

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Diversidad y distribución de los ensamblajes fitoplanctónicos en el Parque Ecológico Distrital del Humedal (PEDH) Torca-Guaymaral y su relación con factores ambientales

CAMILO JOSÉ FONSECA BARRETO

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Bogotá,
Bogotá, Colombia
2023**

Diversidad y distribución de los ensamblajes fitoplanctónicos en el Parque Ecológico Distrital del Humedal (PEDH) Torca-Guaymaral y su relación con factores ambientales

CAMILO JOSÉ FONSECA BARRETO

Tesis de Maestría presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias-Biología

Director:

Camilo B. García

Dr. rer. nat., Biólogo Marino, Profesor Asociado, Departamento de Biología

Co-director

Gabriel A. Pinilla Agudelo

Biólogo Ph.D., Profesor pensionado

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Bogotá,
Bogotá, Colombia
2023**

Todos somos muy ignorantes. Lo que ocurre es que no todos ignoramos las mismas cosas.

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

- A mis profesores Camilo García y Gabriel Pinilla, directores de tesis, por su calidad humana y profesional, por siempre brindarme toda la ayuda posible hasta los últimos momentos
- A la Secretaria Distrital de Ambiente, específicamente al PEDH Torca-Guaymaral y puntualmente a Daniel Acevedo por su compañía y apoyo durante la fase de campo del proyecto
- Al laboratorio ambiental Ambius S.A.S por la gran colaboración durante la fase de campo y por permitirme algunos equipos vitales para la realización de este proyecto.
- A Gustavo Torres, Clara Nidia y Jimmy Merchan, laboratoristas del departamento de Biología Unal, por su gran apoyo para el uso de los microscopios
- A mis padres Maria Helena Barreto y Pedro José Fonseca por todo el apoyo durante la maestría, a mi hermano Carlos Gutierrez por su gran apoyo.
- A Luisa Valencia Soto por su colaboración, paciencia, amor y su inteligencia emocional que fue gran ayuda durante la realización de este proyecto

ÍNDICE

RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN.....	8
MARCO TEORICO	9
Generalidades sobre los ensamblajes fitoplanctónicos	9
El papel ecológico del fitoplancton en los humedales	10
Estudios fitoplanctónicos en el humedal Torca-Guaymaral	12
PROBLEMA DE INVESTIGACION	14
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
METODOLOGÍA	16
Área de estudio	16
Fase de campo	18
Fase de laboratorio	19
Análisis de datos	26
RESULTADOS	31
Resultados Bióticos Globales.....	31
Caracterización espacio-temporal del entorno físico-químico.....	37
Dinámica espacio-temporal de las variables de estructura biótica.....	45
Respuesta de las variables de estructura al entorno físico-químico	51
Respuesta de los ensamblajes al entorno físico-químico, a los hábitats y al clima	51
Diversidad beta en el espacio y el tiempo	54
Grupos Funcionales basados en la Morfología (GFBM) en el espacio y el tiempo	56
ANALISIS DE RESULTADOS.....	58
Análisis Biótico Global.....	58
Caracterización espacio-temporal del entorno físico-químico.....	59
Dinámica espacio-temporal de las variables de estructura biótica.....	61
Respuesta de las variables de estructura al entorno físico-químico	62
Respuesta de los ensamblajes al entorno físico-químico, a los hábitats y al clima	63
Diversidad beta en el espacio y en el tiempo.....	65
Grupos Funcionales Basados en su Morfología (GFBM) en el espacio y el tiempo.....	66
Apreciaciones y recomendaciones	67
CONCLUSIONES	68
BIBLIOGRAFÍA.....	70
ANEXOS.....	79

RESUMEN

Los humedales urbanos, como el Parque Ecológico Distrital (PEDH) Torca-Guaymaral, ubicado en Bogotá, son importantes desde las perspectivas ambientales ya que cumplen funciones de amortiguación hídrica, preservación y conservación de la biodiversidad y mantenimiento de la conectividad ecológica. A pesar de su importancia, estos ecosistemas se encuentran reducidos y deteriorados y para realizar acciones de restauración es prioritario conocer la diversidad de los organismos presentes. Un componente limnológico importante son los ensamblajes fitoplanctónicos, ya que presentan respuestas fisiológicas rápidas frente a los cambios ambientales. Ante la falta de información, se hace necesario investigar la biodiversidad y la distribución espacio-temporal de las algas del PEDH Torca-Guaymaral y caracterizar la dependencia que tienen con los factores ambientales climáticos y fisicoquímicos del agua, así como con el tipo de hábitat. En este estudio se realizó un análisis cuantitativo y morfofuncional del fitoplancton y de las características fisicoquímicas del agua en dos épocas climáticas contrastantes y en tres tipos de hábitats del humedal: Canal, Léntico y Quebradas. Los análisis de resultados se hicieron mediante el uso del lenguaje estadístico R. Se identificaron 149 taxones de algas pertenecientes a 9 phyla, 14 clases, 35 ordenes, 57 familias y 98 géneros. En general, se evidenció un mayor contraste en el fitoplancton de acuerdo al tipo de hábitat, que al analizarlo con respecto a la temporalidad climática. Además, se detectó la dependencia de estos ensamblajes de las características fisicoquímicas del agua. Se destacaron los Grupos Funcionales Basados en su Morfología correspondientes a las categorías IV, V y VI, todas ellas indicadoras de condiciones de heterogeneidad y de un estado de meso a eutrofia del humedal.

Palabras Clave: Humedales urbanos, biodiversidad, Ensamblajes fitoplanctónicos, análisis morfofuncional y distribución espacio-temporal

Diversity and distribution of phytoplanktonic assemblages in the Parque Ecológico Distrital Humedal (PEDH) Torca-Guaymaral and its relationship with environmental factors

Urban wetlands, such as the Parque Ecológico Distrital (PEDH) Torca-Guaymaral, located in Bogotá, are important from environmental perspectives as they fulfill functions of water buffering, preservation and conservation of biodiversity, and maintenance of ecological connectivity. Despite their importance, these ecosystems are reduced and deteriorated, and to carry out restoration activities it is a priority to know the diversity of the organisms present. Phytoplankton assemblages are an important limnological component since they present rapid physiological responses to environmental changes. Given the lack of information, it is necessary to investigate the biodiversity and spatial-temporal distribution of the algae of the PEDH Torca-Guaymaral and to characterize their dependence on climatic and water's physicochemical factors, as well as on the type of habitat. In this study, a quantitative and morphofunctional analysis of the phytoplankton and the physicochemical characteristics of the water was carried out in two contrasting climatic seasons and in three types of wetland habitats: Canal, Lentic, and Quebradas. Results were analyzed using the statistical language R. 149 taxa of algae belonging to 9 phyla, 14 classes, 35 orders, 57 families, and 98 genera were identified. In general, a greater contrast was evidenced in the phytoplankton according to the type of habitat, than when analyzing it to climatic temporality. In addition, a dependence of these assemblages on the water's physicochemical characteristics was detected. The Functional Groups Based on their Morphology corresponding to categories IV, V, and VI were highlighted, they all indicators of heterogeneity conditions and a state of meso to eutrophy of the wetland.

Key words: Urban wetlands, biodiversity, Phytoplankton assemblages, morphofunctional analysis, spatial-temporal distribution

INTRODUCCIÓN

Los humedales urbanos, como el Parque Ecológico Distrital (PEDH) Torca-Guaymaral, ubicado en Bogotá, son importantes desde las perspectivas ambientales, socio-culturales y económicas. Ambientalmente, cumplen funciones de amortiguación hídrica, preservación y conservación de la biodiversidad, filtración de sedimentos y mantenimiento de la conectividad ecológica con otros ambientes terrestres y acuáticos. A pesar de su importancia, estos ecosistemas se encuentran reducidos y deteriorados por presiones como el crecimiento demográfico, la invasión de especies de origen exótico, la modificación del flujo del agua, los cambios de uso de suelo, el aumento de la demanda de agua y la contaminación.

Para realizar acciones de conservación y restauración de los humedales es prioritario conocer la diversidad de los organismos que componen estos ecosistemas. Un componente limnológico importante de análisis se refiere a los ensamblajes fitoplanctónicos, ya que las microalgas de la columna de agua son organismos con respuestas fisiológicas rápidas frente a condiciones como las características fisicoquímicas del agua, la época climática y las condiciones del hábitat. Ante la falta de información sobre de la diversidad y funcionalidad del fitoplancton en el humedal Torca-Guaymaral, surge la idea de desarrollar este estudio.

La diversidad de estos ensamblajes se investigó desde su composición, estructura y función y también desde su relación con el componente abiótico fisicoquímico. La composición del fitoplancton se abordó desde una perspectiva de su riqueza o número de especies, mientras que su estructura se explicó desde la abundancia y las métricas de diversidad; la función se estudió desde una perspectiva que agrupa las algas por atributos asociados a la morfología; por último, se calculó la diversidad beta como herramienta de análisis a un nivel más integral de los ensamblajes de fitoplancton. Las características anteriormente mencionadas se analizaron desde una perspectiva temporal y espacial.

Los rasgos morfológicos funcionales constituyen un enfoque de alto potencial para el estudio del fitoplancton y la valoración de su relación ecológica con los cuerpos de agua que habitan. No se han realizado estudios de diversidad funcional del fitoplancton en el humedal Torca-Guaymaral, por lo que los resultados presentados en este trabajo

constituyen un marco global que permitirá observar y estudiar el comportamiento de los ensamblajes fitoplanctónico hacia el futuro.

MARCO TEORICO

Generalidades sobre los ensamblajes fitoplanctónicos

La biodiversidad y distribución del fitoplancton en los humedales está influenciada por factores ambientales y biológicos, es decir, por relaciones abióticas-bióticas (Rivera y Donato-Rondón, 2008). Sobre la parte abiótica, en la sabana de Bogotá la climatología bimodal tetraestacional influye sobre los factores ambientales en los cuerpos de agua de la sabana (Pulido y Pinilla, 2017). Además, existen agentes antrópicos que también influyen. La biodiversidad y distribución de estos ensamblajes está regulada tanto por condiciones climáticas (Guillot y Pinilla, 2017), como por las propiedades fisicoquímicas del agua (efectos “bottom-up”, Kumar *et al.*, 2020), por las características morfológicas propias de cada cuerpo de agua (Martínez y Donato, 2003) y por las interacciones en términos de depredación por el zooplancton (efectos “top-down”; Frau *et al.*, 2015 y Low *et al.*, 2010) y de ataques de patógenos como hongos, bacterias y virus (Reynolds, 1993).

Los humedales de Bogotá reconocidos bajo la denominación de Parque Ecológico Distrital de Humedal (PEDH) son 15, y forman parte de la Estructura Ecológica Principal de la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004). Estos ecosistemas prestan diversas funciones, bienes y servicios, como la amortiguación hídrica, la preservación y conservación de la biodiversidad, la filtración de sedimentos y la conectividad ecológica (Pinilla, 2010 y Roldán y Ramírez, 2007). Por su parte, el PEDH Torca-Guaymaral se considera un ecosistema estratégico para el Distrito Capital y para la región de Cundinamarca, por ser un sector de conectividad ecológica del sector norte de la ciudad (López-Barrera *et al.*, 2017). El humedal presenta principalmente tres tipos de hábitats donde el fitoplancton se puede desarrollar: hábitat de Canal, con presencia de estructuras revestidas en concreto y alcantarillas contiguas como conectores; hábitat de Quebradas, caracterizados por ser cuerpos de agua prístinos que provienen de los cerros Orientales; y hábitat Léntico que presentan una mayor estabilidad al no tener movimiento continuo en sus masas de agua.

Diversos estudios fitoplanctónicos de humedales en la sabana de Bogotá (Pulido y Pinilla, 2017; Pinilla, 2010 y Vásquez *et al.*, 2006) destacan la importancia del fitoplancton por presentar riquezas bióticas excepcionales, ser el principal receptor de energía en los sistemas acuáticos lénticos, ser indicador del estado trófico y de la calidad de agua (Yusuf, 2020), por su relevancia ecológica y por reflejar variaciones espaciales en sus grupos funcionales (Borges *et al.*, 2017). Específicamente, el PEDH Torca-Guaymaral no ha sido estudiado desde la perspectiva de la distribución y diversidad de sus ensamblajes fitoplanctónicos, ni de sus grupos funcionales.

Para enfrentarse a las diferentes expresiones del hábitat en un ambiente, los ensamblajes fitoplanctónicos poseen una serie de adaptaciones de formas o atributos asociados a su morfología funcional (Kruk y Segura, 2012; Reynolds *et al.*, 2002 y Pastrana, 2016), tales como: la formación de mucilago, la presencia de heterocistos (células especializadas para la fijación de nitrógeno) y de aerótopos (vesículas de gas), la generación de tricomas, colonias o cenobios, la producción de exoesqueletos de sílice y las variaciones en la relación superficie-volumen y en la dimensión lineal máxima (Kruk *et al.*, 2010; Muñoz-López *et al.*, 2017 y Hernández *et al.*, 2020). A su vez, la morfología funcional permite asociar aquellos organismos con rasgos similares o estrategias parecidas, las cuales promueven la supervivencia ante las presiones ambientales y antrópicas.

En términos espaciales, la diferenciación entre los ensamblajes fitoplanctónicos a lo largo de los gradientes físicos se enmarca en la denominada diversidad beta (Legendre, 2019). Este término se utiliza en el sentido amplio para cualquier medida de variación en la composición de especies (Anderson *et al.*, 2011) entre paisajes bien definidos. La evaluación y análisis de estos componentes son cruciales para el entendimiento ecológico y la caracterización de la dependencia de los ensamblajes fitoplanctónicos con respecto a los factores ambientales y fisicoquímicos (Borics *et al.*, 2020 y Stefanidou *et al.*, 2020).

El papel ecológico del fitoplancton en los humedales

Los humedales juegan un rol importante en los ciclos locales y regionales del agua, del carbono y de los nutrientes. Son de alto valor cultural y paisajístico y presentan un gran potencial en la conservación de biodiversidad y de los procesos ecológicos, por lo que tienen un impacto directo en el bienestar humano, tanto en el mundo en general, como en

América Latina en especial (Lasso *et al.*, 2014; UNESCO, 1971). El PEDH Torca-Guaymaral juega un papel primordial en la conexión ecológica con el sector norte del Distrito Capital, ayuda al mejoramiento de la calidad de agua, funciona como amortiguador hídrico, provee hábitat para diversas especies, aumenta la productividad biológica y retiene sedimentos, metales pesados y nutrientes (Betancur-Vargas *et al.*, 2017; López-Barrera *et al.*, 2017).

Pese a que se han reconocido los múltiples beneficios de los humedales, el PEDH Torca-Guaymaral, y en general los humedales en la sabana de Bogotá, se han reducido y deteriorado a un ritmo acelerado (Senhadji-Navarro *et al.*, 2017). Esto se debe a los cambios en las dinámicas ambientales e hidrológicas, que se combinan con presiones como el crecimiento demográfico (Betancur-Vargas *et al.*, 2017), la invasión de especies de origen exótico (Lasso *et al.*, 2014), la modificación del flujo del agua, las alteraciones en el uso de suelo (Clavijo-Otalvaro *et al.*, 2019) y el aumento de la demanda de agua y de la contaminación (Pulido y Pinilla, 2017 y Kundzewicz *et al.*, 2008). Todo lo anterior genera diversos cambios en la diversidad y en la distribución de las especies, la pérdida de sus características ecológicas (Sandoval, 2013) y la reducción de las interacciones tróficas y de la productividad (Buytaert *et al.*, 2006). Igualmente, se presentan modificaciones en el reciclaje de los nutrientes y en la transferencia de energía hacia otros grupos, variaciones del estado trófico (Emmerson *et al.*, 2005) y en la productividad algal y florecimientos de especies tóxicas que producen consecuencias negativas en la salud humana.

Las variaciones de temperatura, precipitación y otros factores ambientales climáticos generan cambios de los cuerpos de agua y, a su vez, pueden causar extinción de especies por estrés fisiológico. También es posible que se den procesos de fotoinhibición, los cuales impiden la fotosíntesis en los ensamblajes fitoplanctónicos debido a afectaciones en la transferencia de electrones en el fotosistema II (Bo-Ping Han *et al.*, 2000).

Los impactos negativos mencionados aumentan la necesidad de concentrar los esfuerzos en mejorar y aumentar el conocimiento de los ensamblajes fitoplanctónicos en los ecosistemas de humedal pertenecientes a la sabana de Bogotá. De esta forma, será posible reducir el riesgo de deterioro de los recursos hídricos, que son finitos (Correa *et al.*, 2020), frente a un desarrollo socioeconómico y humano elevado.

Estudios fitoplanctónicos en el humedal Torca-Guaymaral

Desde la perspectiva fitoplanctónica, se destaca la investigación de Malagón (2017), desarrollada entre diciembre de 2007 (periodo húmedo) y marzo de 2008 (periodo seco), en la cual estudió el estado trófico del humedal Guaymaral a partir de la composición, biomasa y producción del fitoplancton y lo clasificó como un humedal eutrófico. Además, denotó un cambio en la composición de especies entre los dos periodos climáticos, ya que para la época húmeda halló una alta abundancia del grupo Chlorophyta (91,3%) y una baja representación de los grupos Cyanophyta (3,8%), Euglenophyta (3,6%) y Bacillariophyta (1,3%); *Chlorella* sp. fue el género más representativo en dicha época. Durante el periodo seco la dominancia pasó al grupo Cyanophyta (95,1%), seguido de Euglenophyta (3,8%) y Bacillariophyta (1,1%), mientras que el género dominante fue *Phormidium* sp.

Otra investigación a destacar es el estudio realizado por Pinilla (2010), quien determinó para el humedal Guaymaral el predominio de euglenoides y cianobacterias, indicadoras de altos niveles de nutrientes y materia orgánica; además, por su abundancia, se destacó el género *Fragilaria* sp. durante la época de lluvias; los géneros *Gomphonema* sp. y *Nitzschia* sp. fueron dominantes en la época seca. Todos estos taxones son indicadores de estados de meso a eutrofia para este ecosistema. En la misma zona, durante 2017, López-Barrera *et al.*, como parte de un estudio hidrológico, caracterizaron el componente fitoplanctónico, en el que predominaron individuos del género *Cryptomonas* (división Cryptophyta), propios de aguas eutróficas y anóxicas. Se destacaron las diatomeas *Navicula* y *Nitzschia*, las cuales son indicadoras de altas cargas de materia orgánica y nutrientes. Como tal, no hay una caracterización de los ensamblajes fitoplanctónicos en el complejo Torca-Guaymaral, que incluya una visión de su distribución y su diversidad, ni de su relación con los factores ambientales locales; tampoco se ha empleado el biovolumen como medida ecológica en este humedal.

Desde la perspectiva funcional, es importante resaltar algunas investigaciones en otros ecosistemas lénticos. Así, Hernández *et al.* (2020) determinaron los grupos morfofuncionales del fitoplancton para el lago de Tota y la laguna de Fúquene; en el primer caso, dominaron organismos coloniales con atributos de control de flotación, como presencia de mucílago, aerótopos, volumen grande (aprox. de 5500 a 7500 μm^3), reducidas

relación superficie-volumen ($<0,6 \mu\text{m}^{-1}$) y dimensión lineal máxima de $30 \mu\text{m}$, resultados acordes con los registrados por Muñoz-López *et al.* (2017) en el mismo lago. Para la laguna de Fúquene, dominaron organismos flagelados unicelulares de volumen moderado (aprox. de 4000 a $5000 \mu\text{m}^3$) y con baja relación superficie-volumen ($<0,7 \mu\text{m}^{-1}$). Estas algas corresponden a los grupos VII y V, respectivamente, según la clasificación de Kruk *et al.* (2010). Como se dijo anteriormente, hasta el momento no se han realizado estudios de morfología funcional en el PEDH Torca-Guaymaral.

Con respecto a la salud ecológica del humedal Guaymaral basada en las microalgas, se destaca el trabajo de Pinilla (2010), en el cual se indica que las condiciones limnológicas, medidas con el índice LICOI, son aceptables a bajas. Castro-Roa y Pinilla (2014), desarrollaron otro índice basado en diatomeas perifíticas (PDIBW) para evaluar la calidad ecológica de este humedal y lo clasificaron como de condiciones limnológicas moderadas. Caho-Rodríguez y López-Barrera (2017), determinaron la calidad del agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral mediante las metodologías UWQI y CWQI, clasificándolo como regular y pobre, respectivamente.

Los recursos naturales de la región donde está presente el PEDH Torca-Guaymaral tienen un alto valor ecológico y económico, pero la comprensión y el entendimiento de sus ensamblajes fitoplanctónicos es parcial. Esto también se debe a la falta de estudios que abarquen escalas espacio-temporales regionales (Célleri y Feyen, 2009). Como un primer acercamiento a este enfoque más amplio, el presente estudio trata de discernir de qué manera se relacionan los grupos morfofuncionales del fitoplancton con los cambios espaciales y temporales del PEDH Torca-Guaymaral en la sabana de Bogotá. Este es un análisis de tipo “bottom-up” del fitoplancton, es decir, de los factores físicos, químicos y ambientales como determinantes de las variaciones de las algas planctónicas.

PROBLEMA DE INVESTIGACION

La diversidad de los ensamblajes fitoplanctónicos en los humedales es prácticamente desconocida. En general, se consideran sistemas ricos en diatomeas, euglenoides, clorófitas y cianobacterias (López-Barrera *et al.*, 2017 y Pinilla, 2010). Algunos trabajos en diferentes sistemas lénticos y lóticos (Ríos-Henríquez *et al.*, 2020; Bolgovics *et al.*, 2015; Cardozo *et al.*, 2012 y Pinilla, 2006), recalcan la importancia de estos organismos desde el punto de vista de la riqueza de especies y su abundancia. Escasos son los estudios en Colombia que abordan la dinámica del fitoplancton a partir de grupos funcionales basados en la morfología (GFBM, Hernández *et al.*, 2020; Zabala *et al.*, 2019; Machado *et al.*, 2017; Muñoz-López *et al.*, 2017 y Pastrana, 2016). Los GFBM brindan una aproximación al entendimiento del funcionamiento de los sistemas acuáticos, ya que proporcionan o condicionan las formas biológicas según sea la oferta nutricional y lumínica y las características de los cuerpos de agua. En tal sentido, en los humedales de la sabana de Bogotá, y específicamente en el PEDH Torca-Guaymaral, este tipo de información es precaria.

Los humedales brindan diferentes servicios ecosistémicos (Betancur-Vargas *et al.*, 2017 y López-Barrera *et al.*, 2017) y están compuestos por una gran diversidad de hábitats y microhábitats (Majumdar *et al.*, 2020), pero soportan actualmente un alto impacto antrópico y una mayor variabilidad climática, todo lo cual afecta los ensamblajes de algas, de las cuales es posible que aun existan especies no descritas ni reportadas. Valorar estos aspectos integrados es básico para conocer el funcionamiento ecológico de los humedales, pero no hay estudios que integren la composición, la estructura y la función de los ensamblajes fitoplanctónicos en el PEDH Torca-Guaymaral. Por lo tanto, se desconoce la relación que tienen los factores ambientales climáticos y fisicoquímicos y las características propias del cuerpo de agua, con la biodiversidad y funcionalidad de estos ensamblajes.

De acuerdo con la situación planteada, el problema de investigación que se abordó en este estudio se planteó a manera de pregunta de la siguiente forma:

¿Cómo son y cómo cambian espacial y temporalmente los ensamblajes fitoplanctónicos del PEDH Torca-Guaymaral, ante las variaciones fisicoquímicas y climáticas que soporta el humedal?

OBJETIVO GENERAL

En esta propuesta se investigó la biodiversidad (composición, estructura y función) y la distribución (espacial y temporal) de los ensamblajes fitoplanctónicos del PEDH Torca-Guaymaral, durante dos épocas climáticas; además, se caracterizó la dependencia que tienen estos ensamblajes con los factores ambientales climáticos, fisicoquímicos del agua y con el tipo de hábitat.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Caracterizar taxonómicamente el fitoplancton del PEDH Torca-Guaymaral al mayor nivel taxonómico posible.

Determinar la composición, estructura y función de los ensamblajes fitoplanctónicos, caracterizando sus cambios, tanto por épocas climáticas como por hábitats en el PEDH Torca-Guaymaral.

Identificar los taxones de algas con un papel significativo en los ensamblajes fitoplanctónicos del PEDH Torca-Guaymaral y evidenciar sus cambios, tanto por época climática como por tipo de hábitat.

Analizar la diversidad beta de los ensamblajes fitoplanctónicos en el PEDH Torca-Guaymaral y evidenciar sus cambios, tanto por época climática como por tipo de hábitat.

Identificar y clasificar los Grupos Funcionales Basados en la Morfología (GFBM) de los ensamblajes fitoplanctónicos en el PEDH Torca-Guaymaral y explorar su dinámica, tanto espacialmente como en las épocas climáticas.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó en el PEDH Torca-Guaymaral, el cual forma parte de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá. Su altitud es de 2565 m.s.n.m. y presenta un clima frío, ubicado en un piso bioclimático altitudinal subandino o andino bajo (Osbahr y Gómez, 2006). El sector Torca se ubica en la localidad de Usaquén, vereda de Torca, cerca de la reserva forestal protectora “Bosque Oriental de Bogotá”, y se conecta con el “Parque Urbano Canal de Torca”. Hacia el extremo sur ocupa una pequeña porción en el cementerio Jardines de Paz y a partir de ahí continua en paralelo a la Autopista Norte por el costado derecho en dirección sur-norte hasta el Colegio San Viator.

El sector Guaymaral se enmarca en la localidad de Suba, vereda Casablanca y se encuentra dividido del humedal Torca por la Autopista Norte. A pesar de la división producida por la Autopista Norte, los dos sectores que conforman el PEDH continúan interactuando hidráulicamente a través de estructuras de paso, como alcantarillas o “box culverts”.

Del sistema hídrico Torca-Guaymaral, el primer elemento en el sentido sur-norte es el humedal Torca, que recibe el aporte de caudal de la cuenca del río Torca, el cual discurre de sur a norte a través de un canal con recubrimiento y desemboca en el humedal a la altura del Cementerio Jardines de Paz. Además, el humedal recibe los aportes directos de las quebradas Aguas Calientes, Patiño y San Juan. Estas quebradas provienen de las laderas de los cerros orientales. El segundo elemento es el humedal Guaymaral, que se conecta con el sector Torca a través de alcantarillas que atraviesan la Autopista Norte y recibe el aporte de las quebradas La Floresta, Cañiza, Novita y quebrada Torca. Finalmente, todo el caudal hídrico del sistema drena hacia el río Bogotá (**Figura 1**, Alcaldía Mayor de Bogotá, 2017).



Figura 1. Ubicación del sistema hídrico Torca-Guaymaral y de las estaciones de muestreo.

Bogotá está influenciada por la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), la cual cruza la ciudad dos veces al año, situación que influye en el comportamiento de las lluvias y produce un régimen climático bimodal tetraestacional, con dos épocas de lluvias, la primera entre marzo y mayo y la segunda entre septiembre y noviembre. Para las épocas secas, la primera se enmarca entre diciembre y febrero y la segunda entre junio y agosto. Conforme a lo anterior, una de las problemáticas más importantes que tiene la ciudad de Bogotá es la amortiguación de las aguas lluvias en el espacio público, sobre todo en los periodos de mayor precipitación. Debido al rápido desarrollo urbano, se ha generado la

impermeabilización de la ciudad, teniéndose pocas coberturas vegetales que ayuden a interceptar el agua lluvia (SDA, 2017).

Fase de campo

La **Figura 1** muestra un mapa general de la zona de estudio y los puntos de monitoreo en el sistema Torca-Guaymaral. Como se aprecia, el humedal es variado fisiográficamente, desde el paso del canal Torca a partir del cementerio Jardines de Paz en la calle 200, donde las quebradas tributarias y canales por donde el agua fluye se conectan con el cuerpo principal, hasta el paso del canal por la calle 235 al costado occidental de la autopista norte. Estas diferencias fisiográficas permitieron distinguir tres tipos de hábitats en el PEDH Torca-Guaymaral: Canal, Quebrada y Léntico. Ya que el clima en la zona es de tipo tetraestacional (SDA, 2017), las fechas de muestreo reflejan la ciclicidad climática. Así, el humedal se muestreó el 21 de septiembre (106,7 mm/mes) en representación de la segunda época de lluvia, y el 3 de febrero (41,4 mm/mes, datos tomados de la estación climática UDCA, IDEAM, 2022) como día típico de la primera época seca. Las estaciones de muestreo se escogieron para que cubrieran los tres tipos de hábitats dentro del humedal. De esta manera, el hábitat Canal estuvo representado por las estaciones 5, 6 y 7, el hábitat Quebrada por las estaciones 1, 2 y 4 y el hábitat Léntico por las estaciones 3,8 y 9. Para cada hábitat, época y estación se tomaron muestras de agua para la valoración de las variables fisicoquímicas (**Tabla 1**); simultáneamente se muestrearon los ensamblajes fitoplanctónicos. En total, se obtuvieron 18 muestras, correspondientes a tres colectas por hábitat, tomadas en tres hábitats y en dos épocas climáticas. Las estaciones visitadas en la época seca fueron las mismas que en la época de lluvia, de forma que se tuvo un diseño de muestreo pareado en el tiempo.

Para cada una de las estaciones a evaluar y en cada época climática, se desarrolló el mismo procedimiento. Las propiedades fisicoquímicas del agua se midieron *in-situ* como primera actividad: temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), saturación de oxígeno (%), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH (unidades) con un equipo multiparámetro marca Hach previamente calibrado (Guillot y Pinilla, 2017). Posteriormente, se tomaron las muestras de agua para los análisis de nutrientes (**Tabla 1**) siguiendo como referencia el Standard Methods (APHA, 2017). Estas muestras se llevaron a un laboratorio certificado por el IDEAM, donde se analizaron los parámetros de clorofila-a (mg/m^3), cloruros ($\text{mg Cl}/\text{L}$),

demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), ortofosfatos, nitritos, nitratos y solidos totales (mg/L).

La toma de muestras de fitoplancton se realizó filtrando 30 L de agua (Guillot y Pinilla, 2017), a través de una red cónica de 23 µm de criba. El concentrado se vertió en frascos plásticos color ámbar previamente etiquetados (este color evita que las algas continúen su proceso fotosintético), a los cuales se les agregó solución Transeau (agua, etanol 90% y formol 40% en relaciones volumétricas 6:3:1) en proporción 1:1 para preservar los organismos. Tanto las muestras de nutrientes como las muestras de fitoplancton se mantuvieron en cadena de frío (<4°C) hasta su análisis en el laboratorio.

Fase de laboratorio

La fase de laboratorio se llevó a cabo en los laboratorios del Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Además, se contó con el apoyo y acompañamiento del PEDH Torca-Guaymaral para la fase de campo.

Los análisis de sólidos suspendidos totales se hicieron en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia, según la guía de Pinilla (2017). Los análisis de nutrientes, clorofila-a y DBO₅ se realizaron siguiendo los lineamientos presentados en la **tabla 1**.

Tabla 1. Variables físico-químicas, método y técnica de análisis, unidad y abreviación. Modificado de APHA (2017) y Pinilla (2017).

Parámetro	Método	Técnica	Unidad	Abreviación
Clorofila-a	SM 10200 H	Espectrofotometría	mg/m ³ Clorofila-a	Clo.a
Cloruros	SM 4500 Cl-B	Método argentométrico	mg Cl ⁻ /L	Clor
Demanda bioquímica de oxígeno	SM 5210 B, ASTM D 888-12 método C	Incubación 5 días y luminiscencia	mg O ² /L	DBO ₅
Ortofosfatos	SM 4500-P-E 2017	Colorimetría	mg PO ₄ /L	PO4
Nitritos	SM 4500 NO ₃ D	Electrometría	mg N-NO ₃ /L	NO3
Nitratos	SM 4500 NO ₂ B	Colorimetría	mg N-NO ₂ /L	NO2

pH	<i>In-situ</i>	Equipo HACH y sonda	unidades	pH
Temperatura	<i>In-situ</i>	Equipo HACH y sonda	°C	Tem
Oxígeno disuelto	<i>In-situ</i>	Equipo HACH y sonda	mgO ₂ /L	Oxi
% Saturación de oxígeno	<i>In-situ</i>	Equipo HACH y sonda	%	Sat
Conductividad	<i>In-situ</i>	Equipo HACH y sonda	µS/cm	Con
Sólidos suspendidos totales	Laboratorio	Gravimetría	mg/L	Sol

Se debe tener en cuenta que en algunas estaciones de monitoreo las concentraciones de clorofila-a, cloruros, ortofosfatos, nitratos y nitritos no se detectaron por el método de análisis utilizado por el laboratorio, en cuyo caso, para los análisis estadísticos, se tomó como valor la mitad de la concentración empleada como límite de detección (Zar, 2010).

El análisis de la estructura del ensamblaje fitoplanctónico y la identificación de los organismos se llevó a cabo con un microscopio invertido. Se utilizó una placa Sedgwick-Rafter (50 mm ancho x 20 mm de alto x 1 mm de profundidad), con un volumen de 1 mL y con rejillas de 1 mm. Las muestras se observaron con magnificaciones entre 20 y 40x, (**Figura 2**). Este método de análisis es ideal para organismos relativamente grandes >10 µm y con densidades poblacionales grandes >10⁵ org/L; además, es de fácil aprendizaje, económico y presenta una rápida estimación de las abundancias celulares (McAlice, 1971; LeGresley y McDermott, 2010).

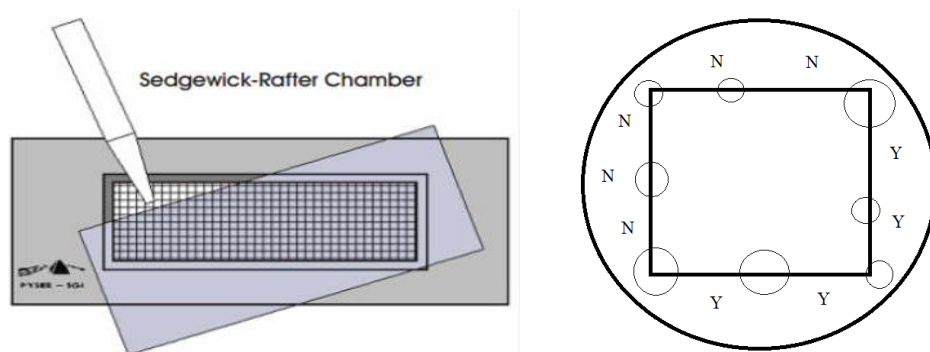



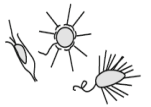
Figura 2. A) Forma de conteo en cámara Sedgwick-Rafter, modificado de Emgridaustralia (2022). B) Regla de conteo para células en el borde del campo, donde N corresponde al campo no contado y Y es el campo contado (Brierley *et al.*, 2007).

