

# FITOPLANCTON DE UN HUMEDAL TROPICAL SOMERO DE ZONAS BAJAS Y SU RELACIÓN CON VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS

## Phytoplankton of a shallow tropical lowland wetland and its relationship with physicochemical variables

Kelly HUERTAS-FARÍAS<sup>1</sup>, Giovany GUEVARA<sup>1</sup>, Gladys REINOSO FLÓREZ<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Zoología (GIZ), Facultad de Ciencias. Universidad del Tolima, Barrio Santa Helena Parte Alta Cl 42 # 1-02, 730006299 Ibagué, Colombia.

\* For correspondence: [huefar@hotmail.com](mailto:huefar@hotmail.com)

Received: 28<sup>th</sup> September 2021. Returned for revision: 28<sup>th</sup> February 2022. Accepted: 18<sup>th</sup> April 2022.

Associate Editor: Sergi Sabater

Citation/ citar este artículo como: Huertas-Farías, K., Guevara, G., y Reinoso-Flórez, G. (2023). Fitoplancton de un humedal tropical somero de zonas bajas y su relación con variables fisicoquímicas. *Acta Biol Colomb*, 28(1), 75-85. <https://doi.org/10.15446/abc.v28n1.97060>

### RESUMEN

El fitoplancton constituye uno de los componentes más importantes de los ecosistemas dulceacuáticos lenticos, ya que representa el recurso basal para el crecimiento y supervivencia de los demás organismos asociados con estos ecosistemas. Además, aporta información relevante para el diagnóstico del estado de conservación de un cuerpo de agua, por su sensibilidad a un amplio rango de tensores, reflejado en variaciones en su composición y estructura. A pesar de varios estudios sobre la riqueza y dinámica del fitoplancton en sistemas lenticos de zonas tropicales, el conocimiento en humedales someros de zonas bajas es escaso. En el presente estudio se planteó determinar la composición y estructura del fitoplancton y su relación con variables fisicoquímicas, en el humedal El Silencio (Tolima, Colombia), un sistema acuático somero (profundidad < 1 m). Se realizaron ocho muestreos durante un ciclo hidrológico, colectando cuatro muestras en la zona limnética con red de plancton (23 µm). Se encontró que la comunidad fitoplanctónica está compuesta principalmente por el phylum Euglenozoa (78,9 %), seguido de Chlorophyta (17,5 %) y en menor proporción por los phyla Cyanobacteria (2 %), Bacillariophyta (0,92 %), y Charophyta (0,10 %). Las variables fisicoquímicas que más incidieron en la composición de la comunidad fitoplanctónica fueron alcalinidad y fósforo total. Asimismo, la dinámica del fitoplancton estuvo influenciada por los cambios climáticos y los niveles de precipitación. La presencia de *Lepocinclis*, *Actinastrum*, *Trachelomonas*, *Phacus* y *Euglena* mostraron una representatividad mayor del 90 %, lo que se asocia con un alto grado de eutrofia en el humedal.

**Palabras clave:** algas, Colombia, composición, estructura, hidrobiología.

### ABSTRACT

Phytoplankton constitutes one of the most important components of lentic freshwater ecosystems, due it represents the basal resource for the growth and survival of the other organisms associated with these ecosystems. In addition, it provides relevant information for the diagnosis of the state of conservation of a waterbody, due to its sensitivity to a wide range of stressors, reflected in variations in its composition and structure. Despite several studies on the richness and dynamics of phytoplankton in lentic systems of tropical zones, knowledge of shallow wetlands in lowland zones is scarce. In the present study, it was proposed to determine the composition and structure of phytoplankton and its relationship with physicochemical variables, in the El Silencio wetland (Tolima, Colombia), a shallow aquatic system (depth < 1 m). Eight samplings were carried out during a hydrological cycle, collecting four samples in the limnetic zone with a plankton net (23 µm). The phytoplankton community was mainly composed of the phylum Euglenozoa (78,9 %), followed by Chlorophyta (17,5 %) and to a lesser percentage by the phyla Cyanobacteria (2 %), Bacillariophyta (0,92 %), and Charophyta (0,10 %). The physicochemical variables that most influenced the composition of the phytoplankton community were alkalinity and total phosphorus. Likewise, the dynamics of phytoplankton were influenced by climatic changes

and precipitation levels. The presence and representativeness greater than 90 % of *Lepocinclis*, *Actinastrum*, *Trachelomonas*, *Phacus*, and *Euglena* was associated with a high degree of eutrophication in the wetland.

**Keywords:** algae, Colombia, composition, hydrobiology, structure.

## INTRODUCCIÓN

Los humedales son cuerpos de agua determinantes en la productividad ecosistémica, favoreciendo el desarrollo de una amplia diversidad de flora, fauna y microorganismos (Castellanos, 2006). Actualmente los humedales tropicales someros han sido poco estudiados, a pesar de proveer servicios ecosistémicos como almacenar agua, regular inundaciones, estabilizar suelos y almacenar carbono (Bejumea, Villada y Castaño, 2020). Existen diferentes factores como las variaciones en la pluviometría y fluctuaciones en el nivel del agua que afectan estos ecosistemas aumentando los niveles de eutroficación, nutrientes y anoxia (Menezes *et al.* 2019). De igual forma este tipo de humedales son vulnerables al cambio climático, así como a la contaminación por actividades agropecuarias, principalmente en áreas tropicales y subtropicales (Menezes *et al.* 2019). Los cambios provocados por la contaminación y las actividades agrícolas afectan la biodiversidad de estos humedales, incluyendo la composición de especies, la estructura trófica y el funcionamiento del ecosistema en general (Havens *et al.*, 2016).

