.

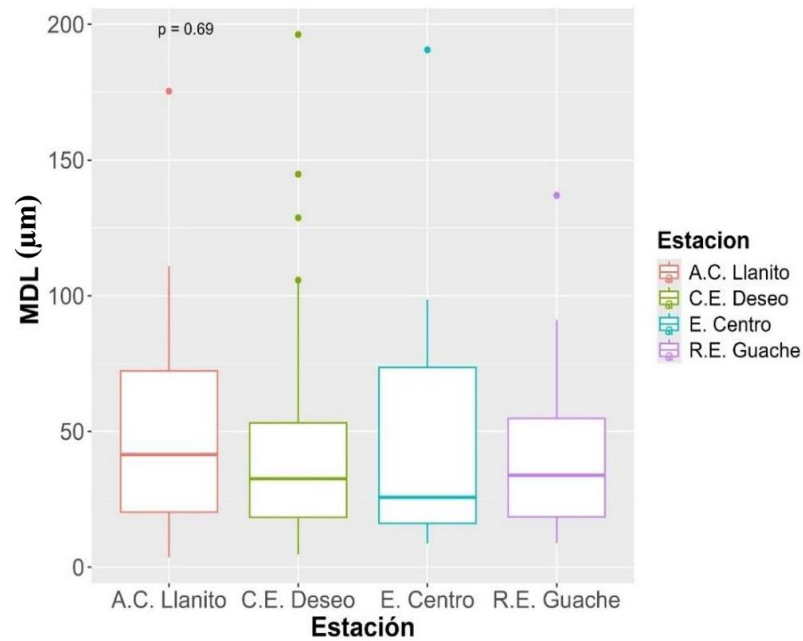
En Caño Deseo, los valores variaron entre 4,25 y 259,79 μm (promedio: 53,41 μm), con mínimos para *Crucigenia tetrapedia* (5,27 μm), *Cosmarium* sp2 (9,63 μm) y *Cosmarium* sp1 (10,67 μm) y máximos para *Oscillatoria* sp1 (196,20 μm), *Aulacoseira granulata* (144,78 μm) y *Dolichospermum* sp1 (128,71 μm).

Finalmente, en la estación Antiguo Caño El Llanito, el rango fue de 3,37 a 580,58 μm (promedio: 67,44 μm), con las menores dimensiones para *Crucigenia tetrapedia* (3,71 μm),

Cosmarium sp2 (8,44 μm) y *Crucigeniella* sp1 (12,2 μm), y las mayores para *Oscillatoria* sp1 (175,30 μm), *Pseudanabaena* sp1 (110,86 μm) y *Gyrosigma* sp1 (110,38 μm) (Figura 6).

Figura 6

Variabilidad de la máxima dimensión lineal del fitoplancton entre estaciones

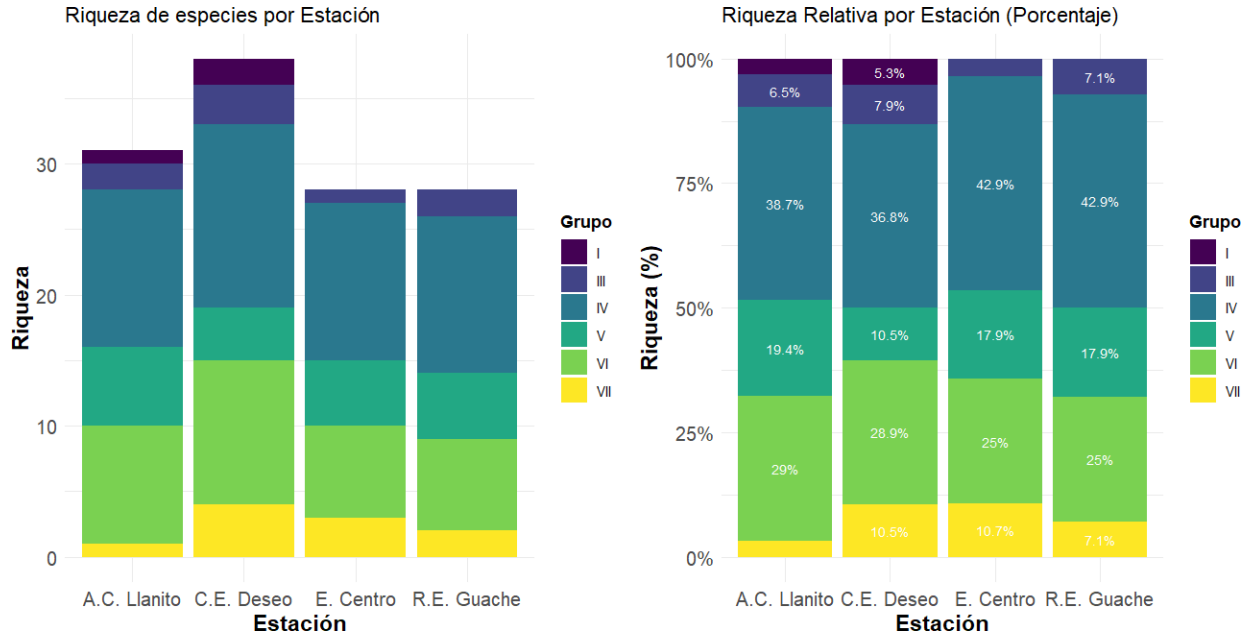


4.3 Grupos funcionales del fitoplancton

Las 55 morfoespecies identificadas, se clasificaron en seis de los siete grupos funcionales basados en morfología (GFBM) de Kruk et al. (2010), siendo el grupo II el único ausente en el estudio (Tabla 2). La mayor riqueza de especies se presentó en el GFBM IV (22 morfoespecies), seguido por el GFBM VI (18 morfoespecies) y el GFBM V (8 morfoespecies). Los grupos con menor riqueza fueron el GFBM III (3 morfoespecies), el GFBM VII (4 morfoespecies) y el GFBM I (2 morfoespecies) (Figura 7).

Figura 7

Distribución de la Riqueza total y relativa de los grupos funcionales (GFBM) por estación



El GFBM I, compuesto por organismos pequeños con alta relación superficie/volumen (S/V), adaptados para una rápida adquisición de recursos, presentó los valores más bajos de volumen (4,7 a 115,82 μm^3 , valor medio 26,93 μm^3) área (24,32 a 314,57 μm^2 , valor medio 89,23 μm^2) y MDL de (3,37 a 17,74 μm , valor medio 6,6 μm). No obstante, destacó por presentar la relación S/V más alta (2,71 a 5,73 μm^{-1} , valor medio 4,7 μm^{-1}). Este grupo incluyó solo dos especies, *Actinastrum* sp1 y *Crucigenia tetrapedia*, asociadas a formas geométricas cilíndricas y de cajas rectangulares, y con presencia de mucílago como rasgo categórico, ambas pertenecientes a la clase Trebouxiophyceae.

El GFBM III, compuesto por grandes organismos filamentosos con aerótopos y crecimiento lento, mostró la mayor dispersión de los datos y los valores más altos de volumen (1591 a 14699 μm^3 , valor medio 5418 μm^3), área (1127 a 14836 μm^2 , valor medio 4480 μm^2) y MDL (32,32 a 276,38 μm , valor medio 112,74 μm). En contraste la relación S/V fue baja (0,52 a

1,37 μm^{-1} , valor medio 0,86 μm^{-1}). Este grupo incluyó tres especies: *Anabaenopsis* sp1, *Arthrospira* sp1 y *Dolichospermum* sp1, asociadas a formas cilíndricas y esféricas, y la presencia de aerótopos como rasgo categórico, además de también presentar heterocistos y mucílago. Pertenecen a las clases de Cyanobacteria y Cyanophyceae.

El GFBM IV caracterizado por organismos de tamaño medio sin rasgos especializados, fue el grupo con mayor número de morfoespecies y los valores más altos de biovolumen. Sin embargo, no destacó en ninguna de sus medidas: volumen (40,94 a 26286 μm^3 , valor medio 1693 μm^3), área (98,62 a 13939 μm^2 , valor medio 1142 μm^2), relación S/V (0,39 a 5,12 μm^{-1} , valor medio 1,22 μm^{-1}) y MDL (8,44 a 580,58 μm , valor medio 67,16 μm). Este grupo incluyó especies como *Planktolyngbya* sp1, *Oscillatoria* sp1, *Pseudanabaena* sp1, *Closterium* sp1 y *Monoraphidium* sp2, asociadas a una gran variedad de formas geométricas (cilindros, esferas, esferas proladas, cajas rectangulares, dobles conos y prismas en forma de hoz). Los organismos de este grupo carecieron de rasgos categóricos y pertenecieron a las clases *Chlorophyceae*, *Cyanophyceae*, *Trebouxiophyceae*, *Xanthophyceae* y *Zygnematophyceae*.