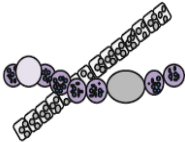

Cuando en la muestra, observada con el objetivo 40X, la densidad de organismos por campo óptico fue superior a 20 individuos, o cuando se presentó solapamiento entre las algas, o hubo un alto contenido de materia orgánica que impidió la identificación y el conteo de las algas, se realizó una dilución de la muestra. Para la dilución, se tomaron volúmenes conocidos de la muestra y de agua destilada, se homogenizaron en un recipiente adecuado, de la dilución se tomó una parte, se dejó sedimentar en condiciones estables de temperatura y humedad durante 24 h. Pasado este tiempo, el sobrenadante se sirvió con una pipeta en la cámara Sedgewick-Rafter (1mL). El factor de dilución utilizado se multiplicó por el valor de densidad calculada para obtener los resultados en la concentración original. Para determinar que las muestras analizadas fueran representativas de los ensamblajes fitoplanctónicos, se empleó el límite de conteo de 400 individuos del mismo taxón, a pesar de que autores como Francoeur *et al.* (2013) indican que contar 300 individuos del mismo taxón por muestra es un buen límite.

La identificación se trabajó, en lo posible, hasta la categoría de género utilizando trabajos específicos, como los de Tell y Conforti (1986), Cardozo *et al.* (2005), De Bicudo y Menezes (2006), Taylor *et al.* (2007), Confederación Hidrográfica del Duero (2010), Bellinger y Sigee (2010), Cirés y Quesada de Corral (2011), Oliva-Martínez *et al.* (2014), Wehr *et al.* (2015), Necchi (2016), Dos Santos (2016) y González e Inostroza (2017). Además, la clasificación de los GFBM se fundamentó en las investigaciones de Kruk *et al.* (2010), Kruk y Segura (2012) y Kruk *et al.* (2017). Toda la sistemática taxonómica se basó en el sistema propuesto en la página electrónica Algaebase (Guiry y Guiry, 2022).

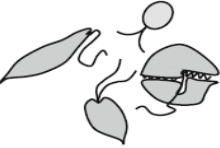
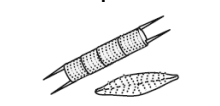
La clave dicotómica desarrollada por Kruk *et al.* (2010) permitió clasificar los GFBM (**Tabla 2**). Esta clave no requiere conocimientos sobre los rasgos fisiológicos, acondicionamiento ambiental o filiación taxonómica. En su lugar, emplea atributos netamente morfológicos, como el área superficial (S , μm^2), el volumen (V , μm^3), la dimensión lineal máxima (DLM, μm) y otras características observables, como la presencia o ausencia de flagelos y de vesículas de gas (aerótopos), la producción de mucílago y la ocurrencia o no de estructuras de sílice.

Tabla 2. Identificación y clasificación de los GFBM, donde x (ausencia) ✓ (presencia), Fla: flagelos, ES: estructuras silíceas, Muc: mucílago, Ae: aerótopos, V: volumen, S/V: relación superficie-volumen, DLM: dimensión lineal máxima. Modificado de Kruk *et al.* (2010) y Kruk y Segura (2012)

GFBM	Descripción general	Atributos de clasificación	Ejemplos de taxones representativos	Funcionamiento o ecológico potencial
<p>Grupo I</p> 	Pequeños organismos con alta relación superficie-volumen	<ul style="list-style-type: none"> •Fla ✓ → ES x → DLM < 2 μm •Fla x → ES x →Muc ✓→ Ae x → V < 10 μm^3 •Fla x → ES x →Muc x→ V < 30 μm^3 → DLM < 20 μm 	<p><i>Chlorella minutissima</i>, <i>Scenedesmus ellipticus</i>, <i>Synechocystis aquatilis</i>, <i>Monodus</i> sp.,</p>	<p>Representa organismos con efectiva adquisición de luz y nutrientes (principalmente nitrógeno). Tienen altas tasas de crecimiento (1,7-2,7 duplicaciones día⁻¹) en aguas turbias con limitación lumínica. Pueden dominar en ambientes oligotróficos y mesotróficos.</p>
<p>Grupo II</p> 	Pequeños organismos flagelados con estructuras exoesqueléticas de sílice	<ul style="list-style-type: none"> •Fla ✓ → ES ✓ 	<p><i>Dinobryon cylindricum</i>, <i>Mallomonas pulcherrima</i>, <i>Pseudopedinella</i> sp.</p>	<p>Este grupo solo contiene a la clase Chrysophyceae. Sus ejemplares se asocian a aguas frías (< 15° C) con condiciones oligotróficas, también en aguas mesotróficas con baja turbidez dominadas por macrófitas. Tasas de crecimiento bajas (0,3-0,7</p>

<p>Grupo III</p> 	<p>Tricomas con alta relación superficie-volumen</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Fla x → ES x →Muc ✓→ Ae ✓ → S/V > 0,6 μm^{-1} •Fla x → ES x →Muc x→ V > 30 μm^3 → Ae ✓ 	<p><i>Anabaena crassa</i>, <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>, <i>Limnothrix planctónica</i>, <i>Planktothix agardhii</i></p>	<p>duplicaciones día⁻¹)</p> <p>Por sus características morfológicas este grupo presenta bajas vulnerabilidad por pastoreo y bajas velocidades de hundimiento (- 0,09 a 0,1 m día⁻¹). Tienen gran tolerancia a condiciones lumínicas limitadas y ambientes eutróficos. Su dominancia se enmarca en altos coeficientes de atenuación lumínicos (>3,9 m⁻¹) y nitrógeno total (>2,8 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$).</p>
<p>Grupo IV</p> 	<p>Organismos de tamaño medio, sin atributos especializados</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Fla x → ES ✓ •Fla x → ES x →Muc x→ V < 30 μm^3 → DLM > 20 μm •Fla x → ES x →Muc x→ V > 30 μm^3 → Ae ✓ 	<p><i>Coelastrum microporum</i>, <i>Micractinium pusillum</i>, <i>Monoraphidium griffithii</i>, <i>Pediastrum duplex</i>, <i>Pseudanabaena limnetica</i></p>	<p>Los representantes de este grupo se consideran de alta calidad alimenticia, siendo muy vulnerables al pastoreo. Su dominancia está asociada a bajos coeficientes de atenuación lumínicos (< 2,2 m⁻¹) y bajas temperaturas < 24° C. Asociados a condiciones ambientales</p>

oligotróficas a mesotróficas

<p>Grupo V</p> 	<p>Flagelados unicelulares de tamaño medio a grande</p>	<p>•Fla ✓ → ES x → DLM > 2 μm</p>	<p><i>Cryptomonas ovata</i>, <i>Ceratium hirundinella</i>, <i>Gymnodinium cnecoides</i>, <i>Euglena próxima</i>, <i>Trachelomonas curta</i>, <i>Pyramimonas longicauda</i></p>	<p>Sus representantes pueden presentar mixotrofia (bacterias) y fagotrofia (partículas) como fuente nutricional. Mayor motilidad vs otros grupos. Búsqueda efectiva de nutrientes, así mejoran su tolerancia a la condición de nutrientes bajos. Capacidad para evitar el pastoreo. Baja velocidad de hundimiento (0,07-0,3 m día⁻¹). Propios de lagos meso a eutróficos con zonas de mezcla superiores a 1,5 m</p>
<p>Grupo VI</p> 	<p>Organismos no-flagelados con estructuras exoesqueléticas de sílice</p>	<p>•Fla ✓ → ES ✓</p>	<p><i>Aulacoseira granulata</i>, <i>Cyclotella atonus</i>, <i>Urosolenia eriensis</i>, <i>Asterionella sp.</i>, <i>Cylindrotheca closterium</i></p>	<p>Las estructuras de sílice en este grupo reducen su vulnerabilidad de pastoreo e infecciones virales, pero esto aumentan las velocidades de hundimiento (0,08-4 m día⁻¹).</p>

				Dominan en zonas de baja atenuación lumínica (<2,2 m ⁻¹).
Grupo VII	Colonias mucilaginosas grandes	<ul style="list-style-type: none"> •Fla x → ES x →Muc ✓→ Ae ✓ → S/V < 0,6 μm⁻¹ •Fla x → ES x →Muc ✓→ Ae x → V > 10 μm³ 	<i>Botryococcus braunii</i> , <i>Oocystis lacustris</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Aphanocapsa delicatissima</i>	Los representantes de este grupo tienen las menores relaciones superficie volumen, haciéndolos sensibles a baja oferta de luz y nutrientes. La presencia de mucílago y aerótopos mejoran su control de hundimiento. Suelen generar biopelículas superficiales y están asociados a lagos someros con bajos procesos de mezcla.

Para este estudio, las colonias, cenobios, tricomas, ramificaciones con tallo y células individuales se consideraron como la unidad fisiológica de conteo (individuos); para los organismos coloniales con mucílago, el cálculo de V y S incluyó el mucílago dentro de las dimensiones, y para los organismos filamentosos la DLM fue la longitud de polo a polo del organismo. Organismos sin contenido citoplasmático o que se encontrarán degradados no se tuvieron en cuenta. En la **Tabla 3** se listan los atributos, el tipo al que pertenecen, su espectro de variación y las categorías establecidas (Kruk *et al.*, 2017). La determinación de los atributos calculables y el conteo de organismos se hizo por medio de un microscopio ion cámara integrada y las fotomicrografías (anexo 4) se tomaron con un microscopio Leica con cámara y con el software de adquisición de imágenes LAS EZ. Para las mediciones se

empleó el programa de procesamiento digital de imagen ImageJ (Rayband, 2019), siguiendo la correspondencia de los modelos geométricos y las representaciones algorítmicas propuesta por Hillebrand *et al.* (1999) y Sun y Liu (2003).

Tabla 3. Lista de atributos, tipo de atributo, espectro de variación y categorías empleadas para la clasificación de los GFBM (Kruk *et al.*, 2017).

Atributos	Tipo de atributo	Espectro de variación y Categorías
Volumen (V)	Continuo	0,33 – 4,9 e ⁺⁶ μm ³
Área superficial (S)	Continuo	0,036 – 39,3 μm ²
Dimensión lineal máxima (DLM)	Continuo	0,84 – 1,78 μm
Forma de vida	Categórico	Unicelular, colonia o tricomas
Aerótopos	Categórico	Presencia/ausencia
Flagelos	Categórico	Presencia/ausencia
Mucilago	Categórico	Presencia/ausencia
Exoesqueleto de sílice	Categórico	Presencia/ausencia

Análisis de datos

Como primer paso, a los datos primarios de análisis del laboratorio se les calculó la densidad celular (Ind/L) con base en la fórmula de Francoeur *et al.* (2013):

$$Densidad \left(\frac{Ind}{L} \right) = \frac{\left[\frac{(\sum \text{organismos} * Vm)}{(n * Va)} \right]}{V'} * Fd$$

Donde, *Vm*: volumen de la muestra (mL)

n: número de alícuotas

Va: volumen de la alícuota (mL)

V': volumen filtrado (L)

Fd: Factor de dilución

Con el fin obtener una precisión ecológica más real y certera del ensamblaje fitoplanctónico, se calculó el biovolumen de las algas en las muestras (μm³/L), para lo cual la densidad de cada taxón se multiplicó por el valor de su volumen calculado con los modelos geométricos propuestos por Hillebrand *et al.* (1999) y Sun y Liu (2003).

La dinámica espacio-temporal de los ensamblajes fitoplanctónicos y de sus correlativos fisicoquímicos se estudió desde varios aspectos. Para el efecto se distinguen tres temas: análisis univariados, análisis multivariados y análisis de diversidad beta. Los análisis se realizaron con uso de varias aplicaciones o paquetes del lenguaje estadístico R (R Core Team 2021) que se irán nombrando en el sitio correspondiente. Así, por ejemplo, la

representación gráfica de los resultados en forma mapas y gráficos de cajas se hizo aprovechando las funcionalidades del paquete ggplot2. En todos los casos la métrica usada para representar la abundancia de las especies fue el biovolumen.

Los análisis univariados probaron la hipótesis nula de que los valores de las variables fisicoquímicas (**Tabla 1**) y de estructura (riqueza, abundancia, índice de Shannon, equitabilidad) no se diferenciaron entre épocas ni entre hábitats y que no hay un efecto de interacción entre época y hábitat sobre dichas variables. Para ello se usó un análisis de varianza de dos vías (época y hábitat) con interacción (época por hábitat) y ajuste de heterogeneidad y normalidad de varianzas para cada variable (función `white.adjust` del paquete `rstatix`). El cálculo del índice de diversidad de Shannon se hizo con el paquete `vegan`. La equitabilidad de Pielou correspondió a la razón $H/\log(S)$, donde H es el índice de Shannon y S es el número de especies o riqueza.

La representación global de las estaciones en el espacio ecológico según las variables fisicoquímicas, de estructura y de su contenido biótico por época y por hábitat se hizo mediante la técnica de ordenación nMDS (“nonmetrial multidimensional scaling” por sus siglas en inglés), que permite mapear las distancias entre las muestras según sea su similitud (índice de Bray-Curtis en todos los casos). Las matrices multivariadas se transformaron con raíz cuadrada y posteriormente con la transformación Wisconsin, que consiste en dividir primero todas columnas (las especies, las variables fisicoquímicas o las variables de estructura) por sus máximos y luego estandarizar las filas (las estaciones) a totales de uno, en razón de que los valores de los atributos pueden variar en diferentes órdenes de magnitud, lo cual ocurre en particular con los registros de abundancia representados por los biovolumenes. Para el efecto se usó la función `metaMDS` del paquete `vegan`.

El efecto potencial de los factores fisicoquímicos sobre las variables de estructura del fitoplancton se exploró mediante modelos generales linealizados (generalized linear models, GLM por su sigla en inglés). Con el propósito de reducir la multicolinealidad se escogió el grupo de variables fisicoquímicas más adecuado mediante análisis de correlaciones y de factor de inflación de la varianza (función `vif` del paquete `car`). Las variables fisicoquímicas suman doce (**Tabla 1**). De estas se escogieron pH, oxígeno, temperatura, conductividad, sólidos suspendidos totales y clorofila-a para los modelos GLM.

Para cada variable dependiente de estructura se corrieron los siguientes modelos de estructura de errores: gaussiano, lognormal, negativo binomial, poisson y gama. Excepto el modelo negativo binomial (función `glm.nb` del paquete MASS), los análisis se hicieron con R base. Se le dio prioridad al modelo GLM con el valor de AIC (Akaike Information Criterium por sus siglas en inglés) más bajo. En caso de que una variable ambiental afectara significativamente ($p < 0.05$) a algún atributo de la estructura biótica, se corrió un nuevo GLM incluyendo la época, el tipo hábitat y sus interacciones para explorar la posibilidad de que su efecto fuera modulado por dichos factores. Una variable más de estructura se agregó para los análisis con GLM: el número efectivo de especies definido como el exponente del índice de Shannon (Jost, 2006).

Los contrastes de las hipótesis multivariadas, con las cuales se exploró el efecto de una matriz predictora sobre una matriz de respuesta, se llevaron a cabo mediante un anova permutacional multivariado o permanova (Anderson 2001, función `adonis2` del paquete `vegan`). Las matrices de respuesta se transformaron con la raíz cuadrada y la técnica de Wisconsin, como se explicó atrás.

El análisis permanova se usó para los siguientes contrastes: (1) el efecto de la época y el tipo de hábitat sobre la matriz de variables fisicoquímicas, (2) el efecto de la época y el tipo de hábitat sobre la matriz de estructura biótica (riqueza, abundancia, diversidad de Shannon y equitatividad de Pielou), (3) el efecto de la matriz de factores fisicoquímicos sobre la matriz de estructura biótica, (4) el efecto de la época y tipo hábitat sobre la matriz de ensamblajes fitoplanctónicos, (5) el efecto de la matriz de variables fisicoquímicas sobre la matriz de ensamblajes fitoplanctónicos, en este caso usando como variables predictoras todos los factores fisicoquímicos centrados (promedio cero y cada valor reemplazado por su diferencia con el promedio en la respectiva variable predictora) para reducir la multicolinealidad, y (6) el efecto de la época y el tipo de hábitat sobre la matriz de ensamblajes fitoplanctónicos. En los casos donde época y hábitat se usaron como variables predictoras se exploró también el posible efecto de su interacción.

En los casos de que los contrastes multivariados fueran significativos, se caracterizaron los elementos determinantes en las diferencias mediante un análisis `simper` (función `simper` del paquete `vegan`), que discrimina los objetos (especies) entre pares de grupos con mayor aporte a la disimilaridad entre ellos.

A las especies presentes en cada estación se les asignó un código numérico para indicar el grupo funcional al que pertenecieron (**Tabla 2**) y se tabuló la frecuencia de ocurrencia de los diferentes grupos funcionales en dichas estaciones. Ya que la incidencia de los grupos funcionales está afectada por el número de especies en cada estación, se eliminó este efecto reemplazando las frecuencias de ocurrencia por su porcentaje en cada estación, de modo que fueran comparables independientemente del número de especies. Para los gráficos que ilustran el comportamiento de los grupos funcionales entre épocas y hábitats, esos porcentajes se acumularon por grupo funcional.

Con la matriz de frecuencia de ocurrencias por grupo funcional transformada a porcentajes se condujo un análisis permanova (función `adonis2` del paquete `vegan`, 10000 permutaciones), usando como variables predictoras las épocas, los hábitats y su interacción. Con el fin de ilustrar el agrupamiento de las estaciones según la incidencia de los grupos funcionales se construyó una ordenación nMDS con la misma matriz.

La diversidad beta (la variación de la composición del ensamblaje en el espacio y en el tiempo) se exploró desde el punto de vista espacial y temporal. Para ambos casos, a los datos de biovolumen se les aplicó la transformación Hellinger (la raíz cuadrada del cociente de la abundancia de la especie j en un sitio i por la suma de abundancia de todas las especies en el sitio i) debido a las amplias diferencias en los órdenes de magnitud de los datos. Tanto las épocas como los hábitats se trataron individualmente en este análisis. La función `beta.div` del paquete `adespatial` se usó para este cálculo. Esta función provee una prueba estadística que responde a la pregunta de si alguna o algunas estaciones aportan significativamente ($p < 0,05$) más a la diversidad beta global que las demás, lo cual la haría de especial interés. Para ello, se particiona tanto el aporte de los sitios o contribución local a la diversidad beta (LCBD local contribution to beta diversity por su acrónimo en inglés), como el aporte de las especies o contribución de las especies a la diversidad beta total (SCBD species contribution to beta diversity por su acrónimo en inglés), según las formulaciones propuestas por Legendre y De Caseres (2013).

Dado que se muestrearon las mismas estaciones tanto en la época de lluvias como en la época seca, el cambio temporal de los ensamblajes se exploró mediante el índice de diversidad beta temporal TBI (temporal beta-diversity Index por sus siglas en inglés) propuesto por Legendre (2019), desarrollado precisamente para diseños pareados en el tiempo (función `TBI` del paquete `adespatial`). En este caso, la prueba se hizo tanto con los

datos cuantitativos y el coeficiente de disimilaridad de Bray Curtis, como con los datos transformados a presencia/ausencia y el coeficiente de disimilaridad de Jaccard. Los valores de las pruebas estadísticas se encuentran en el anexo 5.

RESULTADOS

Resultados Bióticos Globales

Durante el estudio se identificaron en total 149 morfoespecies de algas en el PEDH Torca-Guaymaral, pertenecientes a 9 phyla, 14 clases, 35 ordenes, 57 familias y 98 géneros. Las clases Bacillariophyceae (diatomeas), Chlorophyceae (clorófitos) y Euglenophyceae (euglenófitos) presentaron la mayor riqueza, con 34, 28 y 26 morfoespecies respectivamente, lo que equivale al 59% de todas las especies. La clase Cyanophyceae (cianobacterias) registró 22 morfoespecies (14%), la clase Trebouxiophyceae 9 (6%) y la clase Zygnematophyceae 7 (4%). Las clases restantes tuvieron pocos taxones y conformaron el 17% de la riqueza total. La lista taxonómica de estos organismos se registró en el anexo 2.

La **Tabla 4** muestra la lista de las diez morfoespecies más abundantes y frecuentes. La lista completa de especies, con su abundancia y frecuencia, se encuentra en el anexo 3. Nótese que solo *Phormidium* sp1 y *Lepocinclis* sp1 se encuentran en ambas listas. En general, no hubo especies comunes entre ambas listas, lo cual contrasta con la situación corriente donde, las especies más abundantes tienden a ser también las más frecuentes. Este patrón probablemente responde a la métrica usada para medir la abundancia (el biovolumen) que desacopla la relación común entre densidad y frecuencia en las grandes colecciones biológicas. La morfoespecie más abundante, *Enteromorpha* sp., tuvo un biovolumen acumulado de $30,3 \times 10^8 \mu\text{m}^3/\text{L}$, mientras que la morfoespecie más frecuente, *Navicula* spp. tuvo un biovolumen acumulado de $2,13 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$; es decir, *Enteromorpha* sp. fue 1417 más veces abundante en biovolumen que *Navicula* spp., la cual se registró en todas las estaciones, mientras que *Enteromorpha* sp. solo se reportó en dos estaciones de las 18 muestreadas (**Tabla 4**, anexo 3). La mayoría de las morfoespecies consignadas en la **Tabla 4** corresponden a algas cuyas formas de crecimiento son filamentosas, como en el caso de *Enteromorpha*, *Spirogyra*, *Ulothrix*, *Phormidium* y *Oedogonium*; al tener este tipo de crecimiento, las métricas y el cálculo del volumen se ven altamente incrementados principalmente por el valor de la dimensión lineal máxima.

Tabla 4. Lista de los morfoespecies fitoplanctónicas más abundantes en biovolumen ($\mu\text{m}^3/\text{L}$) y más frecuentes en las estaciones muestreadas del humedal Torca-Guaymaral.

Morfoespecie	Biovolumen ($\mu\text{m}^3/\text{L}$)	Morfoespecie	Frecuencia
<i>Enteromorpha</i> sp	$30,3 \cdot 10^8$	<i>Navicula</i> spp	18
<i>Spirogyra</i> sp	$20,7 \cdot 10^8$	<i>Phormidium</i> sp1	17
<i>Aphanocapsa</i> sp	$18,2 \cdot 10^8$	<i>Lepocinclis</i> sp1	16
<i>Ulothrix</i> sp	$10,7 \cdot 10^8$	<i>Trachelomonas volvocina</i>	16
<i>Westella</i> sp	$10,6 \cdot 10^8$	M2 Achnanthes	15
<i>Phormidium</i> sp1	$9,5 \cdot 10^8$	<i>Gomphonema</i> sp1	15
<i>Closterium</i> sp3	$7,4 \cdot 10^8$	<i>Trachelomonas</i> sp1	15
<i>Oedogonium</i> spp	$7,3 \cdot 10^8$	<i>Eunotia</i> sp1	14
<i>Lepocinclis</i> sp1	$4,2 \cdot 10^8$	<i>Nitzschia</i> sp2	13
<i>Euglena</i> sp5	$4,1 \cdot 10^8$	<i>Gomphonema</i> sp3	13

Sobre la temporalidad, para la época de lluvias se identificaron 124 morfoespecies. El grupo con mayor riqueza fue el de las diatomeas con 31 taxones, seguidas por los clorófitos con 25. Por su lado, los euglenófitos presentaron 23 morfoespecies y las cianobacterias 20. En la época seca se registraron 136 morfoespecies, con las diatomeas como la clase de mayor riqueza con 34 taxones, seguidas por los euglenófitos con 26, los clorófitos con 24 y las cianobacterias con 18. En términos de riqueza, tanto las diatomeas como los euglenófitos aumentaron su diversidad durante la época seca. De forma general, las estaciones del hábitat Canal fueron las de mayor riqueza, seguidas por las estaciones de ambientes Lénticos y de Quebradas.

La **Figura 4** muestra la representación porcentual de la abundancia de las clases de algas encontradas en el PEDH Torca-Guaymaral por época climática. Para la época de lluvias se destacaron las clases Ulvophyceae, Cyanophyceae y Zygnematophyceae, que representaron más del 80% de la abundancia de este periodo. En contraste, para la época seca las clases dominantes redujeron sus abundancias, mientras que aumentaron los clorofitos (>45%) y los euglenofitos (24%). Fue evidente que las abundancias de las algas cambiaron entre una época y otra.

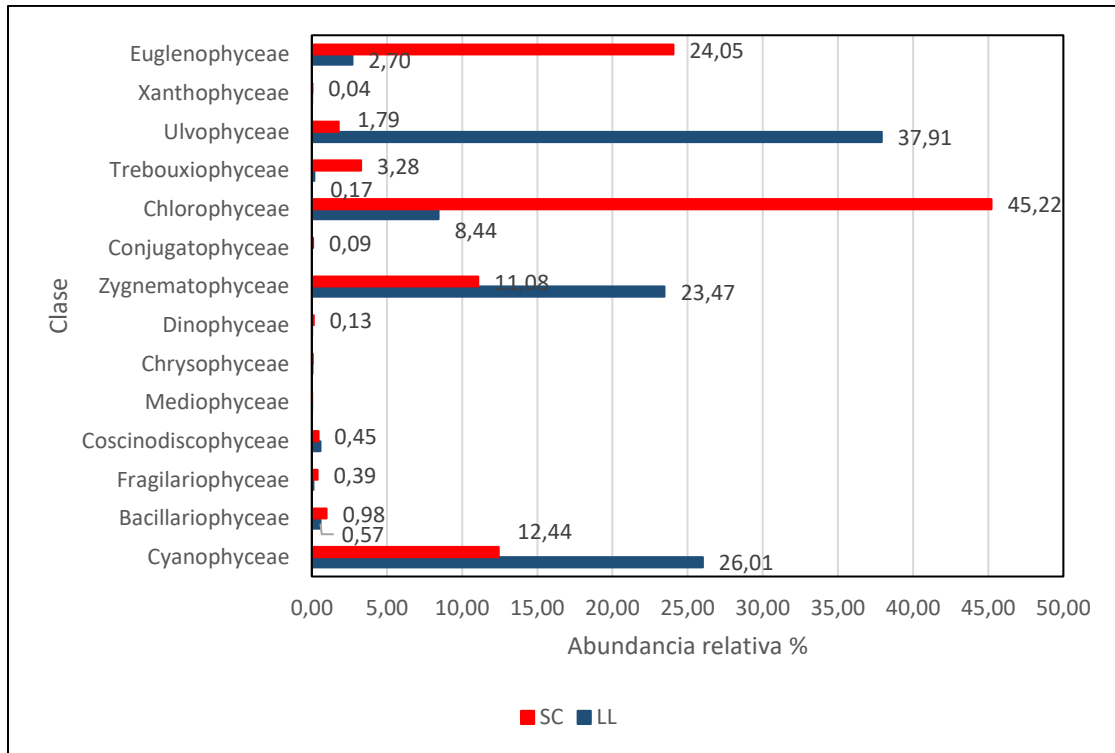


Figura 4. Porcentaje de abundancia de las diferentes clases de algas por época climática encontradas en el PEDH Torca-Guaymaral. SC: temporada seca; LL: temporada de lluvias.

En cuanto a las clases más representativas (**Figura 5**) en términos de biovolumen por hábitat, resaltaron las Zygnematophyceae, que fueron la más representativas para el hábitat Quebradas. La clase Chlorophyceae fue la más importante para las estaciones de Canal, seguida de las clases Cyanophyceae, Zygnematophyceae y Euglenophyceae, con porcentajes de abundancia relativa que rondaron el 20%. La clase Ulvophyceae (54%) fue la más característica del hábitat Léntico, seguida por las cianobacterias (26%). Cabe destacar que las clases presentes en los tres hábitats fueron Euglenophyceae, Cyanophyceae y Chlorophyceae; en general, estas algas son cosmopolitas y toleran diversos factores de contaminación (Reynolds, 2006).

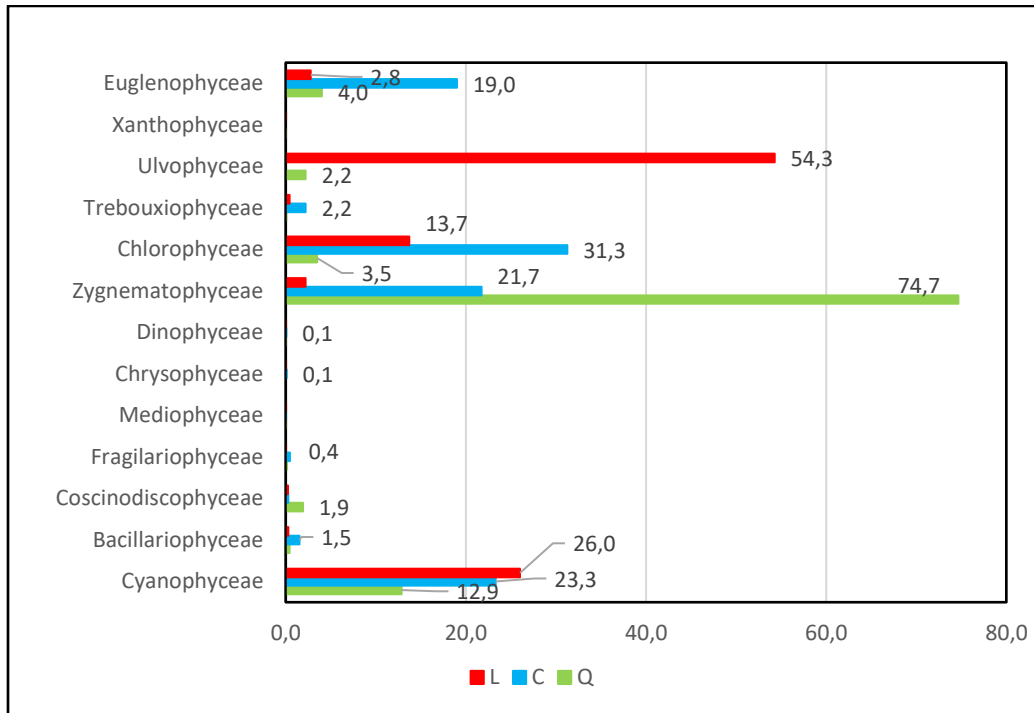


Figura 5. Porcentaje de abundancia de las diferentes clases de algas por tipo de hábitat encontradas en el PEDH Torca-Guaymaral. L: lénticos, C: canal, Q: quebradas

A continuación, se mencionan las morfoespecies de cada clase de fitoplancton presentes en el PEDH Torca-Guaymaral, tanto por su temporalidad como por su hábitat.

La clase Bacillariophyceae presentó morfoespecies representativas en ambas épocas climáticas. Durante la temporada de lluvias se destacaron *Amphipleura* sp. con un biovolumen acumulado de $1,68 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$, seguida de *Frustulia* sp2 ($1,36 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$), *Pinnularia* sp2 ($8,72 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$), un taxón (M2) del orden Achnanthes ($5,76 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$) y *Stauroneis* sp ($3,21 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$). Otras entidades representativas fueron *Nitzschia* sp3, *Placoneis* sp, *Cymbella* sp y *Navicula* spp. La época seca tuvo la mayor abundancia de la morfoespecie M2 (Achnanthes, $9,83 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$), seguida de *Pinnularia* sp2 ($9,2710 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$) y *Placoneis* sp ($5,60 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$). Se destacaron también *Stauroneis*, *Pinnularia* sp3, sp4 y sp5, *Amphipleura* y *Eunotia* sp2. Dentro de las morfoespecies con las menores abundancias para la época seca, se destacaron también *Diatoma* sp, *Encyonema* sp y *Gomphonema* sp2, sp3 y sp4. La época seca presentó mayor número de morfoespecies que la época lluviosa, siendo *Pinnularia* sp5, Cf. *Neidium*, Cf. *Sellaphora*, *Encyonema* sp y *Diatoma* sp taxones exclusivos del periodo seco.

Sobre el tipo de ambiente limnológico, las diatomeas tendieron a ser más abundantes en los hábitats Léntico y Canal que en Quebradas. Cabe destacar a *Pinnularia* sp2, ya que fue el único género abundante en los tres hábitats con densidades acumuladas superiores a $3,9 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$. Para los sitios Lénticos se destacaron los géneros *Amphipleura* sp. ($1,57 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$), la morfoespecie M2 (Achnanthes, $1,41 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$) y *Frustulia* sp2 ($1,16 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$). En los lugares de Quebrada, al igual que en los Lénticos, sobresalieron las morfoespecies *Amphipleura* sp. ($2,01 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$) y *Frustulia* sp2 ($1,19 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$) como las más abundantes. Para el hábitat Canal los taxones más representativos fueron *Pinnularia* sp2 y sp5 ($4,79 \cdot 10^6$ y $2,52 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$, respectivamente), *Nitzschia* sp2 y sp3 ($1,89 \cdot 10^6$ y $2,51 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$, respectivamente) y *Stauroneis* sp ($1,81 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$).

Para la clase Chlorophyceae en ambas épocas climáticas se destacaron *Oedogonium* spp, *Stigeoclonium* sp y *Coelastrum* sp2. Como los 4 más abundantes. Otras morfoespecies representativas en la época lluvia fueron *Sphaerocystis* sp. ($2,14 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$) y *Pediastrum* sp1. ($2,06 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$). Durante el periodo seco el taxón más abundante fue *Westella* sp. con $1,06 \cdot 10^9 \mu\text{m}^3/\text{L}$; su frecuencia de aparición fue mayor durante esta época (4 estaciones) que en la fase de lluvias, cuando solo apareció en una estación.

De manera similar a su comportamiento temporal, en la distribución por tipo de hábitat se destacó *Westella* sp., con un biovolumen acumulado de $1,02 \cdot 10^9 \mu\text{m}^3/\text{L}$, correspondiente a los puntos lénticos 8 y 9 ubicados al occidente de la autopista norte. Su alto biovolumen podría ser señal de una floración algal. En los tres tipos de hábitats sobresalieron *Oedogonium* spp., dos morfoespecies de *Coelastrum* y varias morfoespecies de *Desmodesmus*. Para los ambientes Lénticos, *Coelastrum* sp2 presentó un biovolumen de $1,29 \cdot 10^8 \mu\text{m}^3/\text{L}$, seguida de *Oedogonium* spp. con $3,23 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$. Las estaciones tipo Canal presentaron la mayor abundancia por hábitat, con $4,08 \cdot 10^9 \mu\text{m}^3/\text{L}$, seguidas por los lugares de tipo Léntico, con $1,31 \cdot 10^9 \mu\text{m}^3/\text{L}$ y las Quebradas con $8,77 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$.