El fitoplancton constituye uno de los componentes más importantes de los ecosistemas dulceacuícolas lenticos (Ramírez, 2000). Es una comunidad que integra organismos microscópicos fotosintetizadores (algas) que viven en suspensión en la columna de agua (Reynolds, 2006). Las algas planctónicas participan de importantes funciones en la dinámica de nutrientes, al ser los responsables de la mayor parte de la producción primaria en los lagos, lagunas y humedales (Roldán y Ramírez, 2008). En zonas tropicales, la influencia de la precipitación y la variabilidad en la temperatura diaria condiciona la riqueza, biomasa y dinámica del fitoplancton, lo cual es más evidente en sistemas lenticos someros, que reflejan una mayor susceptibilidad a la (hiper)eutrofización por efectos antropogénicos y del cambio climático (Díaz *et al.*, 2021; Ortega *et al.*, 2013).

A pesar de la importancia del fitoplancton en los ecosistemas lenticos, son pocos los estudios enfocados a conocer la composición y estructura de estas comunidades y su relación con las variables fisicoquímicas en humedales someros de zonas tropicales (Vásquez *et al.*, 2006), particularmente los de zonas bajas (Beklioglu *et al.*, 2016). Dada la importancia ecológica de los humedales en Colombia (Ricaurte *et al.*, 2019), en el presente estudio se seleccionó el humedal El Silencio (San Sebastián de Mariquita, Colombia), el cual fue uno de los priorizados por la Corporación Autónoma Regional del Tolima-CORTOLIMA, con el propósito de establecer una línea base de su biota fitoplanctónica y de sus posibles relaciones con las variables fisicoquímicas. La información generada

constituye un elemento fundamental para el diseño de planes y programas de manejo y conservación de este cuerpo de agua en el departamento del Tolima.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

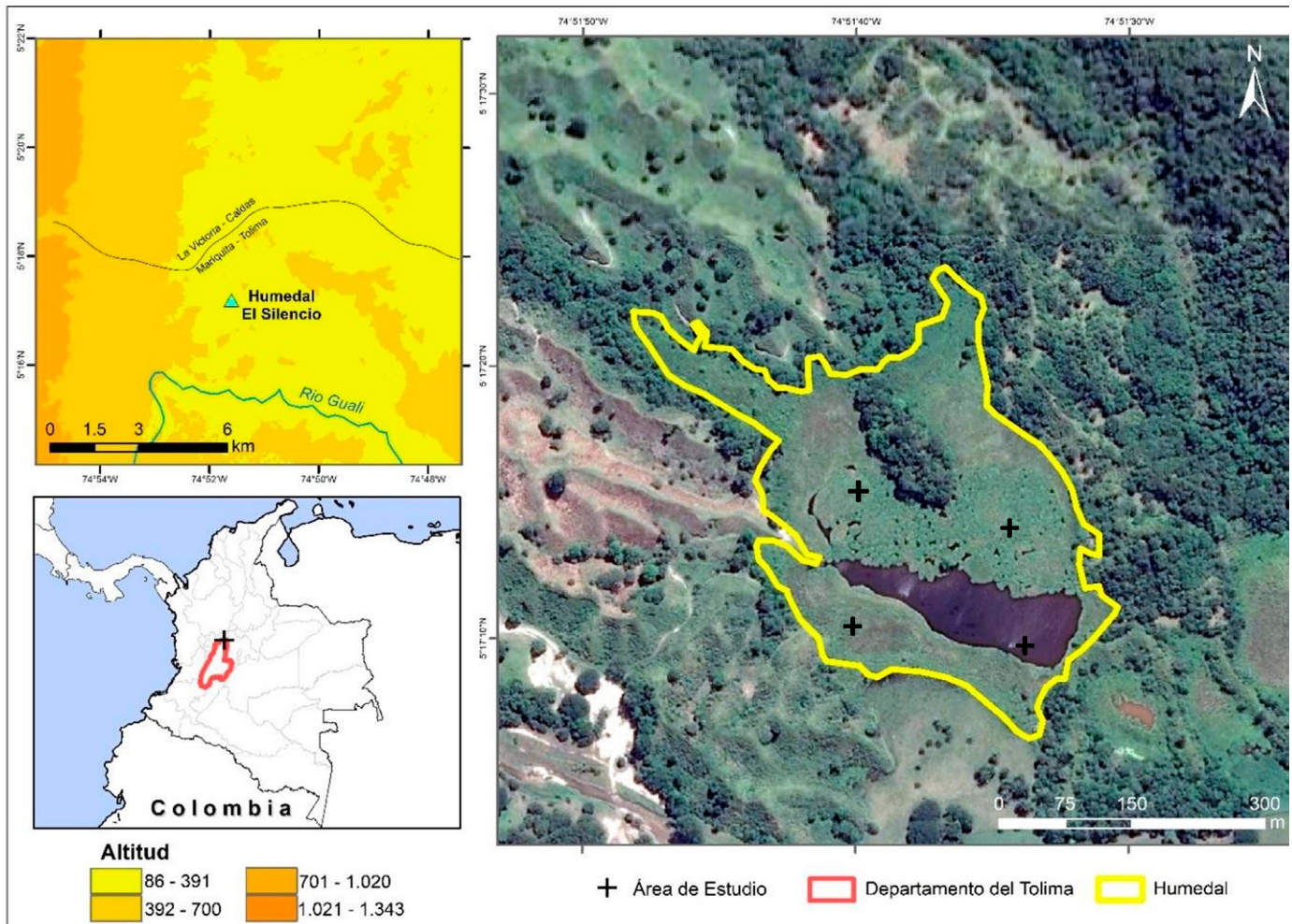
El humedal El Silencio se encuentra ubicado en el departamento del Tolima, Colombia; georreferenciado al extremo norte (5° 17' 23,68" N, 74° 51' 27,399" W), sur (5° 17' 5,253" N, 74° 51' 32,504" W), oriente (5° 17' 10,863" N, 74° 51' 30,08" W) y occidente (5° 17' 2,24" N, 74° 51' 49,693" W). Pertenece a la subzona hidrográfica río Gualí y comprende 16 ha incluida el área inundable (Fig. 1). Se localiza a una elevación de 343 m. s. n. m y presenta una profundidad fótica promedio de 1,57 m. Es un humedal con un espejo de agua variable, el cual se ve influenciado por la colonización, cobertura y dinámica de macrófitas durante el año (Gordillo *et al.*, 2020).