El GFBM V, integrado por organismos flagelados de mediano y gran tamaño, mostró una alta varianza y valores elevados en volumen (680 a 21735 μm^3 , valor medio 4345 μm^3), área (374 a 3768 μm^2 , valor medio 1439 μm^2) y MDL (10,91 a 123,97 μm , valor medio 44,83 μm). Sin embargo, presentó los valores más bajos de relación S/V (0,17 a 0,73 μm^{-1} , valor medio 0,4 μm^{-1}). Incluyó ocho morfoespecies, entre ellas *Trachelomonas volvocina*, *Euglena* sp1, *Lepocinclis* sp1 y *Phacus* sp1, con formas esféricas y esferas prolatas. Todos los organismos del grupo presentaron flagelo y se encuentran agrupados en la clase *Euglenophyceae*.

El GFBM VI, conformado por organismos no flagelados con exoesqueleto de sílice, presentó valores de volumen (51,38 a 14607 μm^3 , valor medio 1194 μm^3), área (127 a 7244 μm^2 ,

valor medio 924 μm^2), relación S/V (0,38 a 3,13 μm^{-1} , valor medio 1,64 μm^{-1}) y MDL (12,24 a 177 μm , valor medio 45,33 μm). Este grupo incluyó 18 morfoespecies, destacando *Aulacoseira granulata*, *Tabellaria fenestrata*, *Fragilaria* sp2, *Navicula* sp3 y *Pinnularia* sp3, con predominancia de formas prismáticas en base elíptica. Todos los organismos presentaron sílice como rasgo categórico y pertenecieron a las clases de Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae y Xanthophyceae.

Tabla 2

Características morfológicas y taxonómicas de los grupos funcionales basados en morfología (GFBM)

MBFG	Descripción	Grupos taxonómicos	Taxa representativa	Volumen (μm^3)	Área (μm^2)	S/V (μm^{-1})	MDL (μm)	Aer	Fla	Muc	Het	Si
I	Organismos pequeños con relación S/V, adaptados a una rápida adquisición de	Trebouxiophyceae	<i>Crucigenia tetrapedia</i> ,	26.93	89.23	4.7	6,6	0	0	0.8	0	0
				4.7 - 116	24.32-314	2.71-5.73	3.37-17.74	0-1	0-1	0-1	0	0
III	Grandes filamentos con aerótopos, con crecimiento lento y alta relación S/V.	Cyanophyceae	<i>Arthrospira</i> , <i>Dolichospermum</i> , <i>Anabaenopsis</i>	5418	4480	0.8	112	1	0	0.79	0.06	0
				1591-14699	1127-14836	0.5-7.5	32.32 - 276	1	0	0-1	0-1	0
IV	Organismos de tamaño mediano, sin rasgos especializados, con tolerancia moderada a la escasez de recursos y baja a moderada de hundimiento	Chlorophyceae, Trebouxiophyceae, Zygnematophyceae, Cyanophyceae, Xanthophyceae	<i>Planktolyngbya</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Closterium</i> , <i>Desmodesmus</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Staurodesmus</i> , <i>Cosmarium</i> , <i>Staurastrum</i> , <i>Monoraphidium</i> , <i>Ankistrodesmus</i> , <i>Actinastrum</i> , <i>Isthmochloron</i> , <i>Coelastrum</i> , <i>Pediastrum</i>	1693	1142	1.22	67.16	0	0	0	0	0
				40.94-26286	98.62-13939	0.39-5.12	8.44-580	0	0	0	0	0
V	Flagelados Unicelulares de tamaño mediano a grande.	Euglenophyceae	<i>Trachelomonas volvocina</i> , <i>Trachelomonas hispida</i> , <i>Euglena</i> , <i>Phacus</i>	4345	1439	0.4	44.83	0	1	0	0	0
				680-21735	374-3768	0.17-0.73	10.91-124	0	1	0	0	0
VI	Organismos no flagelados con exoesqueleto de sílice, que brinda protección contra herbívoros.	Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Xanthophyceae	<i>Fragilaria</i> , <i>Tabellaria</i> , <i>Navicula</i> , <i>Aulacoseira</i> . <i>Pinnularia</i> , <i>Centritractus</i> , <i>Synedra</i> , <i>Surirella</i> , <i>Gyrosigma</i> ,	1194	924	1.64	45.33	0	0	0	0	1
				51.38-14607	127-7244	0.38-3.13	12.24-177	0	0	0	0	0
VII	Colonias mucilaginosas con control de flotabilidad, protección celular y defensa contra depredadores.	Trebouxiophyceae	<i>Oocystis</i> , <i>Crucigenia tetrapedia</i> , <i>Crucigeniella</i> , <i>Dictyosphaerium</i>	354	308	2.1	13.55	0	0	1	0	0
				10.37-3032	48.96-1039	0.34-4.72	4.71-43.57	0-1	0	1	0	0

Nota. Para las variables continuas: volumen (V), área de superficie (S), relación superficie/volumen (S/V) y máxima dimensión lineal (MDL) se

muestra el valor medio en gris y el intervalo en blanco. Además, se indica la presencia (1), ausencia (0) o variabilidad (0-1) de los rasgos categóricos:

Aerótopos (Aer), flagelos (Fla), mucílago (Muc), heterocistos (Het) y pared de sílice (Si), según Kruk et al. (2010).

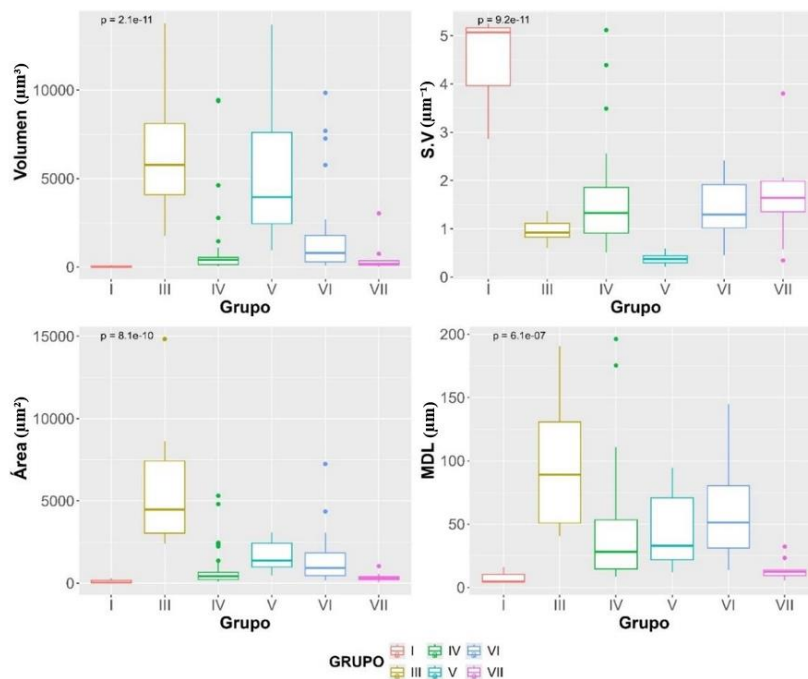
MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

El GFBM VII, compuesto por organismos de grandes colonias mucilaginosas, junto con el GFBM I, presentó los valores más bajos de volumen ($10,37$ a $3032 \mu\text{m}^3$, valor medio $354 \mu\text{m}^3$), área ($48,96$ a $1039 \mu\text{m}^2$, valor medio $308 \mu\text{m}^2$), relación S/V ($0,34$ a $4,72 \mu\text{m}^{-1}$, valor medio $2,1 \mu\text{m}^{-1}$) y MDL ($4,71$ a $43,57 \mu\text{m}$, valor medio $13,55 \mu\text{m}$). Este grupo incluyó cuatro morfoespecies: *Crucigenia tetrapedia*, *Crucigeniella* sp1, *Oocystis* sp1 y *Dictyosphaerium* sp1, con formas de cajas rectangulares, esferas y esferas proladas. Todos los organismos presentaron mucílago como rasgo característico y pertenecieron a la clase Trebouxiophyceae.

En general, los datos reflejan patrones consistentes con las características morfofuncionales de cada GFBM, mostrando diferencias estadísticamente significativas en la varianza del volumen, área, MDL y relación S/V que están en concordancia con la ecología y estrategias adaptativas de los organismos dentro de cada grupo (Figura 8).

Figura 8

Variabilidad de los rasgos continuos en los grupos funcionales del fitoplancton



MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

4.4 Biovolumen

En términos de biovolumen, el GFBM IV también fue el grupo más representativo con un total de $781195 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$ (valor medio de $15624 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$). Las especies *Oscillatoria* sp1 ($652222 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$), *Planktolyngbya* sp1 ($89518 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) fueron las principales contribuyentes dentro de este grupo. Le siguió el GFBM V, con un total de $588320 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$ (valor medio de $29416 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$), en el que *Euglena* sp1 ($158480 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) y *Trachelomonas volvocina* ($127953 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) fueron las especies con mayor aporte.