Dentro de la clase Euglenophyceae fueron representativos diferentes taxones de *Lepocinclis*, *Euglena* y *Trachelomonas*. En la época seca aumentó en gran medida el biovolumen acumulado de este grupo. Los biovolúmenes de la mayoría de entidades superaron a los de la época lluvia. Se destacaron *Euglena* sp4 ($4,02 \cdot 10^8 \mu\text{m}^3/\text{L}$), *Lepocinclis* sp1, sp2 y sp3 ($2,72 \cdot 10^8$, $2,63 \cdot 10^7$ y $1,55 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$, respectivamente) y *Trachelomonas* sp1 ($2,63 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$). Para la época lluvia también sobresalieron *Lepocinclis* sp1, sp2 ($1,55 \cdot 10^8$ y $6,75 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$, respectivamente) y *Euglena* sp4 y sp5 ($1,97 \cdot 10^7$ y $8,14 \cdot 10^6$

$\mu\text{m}^3/\text{L}$, respectivamente). Las morfoespecies M1 y M2 tuvieron biovolúmenes y frecuencias de aparición apreciables en el estudio, y podrían corresponder a formas de resistencia (cistes).

En cuanto al tipo de hábitat de los euglenófitos, se puede decir que constituyen un grupo muy adaptado a las condiciones que ofrece el humedal. Se destacaron en los tres hábitats *Lepocinclis* sp1, sp2, sp3 y *Euglena* sp4 y sp5. El biovolumen acumulado por taxones de esta clase fue $7,42 \cdot 10^8 \mu\text{m}^3/\text{L}$, correspondiente al hábitat Léntico, seguido de $2,06 \cdot 10^8 \mu\text{m}^3/\text{L}$ para canal el hábitat Canal y de $9,91 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$ para los puntos de Quebradas. Otras entidades importantes por su frecuencia de aparición en los tres hábitats fueron *Phacus* sp1, sp2 y *Trachelomonas* sp1.

Dentro de la Cianobacterias o algas verde-azuladas el género más abundante fue *Aphanocapsa* sp., con un biovolumen acumulado de $1,82 \cdot 10^9 \mu\text{m}^3/\text{L}$ para la época de lluvias. Otros organismos que se destacaron en esta época fueron Aff. *Leptolyngbya*, *Spirulina* y *Pseudanabaena*. Las morfoespecies *Phormidium* sp1, *Oscillatoria* sp3 y sp2 fueron importantes por su biovolumen en ambas épocas climáticas; además, estas entidades también fueron representativas en los tres tipos de hábitats. Por otro lado, el género *Stigonema* sp solo se halló en el hábitat de Canal, con una abundancia acumulada de $1,07 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$. Esta información denota que dentro de las cianobacterias las algas más representativas fueron organismos filamentosos, los cuales tienen la capacidad de aumentar su volumen de forma más rápida que otros grupos como las diatomeas o los euglenófitos.

Para la clase Trebouxiophyceae, la entidad Cf. *Botryococcus* presentó el mayor biovolumen acumulado de la época lluviosa, con $1,44 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$, seguido por Cf. *Dichotomococcus*, *Microthamnion*, *Chlorella* y *Micractinium* sp. En época seca sobresalió *Micractinium* sp. como el taxón más abundante, con $9,64 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$, seguido de Cf. *Botryococcus*, *Actinastrum* sp, Aff. *Pachycladella* y Cf. *Dichotomococcus*.

También se destacaron las morfoespecies Cf. *Botryococcus* y Cf. *Dichotomococcus* en los tres tipos de ambientes limnológicos. El hábitat Léntico presentó el mayor biovolumen, con $7,41 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$; este valor corresponde a los cuerpos lénticos 8 y 9 ubicados al occidente de la autopista norte. Su alto biovolumen podría ser señal de una floración algal. Otros taxones a destacar fueron *Microthamnion* sp, *Oocystis* sp y *Chlorella* sp. En el hábitat Canal el mayor biovolumen correspondió a *Micractinium* sp ($2,23 \cdot 10^7 \mu\text{m}^3/\text{L}$). En general, los

hábitats Lénticos y de Canal presentaron mayores biovolúmenes que los de Quebrada. Debido a que estos organismos son más pequeños que las cianobacterias filamentosas, sus biovolúmenes fueron bajos.

La clase Zygnematophyceae fue una de las más abundantes a pesar de no tener una gran riqueza. Se destacaron para ambas épocas climáticas las morfoespecies *Spirogyra* sp. y *Closterium* sp3 y sp2, con biovolúmenes entre $3,39 \cdot 10^6$ y $1,83 \cdot 10^9 \mu\text{m}^3/\text{L}$. *Spirogyra* es un alga verde filamentosa muy frecuente que por su forma de crecimiento puede formar agrupaciones y aumentar su población rápidamente. Por otro lado, cabe resaltar también desmicias como *Cosmarium* y *Staurastrum*, que presentaron los menores biovolúmenes ($4,99 \cdot 10^4$ y $1,94 \cdot 10^3 \mu\text{m}^3/\text{L}$ respectivamente). Esto es concordante con la gran diversidad de formas que existen en los ensamblajes fitoplanctónicos de este humedal. En cuanto a su hábitat, se destacan las mismas morfoespecies con una tendencia a aumentar sus biovolúmenes en los puntos Lénticos y de Canal, en comparación con los sitios de Quebradas, situación similar a la que se presentó en otras clases del fitoplancton anteriormente descritas.

La clase Ulvophyceae, con solo las entidades *Enteromorpha* y *Ulothrix*, fue una de las que tuvo mayor biovolumen pero baja frecuencia de aparición (**Tabla 4**), dado que son algas con formas filamentosas largas que hacen que el cálculo de su biovolumen aumente proporcionalmente. *Enteromorpha* ($3,03 \cdot 10^9 \mu\text{m}^3/\text{L}$) fue exclusiva de la época climática lluviosa y del hábitat Canal (estaciones 5 y 7).

Caracterización espacio-temporal del entorno físico-químico

En general, las variables físico-químicas presentaron variaciones en las dos épocas climáticas y entre hábitats. Las mayores variaciones se dieron en los registros de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales (**Figura 6**), clorofila-a y cloruros (**Figura 7**). Se debe tener en cuenta que, para varias de las mediciones realizadas, la concentración de los elementos químicos estuvo por debajo del margen de detección del método usado

Las **figuras 6 y 7** muestran los mapas de distribución geográfica de las variables físicas (pH, oxígeno, temperatura, conductividad, saturación y sólidos) y químicas (clorofila-a, cloruros, DBO_5 , PO_4 , NO_3 y NO_2), respectivamente, en el humedal. Una inspección de las

figuras reveló cambios en el tiempo y diferencias entre hábitats que, sin embargo, no son uniformes a lo largo y ancho del humedal. Por ejemplo al tomar la estación Canal más al norte, cerca de la latitud 4,81, es claro que con el paso de la época de lluvias a la seca disminuyó su pH, mantuvo su oxígeno y temperatura, aumento su conductividad, mantuvo su saturación y redujo ligeramente sus sólidos suspendidos totales, mientras que la estación Quebrada contigua disminuyó notoriamente su pH, mantuvo su oxígeno, redujo ligeramente su temperatura, mantuvo su conductividad, disminuyó ligeramente su saturación y mantuvo sus solidos (**Figura 5**) Los valores individuales de cada variable fisicoquímica y en cada punto de muestreo se muestran en el anexo 1.

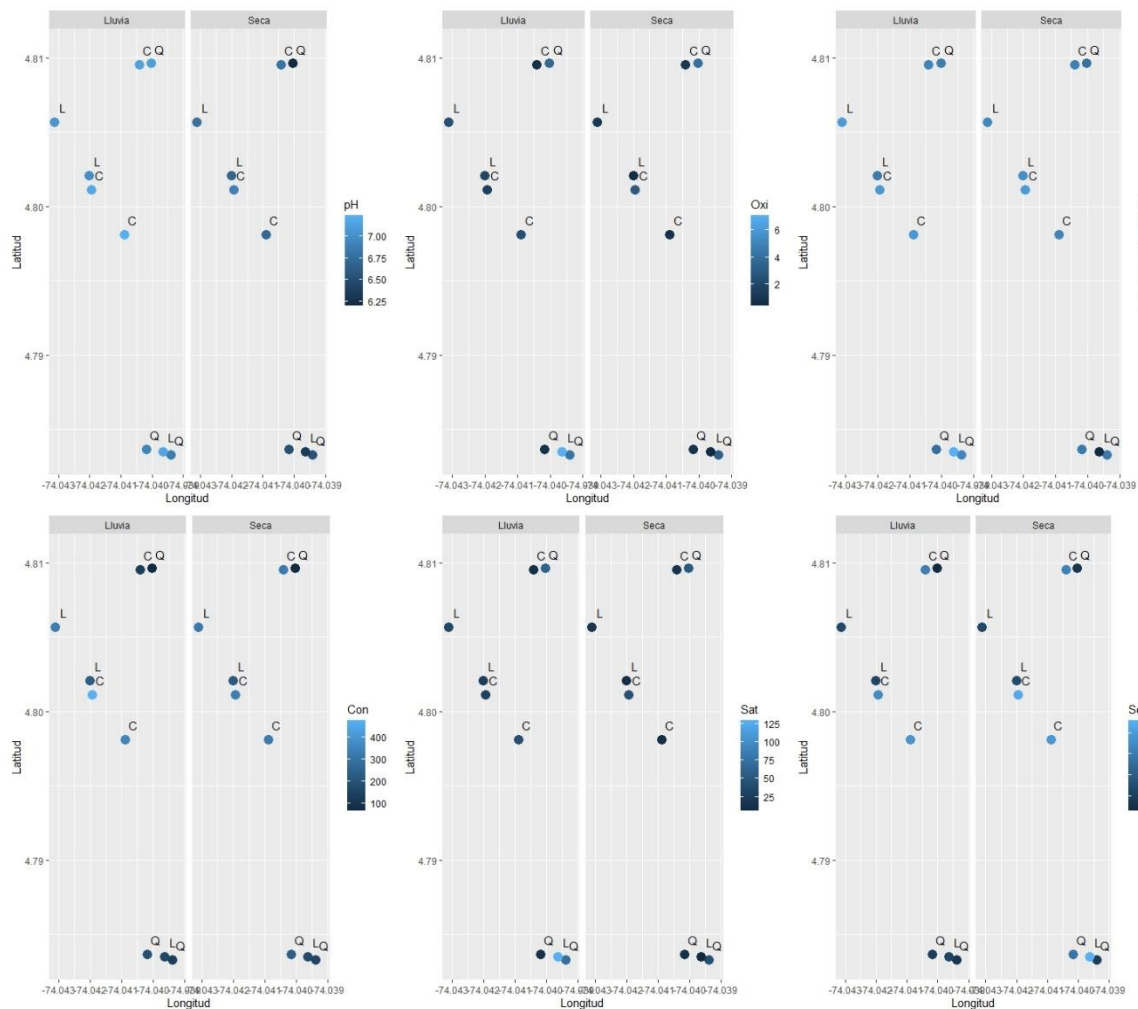


Figura 5. Mapas de distribución geográfica de las variables físicas en el PEDH Torca-Guaymaral para cada época climática (lluvia, seca), C: Canales, L: Lénticos y Q: Quebradas.

Respecto a los químicos y tomando las mismas estaciones hacia la latitud 4,81 se evidenció que en el paso de la época de lluvia a la seca disminuyó su clorofila-a y el PO_4 , aumentó los cloruros y el NO_3 , mantuvo los valores de DBO_5 y NO_2 (Figura 6), mientras que la estación Quebradas contigua mantuvo su clorofila-a, su contenido de cloruros, su BDO, aumento levemente su contenido de PO_4 y aumento su contenido de NO_3 y NO_2 , este último sustancialmente (Figura 6).

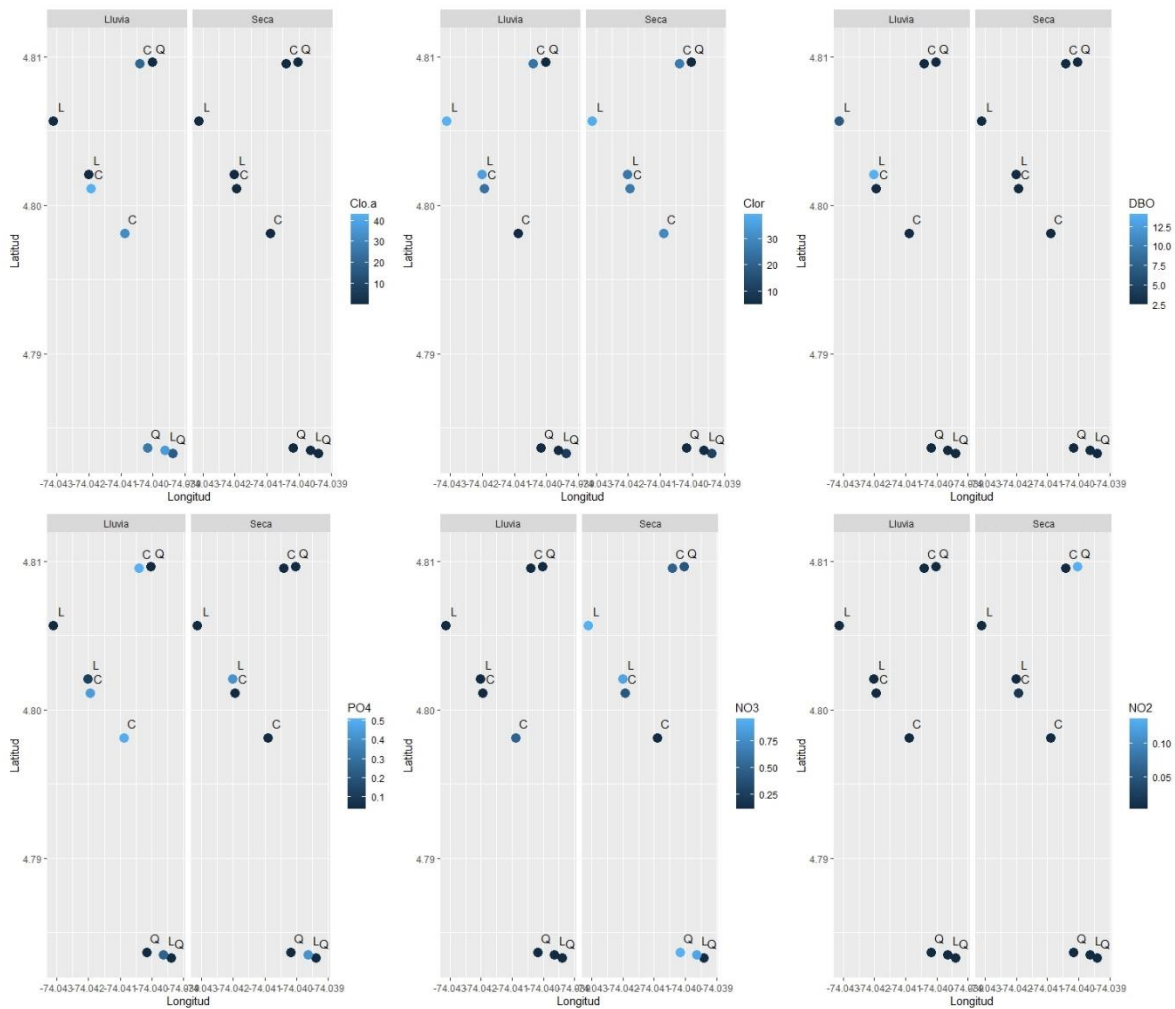


Figura 6. Mapas de distribución geográfica de las variables físicas en el PEDH Torca-Guaymaral para cada época climática, C: Canales, L: Lénticos y Q: Quebradas.

Lo anterior indica una señal ambiental de asociación al cambio de la época de lluvias a la seca en relación a su entorno físico-químico es suficiente para que en la ordenación nMDS las estaciones de lluvia se agrupen diferencialmente respecto a las estaciones de la época seca, con baja entremezcla de estaciones y reducida sobreposición de las elipses. (**Figura 7**).

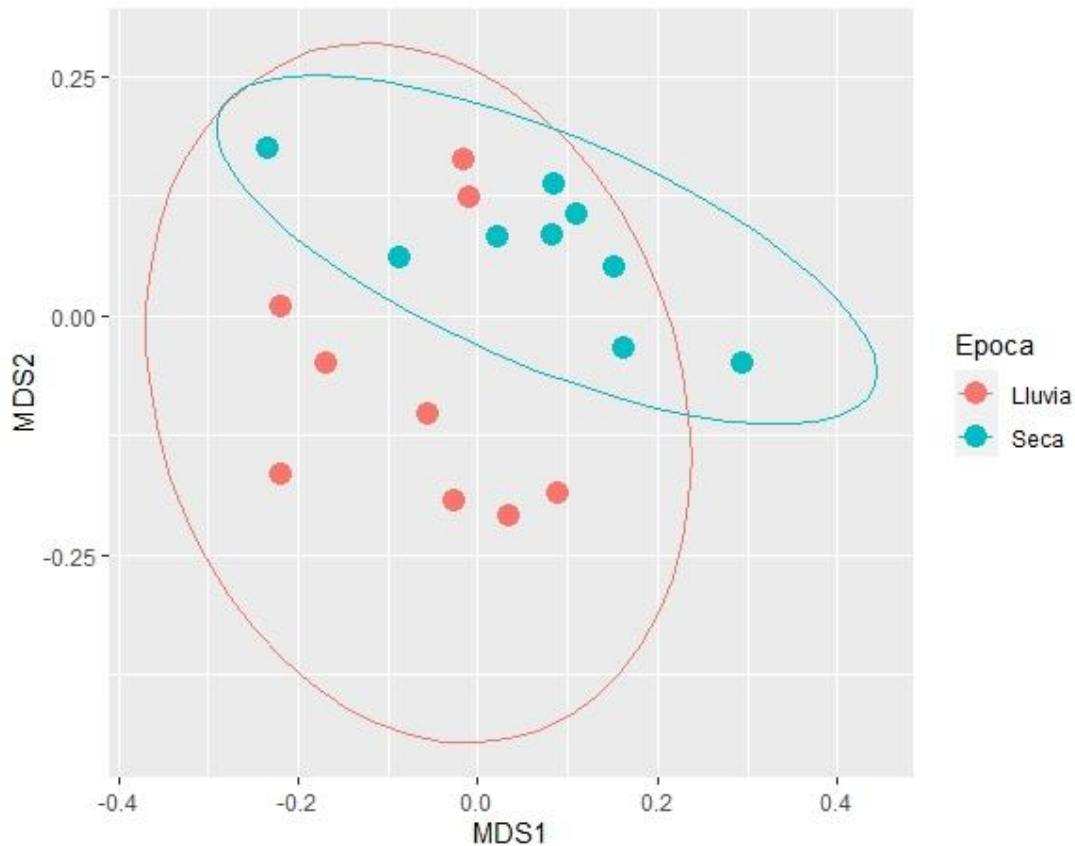


Figura 7. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) de las variables físicoquímicas por época climática en el PEDH Torca-Guaymaral.

Al explorar la ordenación nMDS de las estaciones por tipo de hábitats, la respuesta de los factores físicoquímicos fue más variada, con entremezcla de las estaciones y superposición de las elipses, no se evidenciaron agrupaciones claras (**Figura 8**). Desde una perspectiva global, se observa cierta tendencia a que las estaciones de Quebradas se separen de las de Canal y Lénticos, mientras que estas dos últimas aparecen entremezclarse más (**Figura 8**).

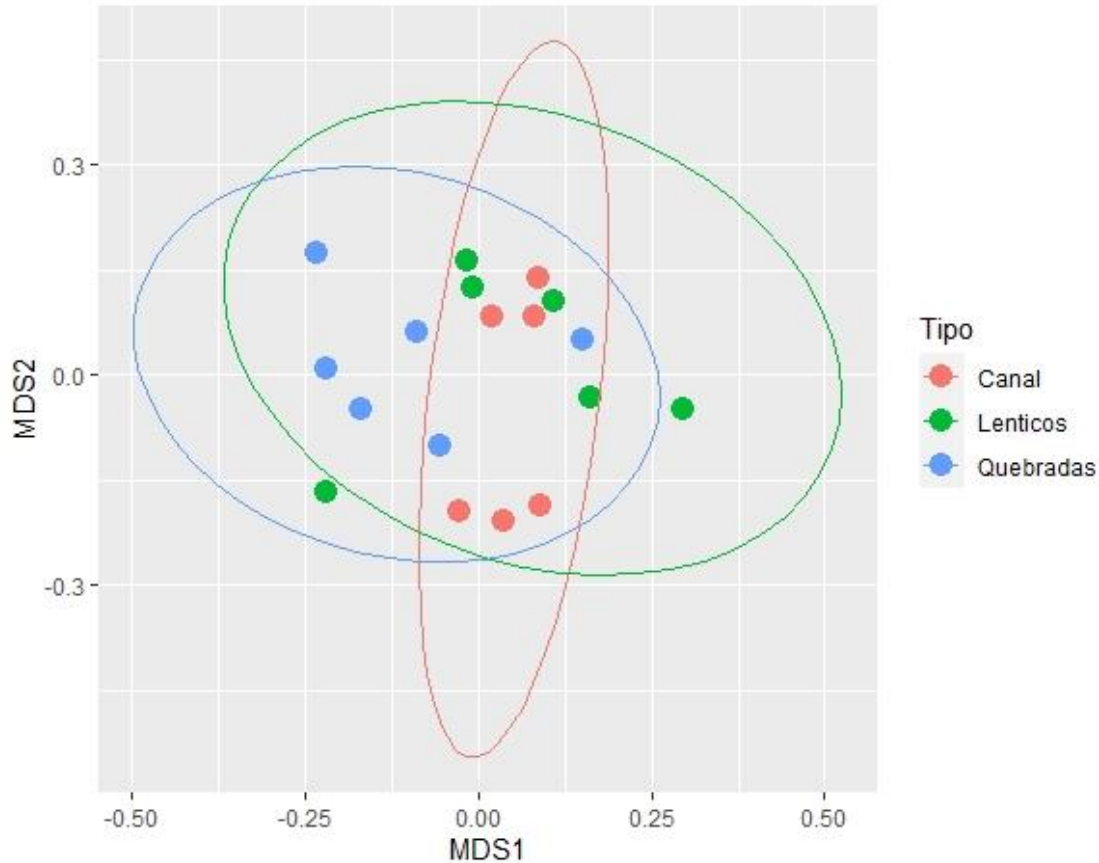


Figura 8. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) de las variables fisicoquímicas por hábitat en el PEDH Torca-Guaymaral.

Se probó la influencia de las épocas y los hábitats sobre la matriz de fisicoquímicos con la prueba permanova. Tanto época como hábitat afectan significativamente a la matriz de fisicoquímicos ($p < 0,05$). La interacción época y hábitat resulta marginalmente significativa ($p = 0,08$).

Las figuras 8 y 9 contrastan los valores medianos individuales de las variables físicas entre épocas y hábitats, respectivamente. Las variables físicas mostraron un comportamiento estadístico variado. Así, oxígeno, temperatura y saturación no fueron diferentes estadísticamente entre épocas o hábitats ni se evidenció ningún efecto de interacción entre épocas y hábitats ($p > 0,05$), mientras que, para el pH, la conductividad, los sólidos solubles totales hubo efectos significativos ($p < 0,05$).

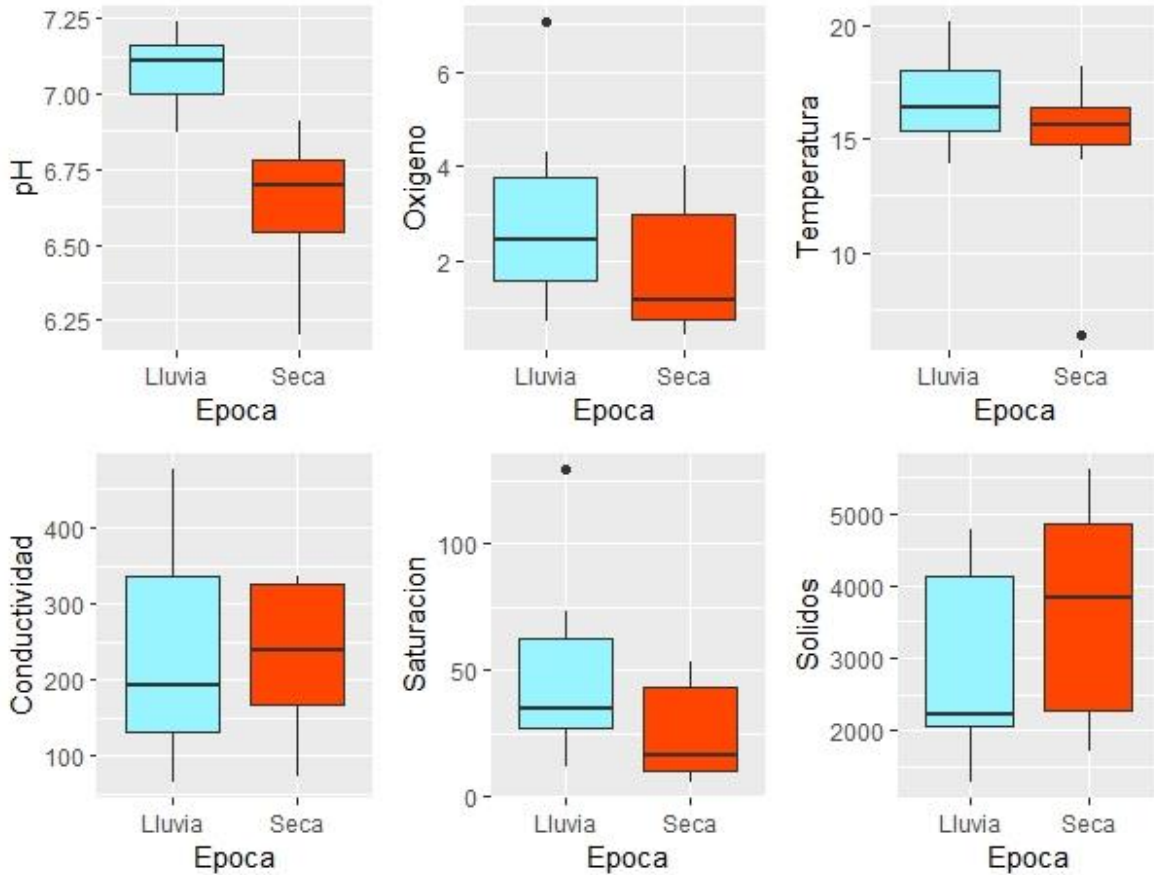


Figura 8. Gráficos de cajas de las variables físicas en el PEDH Torca-Guaymaral por época climática.

En el caso del pH tanto las épocas como los hábitats le influyen significativamente ($p < 0,05$, figuras 5 y 6) pero no hay interacciones significativas ($p > 0,05$). El contraste significativo en pH para hábitats ocurre entre Canal y Quebradas ($p < 0,05$, **Figura 9**). La conductividad es influida significativamente por los hábitats ($p < 0,05$) pero no por las épocas ni por su interacción ($p > 0,05$). La prueba *post hoc* indica que Canal y Quebradas son significativamente diferentes en conductividad ($p < 0,05$, **Figura 9**). Los sólidos suspendidos totales siguen el mismo patrón con los hábitats influyendo significativamente ($p < 0,05$) pero no así las épocas ni las interacciones ($p < 0,05$). La prueba *post hoc* indica que Canal es estadísticamente diferente de Lenticos y de Quebradas ($p < 0,05$, **Figura 9**) que no difieren entre sí ($p > 0,05$).

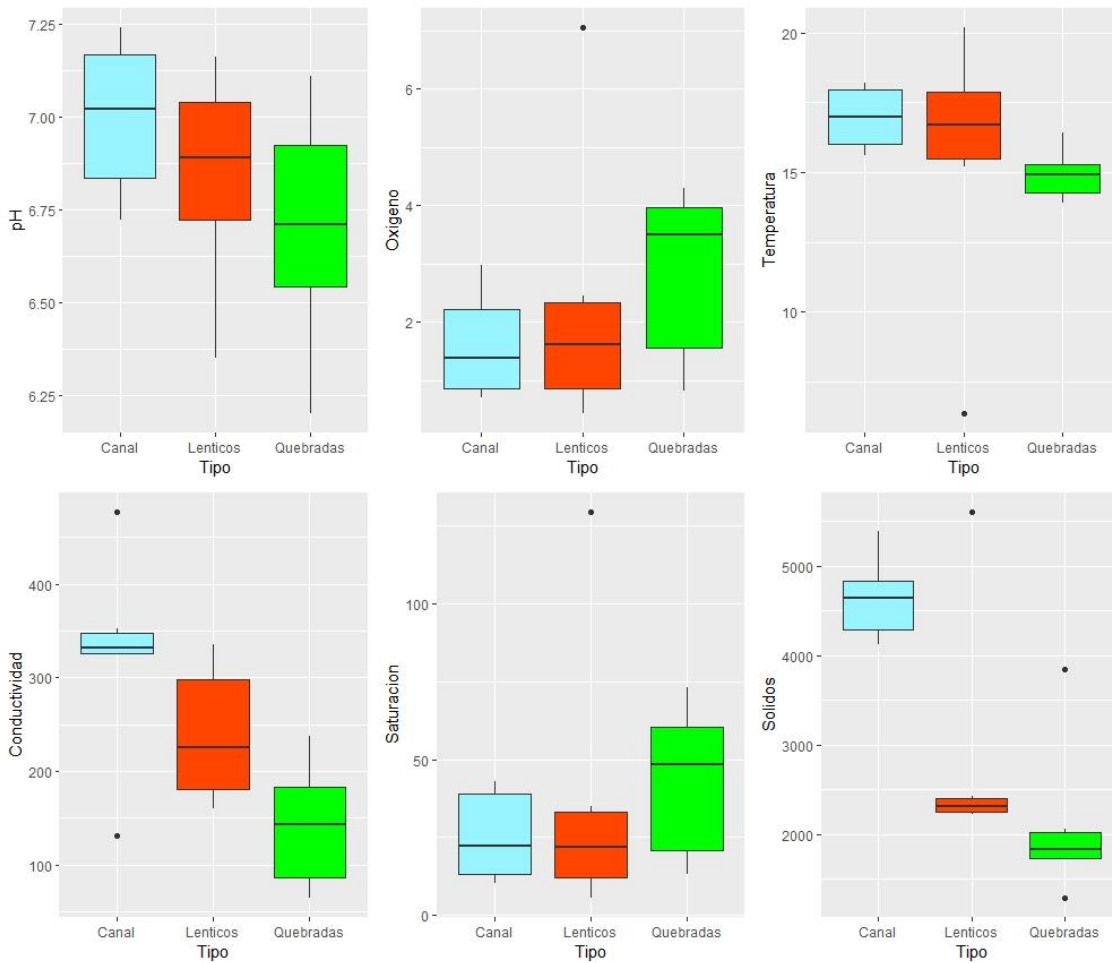


Figura 9. Gráficos de cajas de las variables físicas en el PEDH Torca-Guaymaral por tipo de hábitat.

El valor mediano de las variables químicas se muestra en las figuras 10 y 11 para épocas y hábitats, respectivamente. El DBO_5 , ortofosfatos, nitratos y nitritos no fueron diferentes estadísticamente entre épocas o hábitats ni se evidenció ningún efecto de interacción entre épocas y hábitats ($p > 0.05$).

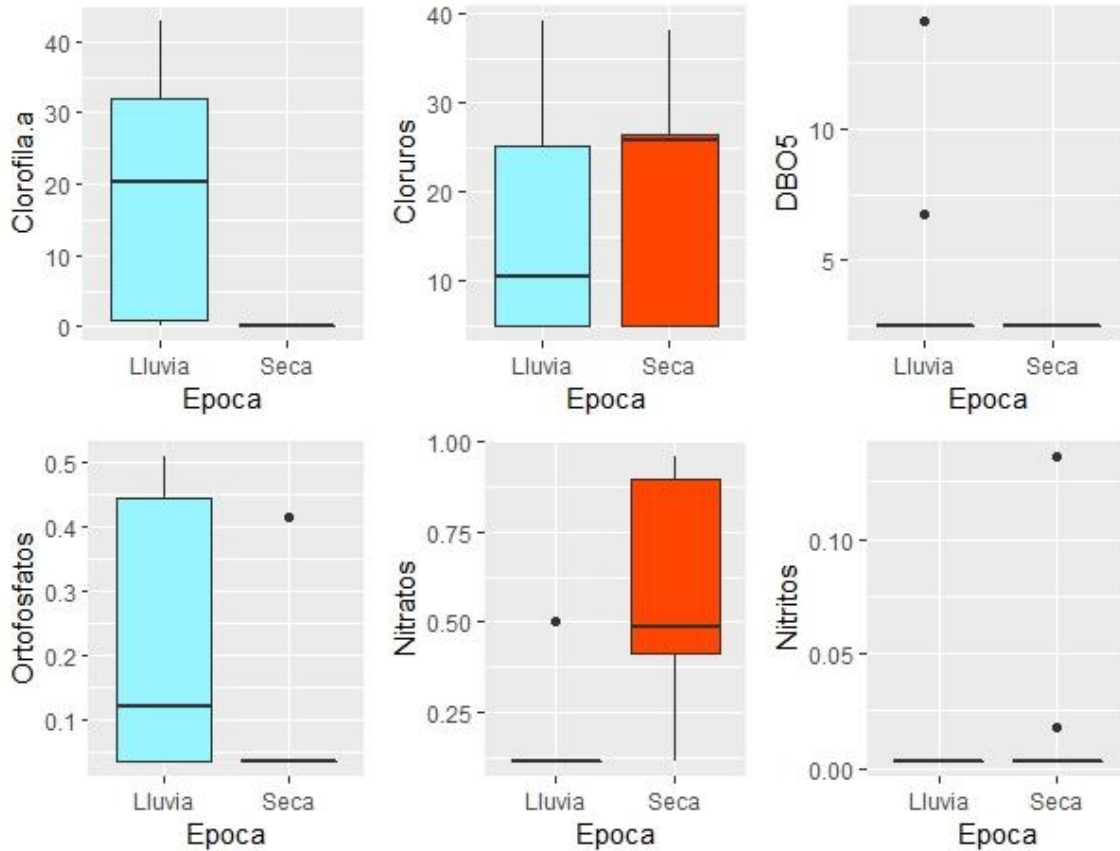


Figura 10. Gráficos de cajas de las variables químicas en el PEDH Torca-Guaymaral por época climática.

De interés resulta que la clorofila-a es significativamente afectada por el paso de la época de lluvia a la época seca ($p < 0,05$) y no así por los hábitats o las interacciones (**Figura 10**), de manera que es probable que la fotosíntesis de las algas disminuya durante la época seca debido al aumento de la cantidad de sólidos por la desecación natural de los cuerpos de agua, lo que impide la penetración de la luz a lo largo de la columna de agua.

Los cloruros resultaron afectados significativamente por los hábitats ($p < 0,05$, **Figura 11**) no así por la época ($p > 0,05$), siendo el contraste entre Lenticos y Quebradas el significativo estadísticamente ($p < 0,05$) según la prueba *post hoc*. Estas variaciones pueden atribuirse a que en las estaciones de Canal se presenta una influencia antrópica más elevada debido a que existen vertimientos de diversos tipos de agua, lo cual aumenta la cantidad de iones en comparación con las estaciones de Quebradas y los sitios Lénticos.