### COLECTA DEL MATERIAL BIOLÓGICO

Las muestras analizadas se tomaron como parte de las colectas realizadas en el macroproyecto "Humedales Fase III. Caracterización y planes de manejo de los humedales del Tolima" (Cortolima, 2016). Para la colecta se siguió la metodología recomendada por Samanez (2014), por medio de una red de fitoplancton de ojo de malla de 23 µm y filtración de 50 litros de agua a través de la red. Se realizaron ocho muestreos durante un ciclo hidrológico, con colectas de cuatro muestras en la zona limnética por evento de muestreo, desde septiembre de 2016 hasta abril de 2017. Los muestreos se definieron como sigue: M1-septiembre, M2-octubre y M3-noviembre (altas precipitaciones); M4-diciembre, M5-enero y M6-febrero (transición y bajas precipitaciones); y M7-marzo y M8-abril (transición y altas precipitaciones).

### Análisis de laboratorio

El conteo y la determinación del material biológico se realizó en el Laboratorio de Investigación en Zoología (Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia), con un microscopio invertido Carl-Zeiss (aumento del objetivo 60X) y con un aumento del ocular de 10X, usando una cámara de conteo Sedgwick-Rafter (SR). Para la cuantificación de organismos se siguió el método de conteo en campos aleatorios hasta completar 30 en 4 ml de muestra (American Public Health Association [APHA], 1999; Ramírez, 2000).



**Fig. 1.** Localización de las estaciones de muestreo en el humedal laguna El Silencio, municipio de San Sebastián de Mariquita (Tolima, Colombia). + (puntos de muestreo).

La determinación taxonómica se realizó siguiendo las claves y descripciones de Alves da Silva y Schüller (2007), Bellinger y Sigee (2015), Komárek *et al.* (2014), Novelo (2012), Oliveira *et al.* (2013) y Wehr y Sheath (2003). Además, se soportó la identificación de las algas con la base de datos electrónica Algaebase (Guiry y Guiry, 2019) y Diatombase (Kocielek *et al.*, 2019). Los datos de densidad total se presentan como individuos/ml.

### Análisis de datos

La descripción del comportamiento de las variables biológicas y fisicoquímicas se realizó a través de estadística descriptiva teniendo en cuenta el tipo y clasificación de cada variable. Con el software estadístico R program versión 1.2.5 (R core Team, 2013) se verificó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Dado que los datos no presentaron una distribución normal, se realizaron pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis) para establecer diferencias significativas en la variación temporal de la composición de la comunidad fitoplanctónica.

Se realizó una curva de acumulación de especies con el programa EstimateS (Collwell, 2013), para calcular el esfuerzo de muestreo y el porcentaje de organismos observados versus los esperados, utilizando los estimadores no paramétricos de riqueza Ace mean, ICE mean, Chao 1 mean, Jack 1 mean y Bootstrap mean (Magurran, 2004). Se calcularon los números de diversidad de Hill, por medio del número efectivo de especies o “diversidad verdadera” presentes en una muestra, los cuales se basan en una medida del grado de distribución de las abundancias relativas entre las especies (Moreno *et al.*, 2011).

### Análisis de variables fisicoquímicas

Se determinaron los valores de pH, conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), oxígeno disuelto ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ), porcentaje de saturación de oxígeno (% SAT.  $\text{O}_2$ ), turbidez (UNT), alcalinidad total y dureza ( $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ ), nitratos ( $\text{mgNO}_3/\text{L}$ ), fosfatos ( $\text{mg PO}_4/\text{L}$ ), sólidos totales ( $\text{mg}/\text{L}$ ), fósforo (P), sulfatos ( $\text{mgSO}_4/\text{L}$ ), coliformes totales y fecales (Tabla 1). Para establecer posibles relaciones entre las variables fisicoquímicas

**Tabla 1.** Valores promedios, desviación estándar e intervalos de confianza (máximos y mínimos (mes representativo)) de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas registradas en el humedal El Silencio.

Variables	(promedio) ± DE	Intervalos de variación		Método analítico
		Mínimos	Máximos	
pH	7,14 ± 0,68	6,3 (feb)	7,94 (oct)	Potenciométrico/pHmétrico
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	83,12 ± 0,24	36 (ene)	139 (oct)	Electrodo selectivo /Complexiométrico
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	47 ± 0,16	31 (ene)	85 (sep)	Electrodo selectivo /Neutralización
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	99,4 ± 0,14	73,7 (abr)	174 (sep)	Potenciométrico/Conductimétrico
Turbidez (UNT)	10,72 ± 0,29	3,74 (nov)	27,3 (oct)	Potenciométrico/Oximétrico
Oxígeno disuelto (mg/L)	2,33 ± 0,12	1,17 (dic)	4,04 (nov)	Potenciométrico/Oximétrico
Saturación de Oxígeno (%)	31,41 ± 0,16	16 (dic)	51 (abr)	Potenciométrico/Oximétrico
Sólidos totales (mg/L)	156,5 ± 0,08	120 (abr)	222 (sep)	Gravimétrico/Evaporación
Sólidos Suspendidos (mg/L)	34,2 ± 0,28	6,6 (oct)	71 (ene)	Espectrofotométrico/UV-Vis
Nitratos (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	0,14 ± 0,07	0,02 (nov/dic)	0,64 (sep)	Espectrofotométrico/UV
Amonio (mg/L)	0,06	0,06 (sep, nov, abr)	0,07 (oct)	Espectrofotométrico/Vis
Fosfatos (mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L)	0,57 ± 0,09	0,3 (oct, feb, abr)	1,4 (sep)	Espectrofotométrico/Vis
Fosforo Total (mg P/L)	0,22 ± 0,07	0,08 (dic)	0,6 (nov)	Espectrofotométrico/Vis
Nitritos (mg/L)	0,13 ± 0,02	0,03 (abr)	0,21 (feb)	Espectrofotométrico/Vis
Coliformes fecales (UFC/100ml)	1507387.5 ± 1,49	100 (oct)	6700000 (ene)	Filtración por membrana
Coliformes totales (UFC/100ml)	3250250 ± 1.5	2000 (abr)	11000000 (sep)	Filtración por membrana
Temperatura (°C)	28,9 ± 1,68	27 (sep-oct)	34 (dic)	Termómetro