El GFBM III presentó un biovolumen total de $190647 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$ (valor medio de $23831 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) con *Dolichospermum* sp1 ($150486 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) como su principal contribuyente. A pesar de las pocas especies, el GFBM III mostró un biovolumen considerable. En contraste, los valores más bajos de biovolumen se registraron en el GFBM VI con $110276 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$ (valor medio de $3243 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) donde *Aulacoseira granulata* ($66689 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) represento el mayor aporte; el GFBM VII acumulo un total de $4,017 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$ (valor medio de $402 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) con *Oocystis* sp1 ($1879 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) como su principal especie; mientras el GFBM I represento el menor biovolumen con $403 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$ (valor medio de $134 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) principalmente por *Actinastrum* sp1 ($349 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) (Figura 9).

Las estaciones Caño El Deseo y Rincón del Guache fueron las que presentaron los valores más altos, alcanzando $644,103 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$ y $586,864 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$ respectivamente. En Caño El Deseo, las especies con mayor aporte fueron *Oscillatoria* sp1 ($286,632 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$), *Trachelomonas* sp2 ($76,096 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) y *Planktolyngbya* sp1 ($61,691 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$), mientras que en Rincón del Guache destacaron *Oscillatoria* sp1 ($220,039 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$), *Euglena* sp1 ($92,355 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) y *Phacus* sp1 ($82,884 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$).

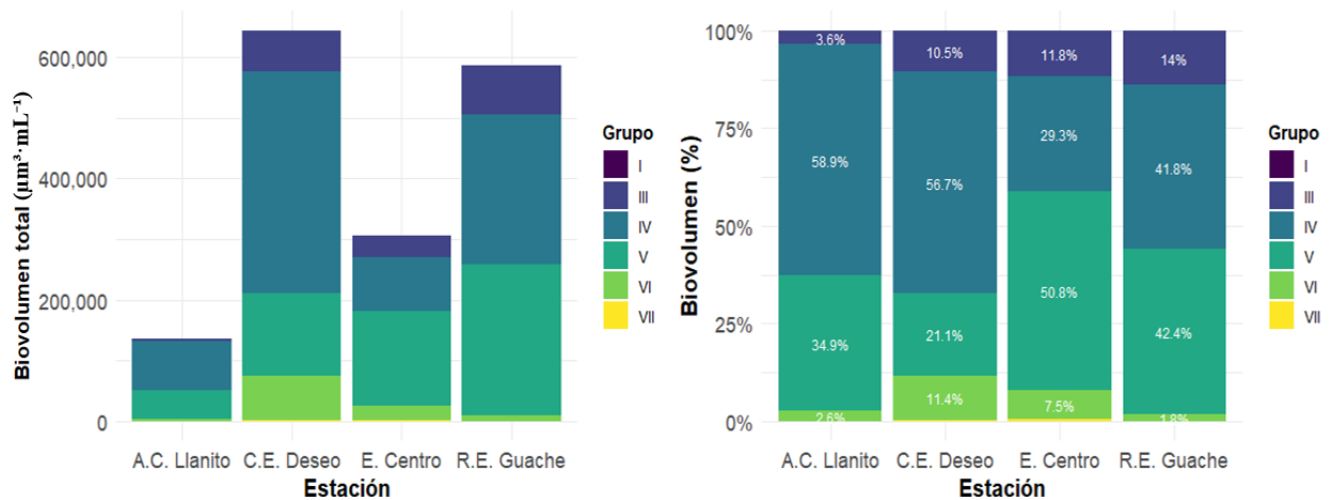
MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

Por otro lado, las estaciones con el biovolumen más bajo fueron El Centro, con $306,846 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$, y Antiguo Caño El Llanito, con $137,046 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$. En El Centro, las principales especies contribuyentes fueron *Oscillatoria* sp1 ($80,287 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) y *Trachelomonas volvocina* ($77,234 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$), mientras que en Antiguo Caño El Llanito predominaron *Oscillatoria* sp1 ($65,264 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) y *Euglena* sp1 ($19,154 \mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$).

Los GBMF IV y V fueron los que más aportaron al biovolumen en todas las estaciones, Caño El Deseo y Antiguo Caño El Llanito fueron las únicas en las que se registraron los seis GBFM identificados en el estudio. En contraste, en El Centro y Rincón del Guache no se encontraron organismos del GBFM I. Estos patrones de distribución y dominancia se ilustran claramente en la Figura 9, donde se visualiza la contribución de cada grupo al biovolumen.

Figura 9

Distribución del biovolumen total ($\mu\text{m}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) y relativo de los grupos funcionales (GBFM) por estación



4.5 Relación Variables Físicoquímicas y Morfología Funcional

El análisis de redundancia (RDA) explicó un 49.9% de la variabilidad en el eje 1 y un 27.1% en el eje 2. La evaluación de la multicolinealidad mediante la correlación de Spearman llevó a la eliminación de la mayoría de las variables físicoquímicas, quedando seleccionadas transparencia, conductividad, nitratos, PPMOD, DBO y dureza total.

Los efectos marginales indicaron que la transparencia fue la variable con mayor influencia ($\lambda = 0.56$), seguida de conductividad ($\lambda = 0.48$), nitratos ($\lambda = 0.43$), PPMOD ($\lambda = 0.35$), DBO ($\lambda = 0.27$) y dureza total ($\lambda = 0.27$). Sin embargo, ninguna de estas variables mostro una relación estadísticamente significativa con la comunidad fitoplanctónica ($p > 0.05$ en todos los casos). Esto sugiere que, aunque algunas variables parecen influir en la estructura del fitoplancton, no se encontraron asociaciones estadísticamente robustas, posiblemente debido al bajo número de estaciones de muestreo.

En cuanto a la distribución espacial, las estaciones mostraron patrones según las variables físicoquímicas asociadas. Los mayores valores de transparencia y nitratos se asociaron principalmente con la estación Caño El Deseo, mientras que valores altos de conductividad, dureza total y DBO estuvieron relacionadas con El Antiguo Caño El Llanito y El Rincón del Guache. Por su parte, la estación El Centro registro los valores más altos de PPMOD (Figura 10).

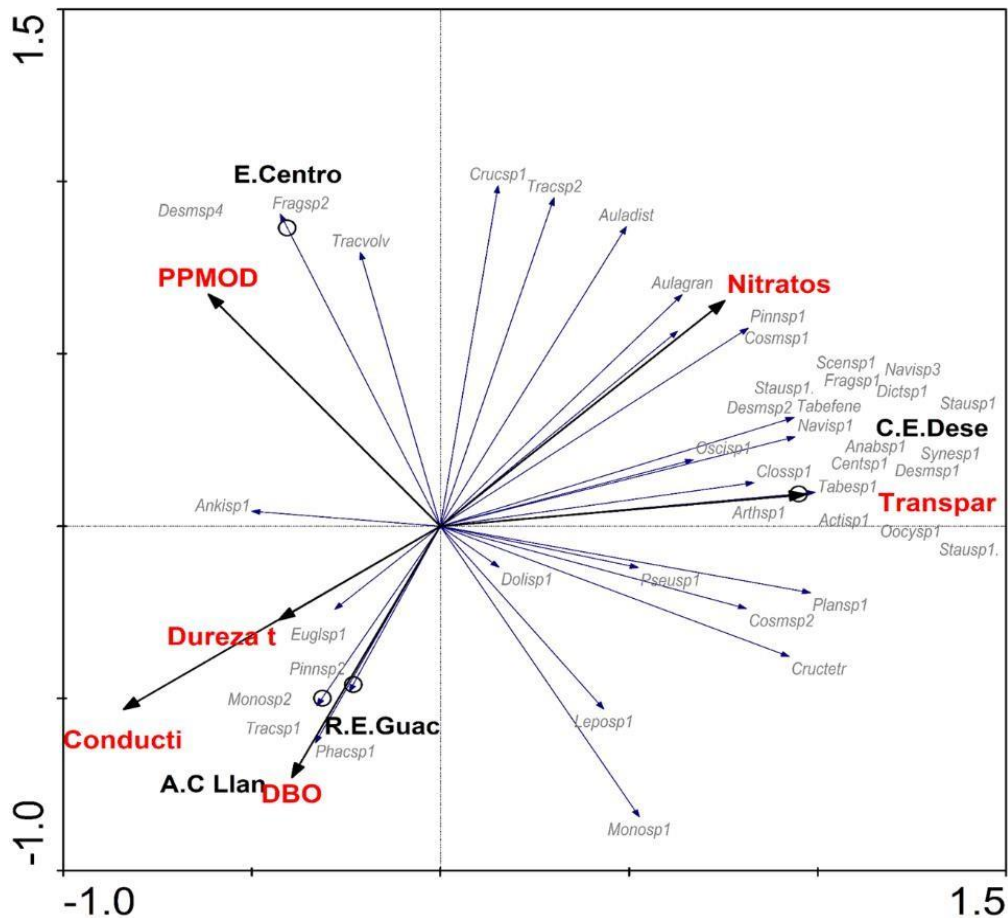
La ordenación de las especies en el RDA reveló que la mayoría estuvo influenciada por la transparencia, nitratos y bajos niveles de conductividad destacándose especies como por ejemplo *Tabellaria fenestrata*, *Anabaenopsis* sp1, *Fragilaria* sp1, *Closterium* sp1 y *Centrtractus* sp1. En contraste, especies como *Trachelomonas* sp1, *Euglena* sp1, *Phacus* sp1 y *Monoraphidium* sp2 se agruparon en dirección a la conductividad, dureza total, DBO y bajos niveles de transparencia y nitratos (Figura 10).