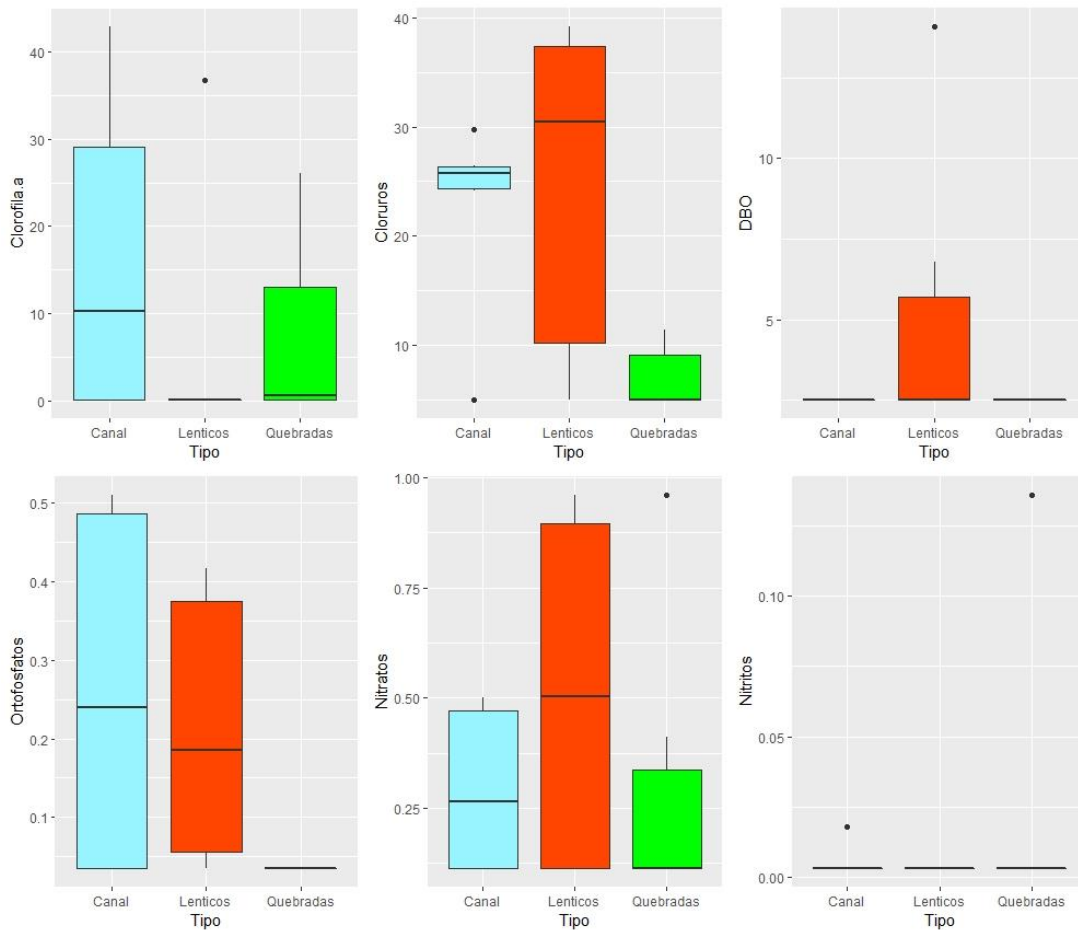


Figura 11. Gráficos de cajas de las variables físicas en el PEDH Torca-Guaymaral por hábitat.

Dinámica espacio-temporal de las variables de estructura biótica

La **Figura 12** muestra el mapa de distribución geográfica de las variables de estructura biótica. Las variables de estructura son sensibles al cambio de la época de lluvias a la seca, pero no de forma uniforme. Si bien, los cambios en los valores de las variables de estructura entre épocas y hábitats no son muy intensos, si se evidencia una dinámica en el tiempo y algunas diferencias entre hábitats. Por ejemplo, en la segunda estación más al norte (latitud 4,81), que corresponde a un ambiente de Canal, aumentaron la riqueza, la equitabilidad y la diversidad y disminuyó la abundancia cuando se pasó de la temporada de lluvias al

periodo seco, mientras que la estación del hábitat Quebrada contigua disminuye su riqueza, mantiene su abundancia y diversidad y aumenta ligeramente su equitabilidad (**Figura 13**).

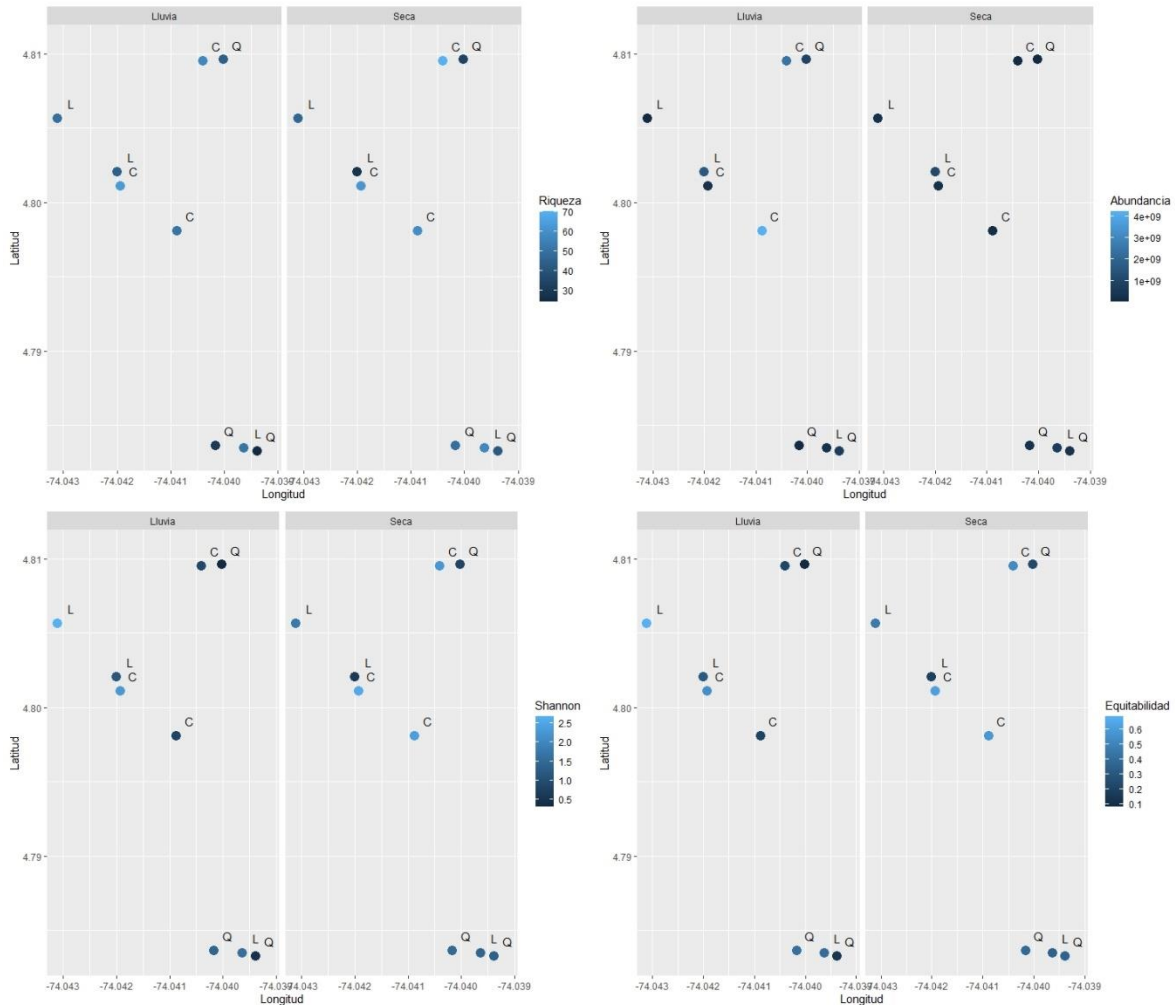


Figura 12. Mapas de distribución de las variables de estructura en el PEDH Torca-Guaymaral para cada época climática, C: Canal, L: Lénticos y Q: Quebradas.

Los valores globales de la mediana y la distribución de los datos por época y hábitat de las variables de estructura del fitoplancton se muestran en las figuras 13 y 14, respectivamente. La mediana de la riqueza no fue estadísticamente diferente entre épocas climáticas ($p < 0,05$) pero si entre hábitats ($p < 0,05$), en concordancia con lo sugerido en las figuras 13 y 14. No se encontró efecto de interacción entre época y hábitat sobre la riqueza ($p > 0,05$).

El análisis *post hoc* revela diferencias significativas entre Canal y Lenticos ($p < 0,05$) y Canal y Quebradas ($p < 0,05$) mientras que Lenticos y Quebradas no difieren estadísticamente ($p > 0,05$, **Figura 14**).

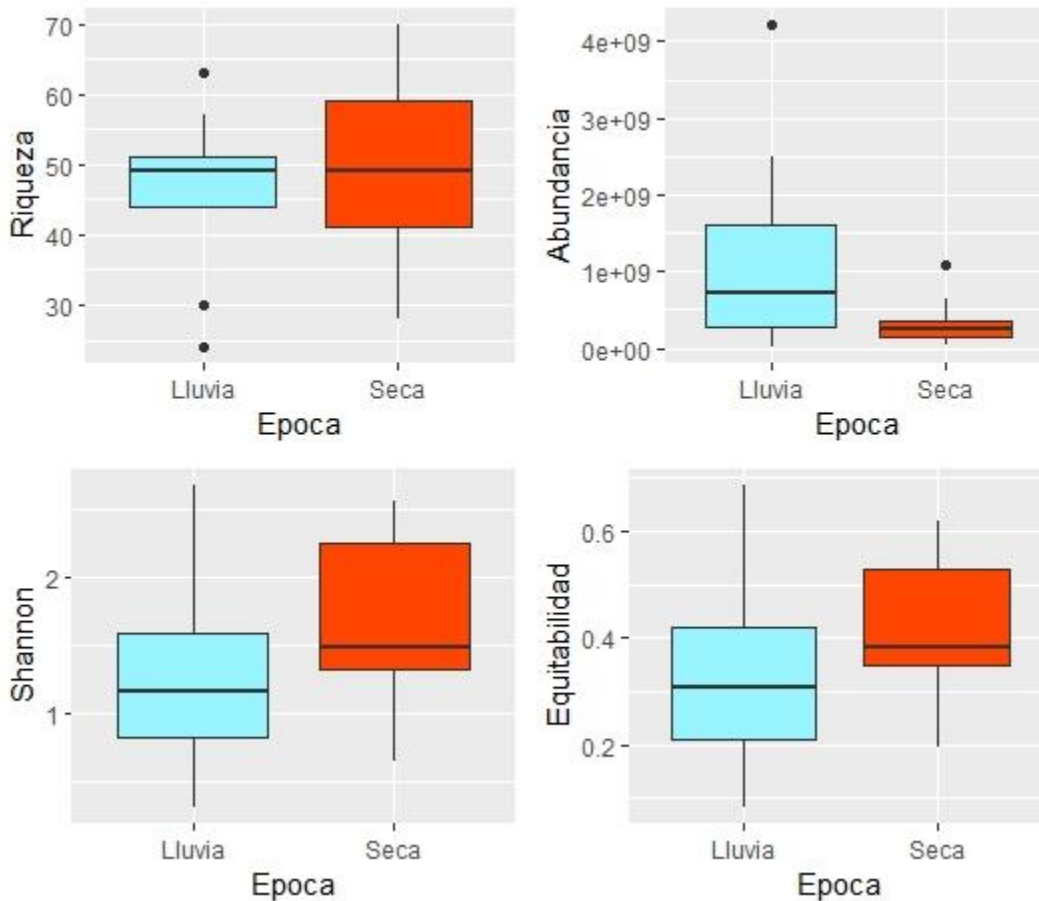


Figura 13. Gráficos de cajas de las variables de estructura por época climática en el PEDH Torca-Guaymaral.

Las medianas de las variables de estructura del fitoplancton fueron más contrastantes desde el punto de vista de los hábitats (**Figura 14**). En cuanto a abundancia, en contraste con riqueza, no se detectaron diferencias significativas entre épocas o hábitats y tampoco hay interacciones ($p > 0,05$) como lo sugieren las figuras 13 y 14. El anova con la diversidad de Shannon sigue un patrón similar a riqueza: no se detectan diferencias significativas entre

épocas ($p > 0,05$) pero si entre hábitats ($p < 0,05$), en este caso entre Canal y Quebrada ($p < 0,05$, **Figura 14**). En ninguna instancia hay interacciones significativas ($p > 0,05$).

Equitabilidad se comporta en línea con riqueza y la diversidad de Shannon con diferencias entre hábitats, si bien al borde de la significancia ($p = 0,05$) y no diferencias significativas entre épocas ($p > 0,05$). Ninguna interacción fue significativa para equitabilidad ($p > 0,05$), igual que con las otras variables de estructura. No obstante, la significancia global, la prueba *post hoc* no encuentra diferencias significativas en la comparación por pares de los hábitats ($p > 0,05$).

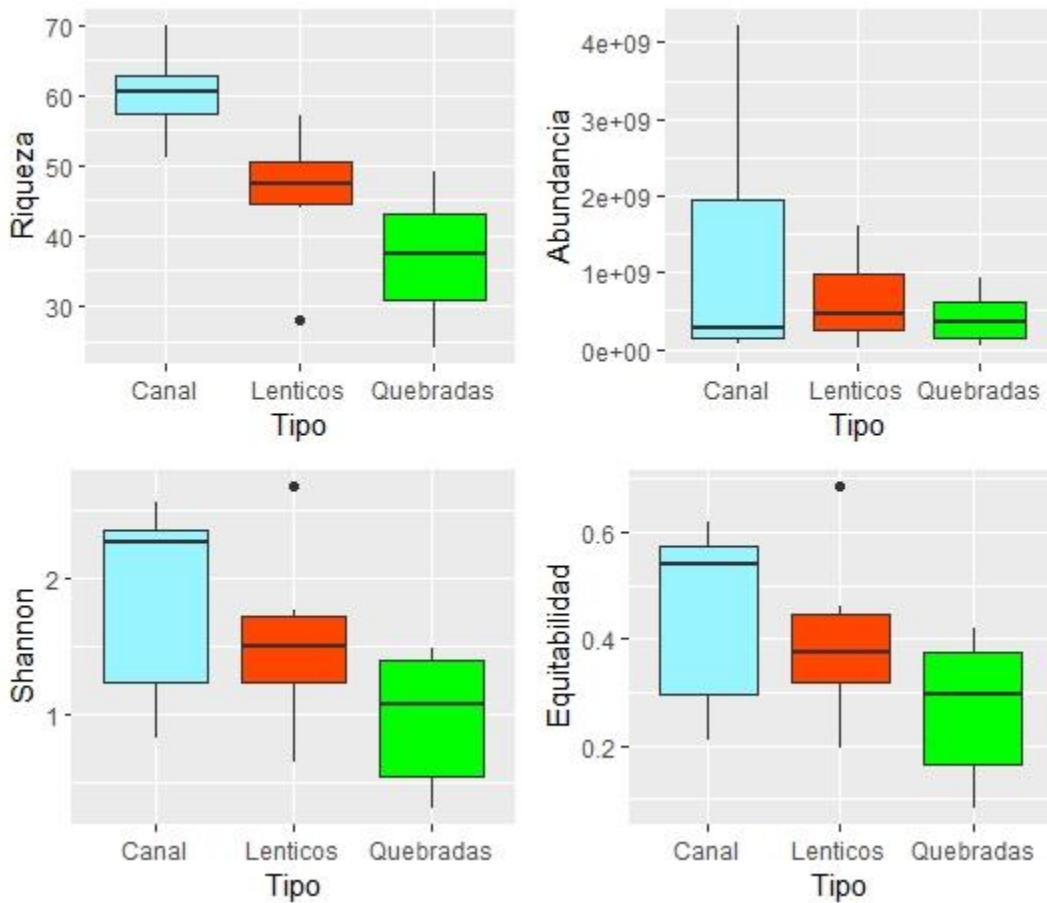


Figura 14. Gráficos de cajas de las variables de estructura por hábitat en el PEDH Torca-Guaymaral.

El nMDS para la matriz de estructura por épocas (**Figura 15**) muestra cierto nivel de entremezcla de las estaciones y sobreposición de las elipses. Por otra parte, se hace evidente una reducción de la dispersión de las estaciones con el paso de la época de lluvias a la seca, es decir, las variables de estructura globalmente se harían más homogéneas al llegar la estación seca.

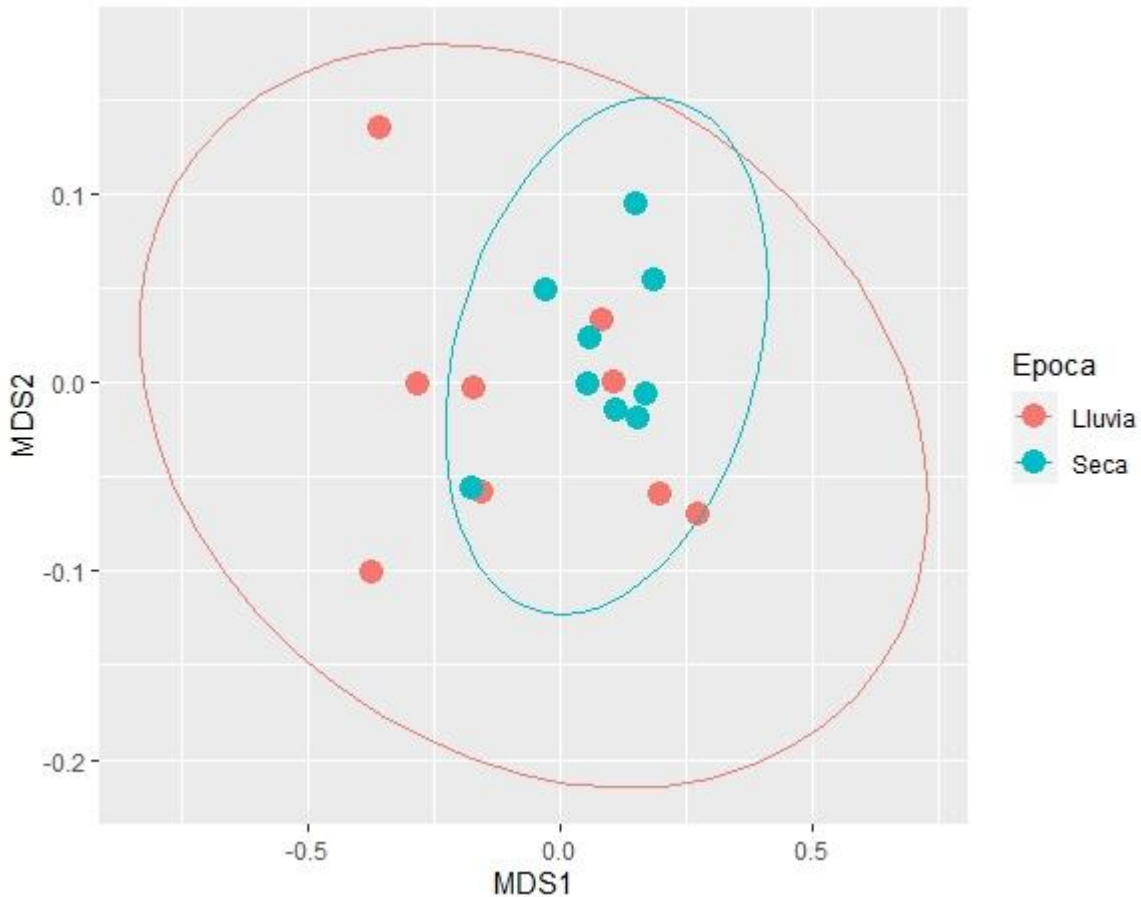


Figura 15. Ordenación nMDS de las estaciones del humedal Torca-Guaymaral según la época climática con base en la estructura (riqueza, abundancia, índice de Shannon y equitabilidad)

Con algo de contraste, el nMDS para la matriz de estructura por hábitats muestra entremezcla de estaciones y sobreposición de las elipses (**Figura 16**). Esto sugiere que globalmente la matriz de estructura no es sensible a los diferentes hábitats y refuerza la

impresión de que globalmente la estructura de cada estación responde en forma más o menos independiente a los diferentes habitats.

La matriz de estructura no es afectada significativamente por las épocas y hábitats usadas como variables predictoras como tampoco por su interacción ($p > 0.05$) según la prueba permanova en línea con la imagen ofrecida por las ordenaciones nMDS (Figuras. 15 y 16).

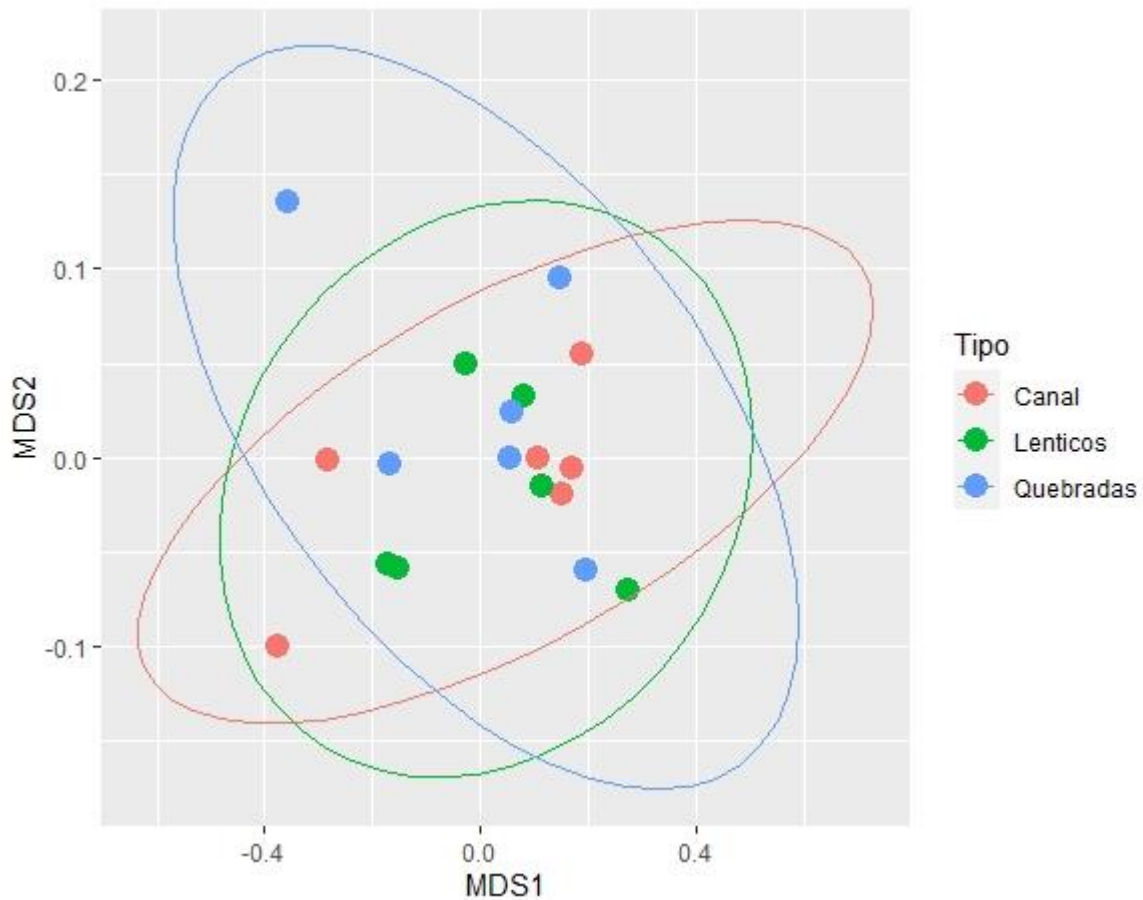


Figura 16. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) de las variables de estructura por hábitat en el PEDH Torca-Guaymaral.

Respuesta de las variables de estructura al entorno físico-químico

El modelo GLM que tuvo como variable respuesta a la riqueza y como variables predictoras el pH, el oxígeno, la temperatura, la conductividad, los sólidos suspendidos totales y la clorofila-a, mostró un efecto significativo de los sólidos suspendidos totales sobre la riqueza ($p < 0,05$), mientras que la interacción con las épocas climáticas y con los hábitats no fue significativa ($p > 0,05$). Para la abundancia, ninguna variable predictora resultó significativa ($p > 0,05$).

Para el caso del índice de Shannon, el GLM encontró que la conductividad lo influencia significativamente ($p < 0,05$), pero la interacción con la época y el hábitat no fue significativa ($p > 0,05$). Al igual que con la diversidad, la equitabilidad estuvo influenciada significativamente por la conductividad ($p < 0,05$), mientras que la interacción con la época y el hábitat no resultó significativa ($p > 0,05$). Este también fue el caso del número efectivo de especies: la conductividad lo influenció significativamente ($p < 0,05$), pero que la interacción con la época y el hábitat no fue significativa ($p > 0,05$).

La prueba permanova sobre la influencia de las variables fisicoquímicas (estandarizadas) sobre la matriz de estructura no revela ninguna variable individual que afecte significativamente a la matriz de estructura. Sin embargo, conductividad se aproxima a la significancia estadística ($p= 0,09$) como también los ortofosfatos ($p= 0,08$).

Respuesta de los ensamblajes al entorno físico-químico, a los hábitats y al clima

La ordenación nMDS de los ensamblajes por época se muestra en la **Figura 17**. Las estaciones se encuentran relativamente entremezcladas y las elipses se sobreponen, lo cual sugiere que en términos globales el cambio de la época lluviosa a la seca tiene un efecto marginal sobre los ensamblajes. En otras palabras, no hay una diferenciación evidente de las estaciones de muestreo en este análisis de ordenación basado en la abundancia de los taxones de fitoplancton (**Figura 17**).

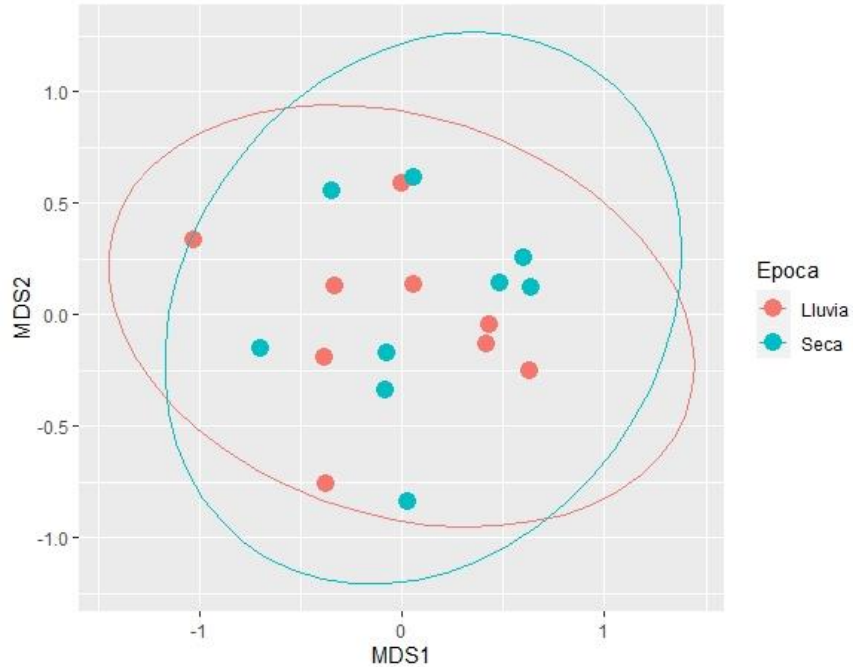


Figura 17. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) de los ensamblajes fitoplanctónicos por época climática en el PEDH Torca-Guaymaral.

En contraste, la ordenación nMDS de los ensamblajes por hábitats sugiere diferencias notables entre dichos ensamblajes, pues hay poca entremezcla de las estaciones, las elipses muestran un bajo nivel de superposición y es posible diferenciar los tres tipos de hábitats (**Figura 18**).

La prueba permanova sobre el efecto de las épocas, los hábitats y su interacción sobre la matriz de ensamblajes resultó en un valor p significativo para la temporada climática y para el hábitat ($p < 0,05$), pero no para la interacción entre estas dos ($p > 0,05$). no obstante, la imagen provista por la ordenación nMDS (**Figura 18**), y para hábitat ($p < 0,05$) pero no así para la interacción ($p > 0,05$). Es decir, la composición y/o biovolumen de las algas cambia en el paso de la época de lluvia a la seca sin dependencia de la época climática para los hábitats y viceversa, el cambio de los ensamblajes de una época a la otra ocurre independientemente de los hábitats.

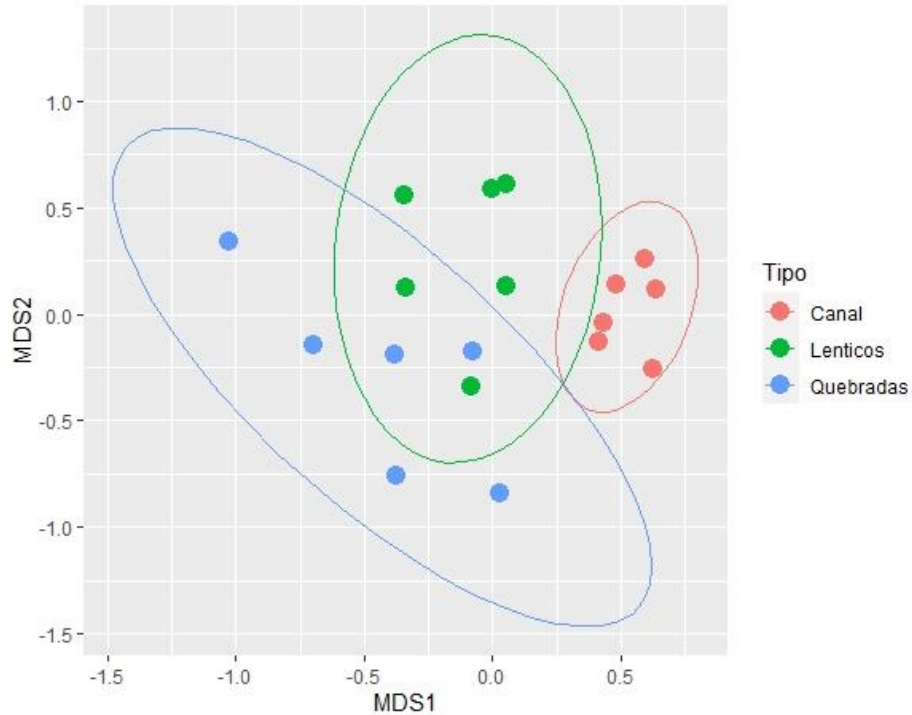


Figura 18. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) de los ensamblajes fitoplanctónicos por tipo de hábitat en el PEDH Torca-Guaymaral.

El análisis permanova que relacionó las variables fisicoquímicas con la matriz de ensamblajes, reveló que el pH, la temperatura, la conductividad, los sólidos suspendidos totales, la clorofila-a y los nitritos afectaron significativamente a la matriz de ensamblajes ($p < 0,05$). Los ensamblajes fueron sensibles a la dinámica espacio-temporal de estas variables físico-químicas.

Según la prueba simper, las siguientes morfoespecies, en su orden, contribuyeron con el 70 % acumulado de la disimilaridad total entre épocas: *Spirogyra* sp, *Westella* sp, *Enteromorpha* sp, *Aphanocapsa* sp, *Phormidium* sp1, *Closterium* sp3, *Oedogonium* spp y *Lepocinclis* sp1.

En el caso de los hábitats, los taxones que contribuyen al 70 % acumulado de la disimilaridad total para los pares de ambientes limnológicos fueron: entre Quebradas y Lénticos: *Spirogyra* sp, *Westella* sp, *Phormidium* sp1, *Closterium* sp3 y *Euglena* sp5; entre Quebradas y Canal *Spirogyra* sp, *Enteromorpha* sp, *Aphanocapsa* sp, *Oedogonium* spp, *Stigeoclonium* sp, *Oscillatoria* sp1 y *Ulothrix* sp; entre Lénticos y Canal: *Westella* sp,

Enteromorpha sp, *Aphanocapsa* sp, *Phormidium* sp1, *Spirogyra* sp., *Euglena* sp5, *Oedogonium* spp, *Stigeoclonium* sp y *Closterium* sp3.

Diversidad beta en el espacio y el tiempo

La distribución geográfica de las contribuciones a la diversidad beta por punto de muestreo en el paso de época de lluvias a la seca (**Figura 19**) evidenció aportes dinámicos de una fase climática a la otra. Por ejemplo, la estación más al norte del hábitat Canal, sobre la latitud 4.81, redujo su aporte a la diversidad beta en la época de lluvia que es notorio a una escala mas modesta en la época seca. Estos cambios no son uniformes espacialmente. Así, la estación del hábitat Quebradas contigua a la anterior no cambia su contribución.

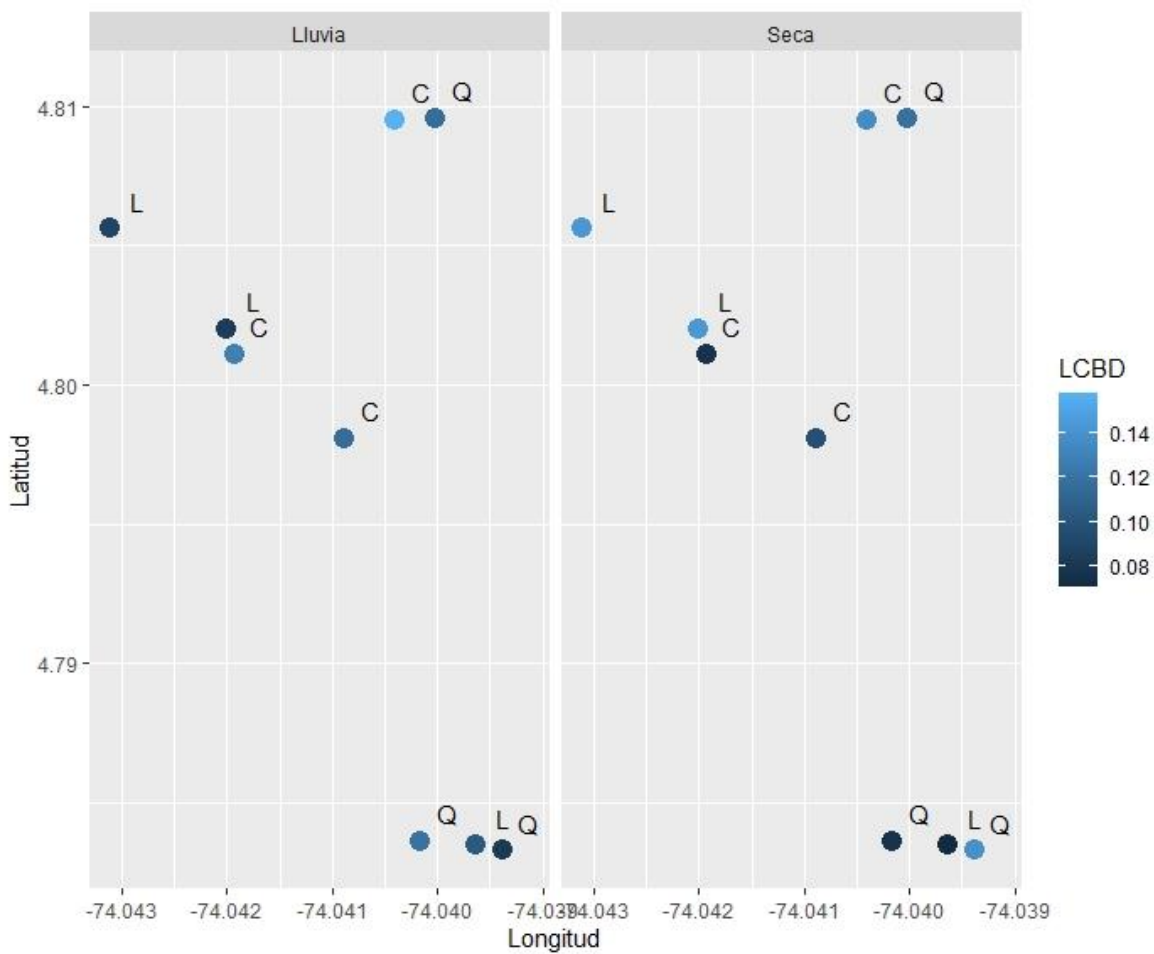


Figura 19. Distribución de los valores de LCB_D (Local Contribution to Beta Diversity, por sus siglas en inglés) en el PEDH Torca-Guaymaral.