y la composición de la comunidad fitoplanctónica se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) utilizando el programa Canoco 4.5 (Šmilauer y Lepš, 2014).

## RESULTADOS

### Composición del fitoplancton

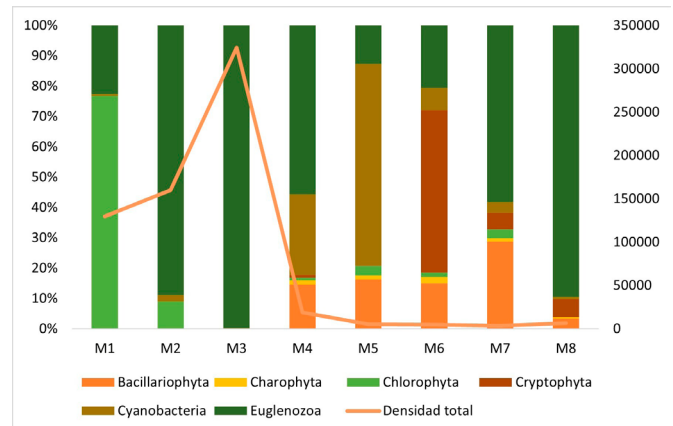
La comunidad fitoplanctónica del humedal presentó una composición de seis phyla (Euglenozoa, Chlorophyta, Cyanobacteria, Cryptophyta, Bacillariophyta y Charophyta), ocho clases, 18 órdenes, 34 familias, 57 géneros y 142 especies/morfoespecies. Los géneros más representativos fueron *Lepocinclis*, *Actinastrum*, *Trachelomonas*, *Phacus* y *Euglena*, la mayoría pertenecientes al phylum Euglenozoa. La Tabla 2 presenta las especies registradas en el humedal El Silencio a lo largo del período de estudio.

### Dinámica del fitoplancton

Se destaca la presencia del phylum Euglenozoa que presentó una densidad total de 515 641 individuos/ml (78,89 %), seguido del phylum Chlorophyta con 114 416 individuos/ml (17,50 %) y, los phyla Cyanobacteria (13 466 individuos/ml), Bacillariophyta (6 041 individuos/ml), Cryptophyta (3 333 individuos/ml) y Charophyta

(708,3 individuos/ml), los cuales presentaron las menores densidades relativas (<5 %) (Fig. 2). En la tabla 2 se presentan las especies más abundantes (> 90%) registradas en el humedal El Silencio a lo largo del período de estudio.

A nivel de género *Lepocinclis* presentó una densidad de 401 375 individuos/ml (61,40 %), seguido de *Actinastrum* con 101 425 (15,51 %), *Trachelomonas* (63 208 individuos/ml), *Phacus* (41 166 individuos/ml) y *Euglena* (8 291 individuos/ml);



**Fig. 2.** Densidad total de los phyla correspondientes a la comunidad fitoplanctónica del humedal El Silencio en los diferentes muestreos realizados. Se indican también las densidades totales por muestreo evaluado (M1 – M8).

todos con una representatividad general de la comunidad del 94,12 %. Los demás géneros en conjunto no alcanzaron a una densidad relativa mayor al 6 %.

*Lepocinclis ovum* fue la especie con mayor densidad de la comunidad fitoplanctónica con 369 125 individuos/ml (56,47 %), seguida de *Actinastrum hantzschii* con 101 425 individuos/ml (15,51 %), *Trachelomonas volvocinopsis* con 45 450 individuos/ml (6,95 %), *Lepocinclis* sp.1 (24 166 individuos/ml), *Phacus helicoides* (13 808 individuos/ml), *Trachelomonas scabra* (10 875 individuos/ml) y *Phacus longicauda* (10 608 individuos/ml). Las demás especies en conjunto se denominan raras y representaron menos del 20 % de la comunidad fitoplanctónica presente en el humedal. Las especies que presentaron una densidad relativa menor a 0,01 % fueron en su mayoría clorofíceas (*Closterium acerosum*, *Cl. aciculare*, *Cl. turgidum*, *Cl. venus*, *Cosmarium baileyi*, *Co. maculatum*, *Co. margaritatum*, *Co. phaseolus* y *Micrasterias laticeps*, entre otras) (Tabla 2).

La curva de acumulación de especies de la comunidad fitoplanctónica del humedal El Silencio reflejó un 80 % de representatividad para los resultados observados (142 especies) con respecto a los esperados (171 especies). Los estimadores evaluados evidenciaron un esfuerzo de muestreo importante, ya que se obtuvo más del 60 % de la comunidad esperada. Los estimadores no paramétricos basados en riqueza presentaron los siguientes resultados: ICE mean obtuvo un 73 %, Chao 1 mean (82 %), Jack 1 mean (76 %) y Bootstrap mean (87 %).