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

Otras especies como *Fragilaria* sp2, *Trachelomonas volvocina* y *Desmodesmus* sp4 estuvieron más relacionadas con PPMOD, mientras que *Monoraphidium* sp1, *Cosmarium* sp2 y *Planktolyngbya* sp1 se asociaron con bajos valores de PPMOD y mayor transparencia (Figura 10).

Figura 10

Análisis de Redundancia (RDA) que muestra la relación entre las variables fisicoquímicas y las morfoespecies de fitoplancton en diferentes estaciones



Finalmente, algunas especies como *Dolichospermum* sp1 no mostraron una relación clara con ninguna de las variables analizadas, lo que sugiere que su distribución podría estar influenciada por otros factores no considerados en este estudio. A pesar de que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas, el RDA mostro una fuerte segregación de especies en la estación

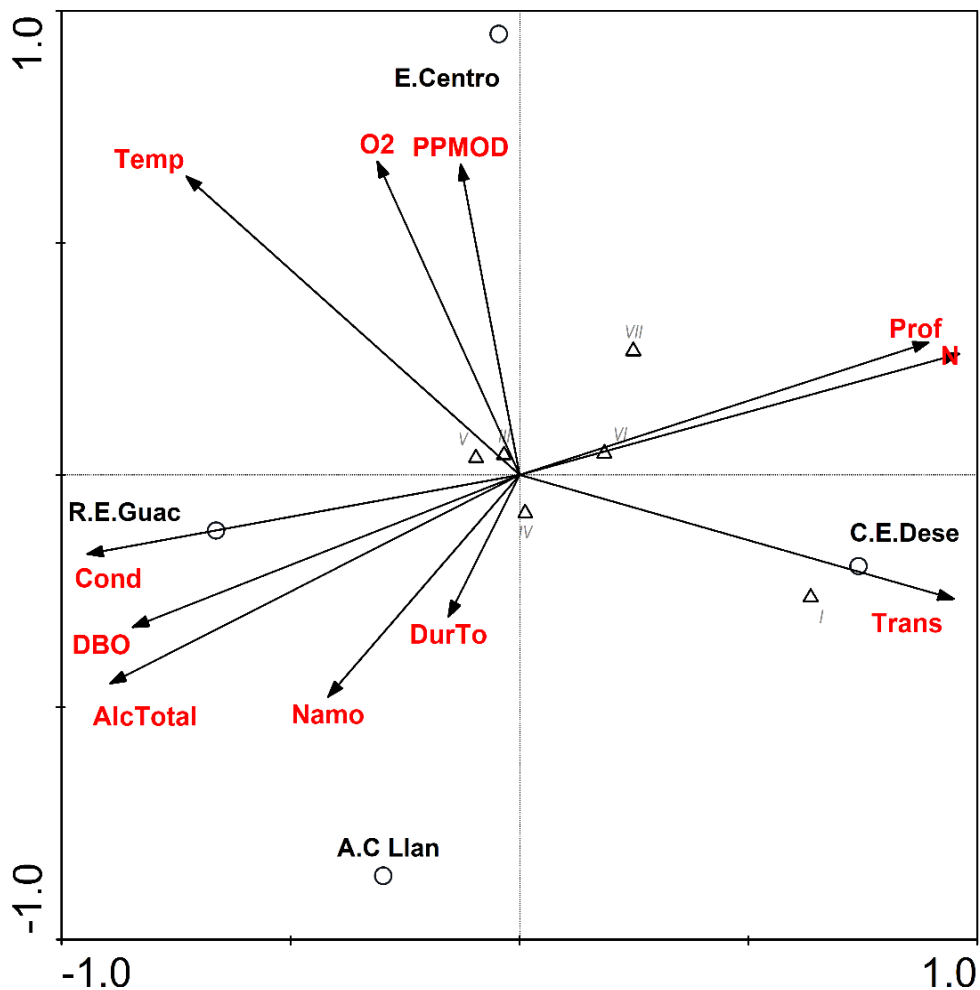
MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

Caño El Deseo, donde la transparencia fue el principal factor asociado a su distribución (Figura 10).

Complementariamente, el análisis de correspondencia canónica (CCA) enfocado en los grupos funcionales tampoco mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Los efectos marginales señalaron que las variables fisicoquímicas de nitratos, transparencia, conductividad, alcalinidad total, profundidad y DBO presentaron valores similares de influencia ($\lambda = 0.03$).

Figura 11

Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) que muestra la relación entre las variables fisicoquímicas y los grupos funcionales del fitoplancton en diferentes estaciones



MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

La ordenación espacial mostró una separación entre estaciones al igual que en el RDA. La estación Caño El Deseo se asoció con mayor transparencia y nutrientes, favoreciendo la representación de los grupos I y VI. Por su parte Rincón del Guache y Antiguo Caño el Llanito se vinculó con mayores niveles de conductividad, alcalinidad y DBO, mientras El Centro estuvo más influenciado por valores altos de oxígeno disuelto y temperatura. No obstante, los grupos morfofuncionales dominantes (III, IV y V) se presentaron en todas las estaciones, sin asociarse de manera específica con ninguna variable ambiental (Figura 11).

5. Discusión

5.1 Composición y estructura del fitoplancton

La comunidad fitoplanctónica en la Ciénaga El Llanito se caracterizó por una alta riqueza de especies, siendo Chlorophyta y Bacillariophyta los phyla con mayor número de morfoespecies registradas, mientras que Euglenophyta, Cyanobacteria y Ochrophyta presentaron una menor riqueza. Este patrón coincide con otros sistemas tropicales, donde Chlorophyta tiende a presentar una alta diversidad morfológica y ecológica, que le permite ocupar una variedad de nichos gracias a su plasticidad adaptativa, que no se traduce necesariamente una dominancia en términos densidad o biovolumen (Roldán & Ramírez, 2008; Marciales-Caro et al., 2012; Dalu et al., 2022) Podemos observar algunas de las morfoespecies más representativas en el Apéndice C.

Asimismo, los valores más alto de densidad y biovolumen corresponden al phylum Cyanobacteria, dominado marcadamente por *Planktolyngbya* sp1 y *Oscillatoria* sp1. Esta predominancia indica que las condiciones ambientales de la ciénaga como la escasa circulación de agua, la alta disponibilidad de nutrientes y temperaturas elevadas (Apéndice B), favorecen su

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

proliferación, coincidiendo con estudios previos que vinculan estos factores con el dominio de cianobacterias (Lucena, 2008; Uriza et al., 2017). Además, su capacidad de producir toxinas y su bajo valor nutritivo les confiere una ventaja competitiva, al reducir la presión por herbivoría y permitirles mantenerse como organismos dominantes en estos ecosistemas (Whitton & Pott, 2007).

Estas características reflejan una combinación de estrategias C y R dentro del modelo de Reynolds (1988). Particularmente *Planktolyngbya* sp1 y *Oscillatoria* sp1 presentan rangos intermedios que sugieren una notable flexibilidad ecológica. Por un lado mostrando rasgos típicos de estrategias C, como alta capacidad de colonización y rápida adquisición de recursos en ambientes estables y ricos en nutrientes; por otro, también comparten características de estrategias R, que se adaptan mejor en entornos dinámicos. Esta plasticidad funcional les permite aprovechar eficientemente distintos niveles de productividad, lo que explica en parte su éxito competitivo en el ecosistema (Reynolds, 2006).

A nivel espacial, Caño El Deseo fue la estación que presentó la mayor riqueza y densidad de especies. En esta estación se registraron los mayores valores de transparencia, concentración de nitratos y profundidad, identificados en el RDA y CCA como las variables con mayor influencia en la estructura fitoplanctónica. Estas condiciones facilitan la penetración de luz y el acceso a nutrientes, generando microhábitats diversos que promueven la coexistencia y el crecimiento de los distintos grupos funcionales (Mellard, 2011).

5.2 Rasgos funcionales del fitoplancton

En cuanto a la distribución de los rasgos categórico, se observó que los más prevalentes fueron la presencia de exoesqueleto de sílice y flagelos (Tabla 1). El rasgo de la pared silíceo, característico de las diatomeas del grupo VI, confiere ventaja frente al pastoreo y, junto con la formación de colonias y filamentos, mejora la captación de luz (Padisak et al., 2003). Por otro

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

lado, la presencia de flagelos, predominante en el grupo V, dota a estos organismos de una notable motilidad que les permite desplazarse en función del flujo ambiental para buscar alimento o evadir depredadores (Guasto et al., 2012). Estas características ofrecen ventajas competitivas que se consideran rasgos distintivos en ecosistemas como humedales y lagos de alta montaña, donde juegan un papel fundamental en la adaptación y supervivencia de los organismos (Muñoz-López, 2017; Zabala-Agudelo, 2019; Hernández, 2020).