La diversidad beta para la época de lluvia fue de 0,747 ligeramente mayor que la de la época seca de 0,740. La estación 5 (Canal, latitud 4,81) en la época de lluvia destacó por aportar significativamente a la diversidad beta global ($p < 0,05$) mientras que los aportes de las demás no se distinguen. En la época seca ninguna estación resaltó estadísticamente en términos de sus aportes a la diversidad beta global.

Por hábitat, Canal presentó el valor más alto de diversidad beta (0,79) seguido del hábitat Lenticos (0,70) y Quebradas (0,64). En este último hábitat ninguna estación destaca estadísticamente en su aporte a la diversidad beta ($p > 0,05$). Claramente los ensamblajes más heterogéneos fueron las de Canal y las más homogéneas los de Quebradas. Para los casos de hábitat Léntico, la estación 12 (igual a la estación 3 de la época de lluvias) y la estación 18 (igual a la estación 9 en lluvias) aportaron significativamente a la diversidad beta total ($p < 0,05$), si bien luego de la corrección por pruebas múltiples la estación 18 pierde su significancia estadística. En el caso del hábitat Canal la estación 5 destacó de nuevo estadísticamente ($p < 0,05$), si bien, de nuevo como en el caso de la estación 18, luego del ajuste por pruebas múltiples pierde su significancia estadística.

El contraste estadístico entre épocas climáticas según el índice TBI no reveló cambios dramáticos en las 9 estaciones en el paso de la época de lluvia a la seca. Solo la estación 5 parece responder significativamente ($p < 0,05$) al cambio de época, es decir, no solo aportó significativamente a la diversidad beta dentro de la época lluviosa, sino que además este ensamblaje cambió sustancialmente de una época a la otra con ganancia en biovolumen y pérdida de especies según la descomposición del índice TBI. La descomposición del índice TBI en ganancias y pérdidas biovolumen y riqueza de taxones indicó que el paso de la época de lluvia a la seca representó globalmente un aumento en biovolumen y una reducción en número de taxones.

Al considerarse el índice TBI para contrastarse las épocas climáticas dentro de los hábitats confirmó que el ensamblaje de la estación 5 del hábitat Canal en el paso de la época de lluvia a la época seca (igual a la estación 14) tuvo un cambio significativo ($p < 0,05$) representado en ganancia de biovolumen y pérdida de riqueza. En ningún otro hábitat se destacó un cambio significativo estadísticamente de los ensamblajes entre una época y la

otra. Interesante notar que globalmente según la descomposición del índice para los habitats Canal y Lenticos el cambio fue de ganancia de biovolumen y pérdida de riqueza de la época de lluvia a la época seca, mientras que para el hábitat Quebradas fue al contrario.

Grupos Funcionales basados en la Morfología (GFBM) en el espacio y el tiempo

En los gráficos de barras (**Figura 20**) donde se comparan los porcentajes de ocurrencia acumulados de los grupos funcionales entre fases climáticas y entre hábitats. Es claro que los grupos funcionales fueron representados en forma heterogénea en el humedal. Los GFBM IV, V y VI (**Tabla 2**) tuvieron mayor frecuencia tanto en épocas como en habitats, donde destacó, sobre todos los grupos, el VI (**Figura 21**); notoriamente, no hubo representación del grupo funcional I y los grupos funcionales II, III y relativamente, el VII tuvo una representación modesta. Resulta significativo que para el hábitat Canal fue el grupo funcional IV el representado con mayor frecuencia en contraste con los otros dos hábitats donde el grupo con mayor frecuencia es el VII.

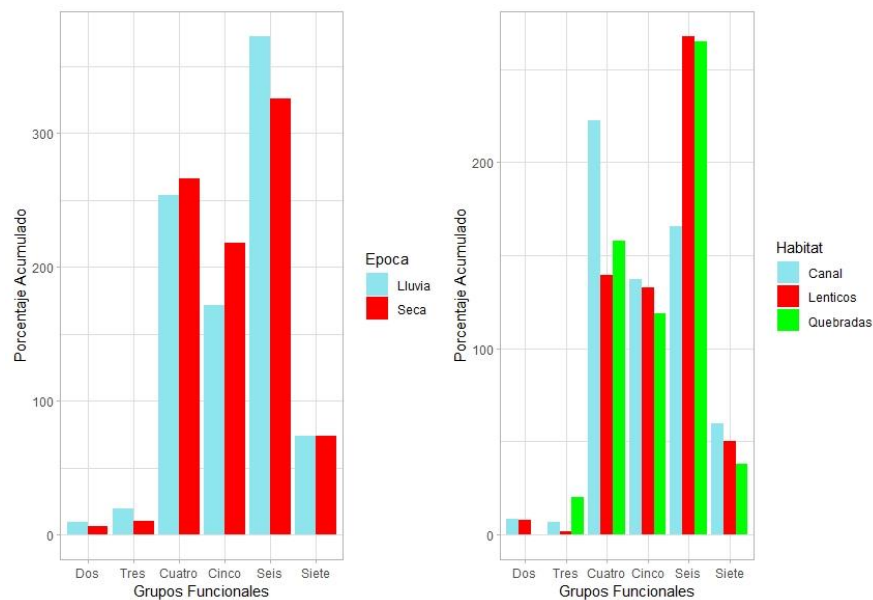


Figura 20. Distribución de los Grupos Funcionales Basados en su Morfología (GFBM) por época y por hábitat en el PEDH Torca-Guaymaral.

El grupo IV corresponde a organismos de tamaño medio, sin atributos especializados, en el que se destacaron géneros como *Coelastrum*, *Micractinium*, *Monoraphidium* y *Pediastrum*. El grupo V representa taxones flagelados unicelulares de tamaño medio a grande (clases Euglenophyceae y Dinophyceae). El grupo VI, el más frecuente, contiene organismos no flagelados con estructuras exoesqueléticas de sílice (clase Bacillariophyceae).

El análisis permanova mostró que no hubo diferencias en la incidencia de los grupos funcionales entre las épocas ($p > 0,05$), pero sí entre los hábitats ($p < 0,05$). La interacción época y hábitat no fue significativa ($p > 0,05$), es decir, el efecto del hábitat ocurre con independencia de la época climática ($p > 0,05$).

El hábitat que resultó significativamente diferente de los otros según la incidencia de los grupos funcionales fue el de Canal, cuyas estaciones en el nMDS (**Figura 21**, estrés= 0,068) se agruparon aparte de las estaciones de los hábitats Lénticos y de Quebradas, las cuales se entremezclan entre sí.

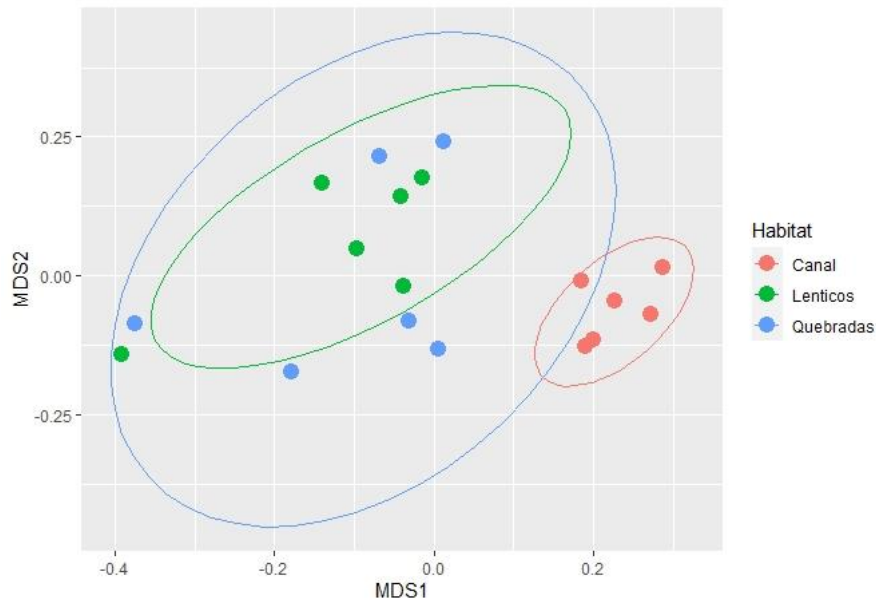


Figura 21. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) de los GFBM por hábitat en el PEDH Torca-Guaymaral.

ANALISIS DE RESULTADOS

Analisis Biótico Global

Es importante aclarar que los resultados anteriores se basaron en lo que se llama “fitoplancton de red”, es decir, que el método empleado deja escapar todas las especies nanoplanctónicas menores a 20 micras. Para este trabajo se analizaron organismos pertenecientes al microplancton (mayor a 20 micras). El fitoplancton en el PEDH Torca-Guaymaral, en términos globales, presentó una alta riqueza de taxones y biovolúmenes con alta variación. Por su riqueza, se destacaron las diatomeas, los clorófitos y los euglenófitos, y por su biovolumen, la clase Ulvophyceae fue representativa, junto con las clases Chlorophyceae, Zygnematophyceae, Cyanophyceae y Euglenophyceae. Grupos como las diatomeas, los clorófitos y las cianobacterias son cosmopolitas y presentan una gran diversidad de taxones.

Varias clases de estas algas tienen adaptaciones y características que permiten su asentamiento en los diferentes hábitats del PEDH Torca-Guaymaral. Por ejemplo, las cianobacterias tienen amplios rangos de tolerancia, poseen adaptaciones cromáticas que mejoran el aprovechamiento lumínico y tienen capacidad para fijar nitrógeno atmosférico (N₂) por medio de heterocistos. Las cianobacterias son un grupo de especial atención, ya que algunos representantes producen neurotoxinas y hepatotoxinas, con lo cual generan efectos perjudiciales en las redes tróficas y en la salud humana (Roldán y Ramírez, 2017). Entidades como *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Aphanocapsa*, *Raphidiopsis*, *Lyngbya* y *Phormidium*, encontradas en este estudio, son responsables de producción de toxinas (UNESCO, 2009).

Al comparar los resultados de este estudio con otros trabajos realizados en el humedal Guaymaral se ven diversos contrastes. Contrario a lo hallado en el presente proyecto, Malagón (2017) resalta altas abundancias de Chlorophyta y las bajas representaciones de grupos como Cyanophyta para la época de lluvias; para este autor las cianobacterias dominaron durante la temporada seca. Por su parte, López- Barrera *et al.* (2017) destacan a la clase Cryptophyceae como la más abundante, seguida de las diatomeas. Estas diferencias con otros estudios del humedal Guaymaral pueden deberse a que las abundancias en este trabajo se vieron desde la perspectiva de su volumen, ya que en términos de composición de especies los datos presentados son congruentes con dichos

estudios. Por ejemplo, Castro-Roa y Pinilla (2017) destacan a *Navicula*, *Gomphonema*, *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Melosira*, los cuales son taxones cosmopolitas que, al parecer, se encuentran asociados a elevadas cargas de materia orgánica y nutrientes en el agua; además son tolerantes a condiciones eutróficas (Martínez y Donato, 2003). El que en el presente estudio se hayan estudiado solo las algas microplanctónicas, también puede causar diferencias con otros trabajos que incluyen el nanoplancton.

Caracterización espacio-temporal del entorno físico-químico

La dinámica de las variables fisicoquímicas del humedal mostró al pH como la única variable con diferencias significativas, tanto por época como por hábitat; la conductividad eléctrica, los cloruros y los sólidos suspendidos totales difirieron significativamente entre hábitats. La clorofila-a evidenció grandes diferencias entre épocas climáticas, con una mayor concentración en la temporada de alta precipitación, más no entre hábitats.

Las diferencias temporales encontradas para el pH pueden deberse a las dinámicas ambientales dependientes del clima, ya que durante la época seca la mayor radiación solar sobre los cuerpos de agua reducen su volumen y sus sólidos aumentan, junto con las concentraciones de iones que influyen en el pH. Al parecer, en el periodo seco hay una alta degradación de materia orgánica acumulada, lo que produce mayores cantidades de CO₂, con el consecuente incremento de ácido carbónico disuelto en el agua, lo que se manifiesta en un pH más ácido. Este mismo argumento puede explicar los valores de clorofila-a y su reducción en la fase de estiaje, pues la desecación de los cuerpos de agua puede disminuir la actividad fotosintética de las algas. Las bajas concentraciones de nitritos, nitratos y ortofosfatos podrían deberse a su alto consumo por parte de los productores primarios, que utilizan las formas inorgánicas del nitrógeno y fósforo para aumentar sus abundancias. El nitrógeno es un elemento esencial en la composición de aminoácidos y el fósforo es un componente importante en el metabolismo celular para la producción de ATP, siendo elementos limitantes dentro de las redes tróficas (Reynolds, 2006).

Las bajas concentraciones de oxígeno, la alta conductividad y los elevados valores de sólidos suspendidos totales en los hábitats de Canal, y en menor medida en los Lénticos, pueden estar ocasionados por las características propias de cada hábitat. En general, las aguas de las estaciones tipo Canal presentaron un color oscuro y mal olor; por ejemplo, la

estación 6 soporta vertimientos de aguas residuales, lo que ocasiona altas cargas iónicas. Esto puede llevar a proliferaciones algales, lo cual desencadena la disminución del oxígeno en este tipo de ambientes limnológicos (Guillot y Pinilla, 2017).

En este estudio, los hábitats Lénticos tendieron a tener características similares a las de las estaciones de Canal. Sus bajas concentraciones de oxígeno obedecen a que son hábitats estables donde no hay flujo de agua constante y la falta movimiento de las masas de agua no favorecen la reaireación atmosférica. La estación 3 presenta algunas quebradas afluentes directas o temporales que recargan el sistema, y por ello es probable que sus valores de conductividad fluctuaran notablemente.

Las características fisicoquímicas de las estaciones del hábitat Quebrada difirieron más en comparación con los sitios de Canal y los Lénticos. En las primeras ocurrieron altos niveles de oxígeno, bajas conductividades y bajas cantidades de solidos suspendidos totales. Esto puede deberse a que, al ser sistemas lóticos con corrientes que descienden directamente de los cerros orientales (Instituto de estudios ambientales de la Universidad Nacional de Colombia y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2012), sus aguas están menos contaminadas y tiene un menor impacto antrópico que las estaciones de Canal.

Aunque algunas de las variables fisicoquímicas no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre épocas climáticas, el nMDS (**Figura 7**) sí permitió ver una segregación de las estaciones desde esta perspectiva temporal. Caso contrario es lo que ocurrió en el nMDS para los hábitats (**Figura 8**), en el que no se observó segregación alguna. Sin embargo, fue posible observar que las estaciones de Canal estuvieron más relacionadas con las estaciones Lénticas que con las de Quebradas. En definitiva, el clima parece tener un efecto claro sobre las condiciones fisicoquímicas del humedal.

Estos resultados y tendencias, comparados con estudios en el mismo humedal y durante las mismas épocas climáticas en diferentes años (Pinilla, 2010; Castro-Roa y Pinilla, 2014; Caho y López-Barrera, 2017) muestran que los valores hallados en este trabajo son, en general, congruentes con los reportados en dichos estudios. Malagón (2017) encontró valores similares de temperatura, conductividad, pH y cloruros, pero contrastante para el oxígeno disuelto, ya que en su estudio registró concentraciones menores de este gas; en ambos estudios se analizaron las mismas épocas climáticas (segunda temporada de lluvias y primera fase de sequía). Además, dicho autor indica que la mayoría de las variables fisicoquímicas presentaron registros más altos durante la época seca, diferente a lo hallado

en el presente estudio, en el que los valores fueron más homogéneos y no fue tan evidente dicha tendencia. Los datos fisicoquímicos registrados por López-Barrera *et al.* (2017) en el humedal Guaymaral mostraron una concentración mayor de clorofila-a y una temperatura más alta, pero concentraciones menores de sólidos suspendidos totales en comparación con el presente estudio; sin embargo, la conductividad tuvo valores similares. El estudio de López-Barrera *et al.* (2017) resalta el vacío de información referente a la caracterización de la parte fisicoquímica de los cuerpos de agua, lo cual, como pudo verse en este trabajo, no permite una comparación más detallada y profunda del ambiente fisicoquímico del humedal Torca-Guaymaral.

Al compararse regionalmente los resultados hallados en esta investigación con otros humedales de la Sabana de Bogotá, el humedal Guaymaral se encuentra dentro de los humedales mejor conservados, junto con El Salitre (Pulido y Pinilla, 2017), Meridor y Jaboque. A nivel intermedio se encuentra Santa María del Lago y dentro de los más afectados se están Tibanica y Juan Amarillo (Guillot y Pinilla, 2017). Se debe tener en cuenta que todos los humedales de la Sabana de Bogotá se encuentran enriquecidos con iones, nutrientes y materia orgánica (Rodríguez y Pinilla, 2017), ya que de una u otra forma todos presentan algún tipo de impacto antrópico.

En términos generales, se puede decir que las variables fisicoquímicas en el humedal estudiado tienen una alta dinámica fisicoquímica dependiente principalmente del clima, pero posiblemente también de factores antrópicos. Para entender mejor este comportamiento ambiental de los humedales será necesario disponer de bases de datos de los factores abióticos que permitan hacer análisis temporales anuales y decanales de estos cuerpos de agua de la Sabana de Bogotá. Otros factores que se deben tener en cuenta al momento de hacer los análisis del ambiente fisicoquímico del agua son el cálculo de la proporción nitrógeno: fósforo, el grado de extensión y profundidad de los cuerpos de agua, la variación temporal del nivel de agua y los efectos de la vegetación de macrófitas flotantes, emergentes y sumergidas (Guillot y Pinilla, 2017).

Dinámica espacio-temporal de las variables de estructura biótica

Al evaluar la dinámica de los análisis de variación de las variables de riqueza, diversidad de Shannon y equitatividad de Pielou por hábitat (**Figura 13**), se destacaron diferencias entre

los ambientes limnológicos Canal, que difirieron de los Lénticos y de Quebradas. Los puntos de muestreo del hábitat Canal tuvieron mayor riqueza de taxones en comparación con los Lénticos y de Quebradas. Esta tendencia puede deberse a la mayor concentración de nutrientes y materia orgánica de estos hábitats debido a los vertimientos que se encuentran a lo largo del humedal. Así, al aumentar las cargas de nutrientes las algas utilizan esos recursos y pueden incrementar su abundancia. Los taxones de euglenófitos como *Lepocinclis* y *Euglena* tienen preferencias por aguas ricas en materia orgánica; también las cianobacterias presentan afinidad por este tipo de ambientes (Reynolds, 2006).

Globalmente, la dinámica temporal de las variables de estructura biótica no presentó diferencias significativas entre épocas climáticas ni entre hábitats (**Figuras 15 y 16**). Desde una perspectiva temporal, se evidenció cierta tendencia a la homogeneidad de las estaciones de la época seca, en comparación con la de lluvias; esto pudo obedecer a la gran dispersión en los biovolúmenes encontrados durante la época lluviosa, con el consecuente incremento en la variabilidad de esta temporada. Además, al ser la diversidad de Shannon y la equitatividad de Pielou dependientes matemáticamente de la riqueza y del biovolumen, la variabilidad de sus valores también aumentó. En conjunto, la matriz de estructura no fue sensible a las dinámicas espaciales y temporales propias del humedal Torca-Guaymaral.

Respuesta de las variables de estructura al entorno físico-químico

El modelo GLM basado en la riqueza como variable respuesta, evidenció un efecto significativo ($p < 0.05$) de los sólidos suspendidos totales. Esto es probable, ya que la cantidad de sólidos que se encuentren en un sistema acuático puede indicar diferentes niveles de materia orgánica, y las algas son sensibles a los cambios en las concentraciones de materia orgánica en el agua (Reynolds, 2006). Para el índice de Shannon, tomando el número efectivo de especies y la equitatividad como variables respuestas, el GLM reveló que la conductividad tuvo un efecto significativo sobre dichas variables, condición que puede explicarse por que las concentraciones de iones disueltos en el agua dan una idea indirecta de las cantidades de nutrientes. De esta forma, la conductividad podría indicar la influencia del conjunto de iones disueltos, incluidos los nutrientes, sobre la diversidad del fitoplancton. En futuras investigaciones sobre la relación del componente abiótico

fisicoquímico con el componente algal, será importante tener información sobre cambios en los sólidos suspendidos totales y en la conductividad de los cuerpos de agua, especialmente en humedales cercanos a procesos de urbanización, donde se incrementan los nutrientes y la materia orgánica (Pinilla, 2010). Por otro lado, los análisis permanova indicaron en general que las variaciones temporales y por hábitat influyeron sobre los componentes fisicoquímico y sobre los ensamblajes fitoplanctónicos.

Respuesta de los ensamblajes al entorno físico-químico, a los hábitats y al clima

Los análisis de los ensamblajes fitoplanctónicos (nMDS, **Figuras 17 y 18**) evidenciaron cambios más notorios en la distribución por hábitat que por su temporalidad climática. Sin embargo, es importante destacar que existió un mayor biovolumen durante la época de lluvias, correspondiente a las clases Ulvophyceae, Cyanophyceae y Zygnematophyceae. Cuando las lluvias se incrementan y los cuerpos de agua aumentan su volumen, puede haber una mayor penetración lumínica en la columna de agua y las algas pueden acrecentar sus biovolúmenes poblacionales. Las Ulvophyceae, representadas por los filamentos de *Enteromorpha* y *Ulothrix*, fueron las más abundantes en biovolumen. La primera tiene una estrategia competitiva con facilidades de floración bajo condiciones eutróficas y de bajos niveles de agua y nutrientes (Blomster *et. al*, 2002); además, bioacumula metales pesados como cobre, zinc y plomo; por su parte, *Ulothrix* es una entidad altamente conspicua, especialmente en áreas con enriquecimiento de nutrientes (Richter *et. al*, 2003). Cabe destacar que las formas de las clases más representativas para esta época fueron los filamentos o tricomas. La época seca presentó un incremento de clorófitos y euglenófitos. Dentro de los clorófitos se destacaron entidades filamentosas, como *Oedogonium*, y coloniales como *Coelastrum*, *Pediastrum* y *Westella*. Los euglenófitos estuvieron representados por varias morfoespecies de *Lepocinclis*, *Euglena* y *Trachelomonas*. Tanto los clorófitos como los euglenófitos almacenan diferentes sustancias anabólicas, como carbohidratos y paramilon; además, pueden almacenar proteínas en su citoplasma (Reynolds *et al*, 2002). Algunos de estos organismos presentan heterotrofia facultativa (Roldán y Ramírez, 2017). La osmotrofia es una característica que les permite seleccionar y absorber compuestos orgánicos disueltos a través de la superficie celular (Reynolds *et al*, 2002). En términos generales, estos organismos son típicos de aguas poco profundas con cargas de nutrientes altas.

Las diferencias encontradas en los ensamblajes fitoplanctónicos por hábitat (**Figura 18**) pueden explicarse tanto por las adaptaciones propias de las algas señaladas anteriormente, como por las características propias de cada hábitat. Las estaciones de Canal se ubican en el Canal Torca-Guaymaral, que transporta aguas servidas con alta carga de sedimentos y que presentan influencia de aguas provenientes de actividades agropecuarias. El hábitat Quebrada corresponde a cuerpos de agua originados en los cerros orientales, con baja profundidad, aguas con reducidas concentraciones de nutrientes y altos niveles de oxígeno (Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2012). Las estaciones que corresponden al hábitat Léntico se caracterizan por ser cuerpos de agua cerrados, con condiciones estables (pH, temperatura y conductividad) y escasa profundidad (<2 m); carecen de flujos de agua que puedan fragmentar los organismos, especialmente cuando son filamentosos. Así, los cuerpos lénticos favorecen a los organismos filamentosos como *Enteromorpha* y *Ulothrix*, que pueden desarrollarse y aumentar su biovolumen poblacional.

Dadas las condiciones muy someras del humedal Torca-Guaymaral, es altamente probable que muchas especies de algas colectadas en la columna de agua no sean verdaderamente planctónicas (euplancton, Guillot y Pinilla, 2017) sino organismos perifíticos o asociados a las raíces de plantas acuáticas (ticoplancton o plancton aleatorio, Zelnik *et al.*, 2018). Es por eso que existe una gran abundancia de formas filamentosas que normalmente hacen parte del perifiton. Aunque las desmicias se encuentran en el plancton, están típicamente asociadas a las macrófitas.

A nivel regional de la sábana de Bogotá, los datos de los ensamblajes fitoplanctónicos hallados en el PEDH Torca-Guaymaral son en general congruentes con los registrados en otros humedales, como Santa María del Lago, Meridor y Juan Amarillo. Jiménez-Ariza (2017) destaca taxones como *Aphanocapsa*, *Closterium*, *Cymbella*, *Epithemia*, *Eunotia*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Oedogonium*, *Lepocinclis*, *Oscillatoria*, *Pediastrum*, *Ulothrix* y *Trachelomonas*, entidades que son resistentes a la acción de la corriente (Martínez y Donato, 2003). Malagón (2017) indica que el humedal Guaymaral presentó abundancias de euglenófitos y cianobacterias mayores que las de los humedales Meridor y Tibanica, pero similares a las de Jaboque. En contraste, en el humedal El Salitre Pulido y Pinilla (2017) destacan a las desmicias y a algunas clorofíceas como las más abundantes; estas algas se encuentran en cuerpos de agua con menores concentraciones de nutrientes.

Las entidades que contribuyeron mayormente a la disimilaridad total entre épocas y entre hábitats corresponden a organismos filamentosos, como *Spirogyra*, *Enteromorpha*, *Phormidium* sp1 y *Oedogonium*. Por sus características morfológicas, estos taxones tienen bajas velocidades de hundimiento (-0.09 a 0.1 m día⁻¹) y una gran tolerancia a condiciones lumínicas limitadas y a ambientes eutróficos (Kruk, 2010). Otros taxones importantes fueron coloniales, como *Westella* y *Aphanocapsa*, los cuales, por su forma y por la presencia de mucílago, mejoran su control del hundimiento y suelen genera biopelículas superficiales. *Westella* tiene una morfología esférica con bajas relaciones superficie volumen (Kruk *et al.*, 2010), lo que hace de este género un taxón sensible a bajas ofertas de luz y nutrientes; puede ser que los altos biovolúmenes registrados para esta entidad se correspondan con el aumento de algún nutriente en el agua, lo cual desencadenó el incremento de sus poblaciones. *Lepocinclis* y *Closterium* fueron los únicos taxones que no son coloniales o filamentosos. *Lepocinclis*, y en general los euglenófitos, presentan una mayor motilidad en la columna de agua gracias a sus flagelos; además, tienen dietas mixotróficas y son tolerantes a condiciones de saprobiedad. *Closterium* es un género común de aguas eutrofizadas y someras (Reynolds *et al.*, 2002).

Diversidad beta en el espacio y en el tiempo

Con respecto a la diversidad beta, la estación 5, ubicada en la parte norte del PEDH cerca de la calle 235, es un sitio que recoge las aguas del canal Torca y sus afluentes desde el cementerio Jardines de Paz hasta el centro comercial Bima. Esta estación fue la única que presentó cambios temporales con una ganancia de biovolumen por morfoespecie cuando se pasó de la época de lluvias a la seca. Globalmente, los hábitats presentaron ganancias en biovolumen por morfoespecie y pérdidas netas de taxones con el cambio de temporada climática. Estos resultados evidencian que el PEDH Torca-Guaymaral tiende a ser homogéneo en cuanto al comportamiento global de los ensamblajes, de manera que durante la época lluviosa las algas tienen mejores condiciones para desarrollarse y aumentar el biovolumen de sus poblaciones, posibilitando la dominancia de unos taxones sobre otros, mientras que durante la temporada seca el biovolumen desciende, pero la riqueza de algas aumenta. Esto ocurre posiblemente por cambios en los sólidos suspendidos y disueltos totales (reflejados en la conductividad) que permiten que organismos como euglenófitos y cianobacterias proliferen en el humedal.

Grupos Funcionales Basados en su Morfología (GFBM) en el espacio y el tiempo

Los GFBM más representativos para el PEDH Torca-Guaymaral fueron los grupos IV, V y VI (**Figura 20**). El grupo más importante fue el grupo VI, dominante en los hábitats Lénticos y de Quebradas. Este grupo corresponde a las diatomeas y se caracterizan por la presencia obligatoria de estructuras silíceas, por una alta densidad celular y por una baja motilidad; estos organismos se hunden rápidamente en la columna de agua y son excluidos de aguas agotadas de fuentes de sílice asimilables. Las diatomeas céntricas como *Aulacoseira*, *Cyclotella* y *Melosira* tienen formación de células de resistencia, lo cual mejora su supervivencia en los ríos. Además, las estructuras silíceas tienen ventaja sobre algunos depredadores e infecciones virales (Smetacek, 2001), son dominantes en zonas de baja intensidad lumínica ($<2,2 \text{ m}^{-1}$), es decir, en aguas turbias y enriquecidas con nutrientes (Reynolds, 2006).

El grupo IV, dominante en el hábitat Canal (**Figura 21**), asocia organismos de tamaño medio sin rasgos especializados. Se destacaron *Coelastrum*, *Micractinium* y *Monoraphidium*, los cuales se consideran organismos de alta calidad alimenticia y sensibles a la depredación. Presentan tolerancias moderadas a recursos limitados, como nutrientes y luz. Las entidades de este grupo están asociadas a condiciones de oligotrofia a mesotrofia (Kruk y Segura, 2012). En el hábitat Canal los grupos V y VI también fueron frecuentes, y esto podría indicar que las condiciones de este tipo de hábitat son heterogéneas.

El grupo V fue importante por su frecuencia en los tres tipos de hábitats; corresponde a organismos flagelados de tamaño medio a grande. La clase Euglenophyceae, que pertenece a este grupo, posee organismos que presentan flagelos que les confiere una mayor motilidad que otras algas como las diatomeas. La motilidad permite un óptimo forrajeo de nutrientes y un mayor desplazamiento en la columna de agua (Kruk *et al.*, 2010). La formación de cistes puede incrementar la tolerancia a bajas condiciones de nutrientes (Reynolds *et al.*, 2002). Adicionalmente, algunas morfoespecies como *Euglena* y *Lepocinclis* tienen dietas mixotróficas y fagotróficas (Graham y Wilcox, 2000), lo cual les confiere tolerancia a las condiciones de reducción y disponibilidad de nutrientes disueltos y a la limitación por luz. Este GFBM es propio de cuerpos de agua meso a eutróficos (Kruk y Segura, 2012).

Apreciaciones y recomendaciones

Este estudio investigó la relación “bottom-up” que tienen los ensamblajes fitoplanctónicos con las condiciones ambientales y las características propias de los hábitats del PEDH Torca-Guaymaral. Hacia el futuro, será importante incluir estudios de tipo “top-down”, en los que se elucide la influencia que tienen los organismos pastoreadores de algas, como el zooplancton e incluso el ictioplancton, si es el caso, ya que estos grupos controlan las distribuciones de tamaño y abundancia del fitoplancton. También se deben considerar la morfología y la palatabilidad de las algas (Low *et al.*, 2010 y Frau, 2015). Igualmente, el fitoplancton es susceptible a parásitos fúngicos pertenecientes al orden Chytridiales o ficomicetos, a protozoos como *Asterocaelum* y a bacterias y virus patógenos que causan mortalidad en las algas (Reynolds, 2006). Todos estos aspectos requerirán ser abordados en estudios posteriores.

Los análisis e investigaciones taxonómicas del fitoplancton son necesarias para identificar con mayor certeza la correspondencia taxonómica de la gran variedad de formas que existen en estos ensamblajes. Mediante técnicas moleculares y el empleo de microscopios electrónicos de barrido, será posible confirmar y profundizar en la taxonomía de las entidades identificadas en esta investigación. También existe la necesidad de identificar los metabolitos secundarios o toxinas que producen algunos de sus taxones, esto con el fin de identificar posibles afectaciones a los ecosistemas y a la salud humana. Desde otra perspectiva, la investigación de los metabolitos producidos por el fitoplancton puede elucidar posibles recursos positivos para el impulso de otras ramas de la ciencia, como la bioprospección. Otra recomendación para futuras investigaciones en estos tópicos es tener presente el nanoplancton (algas menores a 20 micras), ya que podrían ser un componente significativo en toda la comunidad de algas planctónicas del humedal.

Con respecto a los factores antrópicos que inciden sobre el PEDH Torca-Guaymaral, es necesario identificar e investigar mucho más sobre los patrones de las variables fisicoquímicas a nivel temporal y espacial. También se requiere identificar todos los impactos antrópicos que recibe el humedal, para en un futuro poder tomar acciones puntuales que disminuyan la afectación sobre este PEDH.

CONCLUSIONES

La biodiversidad y distribución de los ensamblajes fitoplanctónicos presentes en el PEDH Torca-Guaymaral son, en mayor medida, dependientes del hábitat y de los factores fisicoquímicos del agua, como el pH, el oxígeno disuelto, la conductividad y los sólidos disueltos totales. Al parecer, la influencia de factores ambientales climáticos es mayor sobre las variables fisicoquímicas del agua, que sobre la biodiversidad de las algas.

El fitoplancton del PEDH Torca-Guaymaral se caracterizó taxonómicamente hasta nivel de morfoespecie. Presentó una alta riqueza de entidades y un elevado biovolumen en todo el humedal, por lo que se puede decir que este componente biótico es fundamental en la investigación ecológica de las redes tróficas de estos ambientes palustres. Además, se debe prestar atención para futuras investigaciones a grupos como el nanoplancton y el micoplancton, componentes limnológicos importantes dentro de las redes tróficas de los humedales.