El análisis de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a nivel temporal en la composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica. Los muestreos realizados en septiembre (M1), octubre (M2) y noviembre (M3) presentaron las mayores densidades poblacionales, siendo noviembre el que presentó una mayor densidad de algas (324 400 individuos/ml). En septiembre, *Actinastrum hantzschii* fue la especie dominante, mientras que para octubre y noviembre fueron *Lepocinclis ovum* y *Trachelomonas volvocinopsis*. A partir del cuarto muestreo las densidades disminuyeron, siendo diciembre (M4) el que presentó la mayor densidad (18 908 individuos/ml) con respecto a enero (M5), febrero (M6) y abril (M8); marzo (M7) presentó la menor densidad de algas (3 683 individuos/ml) durante todo el estudio. Las densidades en estos muestreos fueron bajas que no se observaron especies con una densidad relativa mayor al 1 %.

### Diversidad de especies

La diversidad de especies correspondiente al orden q0 (riqueza de especies) de la comunidad fitoplanctónica evidencia que los muestreos M1, M2 y M3 presentaron una gran diversidad de fitoplancton (62, 63 y 66 especies observadas). Los demás muestreos presentaron menor diversidad con: M5 (44), M6 (45), M7 (49) y M8 (37) especies observadas.

El orden q1, correspondiente a las especies con un peso exactamente proporcional a su abundancia en la comunidad evidenció que M1, M2 y M3 presentaron una diversidad observada igual a la esperada (3,6 6,9 y 2,11). Los muestreos M5, M6, M7 y M8 presentaron 9,3, 8,3, 20,2 y 7,41 especies observadas de 10, 8,92, 21,85 y 7,7 especies esperadas con errores estándar  $> 0,8$  y coberturas de muestreo menores a 1.

El orden de diversidad que tiene en cuenta las especies abundantes (q2) evidenció un patrón de comportamiento similar a q0 y q1, ya que M1, M2 y M3 alcanzaron los valores estimados de diversidad (1,822, 3,025 y 1,435), con un error estándar  $< 0,05$  y una cobertura de muestreo de (0,999  $\pm$  0,016, 1  $\pm$  0,036 y 1  $\pm$  0,006, respectivamente).

### Variables fisicoquímicas

Las variables relacionadas con procesos de mineralización (pH, dureza, alcalinidad y conductividad eléctrica) se observaron oscilantes durante los muestreos, el pH presentó valores entre 6,3 a 7,8, con el menor registro en febrero y el mayor en diciembre. La dureza osciló entre los 36 mg/L (enero) y 139 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (octubre). En septiembre, octubre y noviembre se presentaron altos datos de alcalinidad (85, 73 y 47 de CaCO<sub>3</sub> mg/L, respectivamente), mientras que enero tuvo un valor de 31 mg/L. Así mismo la conductividad fue mayor en septiembre, octubre y noviembre (174, 143 y 94,5  $\mu$ S/cm, respectivamente). A partir de diciembre se disminuyó la conductividad del humedal (Tabla 1).

Las variables relacionadas con procesos de oxidoreducción (nitratos, nitritos, fosfatos, fósforo total y amonio), presentaron concentraciones más altas en los meses de septiembre, octubre y noviembre en general. Las mayores concentraciones de nitratos se presentaron en septiembre y octubre (0,64 y 0,24 mg/L, respectivamente). El amonio fue estable durante los muestreos (0,06 mg/L) con excepción de octubre (0,07 mg/L). Los fosfatos presentaron el mayor valor en septiembre (1,4 mg/L) y los menores registros en febrero, marzo y abril (0,3 mg/L). En octubre y noviembre se registraron los valores más altos de fósforo total (0,5 y 0,6 mg/L) mientras que diciembre presentó el menor valor con 0,08 mg/L. Los nitritos presentaron los mayores valores en enero y febrero (0,16 y 0,21 mg/L, respectivamente); sin embargo, su concentración fue similar a lo largo de los muestreos.

En octubre se registró la mayor turbidez en el humedal El Silencio (27,3 UNT), mientras que febrero presentó el menor valor. Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron mayores en noviembre (4,04 mg/L) en comparación con diciembre (1,17 mg/L). Así mismo noviembre de 2016 y abril de 2017 presentaron los valores más altos de % Sat. O<sub>2</sub> (48,5% y 51% mg/L), mientras que el menor dato ocurrió en diciembre (16%). Los sólidos totales registrados en los diferentes muestreos evidenciaron que septiembre presentó el mayor valor (222 mg/L), mientras que abril presentó 120

**Tabla 2.** Listado de taxones más abundantes (>90 % de la densidad total) encontrados en el humedal El Silencio en los diferentes muestreos evaluados (DR= Densidad relativa y DE= Desviación estandar).