En cambio, para los rasgos continuos, las especies con mayores valores de volumen y área superficial pertenecieron a grupos III y V, conformado por organismos filamentosos resistentes a la depredación y flagelados unicelulares de mediano y gran tamaño. En contraste, organismos con una alta relación S/V como el grupo I, están más relacionados con ambientes oligotróficos, lo que podría representar una desventaja competitiva en condiciones eutróficas como las de la ciénaga (Kruk et al., 2010).

5.3 Grupos funcionales y biovolumen

El GFBM IV, caracterizado por organismos sin rasgos especializados y alta flexibilidad ecológica, fue el más representativo en términos de riqueza y biovolumen. Este grupo incluye a las especies *Planktolyngbya* sp1 y *Oscillatoria* sp1. Su éxito puede estar relacionado con su alta eficiencia en la captación de recursos y su capacidad de proliferación en sistemas eutróficos con alta disponibilidad de luz y nutrientes (Kruk et al., 2010; Marciales-Caro et al., 2012).

El GFBM V compuesto por flagelados de tamaño mediano a grande como *Euglena* sp1 y *Trachelomonas volvocina*, también presentó valores elevados de biovolumen, atribuibles a su capacidad de movimiento que les permite regular su posición en la columna de agua para acceder a zonas con mejores condiciones de luz y nutrientes (Guasto et al., 2012). Su plasticidad mixotrófica les permite complementar la fotosíntesis mediante la incorporación de materia

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

orgánica disuelta, representado una ventaja en ambientes con alta carga orgánica, donde este recurso es abundante; lo que favorece su capacidad para explotar microambientes con mayor disponibilidad de nutrientes y menor competencia por luz, explicando así su alta presencia en todas las estaciones (Reynolds, 1997; Kruk et al., 2010).

En contraste, los grupos funcionales I y VII registraron valores muy bajos de biovolumen, evidenciando que las condiciones locales no favorecen la proliferación de organismos pequeños con alta S/V o grandes colonias mucilaginosas, que suelen dominar en sistemas lumínicos amplios, con moderada concentración de nutrientes y menor presión por herbivoría (Kruk et al., 2010; Muñoz-López, 2017; Hernández et al., 2020).

A nivel espacial, las estaciones mostraron diferencias notables en el biovolumen fitoplanctónico entre las estaciones. Caño El Deseo y Rincón del Guache presentaron los valores más altos, mientras que El Centro y Antiguo Caño El Llanito mostraron los más bajos. Estas diferencias se atribuyeron no solo a la variación en la disponibilidad de luz y nutrientes, sino por presiones antrópicas locales. Por ejemplo, Caño El Deseo, como drenaje principal de la ciénaga, exhibe condiciones óptimas para el crecimiento y una alta dispersión de especies, lo que se refleja en una mayor riqueza y heterogeneidad ambiental. En contraste Antiguo Caño El Llanito a pesar de compartir características fisicoquímicas similares con Rincón del Guache como se observa en la figura 9, se detectó un alto contenido de materia orgánica derivado de macrófitas que probablemente dificultan el crecimiento y expansión de la comunidad. Por otro lado, El Centro, el área más profunda y próxima a afluentes de infraestructura petrolera, podría estar sometida a condiciones ambientales menos favorables para la proliferación de organismos fotosintéticos, como menor penetración lumínica por turbidez, presencia de hidrocarburos o metales pesados, y

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

alteraciones en la calidad del agua, lo que explicaría sus bajos valores de biovolumen (Dulcey, 2012; Solano, 2021).

5.4 Relación entre las variables fisicoquímicas y la estructura del fitoplancton

Los análisis multivariados indicaron que la transparencia y nitratos fueron las variables con mayor influencia en la comunidad fitoplanctónica, asociándose principalmente con Caño El Deseo. La transparencia favorece la penetración de la luz, lo que promueve la proliferación de organismos fotosintéticos, mientras que la disponibilidad de nitratos impulsa el crecimiento de especies de rápido desarrollo como las cianobacterias (Whitton & Pott, 2007; Uriza et al., 2017). Así mismo tampoco se encontró una asociación marcada de los grupos morfofuncionales dominantes (III, IV y V) ya que se presentaron en todas las estaciones, sin asociarse de manera específica con ninguna variable ambiental. Esta distribución homogénea puede explicarse por las condiciones ambientales generales de la ciénaga, caracterizadas por una alta carga de nutrientes y materia orgánica, que generan un ambiente eutrófico propicio para su persistencia. Es importante destacar que estos efectos no fueron estadísticamente significativos, probablemente debido al reducido número de estaciones muestreadas, es importante reconocer el valor de estos resultados preliminares, ya que permiten identificar patrones. A pesar de sus limitaciones, los hallazgos coinciden con estudios previos que han indicado que altos niveles de materia orgánica y nutrientes favorecen la dominancia de ciertos grupos funcionales, en particular de las Cyanophyceae y Euglenophyceae (Reynolds, 1997; Chaffin & Bridgeman, 2014; Zabala-Agudelo, 2019)

Por otro lado, la conductividad, la dureza total y la DBO mostraron una mayor relación con las estaciones de Antiguo Caño El Llanito y Rincón del Guache, lo cual podría deberse a la cercanía entre las estaciones. Esta asociación también podría estar indicando un mayor impacto antropogénico en estas áreas. Se observó una alta presencia de macrofitas, que ocasiono el cierre

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

del antiguo afluente, reduciendo la incidencia de luz y la disponibilidad de nutrientes para las algas. La elevada DBO estaría indicando un alto contenido de materia orgánica biodegradable, posiblemente derivada de la descomposición de la biomasa de macrófitas, lo que podría estar favoreciendo la proliferación de organismos mixotróficos y cianobacterias.

Los parámetros analizados muestran una relación con la composición del fitoplancton, confirmando que las condiciones ambientales locales son determinantes en la organización de estas comunidades. Factores como los cambios en la disponibilidad de luz, la concentración de materia orgánica y los ciclos de nutrientes modulan las interacciones que definen dónde y cuántas especies pueden prosperar. Este vínculo resalta que incluso fluctuaciones menores en estos factores pueden alterar drásticamente el equilibrio del ecosistema, lo que subraya la importancia de implementar programas de seguimiento constante y detallado para anticipar impactos en su biodiversidad y funcionamiento (Mellard, 2011; Marciales-Caro et al., 2012; Dalu et al., 2022).

6. Conclusiones

La comunidad fitoplanctónica de la Ciénaga El Llanito presentó una alta riqueza de especie, dominada por Chlorophyta y Bacillariophyta. No obstante, en densidad y biovolumen destacaron las Cianobacterias, particularmente los géneros *Planktolyngbya* y *Oscillatoria*. Este patrón sugiere que, aunque Chlorophyta y Bacillariophyta contribuyen significativamente a la riqueza taxonómica, las Cianobacterias dominan en biomasa debido a su alta capacidad de adaptación a condiciones eutróficas.

A nivel espacial, Caño El Deseo registró la mayor riqueza y biovolumen fitoplanctónico, posiblemente favorecido por su ubicación junto al drenaje principal, lo que facilita el arrastre de

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

especies, así como por sus mayores valores de transparencia y concentración de nitratos, condiciones que promueven la coexistencia de múltiples especies y grupos funcionales. En contraste, Antiguo Caño El Llanito mostro los valores más bajos, probablemente debido a la abundante presencia de macrófitas, que pudrían haber limitado la incidencia de luz a la columna de agua y generado una competencia por nutrientes.

A pesar de que los análisis no indicaron diferencias significativas, permitieron reconocer que la transparencia, los nitratos y la conductividad fueron las variables ambientales con mayor influencia. Esto, podría indicar que en esta ciénaga se está favoreciendo la proliferación de especies fotosintéticas de rápido crecimiento como *Planktolyngbya* sp1, *Oscillatoria* Sp1, *Euglena* sp1 y *Tachelomonas* sp1.

Aunque no se puede descartar que la estructura y dinámica del fitoplancton en la ciénaga estén reguladas por procesos estocásticos, los resultados obtenidos permiten reconocer patrones iniciales que orienten futuras investigaciones con mayor esfuerzo de muestreo y variables complementarias. Este estudio resalta la importancia de monitorear la estructura funcional del fitoplancton para la gestión de sistemas acuáticos. La predominancia de especies de Cianobacterias sugiere condiciones de alta eutrofización, lo que implica que los esfuerzos de conservación deben centrarse en controlar el exceso de nutrientes y mejorar la calidad del agua, a fin de prever floraciones nocivas y preservar tanto la diversidad como la funcionalidad del ecosistema.