En el PEDH Torca-Guaymaral la composición y estructura de los ensamblajes fitoplanctónicos presentó una mayor variabilidad según el tipo de hábitat, pero menores cambios con respecto a la temporalidad climática. Se destacaron las clases Zygnematomyceae para el hábitat de Quebrada, las Ulvophyceae para el hábitat Léntico y las Chlorophyceae y Cyanophyceae para el hábitat Canal. Estas diferencias se explican tanto por las adaptaciones propias de las algas a las condiciones fisicoquímicas del agua, como por las características particulares de cada hábitat.

Desde el punto de vista morfofuncional, las entidades algales que tuvieron un papel significativo en el PEDH Torca-Guaymaral, tanto por época climática como por tipo de hábitat, fueron organismos filamentosos, como *Spirogyra*, *Enteromorpha*, *Phormidium* sp1 y *Oedogonium*. Por su morfología, estos taxones presentan bajas velocidades de hundimiento y son tolerantes a condiciones lumínicas limitadas y a ambientes eutróficos. Los organismos coloniales como *Westella* y *Aphanocapsa*, por su forma y por la presencia de mucilago, tienen mayor control del hundimiento. Dentro de las algas unicelulares se destacó *Lepocinclis*, entidad con motilidad flagelar, dietas mixotróficas y tolerancia a condiciones de saprobiedad.

La diversidad beta de los ensamblajes fitoplanctónicos evidenció cambios en la transición de la época de lluvias a la fase seca, con un aumento en el biovolumen por morfoespecie y

una pérdida neta de riqueza. De acuerdo con el tipo de hábitat, los ensamblajes de Canal fueron más heterogéneos y los de Quebradas más homogéneos. Las estaciones de Canal y las de tipo Léntico presentaron ganancia neta de biovolumen y pérdida neta de morfoespecies. En contraste, las estaciones de Quebradas presentaron pérdidas de biovolumen por morfoespecie y ganancia neta de taxones.

Los Grupos Funcionales Basados en la Morfología de los ensamblajes fitoplanctónicos identificados y clasificados para el PEDH Torca-Guaymaral pertenecieron en su mayoría a los grupos IV, V y VI. En los hábitats Lénticos y de Quebradas dominó el grupo VI, correspondiente a las diatomeas. El grupo IV, que representa a organismos de alta calidad alimenticia sin rasgos especializados, predominó en el hábitat de Canal. Las algas flageladas del grupo V se destacaron por su frecuencia en los tres tipos de hábitats. La presencia de estos tres grupos señala que las condiciones del humedal fueron heterogéneas y presentaron un estado de meso a eutrofia durante los periodos muestreados.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Mayor de Bogotá. 2004. Decreto 190. Por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003. Registro Distrital 3122 de junio 22.

Alcaldía Mayor de Bogotá. 2017. Plan de ordenamiento zonal del norte ciudad Lagos de Torca. Documento Técnico de Soporte. 594 p.

Anderson, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26: 32–46.

Anderson, M., Crist, T., Chase, J., Vellend, M., Inouye, B., Freestone, A., Sanders, N., Cornell, H., Comita, L. Davies, K., Harrison, S. Kraft, N. Stegen, J. y Swenson, N. 2011. Navigating the multiple meanings of beta diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecology letters*. 14: 19-28.

APHA. 2017. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 23st Edición. American Public Health Association / American Water Works Association / Water Environment Federation. Washington D.C. Bellinger, E. y Sigeo, D. 2010. Freshwater algae: identification and use as bioindicators. Chichester. Wiley-Blackwell. U.K.

Betancur-Vargas, T., García-Giraldo, D. A., Vélez-Duque, A. J., Gómez, A. M., Flórez-Ayala, C., J. Patiño y Ortíz-Tamayo, J. 2017. Aguas subterráneas, humedales y servicios ecosistémicos en Colombia. *Biota Colombiana*. 18 (1): 1-28.

Bolgovics, Á., Ács, É., Várbíró, G., Kiss K. T., Lukács, B y Borics, G. 2015. Diatom composition of the rheoplankton in a rhithral river system. *Acta Bot. Croat.* 74 (2): 303-316.

Bo-Ping, H., Virtanen, M., Koponen, J. y M. Straskraba. 2000. Effect of photoinhibition on algal photosynthesis: a dynamic model. *Journal of Plankton Research*. 22 (5): 865-885.

Borges, K., Barreto, F. y Nabout, J. C. 2017. Assessing the spatial variation of functional diversity estimates based on dendrograms in phytoplankton communities. 31 (4): 571-582. DOI: 10.1590/0102-33062017abb0018

Borics, G., Abonyi, A., Salmaso, N. y Ptacnik, R. 2020. Freshwater phytoplankton diversity: models, drivers and implications for ecosystem properties. *Hydrobiologica*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04332-9>

Brierley, B., Carvalho, L., Davies, S., Krokowski, J. 2007. Guidance on the quantitative analysis of phytoplankton in Freshwater Samples. 24 pp.

Buytaert, W., Celleri, R., De Bievre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., Hofstede, R. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Sci. Rev.* 79: 53-72.

Caho-Rodríguez, C. A. y López-Barrera, E. A. 2017. Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción + Limpia*. 12 (2): 35-49. DOI: 10.22507/pml.v12n2a3

Calderón, J. y Moreno, C. 2019. Diversidad beta como disimilitud: su partición en componentes de recambio y diferencias en riqueza. En: Moreno C. (Ed) *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex. Ciudad de México. 203-222.

Cardozo, A. Y., Bermúdez, A., Arangueren, N. y Duque, S. R. 2005. Algas planctónicas del lago de Tota: listado taxonómico actualizado. *Ciencia en Desarrollo*. 2 (1):80-88.

Cardozo, S. J., Roland, F., Loverde-Oliveira, S. y De Moraes, V. 2012. Phytoplankton abundance, biomass and diversity within and between Pantanal wetland habitats. *Limnologica*. 42: 235-241.

Castro-Roa, D. y Pinilla, G. 2014. Periphytic diatom index for assessing the ecological quality of the Colombian Andean urban wetlands of Bogotá. *Limnética*. 33(2): 297-312.

Céleri, R. y Feyen, J. 2009. The hydrology of Tropical Andean Ecosystems: Importance, Knowledge, Status and Perspectives. *Mountain Research and Development*. 29 (4): 350-355. DOI: <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>

Cirés, S. y Quesada de Corral, A. 2011. Catálogo de cianobacterias planctónicas potencialmente tóxicas de las aguas continentales españolas. Dirección General del Agua

de la Secretaría de Estado de Medio Rural y Agua del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1072-6.

Clavijo-Otalvaro, K. J., López-Barrera, E. y Aperador-Rodriguez, D. 2019. Análisis del uso del suelo en el humedal urbano Torca-Guaymaral en una escala temporal entre 1965 y 2013. Logos Ciencia & Tecnología. 11 (2).

Colwell, R. K. 2013. EstimateS version 9.1 Statistical estimation of species richness and shared species from samples (software and user's guide). Freeware for Windows and Mac OS, <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>

Confederación Hidrográfica del Duero. 2010. Guía de las diatomeas de la cuenca del Duero. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Correa, A., Ochoa-Tocachi, B. F., Birkel, C., Ochoa-Sánchez, A., Zogheib, C., Tovar, C., Buytaert, W. 2020. A concerted research effort to advance the hydrological understanding of tropical páramos. Hydrological Processes. 1-19. DOI: 10.1002/hyp.13904

De Bicudo, C. y Menezes, M. 2006. Géneros de algas de aguas continentales de Brasil (Clave para identificación y descripciones). Rima Editora. 2da Ed. 502 p.

Dos Santos, M. 2016. Atlas Algas del Paraguay características e importancia. Muestreos en Paraguay. Clave de identificación e ilustraciones. San Lorenzo: FACEN. 234 p.

EmgridAustralia. 2022. Specialist in Electron Microscopy Supplies. Placa Sedgewick-Rafter. <https://www.emgrid.com.au/about-us/>.

Emmerson, M., Bezemmer, M., Hunter, M. D. y Jones, H. 2005. Global change alters the stability of food webs. Global Change Biology. 11: 490-501.

Francoeur, S., Rier, S. y Whorley, S. 2013. Methods for sampling and analyzing wetland algae. DOI: 10.1007/978-94-007-6931-1_1.

Frau, D., Devercelli, M., De Paggi, S., Scarabotti, P., Mayorga, G., Battauz, Y. y Senn, M. 2015. Can top-down and bottom-up forces explain phytoplankton structure in a subtropical and shallow groundwater-connected lake? Marine and Freshwater Research. 66(12): 1106-1115. DOI: <https://doi.org/10.1071/MF14177>

Graham, L. y Wilcox, L. 2000. Algae. Prentice-Hall, Upper Saddle River.

González, M. y Inostroza, I. 2017. Manual taxonómico y fotográfico de géneros fitoplanctónicos (excl. Diatomeas) de 7 lagunas de Gran Concepción. Chile- 172 p.
Recuperado de:
<https://issuu.com/manualtaxofitoplanctonchile/docs/manualtaxofitoplanctonchile>

Guillot, G. H. y Pinilla, G. A. 2017. Estudios ecológicos en humedales de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. 314 p.

Guiry, M. y Guiry, G. 2021. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Recuperado de: <http://www.algaebase.org>.

Hernández, E., Aguirre, N., Palacio, K., Palacio, J., Ramírez, J. J., Duque, S., Mogollón, M. y Kruk, C. 2020. Clasificación de grupos morfofuncionales del fitoplancton en seis sistemas lénticos de las regiones Caribe, Andina y Amazónica de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 44 (171): 392-406. DOI: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1082>

Hillebrand, H, Dürselen, C, Kirschtel, D., Kirschtel, D., Pollinger, U. y Zohary, T.1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. J. Phycol. 35. 403-424.

Instituto de estudios ambientales de la Universidad Nacional de Colombia y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. 2012. Plan de Manejo Ambiental de los Humedales Torca y Guaymaral (Caracterización diagnóstica). Bogotá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. 2022. Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Jiménez-Ariza, O. 2017. La comunidad del fitoperifiton y el estado ecológico de los humedales Santa María del Lago, Meridor y Juan Amarillo. En: Guillot, G. H. y Pinilla, G. A. (Eds). Estudios ecológicos en humedales de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. 314 p.

Jost, L. 2006. Entropy and diversity. Oikos 113(2): 363-375.

Kumar, J., Alam, A., Kumar-Sarkar, U., Kumar-Das, B., Kumar, V. y Srivastava, S. 2020. Assessing the phytoplankton community and diversity in relation to physico-chemical

parameters in a tropical reservoir of the River Ganga basin, India. *Sustainable Water Resources Management*. 6: 110. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00470-z>

Kruk, C., Huszar, L. M., Peeters, E. T., Bonilla, S., Costa, L., Lüring, M., Reynolds, C. y M. Scheffer. 2010. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*. 55: 614-627. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x

Kruk, C. y Segura, A. 2012. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups. *Hydrobiologica*. 698: 191-202.

Kruk, C., Devercelli, M., Huszar, V., Hernández, E., Beamud, G., Díaz, M., Silva, L. y A. Segura. 2017. Classification of Reynolds phytoplankton functional groups using individual traits and machine learning techniques. *John Wiley & Sons Ltd*. 62: 1681-1692. DOI: 10.1111/fwb.12968

Kundzewicz, Z. W., Mata, L., Arnell, N. W., Döll, P., Jimenez, B., Miller, K, Oki, T., Sen, Z. y Shiklomanov, I. 2008. The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hidrological Sciences Journal*. 53: 3-10.

Lasso, C. A., Gutiérrez, F. y Morales, D. 2014. X. Humedales interiores de Colombia: identificación, caracterización y establecimiento de límites según criterio biológicos y ecológicos. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá D. C. Colombia. 255 p.

Legendre, P. & M. De Caceres. 2013. Beta diversity as the variance of community data: dissimilarity coefficients and partitioning. *Ecology Letters* 16: 951-963.

Legendre P. 2019. A temporal betadiversity index to identify sites that have changed in exceptional ways in space–time surveys. *Ecol Evol*. 1-15 <https://doi.org/10.1002/ece3>.

LeGresley, M. y McDermott, G. 2010. Counting chamber methods for quantitative phytoplankton analysis-haemocytometer, Palmer-Maloney cell and Sedgewick-Rafter cell. Chapter4 En: Karlson, B., Cusack, C., Bresnan, E. (eds). *Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis*. Paris: UNESCO (IOC Manuals and Guides, Nº. 55.) (IOC/2010/MG/55).

López-Barrera, E. A., Plata, A. M. y Fuentes, M. 2017. Percepción de actores involucrados en el estado de conservación del Humedal Torca-Guaymaral, Bogotá-Colombia. *Revista de Geografía*. 141-153 p.

Low, E. W., Clews, E., Todd, P. A., Tai, Y. C. y Ng, P. 2010. Top-down control of phytoplankton by zooplankton in tropical reservoirs in Singapore? *The Raffles Bulletin of Zoology*. 58 (2): 311 – 322. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/requests/attachment/74959703>

Majumdar, A., Shrivastava, A., Sarkar, S., Sathyavelu, S., Barla, A. y Bose, S. 2020. Hydrology, Sedimentation and Mineralization: A wetland ecology perspective. *Climate Change and Environmental Sustainability*. 8 (2): 134-151.

Malagón, A. 2017. Estado trófico de los humedales Tibanica, Guaymaral, Jaboque y Meridor a partir de la composición, biomasa y producción del fitoplancton. En: Guillot, G. H. y Pinilla, G. A. (Eds). *Estudios ecológicos en humedales de Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. 314 p.

Martínez, L. F. y Donato, J.C. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia*. 25 (2): 337-354.

McAlice, B. 1979. Phytoplankton sampling with the sedgwick-rafter cell. *Limnol. Oceanogr.* 16: 19-28.

Muñoz-López, C., Aranguren-Riaño, N. J. y Duque, S. 2017. Morfología funcional del fitoplancton en un lago. *Rev. Biol. Trop.* 65 (2): 669-683.

Necchi, O. 2016. *River Algae*. Springer International Publishing Switzerland.

Oliva-Martínez, M., Godínez-Ortega, J. L. y Zuñiga-Ramos, C. A. 2014. Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales de México. *Méxicana de Biodiversidad*. 85: 54-61.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 1971. Convención relativa a los humedales de importancia internacional. Ramsar. Irán. 6 p.

Osbahr, K. y Gómez, N. C. 2006. Habitat use of the of avifauna at the Guaymaral Wetland (Cundinamarca, Colombia). *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*. 9 (2): 157-168

Pastrana, E. 2016. Relación de grupos funcionales fitoplanctónicos basados en su morfología presentes en el embalse de Betania durante dos periodos hidrológicos, Yaguará (Huila). *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*. 3 (3): 35-43. Recuperado de: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/raaa/article/view/507>

Pinilla, G. 2006. Eficiencia fotosintética del fitoplancton en un lago de montaña tropical. *Caldasia*. 28 (1): 57-66.

Pinilla, G. 2010. An index of limnological conditions for urban wetlands of Bogotá city, Colombia. *Ecological Indicators*. 10: 848-856.

Pinilla, G. 2017. *Prácticas de limnología. Guías de laboratorio y campo*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Bogotá. 327 p.

Pulido, P. C. y Pinilla, G. A. 2017. Evaluación del estado trófico de El Salitre, último humedal urbano de referencia en Bogotá. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 41 (158): 41-50. DOI: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.411>

Rayband, W. 2019. ImageJ. (version 1.52p). JAVA.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Reynolds, C. S. 1993. Scales of disturbance and their role in plankton ecology. *Hydrobiologia*. 249(1-3): 157–171. DOI: 10.1007/bf00008851

Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L. y Melo, S. 2002. Towards a functional classification of freshwater phytoplankton. *Journal of plankton research*. 24 (5):417-428.

Reynolds, C. S. 2006. *The ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press. 524 p.

Ríos-Henríquez, C., Fuentes, N., Tobar, C., Rau, J. y Cruces, F. 2020. Planktonic diatom assemblage seasonal diversity used to assess environmental health in a coastal wetland of southern Chile. *Gayana Bot.* 77 (2): 139-151.

Richter, B.D., Mathews, R., Harrison, D.L. y Wigington R. 2003. Ecologically sustainable water management: Managing river flows for ecological intergrity. *Ecol. Appl.*, 13: 206-224.

Rivera, C. y Donato-Rondón, J. 2008. Influencia de las variaciones hidrológicas y químicas sobre la diversidad de diatomeas bénticas: 83-102. En: Donato-Rondón, J. (Ed) Ecología de un río de montaña de los Andes colombianos (río Tota, Boyacá). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Bogotá, Colombia.

Rodríguez, L. y Pinilla, G. 2017. El fitoplancton y el grado de trofismo de los humedales Santa Maria del Lago y Juan Amarillo y del embalse San Rafael. En: Guillot, G. H. y Pinilla, G. A. (Eds). Estudios ecológicos en humedales de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. 314 p.

Roldán, G. y Ramírez, J. 2007. Fundamentos de limnología neotropical. 2da Edición. Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente.

Sandoval, D. 2013. Protected Areas in the City, Urban Wetlands of Bogotá. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo. 6 (11):80-103.

Secretaría Distrital de Ambiente, SDA. 2017. Sistema urbanos de drenaje sostenible. Universidad de los Andes. Investigación de las Tipologías y/o tecnologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C. 407 p.

Senhadji-Navarro, K., Ruiz-Ochoa, M. A. y Rodríguez, J. P. 2017. Estado ecológico de algunos humedales colombianos en los últimos 15 años: Una evaluación prospectiva. Colombia Forestal. 20 (2): 181-191.

Smetacek, V., 2001. A watery arms race. Nature 411: 745.

Stefanidou, N., Katsiapi, M., Tsianis, D., Denertzioglou, M., Michaloudi, E. y Moustaka-Gouni, M. 2020. Patterns in alpha and beta phytoplankton diversity along a conductivity gradient in coastal mediterranean lagoons. 12 (38). DOI: :10.3390/d12010038

Sun, J. y Liu, D. 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. J. Plankton. 25: 1331-1346.

Taylor, J., Harding W. y Archibald C. 2007. An Illustrated guide to some common diatom species from south africa. Water Research Commission. Report TT 282/7

Tell, G. y Conforti, V. 1986. Euglenophyta pigmentadas de la Argentina. Berlin-Stuttgart. J. Cramer.

UNESCO. 2009. Cianobacterias planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Sylvia Bonilla (editora). Documento Técnico PHI-LAC, N°16.

Vásquez, C., Ariza, A. y Pinilla, G. 2006. Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense. *Universitas Scientiarum*. 11(2): 61-75.

Wehr, J., Sheath, R., Patrick, J. 2015. *Freshwater algae of North America. Ecology and Classification – Academic Press. Second Edition*

Yusuf, Z. 2020. Phytoplankton as bioindicators of wáter quality in Nasarawa reservoir, Katsina State Nigeria. 32: 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X3319>

Zabala, A., Hernández, E., Agudelo, A., Aguirre, N., Vélez, F. 2019. Variación temporal de la morfología funcional del fitoplancton en una planicie inundable del Caribe Colombiano. *Biota Colombiana*. 20 (2): 2-19.

Zar, J. 2010. *Biostatistical Analysis. Fifth Edition. Pearson Prentice Hall. 944 p.*

Zelnik, I., Balanc, T y Toman, M. 2018. Diversity and structure of the Tychoplankton diatom community in the limnocene spring Zelenci (Slovenia) in relation to environmental factors. *Water* 10 (4): 361.

ANEXOS

Anexo 1. Valores de las variables fisicoquímicas del agua encontradas en el PEDH Torca-Guaymaral, en las dos épocas climáticas. LL: lluvia y SC: seca

Variable	1-LL	1-SC	2-LL	2-SC	3-LL	3-SC	4-LL	4-SC	5-LL	5-SC	6-LL	6-SC	7-LL	7-SC	8-LL	8-SC	9-LL	9-SC
pH (Unidades)	6,87	6,55	6,94	6,54	7,16	6,35	7,11	6,2	7,13	6,81	7,18	6,91	7,24	6,72	7,05	6,78	7	6,7
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,3	3,26	0,82	0,98	7,06	0,43	3,75	4,03	0,71	1,19	1,59	2,97	2,43	0,75	2,45	1,23	2,01	0,73
Temperatura (°C)	16,4	15	13,9	14,8	20,2	6,35	15,4	14,1	16	15,6	18	18,2	17,9	16,1	18,2	16,4	15,2	17
Conductividad (µs/cm)	131,2	155,6	192,2	238	160,4	168,4	64,7	71,2	131,6	326	477	336	352	327	335	320	232	220
saturación O ₂ (%)	73,1	43,8	13,3	13,2	129,5	5,5	62,7	53,1	12	16,3	27,9	43	42,8	10,3	35	17,1	26,9	10,2
Clorofila-a (mg/m ³)	17	0,11	26,1	0,11	36,7	0,11	1,01	0,11	20,4	0,11	42,9	0,11	32	0,11	0,1	0,11	0,1	0,11
Cloruros (mg Cl/L)	10,5	11,4	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	25,1	26,3	24,1	26,4	4,95	29,8	39,2	38,2	35,1	25,8
DBO5 (mg O ₂ /L)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	6,78	2,5	14,1	2,5
Ortofosfatos (mg/L P-PO ₄)	0,035	0,035	0,035	0,035	0,252	0,416	0,035	0,035	0,51	0,035	0,444	0,035	0,501	0,035	0,035	0,035	0,12	0,416
Nitratos (mg N-NO ₃ /L)	0,11	0,11	0,11	0,96	0,11	0,89	0,11	0,41	0,11	0,48	0,11	0,41	0,5	0,11	0,11	0,96	0,11	0,89
Nitritos (mg N-NO ₂ /L)	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,136	0,003	0,003	0,003	0,017	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1746	1923	2052	3840	2235	5608	1284	1720	4124	4212	4524	5387	4764	4851	2342	2284	2224	2424

Anexo 2 Tabla taxonómica de las morfoespecies de fitoplancton reportadas para el PEDH Torca-Guaymaral

Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Bacillariophyceae	Achnanthes	?	Achnanthes M2
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i> sp
Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Hantzschia</i> sp
Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i> sp1
Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i> sp2
Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i> sp3
Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i> sp4
Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i> sp5
Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i> sp
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Encyonema</i> sp
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i> sp1
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i> sp2
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i> sp3
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i> sp4
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i> sp5
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Placoneis</i> sp
Bacillariophyceae	Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia</i> sp1
Bacillariophyceae	Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia</i> sp2
Bacillariophyceae	Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia</i> sp3
Bacillariophyceae	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Amphipleura</i> sp
Bacillariophyceae	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Frustulia</i> sp1
Bacillariophyceae	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Frustulia</i> sp2
Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i> spp
Bacillariophyceae	Naviculales	Neidiaceae	cf. <i>Neidium</i>
Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i> sp1
Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i> sp2
Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i> sp3
Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i> sp4
Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i> sp5
Bacillariophyceae	Naviculales	Sellaphoraceae	cf. <i>Sellaphora</i>
Bacillariophyceae	Naviculales	Sellaphoraceae	<i>Sellaphora</i> sp1
Bacillariophyceae	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i> sp
Bacillariophyceae	Rhabdonematales	Tabellariaceae	<i>Diatoma</i> sp
Bacillariophyceae	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Epithemia</i> sp

Bacillariophyceae	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i> sp
Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	<i>Stigeoclonium</i> sp
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i> sp
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Sphaerocystidaceae	<i>Sphaerocystis</i> sp
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Volvocaceae	<i>Eudorina</i> sp
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Volvocaceae	<i>Pandorina</i> sp
Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium</i> spp
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Characiaceae	cf. <i>Characium</i>
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Selenastraceae	<i>Ankistrodesmus</i> sp
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Selenastraceae	<i>Monoraphidium</i> sp
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Microsporaceae	cf. <i>Microspora</i>
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	cf. <i>Tetraedron</i>
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	<i>Monactinus</i> sp
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	<i>Pediastrum</i> sp1
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	<i>Pediastrum</i> sp2
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	<i>Sorastrum</i> sp
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Neochloridaceae	<i>Golenkinia</i> sp
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Coelastrum</i> sp1
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Coelastrum</i> sp2
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Coelastrum</i> sp3
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Comasiella</i> sp
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Desmodesmus</i> sp1
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Desmodesmus</i> sp2
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Desmodesmus</i> sp3
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Desmodesmus</i> sp4
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Pectinodesmus</i> sp
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus</i> sp
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Westella</i> sp
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Selenastraceae	<i>Selenastrum</i> sp
Chrysophyceae	Chromulinales	Dinobryaceae	<i>Dinobryon</i> sp
Chrysophyceae	Synurales	Mallomonadaceae	<i>Mallomonas</i> sp
Chrysophyceae	Synurales	Mallomonadaceae	<i>Synura</i> sp
Conjugatophyceae	Zygnematales	Mesotaeniaceae	<i>Cylindrocystis</i> sp
Conjugatophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Mougeotia</i> sp
Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira</i> sp
Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i> sp
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i> sp

Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Gomphosphaeria</i> sp
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	aff. <i>Limnococcus</i>
Cyanophyceae	Chroococcales	Mycrocystaceae	<i>Microcystis</i> sp
Cyanophyceae	Nostocales	Aphanizomenonaceae	<i>Raphidiopsis</i> sp
Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i> sp
Cyanophyceae	Nostocales	Stigonemataceae	<i>Stigonema</i> sp
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Microcoleaceae	<i>Arthrospira</i> sp
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Microcoleaceae	<i>Symploca</i> sp
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i> sp
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Phormidium</i> sp1
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Phormidium</i> sp2
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i> sp1
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i> sp2
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i> sp3
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoriaceae</i> M1
Cyanophyceae	Spirulinales	Spirulinaceae	<i>Spirulina</i> sp
Cyanophyceae	Synechococcales	Leptolyngbyaceae	aff. <i>Leptolyngbya</i>
Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Aphanocapsa</i> sp
Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i> sp
Cyanophyceae	Synechococcales	Pseudanabaenaceae	<i>Pseudanabaena</i> sp
Cyanophyceae	Synechococcales	Synechococcales Incertae sedis	cf. <i>Heteroleibleinia</i>
Dinophyceae	Gonyaulacales	Ceatiaceae	<i>Ceratium</i> sp
Dinophyceae	Gymnodiniales	Gymnodiniaceae	cf. <i>Gymnodinium</i>
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglenaceae</i> M1
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglenaceae</i> M2
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i> sp1
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i> sp2
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i> sp3
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i> sp4
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i> sp5
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Lepocinclis</i> aff. <i>acus</i>
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Lepocinclis</i> sp1
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Lepocinclis</i> sp2
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Lepocinclis</i> sp3
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Lepocinclis</i> sp4
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Lepocinclis</i> sp5
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Lepocinclis</i> sp6

Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Phacus</i> sp1
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Phacus</i> sp2
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Phacus</i> sp3
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Phacus</i> sp4
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Phacus</i> sp5
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Strombomonas</i> sp1
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Strombomonas</i> sp2
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i> aff. <i>armata</i>
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i> aff. <i>hispida</i>
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i> aff. <i>volvocina</i>
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i> sp1
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i> sp2
Fragilariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilariaceae</i> M3
Fragilariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	cf. <i>Fragilaria</i> sp1
Fragilariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	cf. <i>Fragilaria</i> sp2
Fragilariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Staurosira</i> sp
Fragilariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Tabularia</i> sp
Fragilariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	aff. <i>Ulnaria</i>
Fragilariophyceae	Fragilariales	Tabellariaceae	<i>Tabellaria</i> sp
Mediophyceae	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i> sp1
Mediophyceae	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i> sp2
Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	<i>Actinastrum</i> sp
Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	<i>Micractinium</i> sp
Trebouxiophyceae	Chlorellales	Oocystaceae	<i>Chlorella</i> sp
Trebouxiophyceae	Chlorellales	Oocystaceae	<i>Oocystis</i> sp
Trebouxiophyceae	Chlorellales	Oocystaceae	aff <i>Pachycladella</i>
Trebouxiophyceae	Microthamniales	Microthamniaceae	<i>Microthamnion</i> sp
Trebouxiophyceae	Trebouxiales	Botryococcaceae	cf <i>Botryococcus</i>
Trebouxiophyceae	Trebouxiales	Botryococcaceae	cf <i>Dichotomococcus</i>
Trebouxiophyceae	Trebouxiophyceae ordo incertae sedis	Trebouxiophyceae incertae sedis	<i>Crucigenia</i> sp
Ulvophyceae	Ulotrichales	Ulotrichaceae	<i>Ulothrix</i> sp
Ulvophyceae	Ulvales	Ulvaceae	<i>Enteromorpha</i> sp
Xanthophyceae	Mischococcales	Pleurochloridaceae	aff. <i>Monodus</i>
Xanthophyceae	Tribonematales	Tribonemataceae	<i>Tribonema</i> sp
Zygnematophyceae	Desmidiiales	Closteriaceae	<i>Closterium</i> sp1
Zygnematophyceae	Desmidiiales	Closteriaceae	<i>Closterium</i> sp2
Zygnematophyceae	Desmidiiales	Closteriaceae	<i>Closterium</i> sp3

Zygnematophyceae	Desmidiáles	Desmidiáceae	<i>Cosmarium</i> sp
Zygnematophyceae	Desmidiáles	Desmidiáceae	<i>Pleurotaenium</i> sp
Zygnematophyceae	Desmidiáles	Desmidiáceae	<i>Staurastrum</i> sp
Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i> sp

Anexo 3. Lista completa de las morfoespecies de algas encontradas en los puntos de muestreo del PEDH Torca-Guaymaral, su biovolumen ($\mu\text{m}^3/\text{L}$) y frecuencia acumulada (F). LL: época lluviosa y SC: época seca.