División	Especie	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	DR (%)	DE
Euglenozoa	<i>Lepocinclis ovum</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	56,377	± 14,53
Euglenozoa	<i>Lepocinclis salina</i>	x	x	x	x			x	x	0,737	± 0,18
Euglenozoa	<i>Lepocinclis</i> sp.1			x	x					3,691	± 1,28
Euglenozoa	<i>Trachelomonas volvocina</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	6,942	± 1,33
Euglenozoa	<i>Trachelomonas scabra</i>	x	x	x	x		x	x	x	1,661	± 0,37
Euglenozoa	<i>Trachelomonas armata</i>	x	x	x	x		x	x	x	0,529	± 0,11
Euglenozoa	<i>Trachelomonas hispida</i>	x	x	x	x	x		x	x	0,458	± 0,12
Euglenozoa	<i>Phacus helicoides</i>	x	x	x	x	x	x			2,109	± 0,39
Euglenozoa	<i>Phacus longicauda</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	1,62	± 0,35
Euglenozoa	<i>Phacus pleuronectes</i>	x	x	x	x				x	0,659	± 0,2
Euglenozoa	<i>Phacus curvicauda</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	0,463	± 0,1
Euglenozoa	<i>Phacus onxy</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	0,591	± 0,08
Euglenozoa	<i>Phacus orbicularis</i>	x	x	x	x	x	x	x		0,205	± 0,03
Euglenozoa	<i>Phacus contortus</i>	x	x	x	x			x	x	0,345	± 0,07
Euglenozoa	<i>Phacus undulatus</i>	x	x	x			x	x		0,113	± 0,03
Euglenozoa	<i>Phacus hamatus</i>	x	x	x	x	x	x		x	0,101	± 0,02
Euglenozoa	<i>Euglena</i> sp.1	x	x	x	x			x	x	0,533	± 0,14
Euglenozoa	<i>Euglena acus</i>	x	x	x	x	x				0,428	± 0,1
Euglenozoa	<i>Euglena oxyuris</i>	x	x	x	x		x		x	0,262	± 0,06
Euglenozoa	<i>Euglena</i> sp.2	x	x	x					x	0,176	± 0,05
Euglenozoa	<i>Euglena hemichromata</i>	x	x							0,172	± 0,06
Euglenozoa	<i>Strombomona ensifera</i>	x	x	x	x					0,228	± 0,06
Cyanobacteria	<i>Oscillatoria</i> sp.1	x	x		x	x	x			0,672	± 0,14
Cyanobacteria	<i>Chroococcus minor</i>	x	x	x	x		x			0,424	± 0,14
Cyanobacteria	<i>Planktothrix</i> sp.1					x	x	x	x	0,336	± 0,1
Cyanobacteria	<i>Gloeocapsa</i> sp.2				x	x	x	x	x	0,207	± 0,05
Cyanobacteria	<i>Aphanocapsa</i> sp.1	x	x	x	x	x		x		0,143	± 0,02
Cyanobacteria	<i>Aphanocapsa</i> sp.2	x	x	x	x					0,127	± 0,03
Bacillariophyta	<i>Gomphonema</i> sp.2		x	x	x	x	x	x	x	0,102	± 0,02
Bacillariophyta	<i>Gomphonema</i> sp.1				x	x	x	x	x	0,081	± 0,01
Bacillariophyta	<i>Fragilaria crotonensis</i>			x	x	x	x	x	x	0,095	± 0,02
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.3	x	x	x	x	x	x	x		0,094	± 0,01
Bacillariophyta	<i>Navicula</i> sp.1		x		x	x	x	x	x	0,083	± 0,01
Chlorophyta	<i>Selenastrum bibraianum</i>	x	x		x					0,527	± 0,18
Chlorophyta	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	x	x	x	x					0,415	± 0,09
Chlorophyta	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	x	x	x						0,174	± 0,04
Chlorophyta	<i>Scenedesmus ecornis</i>	x	x							0,107	± 0,03
Chlorophyta	<i>Actinastrum hantzchii</i>	x	x							15,491	± 5,12
Chlorophyta	<i>Pandorina morum</i>	x	x	x				x		0,196	± 0,05
Chlorophyta	<i>Crucigenia fenestrata</i>	x	x							0,084	± 0,02
Cryptophyta	<i>Cryptomonas</i> sp.1				x	x	x	x	x	0,509	± 0,13

mg/L. Enero tuvo el mayor registro de sólidos suspendidos (71 mg/L) y, el menor se midió en octubre con 6.6 mg/L.

Los coliformes fecales presentaron las mayores cantidades en enero y marzo (6700000 y 4900000 UFC/100 ml, respectivamente) y la menor en octubre (100 UFC/100 ml). Con respecto a los coliformes totales se presentó en el mes de octubre la mayor concentración con 11000000 UFC/100 ml y la menor en abril de 2017 (2000 UFC/100 ml).

La transparencia del agua medida por el disco Secchi evidenció que los meses correspondientes a diciembre y enero presentaron los mayores niveles de transparencia (2,1 y 2,3 m respectivamente) y bajas precipitaciones ( $\pm$  241 mm), mientras que los meses de marzo y abril registraron los menores valores (0,98 y 1,21 m) y altos niveles de precipitación ( $\pm$  382 mm). Los valores de precipitación se obtuvieron con el registro histórico pluviométrico de los últimos 20 años del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de la zona.

### Relaciones entre las variables fisicoquímicas y el fitoplancton

El Análisis de Correspondencia Canónica evidenció a través de la prueba de Monte Carlo, que las variables con efectos condicionantes ( $p < 0,05$ ) en la comunidad fitoplanctónica fueron la alcalinidad y el fósforo total. Sin embargo, en el diagrama de ordenamiento directo del ACC se presume algún tipo de relación entre las variables nitritos ( $\text{NO}_2$ ), coliformes fecales y sólidos suspendidos con los muestreos M4 - M8, y las morfoespecies asociadas con los géneros *Frustulia*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Ankistrodesmus*, *Pinnularia*, entre otros (Fig. 3). El muestreo M1 se relacionó con la alcalinidad, el  $\text{NO}_3$ , los sólidos totales, y el  $\text{PO}_4$ , principalmente con las especies *Desmodesmus opoliensis*, *Scenedesmus acuminatus*, *Crucigenia fenestrata*, *Euglena hemisphaerica*, *Actinastrum hantzschii*. Los muestreos M2 y M3 se relacionaron con fósforo total, pH, oxígeno disuelto y precipitación, y a su vez con *Lepocinclis ovum*, *L. salina*, *Phacus pleuronectes*, *P. contortus* y *Monormorphina pyrum*. Previo a este análisis, se realizó el análisis de correlación de Spearman, el cual evidenció correlación significativa ( $p < 0,05$ ) en algunas variables que se tuvieron en cuenta u omitieron en el ACC para evitar ruidos estadísticos en los resultados obtenidos.