7. Recomendaciones

Se recomienda establecer un programa de monitoreo continuo que incluya no solo la composición y abundancia del fitoplancton, sino también su diversidad funcional, lo que permitirá

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

identificar tendencias a largo plazo y evaluar la efectividad de las medidas de manejo implementadas. Este monitoreo debe integrar variables ambientales adicionales, como factores hidrodinámicos, y considerar las interacciones del fitoplancton con comunidades como el zooplancton para ofrecer una comprensión más integral de las dinámicas ecosistémicas.

Es crucial aumentar el número de estaciones de muestreo para capturar patrones espaciales más detallados y abordar la heterogeneidad del ecosistema. Asimismo, se sugiere incrementar la frecuencia de muestreo durante diferentes períodos hidrológicos para reflejar de manera más precisa la variabilidad estacional en la composición y abundancia del fitoplancton, considerando la influencia de las transiciones entre periodos de aguas altas y bajas.

Dado el impacto potencial de las actividades humanas en la Ciénaga El Llanito, es fundamental realizar estudios detallados para evaluar cómo la agricultura, la industria y las urbanizaciones están afectando la estructura de la comunidad fitoplanctónica y la calidad del agua. Esto incluye analizar la relación entre las entradas de nutrientes y contaminantes derivados de estas actividades y los cambios observados en las comunidades fitoplanctónicas.

Por último, se sugiere incorporar modelos predictivos que consideren escenarios futuros de cambio climático y desarrollo humano, los cuales ayudarán a anticipar posibles impactos en la comunidad fitoplanctónica y en la funcionalidad del ecosistema, facilitando la toma de decisiones informadas en el manejo y conservación de la Ciénaga El Llanito.

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

Referencias Bibliográficas

- Agudelo, A. M. Z., & Atilano, E. H. (2017). Diagnóstico ambiental de la Ciénaga de Ayapel a través de la variación temporal de los aspectos morfo funcionales del fitoplancton y un indicador de calidad ecológica.
- Almanza, V., Parra, O., Bicudo, D. M., Carlos, E., González, M. A., Lopez, M., & Urrutia, R. (2016). Floraciones de fitoplancton y variación de la estructura comunitaria fitoplanctónica en tres lagos someros eutróficos de Chile Central. *Gayana. Botánica*, 73(2), 191-205.
- Amorim, C. A., Valença, C. R., de Moura-Falcão, R. H., & do Nascimento Moura, A. (2019). Seasonal variations of morpho-functional phytoplankton groups influence the top-down control of a cladoceran in a tropical hypereutrophic lake. *Aquatic Ecology*, 53(3), 453-464.
- APHA (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC.
- Barber, H.G. y Haworth, E.Y. (1981). A guide to the morphology of the diatom frustule. *Freshwat. biol. Assoc. Scient. Pub.* 44, pp 112.
- Barón, R., & Samanta, J. (2008). Dinámica espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica durante eventos de surgencia, en la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano.
- Barón Ruíz, O. J. (2015). Modelación matemática de tres posibles escenarios de operación de un embalse y su efecto en la dinámica hídrica aguas abajo, caso: Hidrosogamoso y la comunidad de peces de la Ciénaga El Llanito (Barrancabermeja, Colombia).

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

- Beltrán Vargas, J. E. (2016). Modelación de la producción primaria fitoplanctónica en el humedal Jaboque, Bogotá DC. *Tecnura*, 20(47), 85-95.
- Betancourth, B. L., Arismendy, M. M., Duque, S. R., & López, W. (2008). Caracterización de la comunidad fitoplanctónica de la cienaga de San Sebastián, Complejo Ciénago del Bajo Sinú, departamento de Córdoba--Colombia. *Revista de Ciencias*, 12, 11-31.
- Brasil, J., & Huszar, V. L. (2011). The role of the functional traits on the phytoplankton ecology in inland waters. *Oecol Aust*, 15, 799-834.
- Burton, A. G., & ISA, I. E. (1980). Proyecto hidroeléctrico Sogamoso: estudio de factibilidad adicional.
- Castellanos, C. A. (2001). Los ecosistemas de humedales en Colombia. *Luna Azul*, 13, vol. 13.
- Castellanos, C. A., Chamarravi, N., Castañeda, E., Galvis, F., & Cepeda, E. (2011). Variación espacio-temporal de la cobertura vegetal en la microcuenca El Llanito, Santander, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 15(2), 60- 68.
- Chaffin, J. D., & Bridgeman, T. B. (2014). Organic and inorganic nitrogen utilization by nitrogen-stressed cyanobacteria during bloom conditions. *Journal of applied phycology*, 26, 299-309.
- Comas, A. (1996). Las Chlorococcales Dulceacuícolas de Cuba. *Bibliotheca Phycologica*.
- Cox, E. (1996). Identification of freshwater diatoms from live material. 1st edition. Chapman y Hall. Oxford, pp. 156.
- 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, 159-176.

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

- Cuartas-Calle, C. A., Álvarez-Dávila, E., & Cogollo, A. (2015). Ecología de humedales del Magdalena Medio: el caso del Complejo de Ciénagas de Cachimbero, Caño Negro, La Chiquita y El Encanto en Cimitarra, Santander (Colombia).
- Dalu, T., Mwedzi, T., & Wasserman, R. J. (2022). Phytoplankton dynamics. In *Fundamentals of Tropical Freshwater Wetlands* (pp. 189-219). Elsevier.
- Demetrio, P. M., Iturburu, F. G., Collins, P. A., Menone, M. L., Venturino, A., Temporetti, P. F., & Speroni, A. R. (2022). Metodología para derivar niveles guía para la protección de la biodiversidad acuática. *Ecología Austral*, 32(1-bis), 258-272.
- Díaz, M. R., & G. Rueda. (2006). Propuesta teórica para la deseutroficación de la Ciénaga San Silvestre. Universidad Industrial de Santander.
- Dulcey, U. J. (2012). Variación de la biomasa, productividad primaria y diversidad fitoplanctónica ante el fenómeno el niño-la niña en un lago de inundación tropical (Ciénaga El Llanito, Colombia) (Doctoral dissertation, Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Colombia).
- Ettl, H. (1983). Chlorophyta: I Phytomonadina. Stuttgart: G. Fischer.
- García, L. C., & Dister, E. (1990). Operación El Dorado: Restauración y conservación de hábitats de la planicie de inundación del medio-bajo Magdalena. *Interciencia*, 15(6).
- Galvis Moncada, A. M. (2023). Evaluación de la calidad del agua de la fuente hídrica Ciénaga San Silvestre, en la desembocadura de la quebrada el Zarzal en jurisdicción del municipio de Barrancabermeja-Santander.
- Gavilán-Díaz, R. A. (2000). Limnologia comparativa de três lagoas neotropicais da Bacia do Magdalena Médio Santandereano (Colômbia), com ênfase no estudo da diversidade da comunidadezooplanctônica e sua relação com a dinâmica hidrológica do sistema regional.

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

- Gonzalez S. M. y Inostroza D. (2017). Manual taxonómico y fotográfico de géneros fitoplanctónicos (excl. Diatomeas) de 7 lagunas del Gran Concepción, Concepción, Chile. 172 págs.
- Guasto, J. S., Rusconi, R., & Stocker, R. (2012). Fluid mechanics of planktonic microorganisms. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 44(1), 373-400.
- Hernández Atilano, E., Palacio Baena, J. A., Aguirre Ramírez, N. J., Ramírez Restrepo, J. J., Guisande González, C., Duque, S. R., ... & Mogollón Arismendy, M. J. (2012). Rasgos morfológicos del fitoplancton en seis sistemas leníticos de las regiones Amazónica, Andina y Caribe de Colombia.
- Hernández, E., Aguirre, N., Palacio, K., Palacio, J., Ramírez, J. J., Duque, S. R., ... & Kruk, C. (2020). Clasificación de grupos morfofuncionales del fitoplancton en seis sistemas lénticos de las regiones Caribe, Andina y Amazónica de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 392-406.
- Hillebrand, H., Dürselen, C. D., Kirschtel, D., Pollinger, U., & Zohary, T. (1999). Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of phycology*, 35(2), 403-424.
- Harrell, F. E., & Dupont, C. (2024). *Hmisc: Harrell Miscellaneous*. CRAN.
- Huber-Pestalozzi, G. (1955). Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und biologie. 4. Teil. Euglenophyceen. In: Die Binnengewässer...Band 16, 4. Teil. (Thienemann, A. Eds), pp. [i]-ix, 1-606. Stuttgart: E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