Morfoespecie	1-LL	1-SC	2-LL	2-SC	3-LL	3-SC	4-LL	4-SC	5-LL	5-SC	6-LL	6-SC	7-LL	7-SC	8-LL	8-SC	9-LL	9-SC	F
Achnanthes M1	0	5,32 ^e ₃	1,43 ^e ₅	2,12 ^e ₃	4,16 ^e ₅	1,91 ^e ₅	4,83 ^e ₅	1,44 ^e ₄	4,50 ^e ₆	0	3,81 ^e ₄	1,93 ^e ₄	0	4,09 ^e ₄	5,40 ^e ₄	1,85 ^e ₅	1,07 ^e ₅	9,39 ^e ₆	18
Cocconeis sp	1,19 ^e ₅	0	0	2,58 ^e ₃	7,12 ^e ₃	0	0	1,30 ^e ₄	3,24 ^e ₄	2,79 ^e ₃	0	1,76 ^e ₄	9,45 ^e ₂	4,02 ^e ₃	0	0	5,67 ^e ₄	0	18
Hantzschia sp	0	0	3,82 ^e ₄	0	4,62 ^e ₄	3,68 ^e ₄	6,68 ^e ₄	0	1,19 ^e ₅	0	0	0	0	6,23 ^e ₄	8,95 ^e ₄	1,17 ^e ₅	0	0	18
Nitzschia sp1	1,04 ^e ₄	0	1,34 ^e ₄	0	1,12 ^e ₅	3,45 ^e ₃	6,76 ^e ₃	0	1,20 ^e ₄	5,45 ^e ₃	5,80 ^e ₃	4,40 ^e ₄	0	0	1,01 ^e ₄	9,52 ^e ₄	0	1,06 ^e ₄	18
Nitzschia sp2	0	0	0	6,32 ^e ₃	9,26 ^e ₅	9,77 ^e ₃	7,04 ^e ₅	1,16 ^e ₃	3,94 ^e ₅	1,55 ^e ₄	4,52 ^e ₄	2,32 ^e ₄	2,93 ^e ₃	1,05 ^e ₅	1,53 ^e ₅	0	6,87 ^e ₃	0	18
Nitzschia sp3	0	0	0	0	0	7,50 ^e ₅	1,60 ^e ₆	9,53 ^e ₄	0	4,92 ^e ₄	0	9,61 ^e ₄	1,04 ^e ₄	1,06 ^e ₄	7,49 ^e ₄	7,73 ^e ₄	3,93 ^e ₄	0	18
Nitzschia sp4	0	0	0	0	0	0	0	2,80 ^e ₅	5,30 ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
Nitzschia sp5	0	0	0	0	0	0	0	1,21 ^e ₄	0	0	0	0	0	0	3,32 ^e ₅	0	0	0	18
Cymbella sp	0	0	1,60 ^e ₆	1,23 ^e ₄	0	0	0	1,50 ^e ₄	0	0	0	1,34 ^e ₅	0	0	0	0	5,99 ^e ₄	0	18
Encyonema sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,76 ^e ₃	0	0	0	7,44 ^e ₃	0	0	0	0	18
Gomphonema sp1	0	2,25 ^e ₄	5,19 ^e ₄	1,56 ^e ₄	1,50 ^e ₃	4,02 ^e ₃	1,47 ^e ₄	1,38 ^e ₄	7,52 ^e ₄	2,27 ^e ₄	2,82 ^e ₄	5,00 ^e ₄	5,66 ^e ₄	0	0	1,11 ^e ₄	1,55 ^e ₄	5,37 ^e ₄	18
Gomphonema sp2	1,77 ^e ₅	0	0	5,94 ^e ₃	0	0	0	9,65 ^e ₃	0	9,00 ^e ₃	6,25 ^e ₃	1,23 ^e ₄	1,10 ^e ₄	0	0	0	1,15 ^e ₄	0	18
Gomphonema sp3	1,86 ^e ₄	0	2,32 ^e ₄	3,67 ^e ₃	2,29 ^e ₄	2,90 ^e ₃	6,25 ^e ₃	8,31 ^e ₂	3,14 ^e ₅	1,41 ^e ₃	0	7,09 ^e ₃	0	2,38 ^e ₃	0	0	1,22 ^e ₃	1,35 ^e ₄	18
Gomphonema sp4	6,14 ^e ₄	0	6,14 ^e ₃	0	0	0	0	6,28 ^e ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,63 ^e ₄	18
Gomphonema sp5	2,78 ^e ₄	0	8,74 ^e ₃	4,49 ^e ₂	2,13 ^e ₃	1,95 ^e ₃	7,56 ^e ₃	0	5,62 ^e ₅	9,45 ^e ₃	1,86 ^e ₃	1,61 ^e ₄	0	8,23 ^e ₂	0	6,41 ^e ₃	0	5,29 ^e ₄	18
Placoneis sp	0	8,86 ^e ₄	9,04 ^e ₄	0	0	7,30 ^e ₅	3,64 ^e ₅	0	7,17 ^e ₅	0	9,27 ^e ₄	0	1,95 ^e ₄	0	1,53 ^e ₅	1,32 ^e ₅	6,11 ^e ₄	5,15 ^e ₆	18

<i>Eunotia</i> sp1	5,22* ^e ₅	8,13* ^e ₃	1,40* ^e ₅	1,82* ^e ₄	0	2,40* ^e ₄	0	9,39* ^e ₄	1,31* ^e ₅	3,95* ^e ₄	5,53* ^e ₄	5,92* ^e ₄	0	2,46* ^e ₄	1,33* ^e ₅	0	3,58* ^e ₄	4,77* ^e ₄	18
<i>Eunotia</i> sp2	0	0	0	0	0	1,21* ^e ₅	0	1,71* ^e ₄	7,82* ^e ₄	3,37* ^e ₄	0	7,69* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	18
<i>Eunotia</i> sp3	0	0	0	0	5,73* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,50* ^e ₄	0	18
<i>Amphipleura</i> sp	0	2,13* ^e ₅	0	1,80* ^e ₆	0	0	0	0	1,48* ^e ₇	0	0	9,27* ^e ₅	0	0	2,81* ^e ₅	0	0	0	18
<i>Frustulia</i> sp1	2,23* ^e ₄	0	9,09* ^e ₄	0	0	0	0	1,81* ^e ₅	1,82* ^e ₅	6,78* ^e ₄	1,39* ^e ₅	0	0	0	2,07* ^e ₅	0	0	0	18
<i>Frustulia</i> sp2	0	0	2,53* ^e ₆	1,19* ^e ₆	0	7,92* ^e ₅	0	0	9,13* ^e ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Navicula</i> spp	1,23* ^e ₅	3,44* ^e ₄	3,54* ^e ₄	8,18* ^e ₃	1,38* ^e ₅	9,62* ^e ₄	5,24* ^e ₄	8,31* ^e ₅	2,78* ^e ₅	2,79* ^e ₄	2,05* ^e ₄	5,40* ^e ₄	7,89* ^e ₃	1,02* ^e ₄	8,73* ^e ₄	1,02* ^e ₄	1,62* ^e ₅	1,62* ^e ₅	18
cf. <i>Neidium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	18
<i>Pinnularia</i> sp1	0	1,30* ^e ₅	1,17* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,79* ^e ₅	0	2,58* ^e ₅	0	0	18
<i>Pinnularia</i> sp2	3,17* ^e ₄	0	7,65* ^e ₅	3,59* ^e ₆	0	0	0	9,14* ^e ₅	3,43* ^e ₆	6,09* ^e ₄	2,47* ^e ₅	1,51* ^e ₆	0	0	4,80* ^e ₆	0	8,17* ^e ₅	1,85* ^e ₆	18
<i>Pinnularia</i> sp3	0	0	4,94* ^e ₅	0	4,77* ^e ₄	6,72* ^e ₅	0	6,74* ^e ₄	1,14* ^e ₆	0	5,06* ^e ₄	4,83* ^e ₅	3,65* ^e ₅	0	7,47* ^e ₅	0	0	0	18
<i>Pinnularia</i> sp4	0	0	0	0	0	0	0	0	9,41* ^e ₅	0	0	0	0	7,25* ^e ₄	8,07* ^e ₅	0	0	0	18
<i>Pinnularia</i> sp5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,42* ^e ₅	2,52* ^e ₆	0	0	1,40* ^e ₆	0	18
cf. <i>Sellaphora</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,72* ^e ₄	6,20* ^e ₃	6,99* ^e ₃	0	0	0	0	18
<i>Sellaphora</i> sp1	0	0	2,62* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,71* ^e ₃	9,86* ^e ₃	0	1,67* ^e ₄	0	0	18
<i>Stauroneis</i> sp	0	0	8,27* ^e ₅	0	0	3,60* ^e ₅	7,89* ^e ₅	0	1,24* ^e ₆	0	0	0	0	0	0	6,60* ^e ₅	0	1,25* ^e ₆	18
<i>Diatoma</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,55* ^e ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Epithemia</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	1,93* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	2,65* ^e ₅	0	18
<i>Rhopalodia</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	1,12* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	2,80* ^e ₅	0	18
<i>Stigeoclonium</i> sp	0	0	0	0	1,03* ^e ₆	2,10* ^e ₇	6,42* ^e ₇	0	0	0	0	0	0	8,47* ^e ₆	6,40* ^e ₇	4,49* ^e ₇	0	0	18
<i>Chlamydomonas</i> sp	0	0	0	0	0	0	8,17* ^e ₃	6,20* ^e ₃	0	0	2,59* ^e ₄	1,46* ^e ₄	9,72* ^e ₂	7,33* ^e ₃	0	0	0	0	18
<i>Sphaerocystis</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	2,14* ^e ₇	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Eudorina</i> sp	0	0	0	0	6,38* ^e ₆	0	8,83* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	9,74* ^e ₆	2,46* ^e ₆	1,64* ^e ₆	0	18
<i>Pandorina</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,23* ^e ₆	0	0	0	0	0	0	18

<i>Oedogonium</i> spp	0	0	2,11 ^e ₇	3,83 ^e ₆	5,01 ^e ₈	1,14 ^e ₈	0	0	0	7,98 ^e ₇	0	1,12 ^e ₇	0	0	0	0	0	18	
cf. <i>Characium</i>	0	0	0	7,92 ^e ₂	4,03 ^e ₅	0	1,44 ^e ₆	9,91 ^e ₃	0	0	2,28 ^e ₅	0	0	0	0	0	0	18	
<i>Ankistrodesmus</i> sp	0	0	3,00 ^e ₅	0	0	3,02 ^e ₃	2,13 ^e ₃	0	3,80 ^e ₃	0	0	0	0	0	5,89 ^e ₃	1,93 ^e ₄	0	18	
<i>Monoraphidium</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,64 ^e ₂	0	0	0	8,11 ^e ₂	0	3,82 ^e ₃	0	18	
cf. <i>Microspora</i>	0	0	0	0	0	1,92 ^e ₆	0	0	0	7,38 ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	18	
cf. <i>Tetraedron</i>	0	0	0	0	2,11 ^e ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,28 ^e ₃	0	0	18	
<i>Monactinus</i> sp	0	0	6,44 ^e ₅	0	9,51 ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	1,09 ^e ₆	2,45 ^e ₆	2,91 ^e ₆	0	18	
<i>Pediastrum</i> sp1	0	0	0	0	2,06 ^e ₇	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	
<i>Pediastrum</i> sp2	0	0	0	0	2,12 ^e ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	1,17 ^e ₆	3,51 ^e ₆	4,24 ^e ₆	0	18	
<i>Sorastrum</i> sp	0	0	0	0	0	8,62 ^e ₆	0	8,76 ^e ₅	0	0	0	0	0	1,30 ^e ₆	0	2,64 ^e ₆	0	18	
<i>Coelastrum</i> sp1	0	0	0	5,59 ^e ₅	1,04 ^e ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	
<i>Coelastrum</i> sp2	0	0	0	1,16 ^e ₅	7,27 ^e ₆	4,82 ^e ₇	1,40 ^e ₇	0	2,85 ^e ₇	0	0	6,44 ^e ₇	0	0	0	0	3,66 ^e ₇	18	
<i>Coelastrum</i> sp3	0	0	0	0	6,95 ^e ₅	0	0	0	0	0	6,84 ^e ₅	0	0	1,56 ^e ₆	0	0	0	18	
<i>Comasiella</i> sp	0	0	0	0	0	1,82 ^e ₅	4,46 ^e ₅	1,75 ^e ₅	0	0	0	0	0	1,24 ^e ₅	5,86 ^e ₅	0	2,80 ^e ₅	18	
<i>Desmodesmus</i> sp1	0	0	3,37 ^e ₄	0	0	0	2,53 ^e ₄	0	0	0	5,33 ^e ₃	3,07 ^e ₄	0	1,21 ^e ₅	1,03 ^e ₅	1,84 ^e ₅	3,56 ^e ₄	6,53 ^e ₄	18
<i>Desmodesmus</i> sp2	0	0	0	0	0	1,19 ^e ₃	0	0	0	0	0	1,91 ^e ₃	0	0	3,67 ^e ₃	6,03 ^e ₃	0	18	
<i>Desmodesmus</i> sp3	0	0	0	0	1,31 ^e ₆	1,75 ^e ₆	1,83 ^e ₅	0	0	0	0	0	0	2,77 ^e ₆	5,97 ^e ₆	1,38 ^e ₆	0	18	
<i>Desmodesmus</i> sp4	0	0	7,42 ^e ₃	0	0	4,26 ^e ₃	0	0	0	0	0	0	0	7,26 ^e ₃	1,99 ^e ₄	6,16 ^e ₃	2,89 ^e ₃	18	
<i>Pectinodesmus</i> sp	0	0	0	0	1,16 ^e ₆	5,82 ^e ₅	9,74 ^e ₅	0	0	0	0	0	1,57 ^e ₅	7,49 ^e ₅	4,52 ^e ₆	0	0	18	
<i>Scenedesmus</i> sp	0	0	3,73 ^e ₄	0	0	3,05 ^e ₄	0	1,82 ^e ₄	0	0	0	0	0	3,09 ^e ₄	0	0	0	18	
<i>Westella</i> sp	0	0	0	0	0	0	1,91 ^e ₅	0	0	0	0	0	0	2,77 ^e ₇	4,69 ^e ₆	0	1,13 ^e ₈	9,17 ^e ₈	18
<i>Selenastrum</i> sp	0	0	0	0	0	4,28 ^e ₃	0	0	0	0	0	1,25 ^e ₅	1,64 ^e ₃	2,80 ^e ₃	0	0	0	18	
<i>Dinobryon</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	2,71 ^e ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	

<i>Mallomonas</i> sp	0	0	0	0	6,20* ^e ₅	8,04* ^e ₄	3,58* ^e ₅	3,01* ^e ₆	0	0	0	0	0	1,45* ^e ₄	4,98* ^e ₅	0	0	0	18
<i>Synura</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,45* ^e ₆	18
<i>Cylindrocystis</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,75* ^e ₅	0	0	0	18
<i>Mougeotia</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,29* ^e ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Aulacoseira</i> sp	9,97* ^e ₄	0	0	0	4,19* ^e ₅	2,94* ^e ₅	4,27* ^e ₅	7,48* ^e ₃	3,90* ^e ₆	0	0	0	0	3,77* ^e ₅	1,74* ^e ₆	5,69* ^e ₅	0	0	18
<i>Melosira</i> sp	4,03* ^e ₇	1,46* ^e ₆	2,83* ^e ₆	1,85* ^e ₆	6,32* ^e ₆	1,72* ^e ₆	0	0	2,11* ^e ₆	2,79* ^e ₆	5,41* ^e ₅	2,22* ^e ₆	0	0	1,90* ^e ₆	4,01* ^e ₆	0	0	18
<i>Chroococcus</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,61* ^e ₆	0	0	0	18
<i>Gomphosphaeria</i> sp	0	0	0	0	8,43* ^e ₅	7,61* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
aff. <i>Limnococcus</i>	0	0	0	0	0	5,27* ^e ₆	0	0	5,29* ^e ₃	0	0	5,54* ^e ₆	0	1,34* ^e ₆	9,46* ^e ₆	0	0	0	18
<i>Microcystis</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,07* ^e ₅	2,86* ^e ₄	1,70* ^e ₅	4,48* ^e ₄	0	0	0	0	18
<i>Raphidiopsis</i> sp	0	0	8,36* ^e ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	2,02* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	18
<i>Anabaena</i> sp	0	4,33* ^e ₄	0	4,76* ^e ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Stigonema</i> sp	0	0	0	0	0	4,16* ^e ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,60* ^e ₆	0	0	18
<i>Arthrospira</i> sp	4,41* ^e ₃	7,87* ^e ₁	0	2,88* ^e ₃	1,39* ^e ₆	0	8,32* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	7,12* ^e ₄	0	0	0	18
<i>Symploca</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	3,08* ^e ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Lyngbya</i> sp	0	0	1,34* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Phormidium</i> sp1	1,67* ^e ₇	1,63* ^e ₅	7,96* ^e ₅	5,99* ^e ₄	2,31* ^e ₄	1,37* ^e ₅	2,42* ^e ₅	1,45* ^e ₆	8,42* ^e ₈	3,13* ^e ₇	5,80* ^e ₇	9,02* ^e ₄	5,85* ^e ₄	0	3,55* ^e ₅	6,31* ^e ₄	3,12* ^e ₄	3,26* ^e ₅	18
<i>Phormidium</i> sp2	0	1,18* ^e ₆	0	0	0	0	4,05* ^e ₅	0	0	0	0	3,59* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	18
<i>Oscillatoria</i> sp1	0	4,29* ^e ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	1,87* ^e ₈	1,51* ^e ₇	7,26* ^e ₄	0	1,34* ^e ₇	2,51* ^e ₇	0	0	18
<i>Oscillatoria</i> sp2	0	2,93* ^e ₆	0	0	6,17* ^e ₆	1,39* ^e ₇	0	0	0	1,23* ^e ₄	3,11* ^e ₆	1,38* ^e ₆	1,21* ^e ₆	6,06* ^e ₅	5,93* ^e ₅	6,13* ^e ₅	0	2,58* ^e ₅	18
<i>Oscillatoria</i> sp3	0	1,55* ^e ₆	0	3,08* ^e ₆	0	3,60* ^e ₆	1,51* ^e ₇	0	5,28* ^e ₆	0	2,77* ^e ₄	1,49* ^e ₇	2,85* ^e ₆	0	0	0	0	0	18
Oscillatoriaceae M1	0	0	0	0	0	5,44* ^e ₃	1,08* ^e ₄	5,15* ^e ₂	4,85* ^e ₄	2,32* ^e ₃	0	4,98* ^e ₃	1,55* ^e ₄	0	0	0	1,58* ^e ₃	0	18
<i>Spirulina</i> sp	2,19* ^e ₆	0	3,64* ^e ₆	0	1,15* ^e ₆	0	0	3,50* ^e ₅	0	0	0	0	0	1,32* ^e ₆	0	0	0	0	18
aff. <i>Leptolyngbya</i>	0	0	0	0	0	0	5,53* ^e ₆	0	5,66* ^e ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	2,62* ^e ₅	18

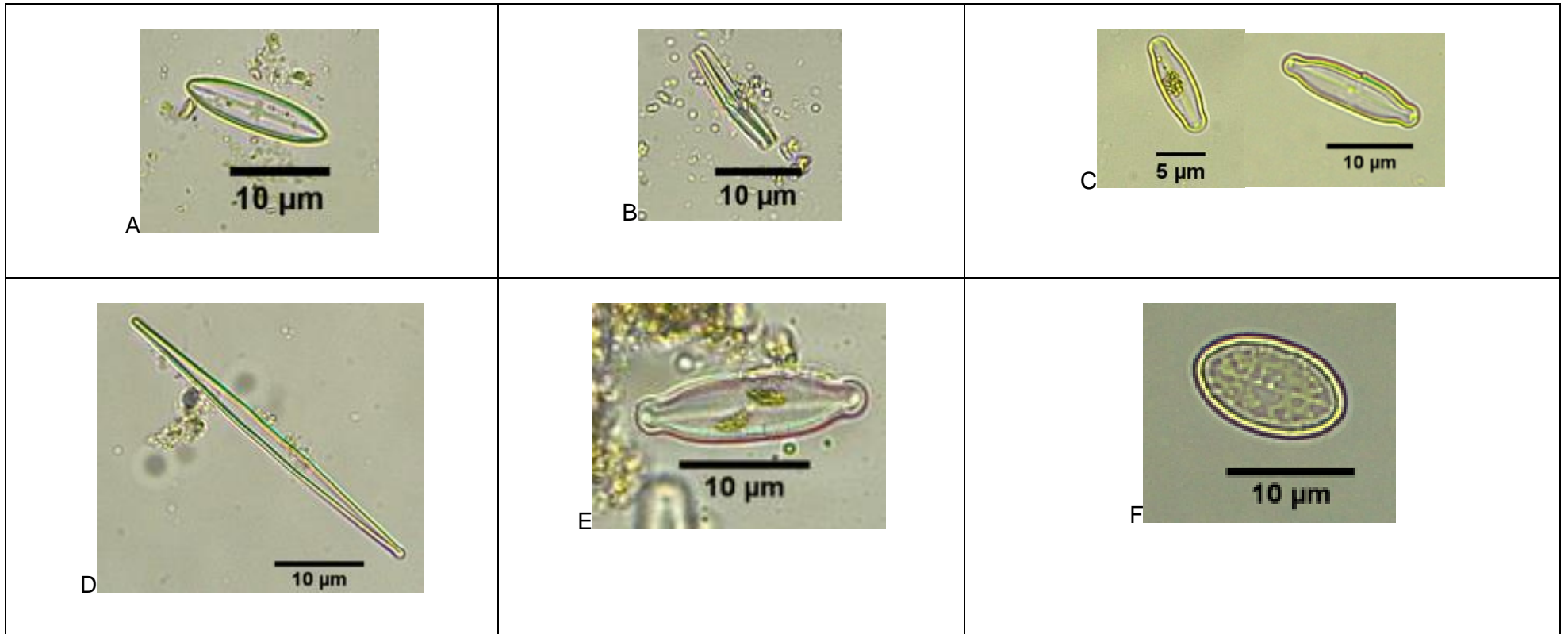
<i>Aphanocapsa</i> sp	2,36* ^e ₅	0	1,93* ^e ₆	0	1,82* ^e ₉	0	0	0	1,71* ^e ₆	4,93* ^e ₅	0	4,54* ^e ₆	0	0	0	0	7,53* ^e ₅	0	18
<i>Merismopedia</i> sp	0	3,19* ^e ₃	3,44* ^e ₃	4,42* ^e ₂	8,55* ^e ₃	0	0	0	0	0	8,55* ^e ₃	2,50* ^e ₄	7,27* ^e ₂	8,27* ^e ₂	0	3,24* ^e ₃	0	0	18
<i>Pseudanabaena</i> sp	0	4,63* ^e ₃	0	0	7,63* ^e ₃	0	5,63* ^e ₄	0	6,82* ^e ₄	0	4,36* ^e ₃	0	1,50* ^e ₄	0	1,48* ^e ₅	2,57* ^e ₆	0	0	18
cf. <i>Heteroleibleinia</i>	0	0	0	0	7,34* ^e ₅	0	3,97* ^e ₄	1,78* ^e ₃	0	3,11* ^e ₄	0	0	0	1,38* ^e ₄	1,81* ^e ₄	2,61* ^e ₄	0	0	18
<i>Ceratium</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	1,96* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	3,92* ^e ₅	0	18
cf. <i>Gymnodinium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,60* ^e ₅	3,21* ^e ₅	2,34* ^e ₆	0	1,05* ^e ₅	1,92* ^e ₅	0	0	0	18
Euglenaceae M1	0	0	4,29* ^e ₅	0	7,05* ^e ₅	4,41* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	2,50* ^e ₅	2,43* ^e ₆	1,48* ^e ₆	0	0	18
Euglenaceae M2	1,10* ^e ₆	0	0	0	1,18* ^e ₆	1,18* ^e ₆	0	0	2,51* ^e ₅	0	0	0	0	0	6,32* ^e ₄	0	0	0	18
<i>Euglena</i> sp1	0	0	0	3,40* ^e ₄	0	6,11* ^e ₄	0	0	0	5,43* ^e ₄	4,76* ^e ₅	0	0	7,81* ^e ₄	9,51* ^e ₄	4,42* ^e ₅	0	0	18
<i>Euglena</i> sp2	0	0	0	0	0	0	0	2,03* ^e ₄	0	0	2,66* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Euglena</i> sp3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,25* ^e ₆	0	3,17* ^e ₅	1,16* ^e ₆	5,37* ^e ₅	0	0	18
<i>Euglena</i> sp4	0	0	9,97* ^e ₆	0	0	0	9,76* ^e ₆	0	0	0	1,70* ^e ₆	0	0	0	3,56* ^e ₆	4,96* ^e ₆	0	0	18
<i>Euglena</i> sp5	0	0	2,08* ^e ₆	9,43* ^e ₅	2,07* ^e ₆	4,13* ^e ₅	2,64* ^e ₆	0	0	0	8,49* ^e ₆	3,89* ^e ₈	2,72* ^e ₅	7,56* ^e ₅	6,12* ^e ₅	7,12* ^e ₅	9,44* ^e ₅	1,30* ^e ₆	18
<i>Lepocinclis</i> aff. <i>acus</i>	0	0	0	0	2,28* ^e ₅	0	0	0	0	0	7,62* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Lepocinclis</i> sp1	0	3,53* ^e ₇	3,35* ^e ₇	1,30* ^e ₇	8,66* ^e ₆	1,20* ^e ₇	3,14* ^e ₇	1,67* ^e ₆	1,98* ^e ₇	0	1,07* ^e ₇	1,14* ^e ₈	2,10* ^e ₅	8,39* ^e ₅	1,06* ^e ₇	1,84* ^e ₇	8,33* ^e ₆	1,09* ^e ₈	18
<i>Lepocinclis</i> sp2	0	5,02* ^e ₅	0	5,94* ^e ₅	5,94* ^e ₆	1,93* ^e ₇	4,11* ^e ₇	2,70* ^e ₄	0	0	2,07* ^e ₇	1,02* ^e ₆	3,55* ^e ₄	1,88* ^e ₅	3,59* ^e ₆	7,23* ^e ₅	9,40* ^e ₄	0	18
<i>Lepocinclis</i> sp3	0	3,29* ^e ₅	1,34* ^e ₇	3,34* ^e ₅	6,38* ^e ₅	3,44* ^e ₅	2,01* ^e ₅	2,38* ^e ₅	0	1,70* ^e ₅	1,12* ^e ₆	1,59* ^e ₆	0	0	0	2,79* ^e ₅	1,44* ^e ₅	0	18
<i>Lepocinclis</i> sp4	0	0	1,24* ^e ₆	5,54* ^e ₃	0	0	0	4,49* ^e ₅	0	0	1,48* ^e ₅	0	0	1,53* ^e ₅	0	0	7,48* ^e ₅	1,06* ^e ₅	18
<i>Lepocinclis</i> sp5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,37* ^e ₅	0	0	18	
<i>Lepocinclis</i> sp6	0	0	0	0	0	1,06* ^e ₅	9,06* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	6,79* ^e ₄	2,48* ^e ₅	7,68* ^e ₄	0	0	18
<i>Phacus</i> sp1	0	0	9,18* ^e ₅	1,37* ^e ₄	0	0	0	8,18* ^e ₃	0	5,16* ^e ₃	9,25* ^e ₃	0	0	1,60* ^e ₄	8,32* ^e ₄	5,44* ^e ₄	3,38* ^e ₄	0	18
<i>Phacus</i> sp2	0	0	7,14* ^e ₄	1,26* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	3,54* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	7,14* ^e ₄	18
<i>Phacus</i> sp3	0	0	0	0	0	2,86* ^e ₄	0	1,26* ^e ₅	0	0	0	0	0	2,43* ^e ₄	0	4,13* ^e ₄	1,55* ^e ₅	0	18

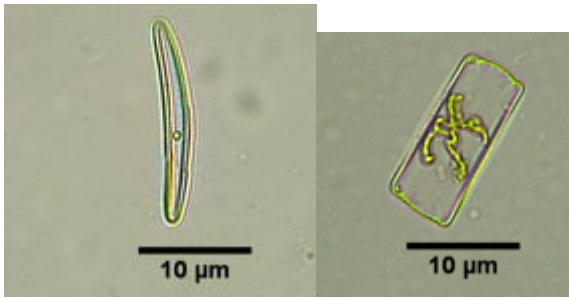
<i>Phacus</i> sp4	0	0	5,64* ^e ₄	1,44* ^e ₄	6,56* ^e ₄	2,11* ^e ₅	9,16* ^e ₄	1,11* ^e ₄	0	0	4,37* ^e ₄	3,60* ^e ₄	0	4,34* ^e ₄	1,49* ^e ₅	2,62* ^e ₅	1,67* ^e ₄	1,28* ^e ₅	18
<i>Phacus</i> sp5	0	0	0	0	3,84* ^e ₅	1,96* ^e ₅	2,75* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	6,35* ^e ₃	1,15* ^e ₅	0	0	0	18
<i>Strombomonas</i> sp1	0	7,52* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,01* ^e ₅	0	0	18
<i>Strombomonas</i> sp2	0	0	4,41* ^e ₅	2,15* ^e ₄	7,52* ^e ₅	0	5,22* ^e ₅	2,68* ^e ₅	0	0	0	0	0	1,06* ^e ₅	0	0	2,07* ^e ₅	0	18
<i>Trachelomonas</i> aff. <i>armata</i>	0	0	4,11* ^e ₅	2,05* ^e ₅	0	0	0	0	4,52* ^e ₆	0	0	9,90* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	18
<i>Trachelomonas</i> aff. <i>hispida</i>	0	0	8,54* ^e ₅	0	0	2,90* ^e ₅	4,22* ^e ₅	0	0	0	1,19* ^e ₆	0	0	8,04* ^e ₅	2,29* ^e ₆	1,39* ^e ₆	1,53* ^e ₅	2,01* ^e ₆	18
<i>Trachelomonas</i> aff. <i>volvocina</i>	1,01* ^e ₄	1,77* ^e ₅	1,02* ^e ₅	4,83* ^e ₃	1,09* ^e ₄	1,36* ^e ₄	0	2,56* ^e ₃	1,48* ^e ₆	0	7,41* ^e ₄	8,50* ^e ₄	1,25* ^e ₄	7,59* ^e ₄	8,30* ^e ₄	1,02* ^e ₅	1,09* ^e ₅	2,86* ^e ₄	18
<i>Trachelomonas</i> sp1	3,24* ^e ₄	0	0	1,16* ^e ₄	4,96* ^e ₄	1,05* ^e ₅	1,09* ^e ₅	1,27* ^e ₆	0	3,39* ^e ₅	3,16* ^e ₅	1,37* ^e ₅	2,12* ^e ₃	3,99* ^e ₆	5,53* ^e ₅	1,06* ^e ₆	4,26* ^e ₆	7,36* ^e ₆	18
<i>Trachelomonas</i> sp2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,80* ^e ₃	0	4,37* ^e ₄	0	0	18
Fragilariaceae M1	0	9,00* ^e ₃	8,12* ^e ₃	1,65* ^e ₃	2,50* ^e ₅	3,28* ^e ₄	8,36* ^e ₄	0	1,05* ^e ₄	0	0	5,48* ^e ₃	0	1,72* ^e ₃	0	2,36* ^e ₃	0	0	18
cf. <i>Fragilaria</i> sp1	0	0	7,88* ^e ₄	2,98* ^e ₃	0	0	0	0	1,40* ^e ₆	1,05* ^e ₅	1,27* ^e ₄	1,33* ^e ₅	4,37* ^e ₃	1,20* ^e ₄	0	0	2,72* ^e ₅	0	18
cf. <i>Fragilaria</i> sp2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,01* ^e ₄	8,40* ^e ₃	0	4,62* ^e ₃	0	0	0	0	0	18
<i>Staurosira</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	1,14* ^e ₄	0	0	0	0	3,16* ^e ₃	0	0	0	0	18
<i>Tabularia</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,88* ^e ₃	0	0	0	0	18
aff. <i>Ulnaria</i>	2,77* ^e ₆	7,87* ^e ₄	9,58* ^e ₄	1,56* ^e ₄	1,80* ^e ₅	5,45* ^e ₄	0	0	0	6,49* ^e ₅	7,49* ^e ₄	1,18* ^e ₅	0	0	0	0	1,16* ^e ₆	0	18
<i>Tabellaria</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,74* ^e ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Cyclotella</i> sp1	4,32* ^e ₄	0	0	0	1,38* ^e ₅	0	1,22* ^e ₄	1,37* ^e ₃	5,27* ^e ₅	6,94* ^e ₃	1,44* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Cyclotella</i> sp2	0	1,43* ^e ₅	1,36* ^e ₄	7,63* ^e ₂	2,26* ^e ₃	0	0	4,39* ^e ₂	0	0	1,29* ^e ₃	1,92* ^e ₃	2,10* ^e ₃	0	0	0	0	0	18
<i>Actinastrum</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,59* ^e ₅	8,85* ^e ₅	9,33* ^e ₅	0	0	18
<i>Micractinium</i> sp	3,43* ^e ₃	1,19* ^e ₄	0	0	1,64* ^e ₄	8,05* ^e ₃	2,31* ^e ₃	4,52* ^e ₂	0	0	0	0	0	1,60* ^e ₅	2,18* ^e ₇	3,39* ^e ₅	4,29* ^e ₇	3,13* ^e ₇	18
<i>Chlorella</i> sp	0	0	0	0	0	0	1,13* ^e ₅	0	0	4,07* ^e ₃	2,11* ^e ₃	1,08* ^e ₄	0	2,34* ^e ₂	1,03* ^e ₃	0	0	0	18
<i>Golenkinia</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,05* ^e ₅	2,81* ^e ₄	3,52* ^e ₄	0	1,76* ^e ₅	0	0	18
<i>Oocystis</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	5,19* ^e ₃	0	0	0	0	0	2,30* ^e ₄	0	4,20* ^e ₄	4,15* ^e ₄	0	18

aff <i>Pachycladella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,55* ^e ₄	0	4,24* ^e ₅	3,93* ^e ₅	0	0	18
<i>Microthamnion</i> sp	0	1,35* ^e ₅	0	0	0	1,87* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
cf <i>Botryococcus</i>	0	4,65* ^e ₅	6,83* ^e ₅	0	0	1,48* ^e ₅	2,98* ^e ₆	2,32* ^e ₆	7,88* ^e ₆	0	4,45* ^e ₅	1,10* ^e ₆	0	8,66* ^e ₄	2,86* ^e ₅	4,78* ^e ₅	3,25* ^e ₅	0	18	
cf <i>Dichotomococcus</i> s	0	0	0	0	0	3,09* ^e ₆	0	0	0	4,58* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	18	
<i>Crucigenia</i> sp	0	2,47* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,25* ^e ₄	3,04* ^e ₄	1,41* ^e ₄	0	0	18	
<i>Ulothrix</i> sp	0	0	0	0	1,12* ^e ₆	1,45* ^e ₇	9,97* ^e ₈	0	0	3,91* ^e ₅	5,43* ^e ₇	0	0	0	0	1,92* ^e ₆	0	0	18	
<i>Enteromorpha</i> sp	0	0	0	0	5,26* ^e ₆	0	3,03* ^e ₉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	
aff. <i>Monodus</i>	0	0	0	0	3,93* ^e ₄	3,54* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	
<i>Tribonema</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,84* ^e ₅	5,43* ^e ₅	0	0	0	0	18	
<i>Closterium</i> sp1	0	0	0	0	0	5,39* ^e ₄	7,66* ^e ₄	2,10* ^e ₅	1,91* ^e ₅	0	0	0	0	2,04* ^e ₄	0	0	1,57* ^e ₆	1,84* ^e ₅	18	
<i>Closterium</i> sp2	0	0	0	1,70* ^e ₆	0	1,70* ^e ₆	0	0	0	7,17* ^e ₅	0	0	0	0	0	0	2,51* ^e ₇	0	18	
<i>Closterium</i> sp3	6,11* ^e ₆	0	6,68* ^e ₆	1,52* ^e ₇	0	0	0	0	6,32* ^e ₈	4,56* ^e ₇	0	2,68* ^e ₆	3,35* ^e ₇	0	0	0	0	9,71* ^e ₅	18	
<i>Cosmarium</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,38* ^e ₃	4,26* ^e ₄	0	0	0	0	0	0	18	
<i>Pleurotaenium</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,95* ^e ₆	0	18	
<i>Staurastrum</i> sp	0	0	0	1,94* ^e ₃	0	0	0	0	0	0	0	1,47* ^e ₄	0	2,97* ^e ₃	0	1,01* ^e ₄	0	0	18	
<i>Spirogyra</i> sp	6,42* ^e ₈	2,91* ^e ₇	1,70* ^e ₈	8,82* ^e ₈	8,18* ^e ₇	3,28* ^e ₇	0	0	0	1,85* ^e ₈	0	0	0	0	4,68* ^e ₇	0	0	0	18	

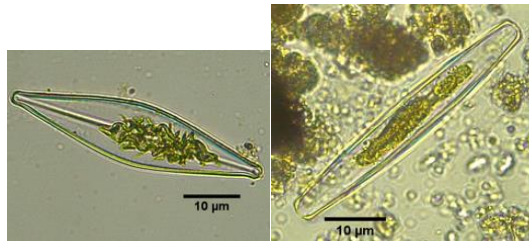
Anexo 4. Fotomicrografías de las algas pertenecientes al PEDH Torca-Guaymaral.