### DISCUSIÓN

El humedal objeto de estudio presenta características eutróficas, de acuerdo con las variables fisicoquímicas registradas, las concentraciones de nutrientes provenientes de material alóctono, la precipitación y la presencia masiva de macrófitas flotantes que al morir y descomponerse aportan constantemente materia orgánica al humedal (Huertas y Reinoso, 2019). Diversos factores, como las dinámicas naturales del humedal y la intervención antrópica por medio del aporte de compuestos inorgánicos y fósforo

proveniente de las actividades agrícolas aumentan la concentración de nutrientes y por ende la dinámica natural del cuerpo de agua (Torres y Rodríguez, 2019), modificando la estructura natural de su comunidad fitoplanctónica.

El humedal El Silencio presentó altas densidades del phylum Euglenozoa, esto puede relacionarse en parte con el pH registrado ( $< 7$ ), debido a que estas algas generalmente se encuentran en aguas ácidas, ricas en nutrientes y con una alta concentración de materia orgánica (Wehr y Sheath, 2003). Gordillo (2018) reportó para este mismo humedal que este phylum fue el más abundante al evaluar los procesos de sucesión de la comunidad fitoperifítica. De igual forma el phylum Chlorophyta presentó una alta representatividad en la comunidad, mostrando que este phylum se desarrolla bajo diversas condiciones ambientales; sin embargo, algunos miembros de la familia Desmidiaceae evidencian una preferencia hacia las aguas ácidas muy productivas (Coesel, 1983). Los demás phyla registrados en el estudio (Cyanobacteria, Bacillariophyta, Cryptophyta y Charophyta) presentaron bajas densidades, quizás debido a que esta biota tiene altos requerimientos en las condiciones ambientales, tal es el caso de las cianobacterias que abundan en los meses más cálidos del año y en aguas de pH neutro a ligeramente básico (Roldán y Ramírez, 2008). El phylum Bacillariophyta es común en un amplio rango de ambientes, por lo que no presentan muchos requerimientos específicos de hábitat. Los phyla Cryptophyta y Charophyta prefieren ambientes con características oligotróficas, lo que puede explicar sus bajas densidades poblacionales (Roldán y Ramírez, 2008), ya que este humedal ha sido tipificado como eutrófico (Gordillo *et al.*, 2020), y nuestros resultados así lo corroboran.

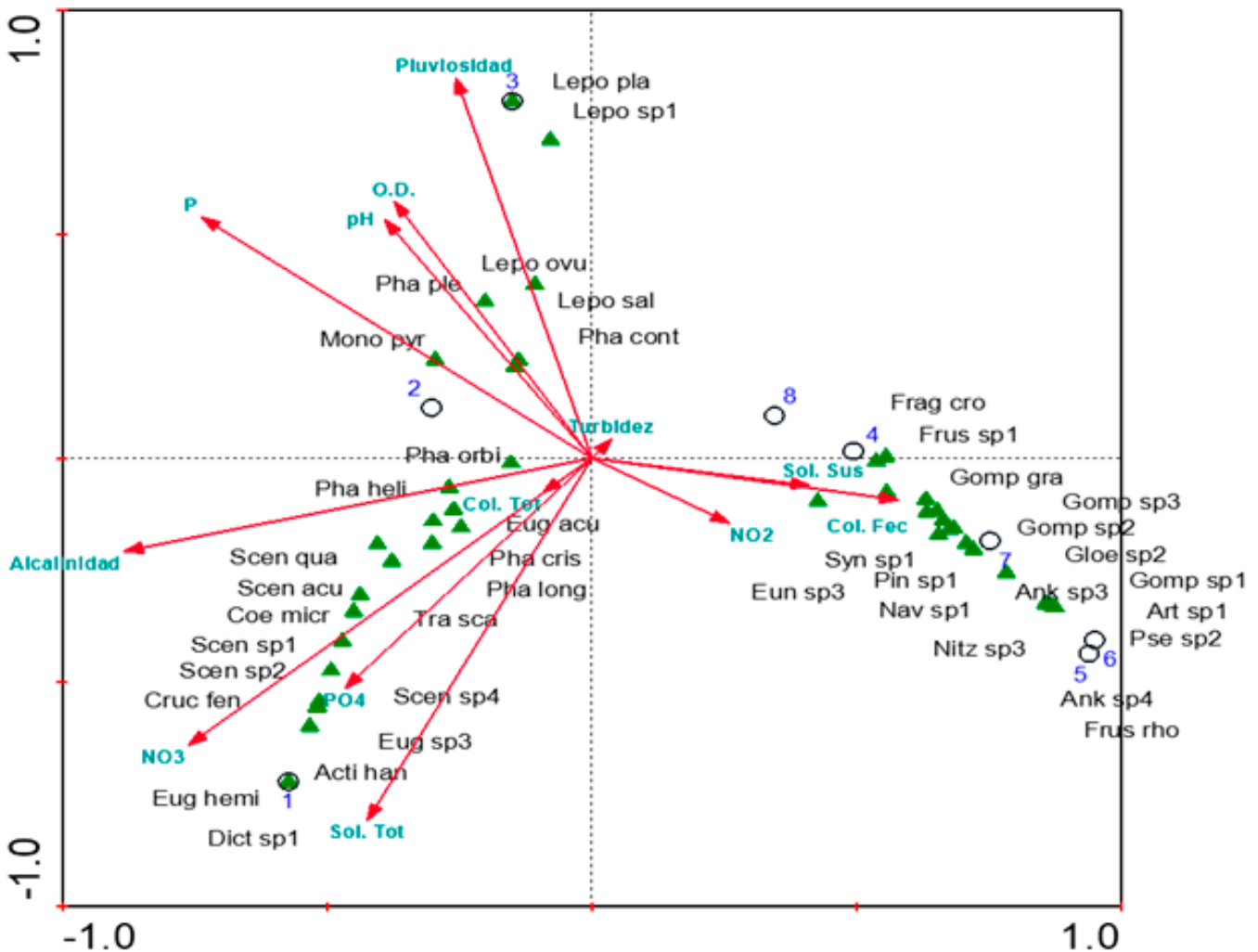
Los géneros *Lepocinclis*, *Trachelomonas*, *Phacus* y *Euglena* (todos pertenecientes al orden Euglenales) y *Actinastrum* (orden Chlorellales) alcanzaron una representatividad del 93 y 98 % de la comunidad fitoplanctónica del humedal. Las altas densidades de estos géneros coinciden con lo reportado por Gordillo (2018) y Esqueda *et al.* (2016) en humedales tropicales. La densidad de estas algas puede relacionarse con la alta concentración de amonio en el humedal, que en promedio registró 60  $\mu\text{g/L}$ . Round (1983) mencionó que las Euglenophyceae son algas características de ambientes ricos en amonio, además de presentar preferencias por aguas cálidas y ricas en nutrientes orgánicos, lo cual facilita su desarrollo y establecimiento en el ecosistema (Pereira y Azeteiro, 2003). *Actinastrum* se caracteriza por ser un género muy común y ampliamente reportado en pantanos, estanques y lagos (Wehr y Sheath, 2015).