- Komárek, J. (1974). The morphology and taxonomy of crucigenoid algae (Scenedesmaceae, Chlorococcales). *Archiv für Protistenkunde* 116: 1-74.
- Komárek, J. (1983). Contributions to the Chlorococcal algae of Cuba. *Nova Hedwigia* 37: 65-180.
- Komárek, J. y Anagnostidis, K. (2005). Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales, pp. 1-759. In: B. Bridel; G.L. Gastner y M.S. Krienitz (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 19/2. London, *Elsevier*.
- Komárek, J. y Foot, B. (1983). Das Phytoplankton des Süßwassers Systematik und Biologie. 7. Teil: Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales, pp. 1-1044. In: H.J. Elster y W. Ohle (eds.). *Die Binnengewässer*. Stuttgart, Begründet von August Thienemann
- K. P., Atilano, E. H., Mesa, G. P., Ramírez, N. A., & Macías, F. V. (2019). Características morfológicas de las cianobacterias y fitoplancton dominante en tres embalses de Antioquia: un enfoque basado en la forma y el biovolumen. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2).
- Kruk, C., Devercelli, M., Huszar, V. L., Hernandez, E., Beamud, G., Diaz, M., ... & Segura, A. M. (2017). Classification of Reynolds phytoplankton functional groups using individual traits and machine learning techniques. *Freshwater Biology*, 62(10), 1681-1692.
- Kruk, C., Huszar, V. L., Peeters, E. T., Bonilla, S., Costa, L., Lüring, M., ... & Scheffer, M. (2010). A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater biology*, 55(3), 614-627.
- Legendre, P., & Gallagher, E. D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129, 271-280.
- Lewis Jr, W. M. (1976). Surface/volume ratio: implications for phytoplankton morphology. *Science*, 192(4242), 885-887.

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

- Lins, R. P. M., de Ceballos, B. S. O., Lopez, L. C. S., & Barbosa, L. G. (2017). Phytoplankton functional groups in a tropical reservoir in the Brazilian semiarid region. *Revista de Biología Tropical*, 65(3), 1129-1141.
- López Sánchez, J. M. (2016). Explorando la incidencia del capital social y de las instituciones informales en las dinámicas socioecológicas de una comunidad pesquera continental: el caso de la pesquería del Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en la Ciénaga El Llanito, Barrancabermeja, Santander, Colombia.
- Lucena, E. (2008). Aspectos sanitarios de las cianotoxinas. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 8, 291-302.
- Lund, J.W., C. Kippling & E.D. Le Creen. (1958). The inverted microscope method of estimation algal numbers and the statistical basis of estimation by counting. *Hydrobiologia*, 11: 143-170.
- Marciales Caro, L. J. (2012). Diversidad de grupos funcionales basados en la morfología del fitoplancton en humedales de la Orinoquia colombiana—Functional group diversity based on the morphology of phytoplankton in wetlands of the colombian orinoquia.
- Margalef, R. (1993). *Limnología*. Barcelona: Ediciones Omega
- Margalef, R. (1978). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica acta*, 1(4), 493-509.
- Martinez-Silva, P., Delgado-Fonseca, J. F., & Muñoz-Yustres, J. L. (2016). Diversidad de Géneros del Fitoplancton del embalse de Betania—Huila y su importancia como bioindicadores—Diversity of Phytoplankton genera of the Betania-Huila reservoir and its importance as bioindicators. *Revista científica*, 2(25), 241-251.

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

- Mellard, J. P., Yoshiyama, K., Litchman, E., & Klausmeier, C. A. (2011). The vertical distribution of phytoplankton in stratified water columns. *Journal of theoretical biology*, 269(1), 16-30.
- Modesto-Iregui, M., Guillot, G., & Donato, J. C. (2002). Dimensión fractal y relación área superficial/volumen de algas del fitoplancton de lagos colombianos. *Caldasia*, 24(1), 121-134.
- Mora, E. (2015) 'Composición del fitoplancton y relaciones especies-área de cinco sistemas lacustres en los Tuxtlas, ver., México', *Universidad Veracruzana centro de investigaciones tropicales*.
- Moreno, L. F., & Fonseca, C. (1987). Las Ciénagas: polos potenciales para el desarrollo. *Actualidades biológicas*, 16(60), 57-68.
- 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), 85-106.
- Muñoz-López, C. L., Aranguren-Riaño, N. J., & Duque, S. R. (2017). Morfología funcional del fitoplancton en un lago de alta montaña tropical: Lago de Tota (Boyacá-Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 65(2), 669-683.
- N. V., Córdoba, M. P., & Gutiérrez, J. C. (2014). Construcción participativa de estrategias de restauración ecológica en humedales del Magdalena Medio, Colombia: una herramienta para el ordenamiento ambiental territorial. *Biota Colombiana*, 15.
- Ngodhe, S. O., Raburu, P. O., Arara, B. K., Orwa, P. O., & Otieno, A. A. (2013). Spatio-temporal variations in phytoplankton community structure in small water bodies within Lake Victoria basin, Kenya. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(9), 862-873.

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

Odum, E.P. (1986). Fundamentos de ecología. México: Nueva Editorial Interamericana, S.A.

Oksanen, J., et al. (2022). *vegan: Community Ecology Package*. CRAN.

Padisák, J., Soróczki-Pintér, É., & Rezner, Z. (2003). Sinking properties of some phytoplankton shapes and the relation of form resistance to morphological diversity of plankton—an experimental study. *Aquatic Biodiversity: A Celebratory Volume in Honour of Henri J. Dumont*, 243-257.

Parra, O., Gonzales, V., Rivera P., y Orellana M. (1982a). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile I. Cyanophyceae. Universidad de Concepción. Chile.

Parra, O., Gonzales, V., Rivera P., y Orellana M. (1982b). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile II. Crysophyceae. Universidad de Concepción. Chile.

Parra, O., Gonzales, V., Rivera, P., y Orellana, M. (1982c). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile 85 III. Cryptophyceae-Dinophyceae-Euglenophyceae. Universidad de Concepción. Chile.

Parra, O., Gonzales, V., Rivera, P., y Orellana, M. (1983a). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile V. Chlorophyceae. Parte I, Volvocales. Universidad de Concepción. Chile.

Parra, O., Gonzales, V., Rivera, P., y Orellana, M. (1983b). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile V. Chlorophyceae. Parte II, Zygnematales. Universidad de Concepción. Chile.

Patrick, R.M. y Reimer, C.W. (1966). *The Diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii*, V. 1. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 13.

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

- Peraza Escarrá, R. (2017). Diversidad y abundancia de fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba) (Doctoral dissertation, Universidad de La Habana).
- Rangel, J. (2010). Colombia diversidad biótica IX: Ciénagas de córdoba: biodiversidad-ecología y manejo ambiental.
- Ramírez, A. R. R. V. G., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. *CT&F-Ciencia, tecnología y futuro*, 1(3), 135-153.
- Reynolds, C. S. (1997). Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory.
- Reynolds, C. S. (1980). Phytoplankton assemblages and their periodicity in stratifying lake systems. *Ecography*, 3(3), 141-159.
- 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.
- Reynolds, C. S. (1984). *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Reynolds, C. S. (1988). Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*, 388-433.
- 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.

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

- Rhee, G. (1982). Effects of environmental factors and their interactions on phytoplankton growth. In *Advances in microbial ecology* (pp. 33-74). Springer, Boston, MA.
- Rodas-Pernillo, E., Vasquez-Moscoso, C. A., & García, O. F. (2020). Dinámica del consumo y aporte de nutrientes de fitoplancton, dominado por *Microcystis* sp.(Cyanophyceae) del lago de Amatitlán. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 7(1). Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical 2ª Edición. *Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia*, 440.
- Roldán Pérez, G., & Ramírez Restrepo, J. J. (2022). Fundamentos de limnología neotropical. Ros, J. (1979). *Prácticas de ecología*. Barcelona: Ediciones Omega, SA.
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Sandoval Rodríguez, J. L. (2022). Análisis de la calidad del agua en la Ciénaga El Llanito de Barrancabermeja, Santander utilizando índices de contaminación.
- Segura, A. M., Sarthou, F., & Kruk, C. (2018). Morphology-based differences in the thermal response of freshwater phytoplankton. *Biology Letters*, 14(5), 20170790.
- Solano Naranjo, D. . (2021). Condiciones para el desarrollo endógeno: el proceso de El Llanito. *Cambios Y Permanencias*, 12(2), 586–624.
- Starmach, K. (1983). Flora slodkowodna Polski, Tom 3, Euglenophyta-Eugleniny. Polska Akademia 91
- Starmach, K. (1985). Chrysophyceae und Haptophyceae (Süßwasserflora von Mitteleuropa, begründet von A. Pascher, Band 1). 515 S.
- Sun, J., & Liu, D. (2003). Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of plankton research*, 25(11), 1331-1346.