Clase Bacillariophyceae

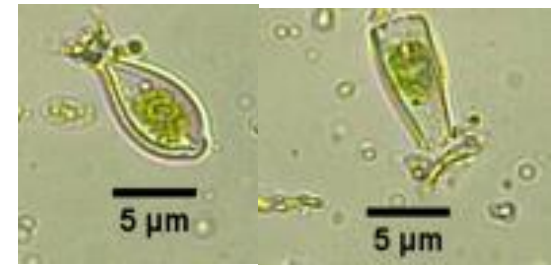




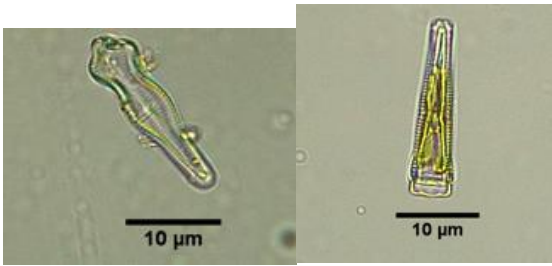
G



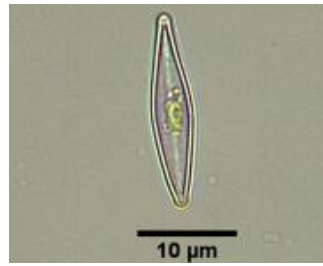
H



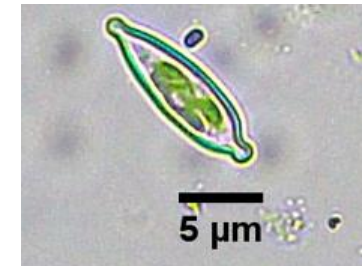
I



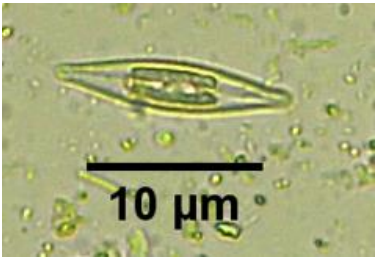
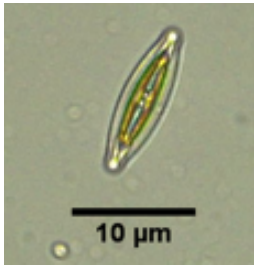
J



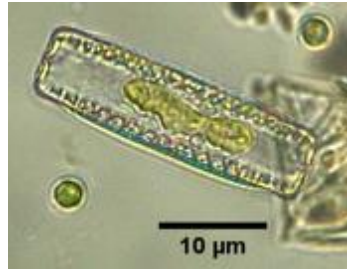
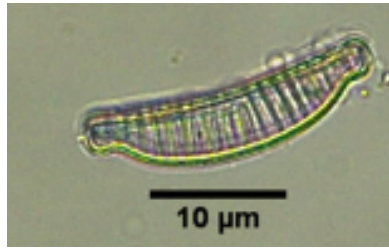
K



L



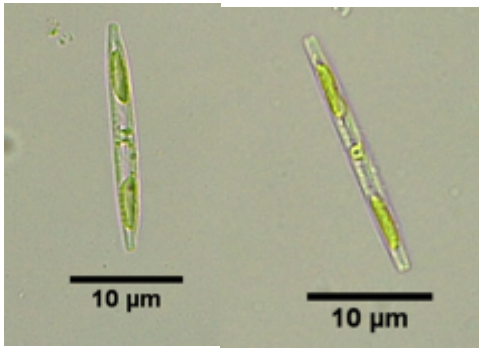
M



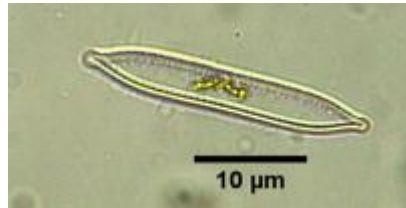
N



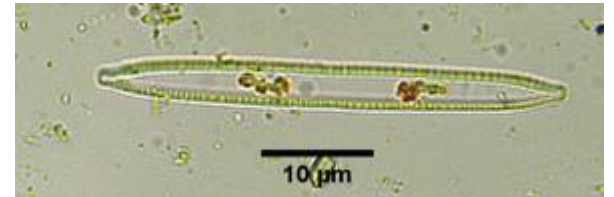
O



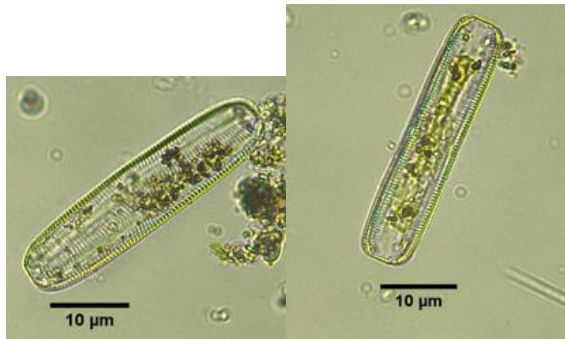
P



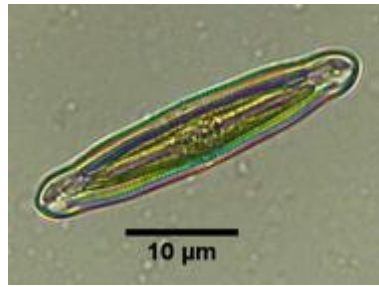
Q



R



S



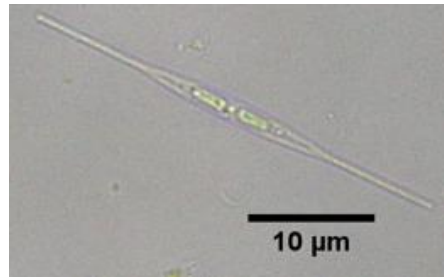
T



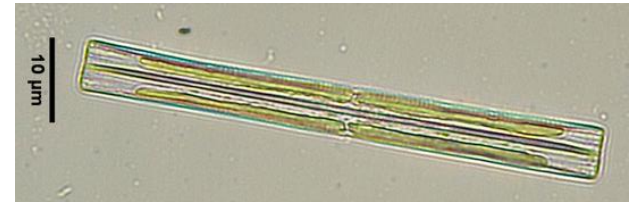
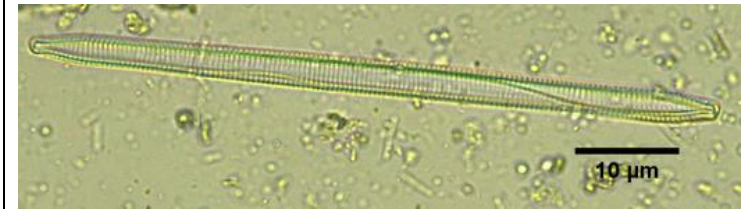
U



V



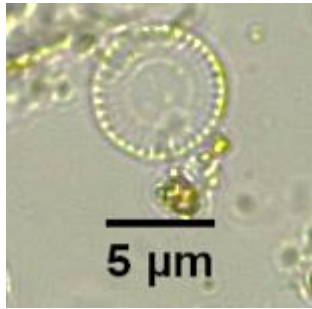
W



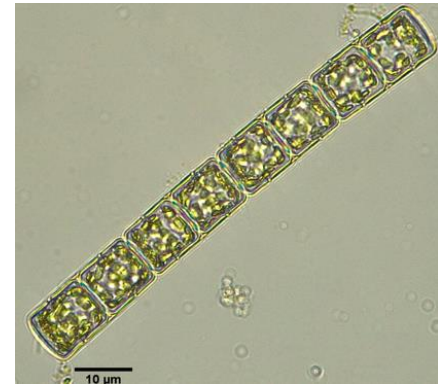
X



Y



Z



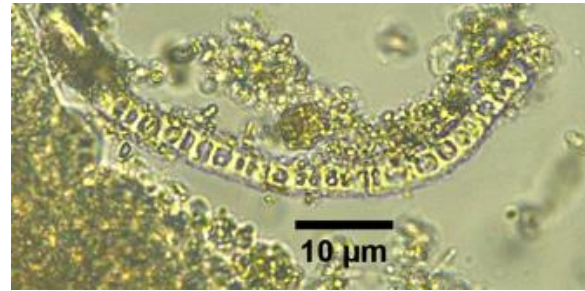
AA

A, Achnanthes M1 vista valvar y B. vista pleural, C. cf. *Sellaphora* D. cf. *Fragilaria* sp1, E. *Placoneis* sp, F. *Cocconeis*, G. *Eunotia* sp1, H. *Frustulia* vista valvar y vista pleural, I-L *Gomphonema* sp1, sp2, sp3 y sp5, M. *Navicula* spp, N. *Epithemia* sp vista valvar y pleural, O. *Cymbella* vista valvar y vista pleural, P. *Nitzschia* sp3 vista valvar y pleural, Q. *Nitzschia* sp4, R. *Nitzschia* sp5, S. *Pinnularia* sp2 vista valvar y pleural, T. *Pinnularia* sp3, U. *Staurosira* sp, V. *Rhopalodia* sp, W. *Urosolenia* sp, X. *Ulnaria* sp vista valvar y vista pleural, Y. *Aulacoseira* sp, Z. *Cyclotella* sp2, AA. *Melosira* sp

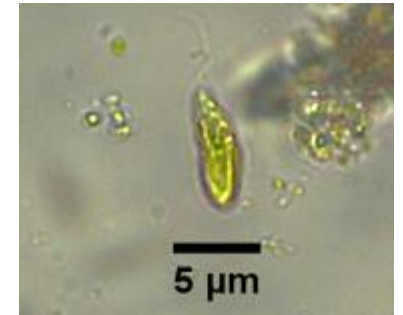
Clase Chlorophyceae



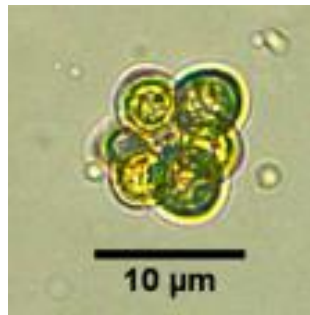
A



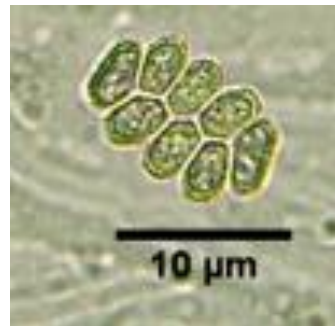
B



C



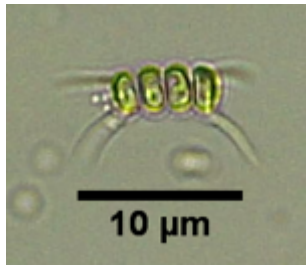
D



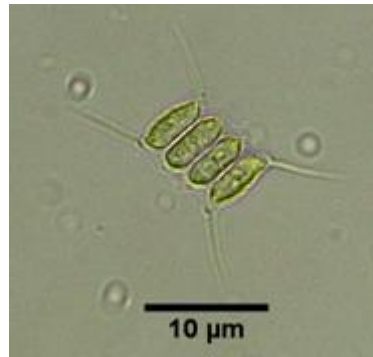
E



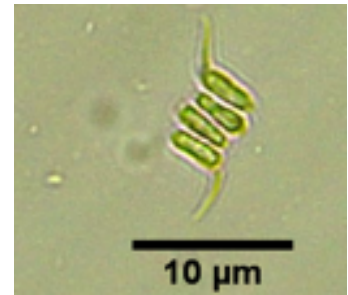
F



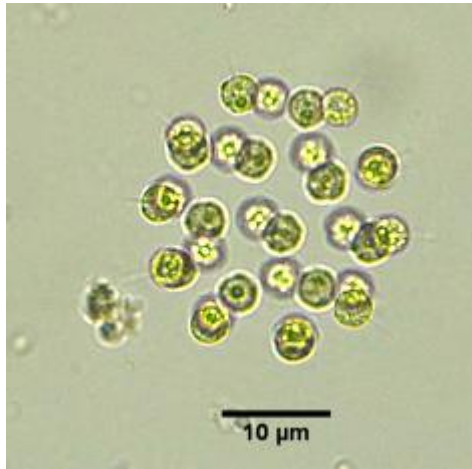
G



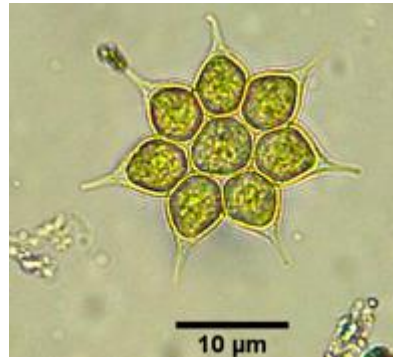
H



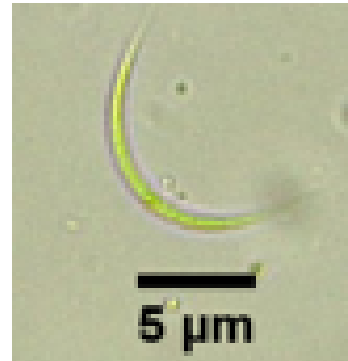
I



J



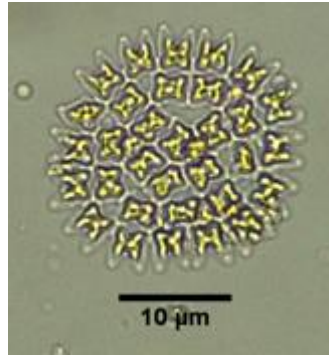
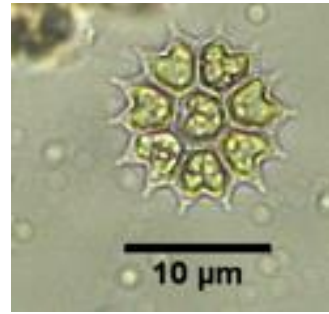
K



L



M



N



O

A. cf. *Characium*, B. cf. *Microspora*, C. *Chlamydomonas* sp, D. *Coelastrum* sp1, E. *Comasiella* sp, F-I. *Desmodesmus* sp3, sp2, sp1 y sp4 J. *Eudorina* sp, K. *Monactinus* sp, L *Monoraphidium* sp, M. *Oedogonium* sp, N. *Pediatrum* sp1 y sp2, O. *Westella* sp

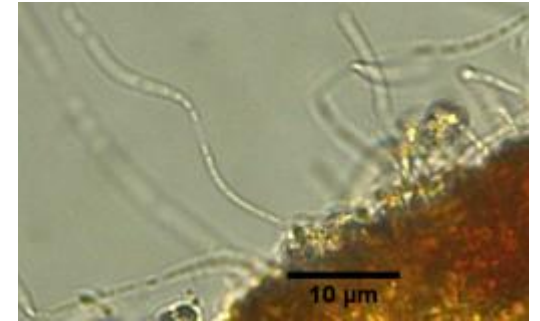
Clase Cyanophyceae



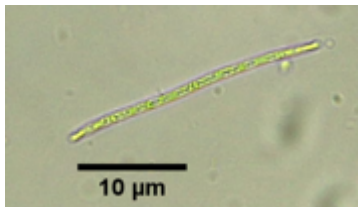
A



B



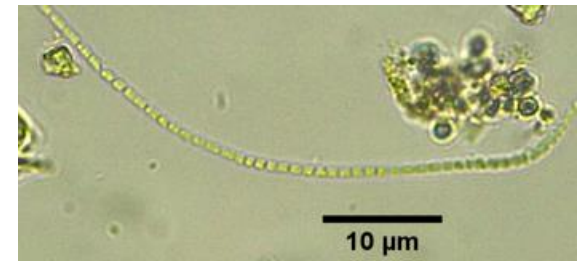
C



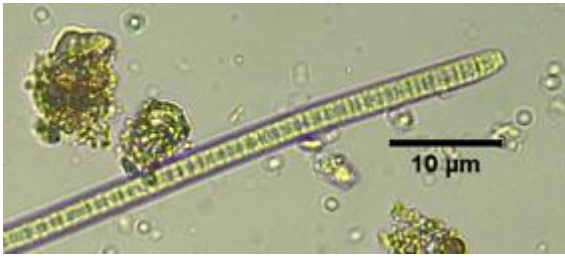
D



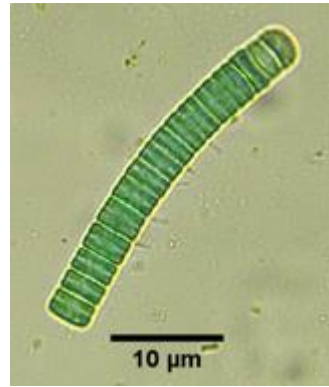
E



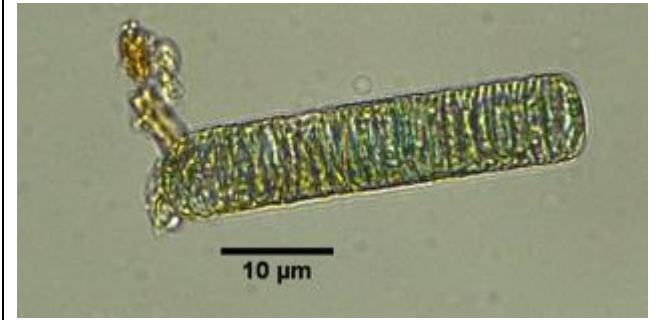
F



G



H



I

A. *Anabaena* sp. B. *Arthrospira* sp, C. cf. *Heteroleibleinia*, D. Cyanophyceae M1, E. *Gomphosphaeria* sp, F. *Pseudanabaena* sp, G-I *Oscillatoria* sp1, sp2, sp3

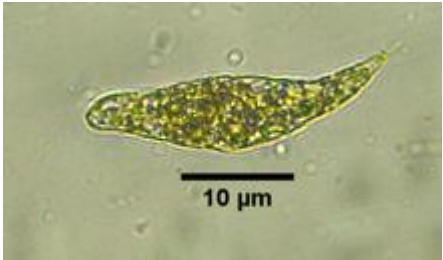
Clase Euglenphyceae



A



B



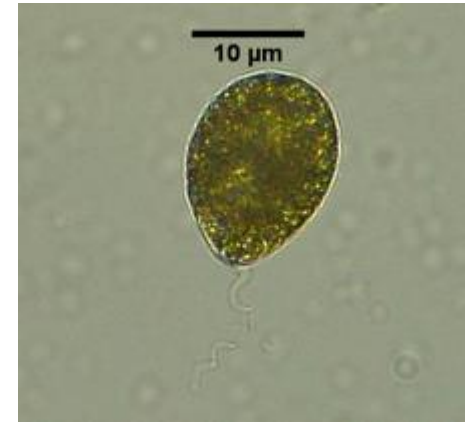
C



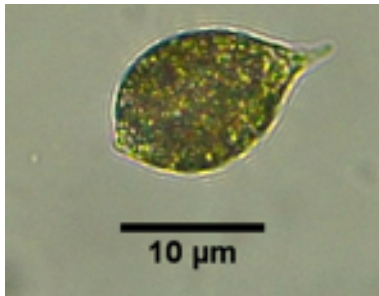
D



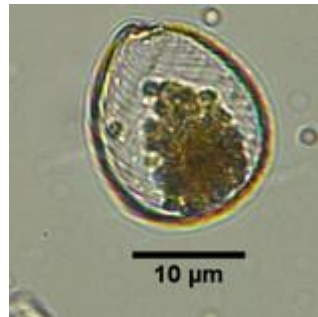
E



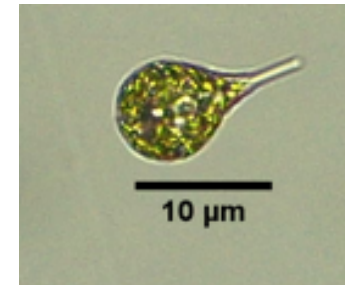
F



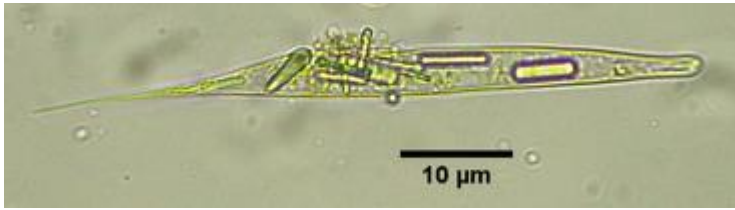
G



H



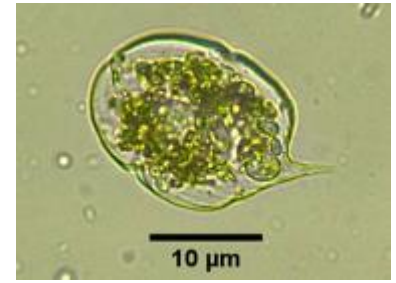
I



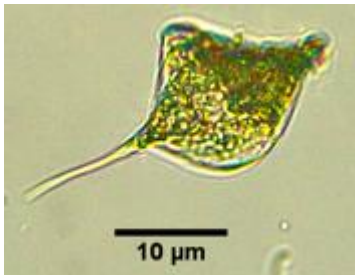
J



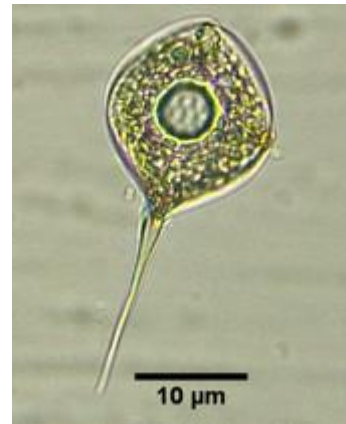
K



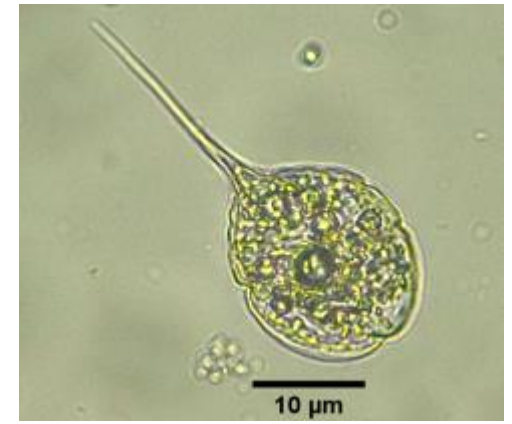
L



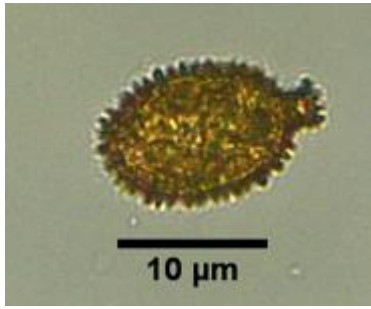
M



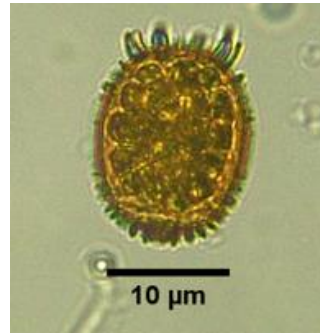
N



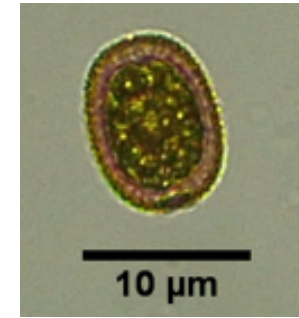
O



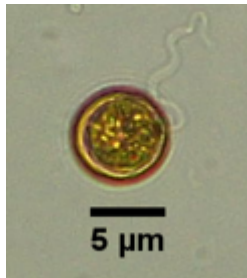
P



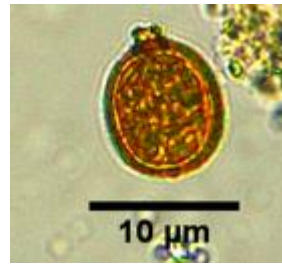
Q



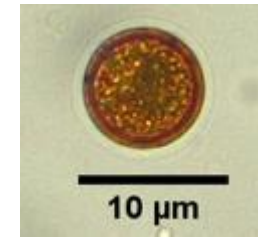
R



S



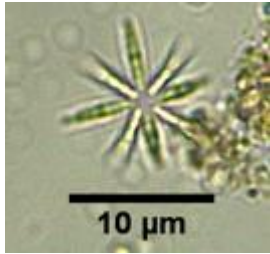
T



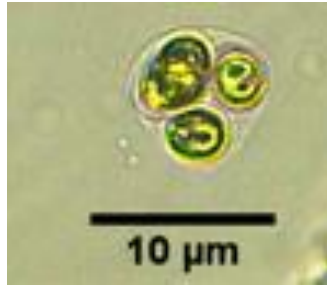
U

A-E. *Euglena*, sp1, sp2 sp3, sp4, sp5, F-J *Lepocinclis* sp1, sp2, sp3, sp4, aff. *acus*, K.-O *Phacus* sp1, sp2, sp3, sp4, sp5, P. *Strombomonas* sp, Q-U. *Trachelomonas* aff. *armata*, *T.* aff. *hispidia*, *T.* aff. *volvocina*, *Trachelomonas* sp1 y sp2

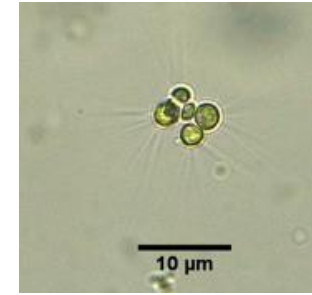
Clase Trebouxiophyceae



A



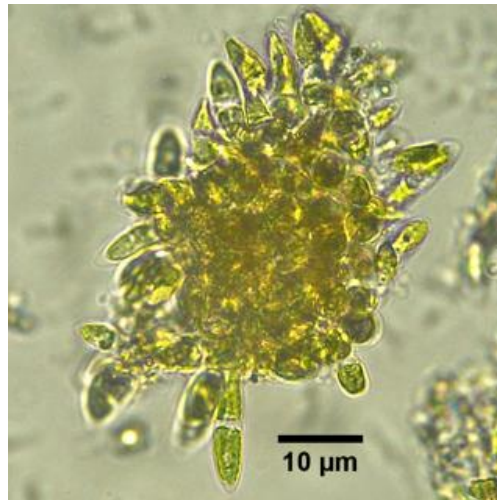
B



C



D



E

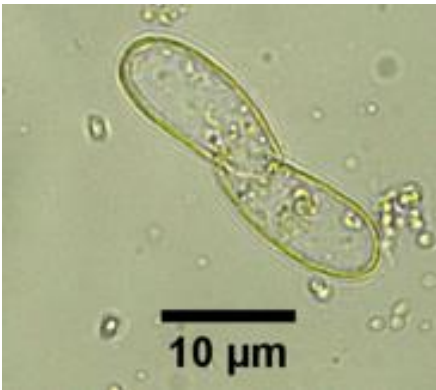
A. *Actinastrum* sp. B. *Oocystis* sp. C. *Micractinium* sp. D. *Microthamnion* sp. E. cf. *Dichotomococcus*

Clase Dinophyceae



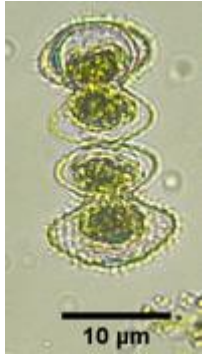
Ceratium sp

Clase Xanthophyceae

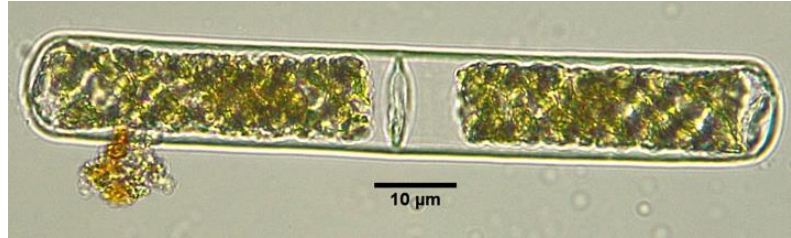


Aff. *Monodus*

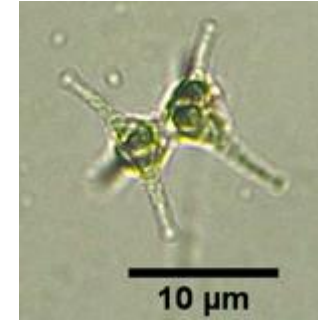
Clase Zygnematophyceae



A



B



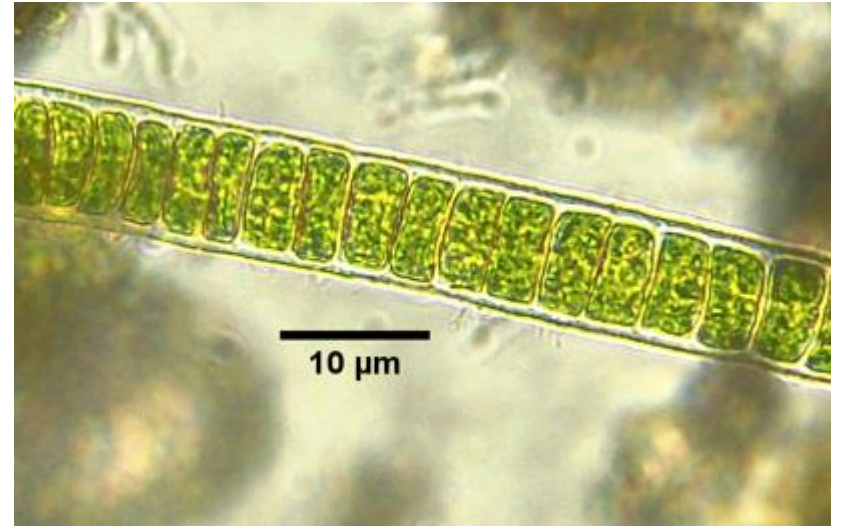
C

A. *Cosmarium* sp, B. *Spirogyra* sp. y C. *Staurostrum* sp

Clase Ulvophyceae



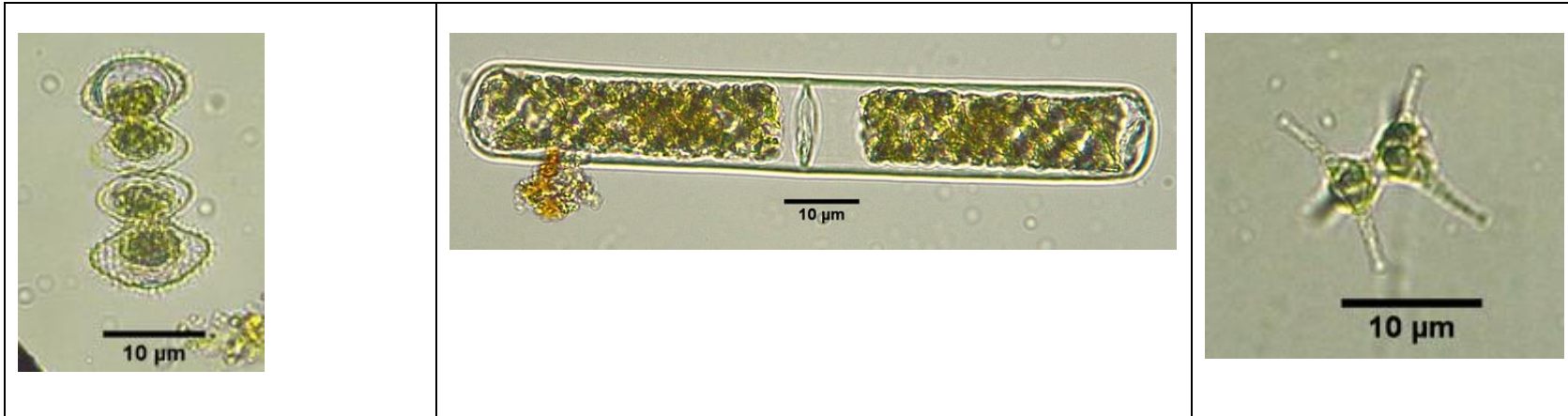
A



B

A. *Enteromorpha* sp y B. *Ulothrix* sp.





A. *Closterium* sp1 B. *Closterium* sp2, C. *Closterium* sp3, D. *Cosmarium* sp, E. *Spirogyra* sp, F. *Staurastrum* sp

Clase Chrysophyceae



A. *Mallomonas* sp

Anexo 5. Valores de pruebas estadísticas

Análisis multivariado entre estructura, épocas y hábitat (Adonis 2)

Pruebas variables fisicoquímicas por época y hábitat

Permutaciones	10000
Por época climática	p=0,0002
Por hábitat	p=0,006
interacción época:hábitat	p=0,0896

Prueba efecto de la matriz de estructura por época y hábitat sobre fisicoquímicos (Anosim)

Permutaciones	10000
época climática	p=0,0008
hábitat	p=0,030
interacción época:hábitat	p=0,0896

Prueba efecto de la matriz de ensamblajes por época y hábitat sobre fisicoquímicos (Adonis2)

época climática	p=0,0182
hábitat	p=9,999e ⁻⁵
interacción época:hábitat	p=0,1038

Prueba efecto global fisicoquímicos sobre la matriz de estructura (Adonis2)

Permutaciones	10000
pH	p=0,0028
Oxígeno	p=0,2316
Temperatura	p=0,0121
Conductividad	p=0,0184
Saturación	p=0,1593
Sólidos suspendidos totales	p=0,0005
Clorofila-a	p=0,0383
Cloruros	p=0,3886
DBO	p=0,1334
Ortofosfatos	p=0,1424
Nitratos	p=0,8226

Nitritos p=0,0409

Prueba efecto global fisicoquímicos sobre la matriz de estructura incluyendo el efecto época y hábitat (Adonis2)

Permutaciones 10000

pH p=0,0064

Oxígeno p=0,2525

Temperatura p=0,0218

Conductividad p=0,036

Saturación p=0,1898

Sólidos suspendidos totales p=0,0037

Clorofila-a p=0,0529

Cloruros p=0,4017

DBO p=0,1703

Ortofosfatos p=0,1708

Nitratos p=0,7973

Nitritos p=0,0656

FQ.Estructura-Época p=0,2297

FQ.Estructura-Hábitat p=0,6348

Pueba efecto de época, hábitat y su interacción sobre la matriz de ensamblajes (Adonis2)

Permutaciones 10000

FQ.Estructura-Época p=0,0167

FQ.Estructura-Hábitat p=9,999e-5

FQ. Estructura-época: FQ. Estructura-Hábitat p= 0,1028

Prueba Simper. Morfoespecies que contribuyen al 70% de disimilaridad de algas entre épocas

Spirogyra sp 2,17E+2

Westella sp 8,71E+1

Enteromorpha sp 7,41E+1

Aphanocapsa sp 7,28E+1

Phormidium sp1 6,14E+1

Closterium sp3 5,80E+1

Oedogonium spp 5,37E+1

Lepocinclis sp1 3,79E+1

Prueba Simper. Morfoespecies que contribuyen al 70% de disimilaridad de algas entre hábitats

Quebradas-Lénticos

Spirogyra sp	0,2904
Westella sp	0,4454
Phormidium sp1	0,5443
Closterium sp3	0,6398
Euglena sp5	0,7149

Quebradas-Lénticos

Spirogyra sp	0,2676
Enteromorpha sp	0,3863
Aphanocapsa sp	0,5007
Oedogonium spp	0,5781
Stigeoclonium sp	0,6392

Lénticos-Canal

Westella sp	0,1455
Enteromorpha.sp	0,2583
Aphanocapsa sp	0,3663
Phormidium.sp1	0,4338
Spirogyra sp	0,4998
Euglena sp5	0,5635
Oedogonium spp	0,6269
Stigeoclonium sp	0,6797
Closterium sp3	0,7318

Prueba efecto de los fisicoquímicos sobre las variables de estructura con modelos GLM

Con riqueza	Valor p	GLM con Equitabilidad	Valor p
pH	0,1525	Gausiano Conductividad	0,006
Oxígeno	0,2005	log.normal conductividad	0,002

Temperatura	0,5520	Interacción época y hábitat por conductividad	0,023
Conductividad	0,3829		
Sólidos suspendidos totales	0,0034	GLM No efectivo de especies	
Clorofila-a	0,1389	log.normal conductividad	0,002
		Interacción época y hábitat por conductividad	0,036
GLM Con abundancia	Valor p	log.normal clorofila-a	0,077
log.normal Conductividad	0,0920	Negativo binomial conductividad	0
Interacción época y hábitat por conductividad	0,0160	Negativo binomial clorofila-a	0,016
		Gamma conductividad	0
GLM con Shannon	Valor p	Gamma clorofila-a	0,019
log.normal conductividad	0,014	Poisson conductividad	0
Interacción época y hábitat por conductividad	0,08	Poisson clorofila-a	0,016
Interacción época y hábitat	0,048		

Análisis de diversidad beta (adespatial)

Por época climática

	Diversidad Beta total		
		estación	
Lluvias	0,746	5	p=0,0521
Seca	0,744	Ninguna estación con p significativo	

Por hábitat

	Diversidad Beta total		
Quebradas	0,646		
		estación	
Léntico	0,705	12	p=0,0020
		estación	
		18	p=0,0459
		estación	
Canal	0,793	5	p=0,05183

Análisis grupos morfofuncionales

prueba chi-cuadrado y Fisher para asociación grupos funcionales y época climática	p=0,046
prueba chi-cuadrado Quebradas vs Canal	p=0,0002

prueba chi-cuadrado Quebradas vs Léntico	p=0,0855
prueba Fisher Quebradas vs Léntico	p=0,0916
prueba chi-cuadrado Canal vs Léntico	p=0,0002