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

- Tell, G. y Conforti, V. (1986). Euglenophyta pigmentadas de la Argentina. Facultad de Ciencias Naturales de la UBA. Buenos Aires. 301 pp
- Torres, M. J., Castro, H. A. H., & Vega, L. C. (2021). Variación temporal de la composición y abundancia del fitoplancton en Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 16(2), 168-179.
<https://doi.org/10.21676/23897864.4065>
- Uriza, E., Martínez, A., & Aboal, M. (2017). Cianotoxinas: efectos ambientales y sanitarios. medidas de prevención. *Hidrobiológica*, 27(2), 241-251.
- Utermöhl, H. (1958). Zur vervollkommnung der cuantitativo método fitoplancton: Mit 1 Tabelle und 15 abbildungen im Text und auf 1 Tafel. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Mitteilungen*, 9 (1), 1-38.
- Wetzel, R. G., & Likens, G. (2000). *Limnological analyses*. Springer Science & Business Media.
- Weithoff, G. (2003). The concepts of ‘plant functional types’ and ‘functional diversity’ in lake phytoplankton—a new understanding of phytoplankton ecology?. *Freshwater biology*, 48(9), 1669-1675
- Wei, T., Simko, V., Levy, M., Xie, Y., Jin, Y., & Zemla, J. (2021). R package. *Corrplot*: Visualization of a Correlation Matrix.” <https://github.com/taiyun/corrplot>.
- Whitton, B. A., & Potts, M. (Eds.). (2007). The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space. Springer Science & Business Media.
- Zabala-Agudelo, A. M., Hernández, E., Agudelo, D. M., Aguirre, N. J., & Vélez, F. D. J. (2019). Temporal variation of phytoplankton functional morphology in a Colombian Caribbean floodplain system. *Biota colombiana*, 20(2), 2-19.

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

Apéndices

Apéndice A

*Composición de las Especies La Comunidad Fitoplanctónica de La Ciénaga El Llanito –
Santander*

Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	<i>Pediastrum</i> sp1
				<i>Tetraedron</i> sp1
			Scenedesmaceae	<i>Coelastrum microporum</i>
				<i>Desmodesmus</i> sp1
				<i>Desmodesmus</i> sp2
				<i>Desmodesmus</i> sp3
				<i>Desmodesmus</i> sp4
				<i>Desmodesmus</i> sp5
				<i>Scenedesmus</i> sp1
			Selenastraceae	<i>Ankistrodesmus</i> sp1

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

				<i>Monoraphidium</i> sp1
				<i>Monoraphidium</i> sp2
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	<i>Actinastrum</i> sp1
				<i>Dictyosphaerium</i> sp1
		Oocystaceae	<i>Crucigeniella</i> sp1	
			<i>Oocystis</i> sp1	
		Trebouxiophyceae e ordo incertae sedis	Trebouxiophyceae incertae sedis	<i>Crucigenia</i> <i>tetrapedia</i>
	Zygnematophyceae	Desmidiiales	Desmidiaceae	<i>Closterium</i> sp1
				<i>Cosmarium</i> sp1
				<i>Cosmarium</i> sp2
				<i>Staurastrum</i> sp1
				<i>Stauroidesmus</i> sp1
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i> sp1
				<i>Fragilaria</i> sp2
				<i>Synedra</i> sp1
		Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Amphipleura</i> sp1
				Naviculaceae
			<i>Navicula</i> sp1	
			<i>Navicula</i> sp2	
		<i>Navicula</i> sp3		

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

			Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i> sp1
				<i>Pinnularia</i> sp2
				<i>Pinnularia</i> sp3
			Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i> sp1
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	<i>Tabellaria fenestrata</i>
				<i>Tabellaria</i> sp1
		Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i> sp1
Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira distans</i>	
			<i>Aulacoseira granulata</i>	
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Leptolyngbyales	Leptolyngbyaceae	<i>Planktolyngbya</i> sp1
		Nostocales	Aphanizomenonaceae	<i>Dolichospermum</i> sp1
			Nodulariaceae	<i>Anabaenopsis</i> sp1
		Oscillatoriales	Microcoleaceae	<i>Arthrospira</i> sp1
			Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i> sp1
		Pseudanabaenales	Pseudanabaenaceae	<i>Pseudanabaena</i> sp1
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i> sp1
				<i>Euglena</i> sp2
				<i>Trachelomonas hispida</i>
				<i>Trachelomonas</i> sp1
				<i>Trachelomonas</i> sp2
				<i>Trachelomonas volvocina</i>
			Phacaceae	<i>Lepocinclis</i> sp1
				<i>Phacus</i> sp1

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

Ochrophyta	Xanthophyceae	Mischococcales	Pleurochloridaceae	<i>Isthmochloron</i> sp1
			Sciadaceae	<i>Centrtractus</i> sp1

Apéndice B

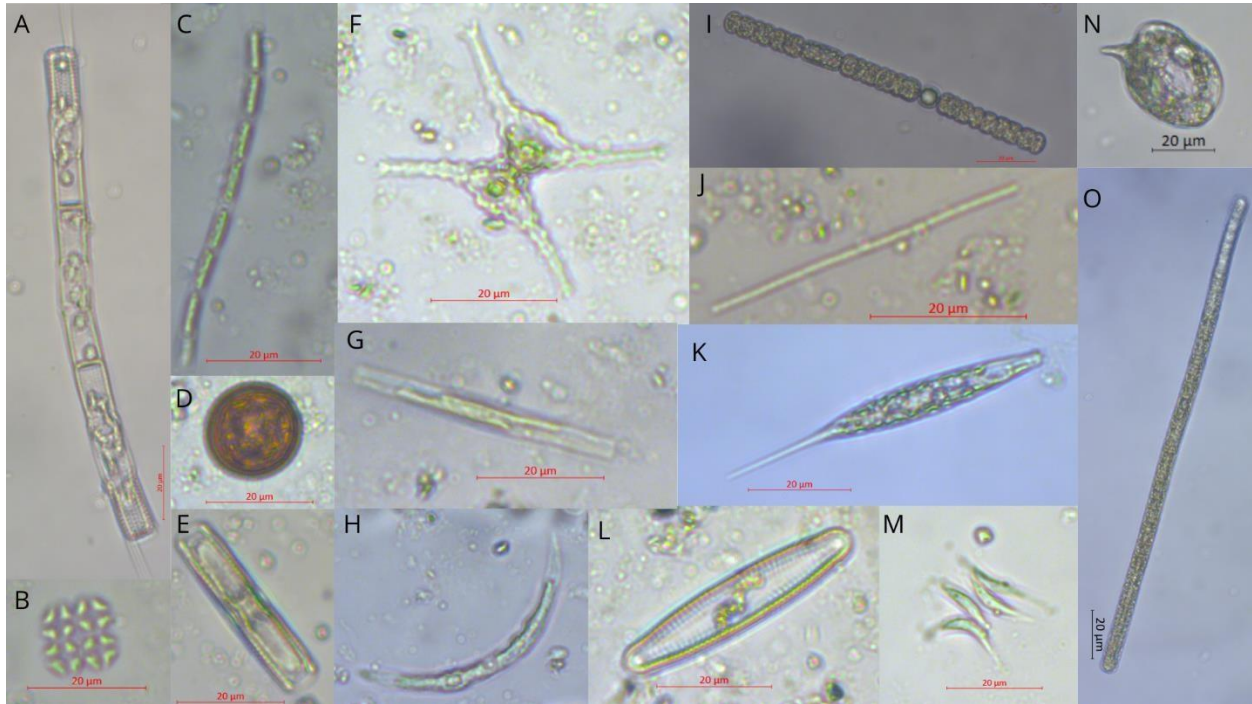
Mediciones ambientales en las estaciones de muestreo de la Ciénaga El Llanito durante el periodo de aguas bajas de 2022

Estaciones	OD (mg/L)	pH	Cond (μS/cm)	T (°C)	Trans (cm)	Prof (cm)	PPMOD	DBO (mg O ₂ /L)	N-NH ₃ (mg/L)	Alc (mg CaCO ₃ /L)	DT (mg CaCO ₃ /L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	FT (mg P/L)
C.E.Deseo	37,26	6,62	47,96	29,68	27	143	2,87	20	24,4	31,5	34	10,75	0,23	1,35
A.C Llanito	54,47	7,13	123,81	30,23	19	115	4,13	28	18,3	64,55	66	6,08	0,31	1,29
E.Centro	69,32	6,83	86,15	31,28	18	137	4,82	20	9,1	37,39	42	9,13	0,29	1,38
R.E.Guache	43	7,28	111,2	30,69	17	85	3,12	40	39,64	64,94	32	6,47	0,22	1,26

MORFOLOGÍA FUNCIONAL DEL FITOPLANCTON

Apéndice C

Algunos de las especies representantes que componen la comunidad fitoplanctónica en la ciénaga



Nota: (A) *Aulacoseira granulata* (B) *Crucigenia tetrapedia* (C) *Pseudanabaena* sp1 (D) *Trachelomonas volvocina* (E) *Pinnularia* sp2 (F) *Staurastrum* sp1 (G) *Tabellaria* sp1 (H) *Closterium* sp1 (I) *Dolichospermum* sp1 (J) *Planktolyngbya* sp1 (K) *Lepocinclis* sp1 (L) *Navicula* sp1 (M) *Scenedesmus* sp1 (N) *Phacus* sp1 (O) *Oscillatoria* sp1