El ensamble fitoplanctónico registrado, sugiere que el humedal reflejó un comportamiento más o menos "estable" de manera consecutiva hasta el tercer muestreo (noviembre 2016), debido a que pocas especies estaban contribuyendo con más del 80 % de la densidad fitoplanctónica total (Sommer *et al.*, 1993), sin embargo, a partir del cuarto

muestreo se evidenció un cambio en la estructura del ensamblaje, en donde se observó un aumento repentino de diatomeas, situación que puede deberse en parte a la presencia de plantas acuáticas, ya que De Tezanos-Pinto (2008) señala que el establecimiento de macrófitas acuáticas como *Pistia stratiotes* y *Cyperus* sp. pueden generar un efecto de desprendimiento de su comunidad fitoperifítica, con el consecuente cambio en la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica del humedal. Estas especies de macrófitas, ya han sido reportadas para el humedal El Silencio (Gordillo *et al.*, 2020).

Algunas especies de los géneros *Euglena*, *Trachelomonas*, *Phacus*, y *Lepocinlis* han sido descritas por Palmer (1969;

1980) como indicadores de contaminación orgánica del agua, aspecto que se denotó con la especie *Lepocinlis ovum* ya que registró la mayor abundancia en el humedal. En diversas investigaciones se ha reportado esta especie como la más abundante en embalses con alto contenido de materia orgánica (Dillard, 2000). González *et al.* (2003) reportaron en embalses venezolanos hipereutróficos la presencia de la especie *Actinastrum hantzschii*. La especie *Trachelomas volvocinopsis* es cosmopolita, frecuente en charcas y humedales con preferencia por aguas con contenido elevado en materia orgánica y es en general indicadora de un nivel de eutrofia y contaminación de nivel medio a alto (Díaz *et al.*, 2019). *Phacus longicauda* ha sido registrada



**Fig. 3.** Análisis de correspondencia canónica en los diferentes muestreos evaluados entre la comunidad fitoplanctónica con las variables fisicoquímicas del humedal El Silencio (San Sebastián de Mariquita, Tolima, Colombia).

*Acti han*=*Actinastrum hantzschii*, *Ank sp.3*=*Ankistrodesmus sp.3*, *Ank sp.4*=*Ankistrodesmus sp.4*, *Cos gale*=*Cosmarium galeratum*, *Coe sp.*=*Coelastrum sp.*, *Cruc fen*=*Crucigenia fenestrata*, *Dict sp.1*=*Dictyosphaerium sp.1*, *Eug acu*=*Euglena acus*, *Eug hemi*=*Euglena hemichromata*, *Eug sp.3*=*Euglena sp.3*, *Eun sp.*, *Frus sp.*=*Frustulia sp.*, *Gloe sp.2*=*Gloeocapsa sp.2*, *Gomp sp.1*=*Gomphonema sp.1*, *Gomp sp.2*=*Gomphonema sp.2*, *Gomp sp.3*=*Gomphonema sp.3*, *Lepo ovu*=*Lepocinlis ovum*, *Lepo play*=*Lepocinlis playfairiana*, *Lepo sal*=*Lepocinlis salina*, *Lepo sp.1*=*Lepocinlis sp.1*, *Mono pyr*=*Monomorpha pyriformis*, *Nav sp.1*=*Navicula sp.1*, *Nitz sp.3*=*Nitzschia sp.3*, *Pha cont*=*Phacus contortus*, *Pha cris*=*Phacus cristatus*, *Pha heli*=*Phacus helicoides*, *Pha long*=*Phacus longicauda*, *Pha orbi*=*Phacus orbicularis*, *Pha ple*=*Phacus pleuronectes*, *Pin sp.*=*Pinnularia sp.*, *Pse sp.2*=*Pseudoanabaena sp.2*, *Scen acu*=*Scenedesmus acuminatus*, *Desmo opo*=*Desmodesmus opoliensis*, *Scen sp.1*=*Scenedesmus sp.1*, *Scen sp.2*=*Scenedesmus sp.2*, *Scen sp.4*=*Scenedesmus sp.4*, *Tra sca*=*Trachelomonas scabra*.



como una especie cosmopolita que puede soportar una amplia variedad de condiciones ambientales; Alves da Silva y Bicudo (2009) reportaron esta especie en el 77 % de los humedales evaluados, presentando coexistencia con *Phacus tortus*, hecho que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación.

A nivel temporal se encontró que de los ocho muestreos realizados, aquellos de septiembre (M1), octubre (M2) y noviembre 2016 (M3) se presentaron las mayores densidades de fitoplancton, coincidiendo con la temporada de altas precipitaciones, según el reporte histórico del IDEAM para la zona evaluada (Fig. 2), condiciones que son favorables para el desarrollo de las comunidades planctónicas, ya que la lluvia trae consigo cambios en la carga de nutrientes y temperatura, aumentando la eficiencia fotosintética (Roldán y Ramírez, 2008), además de ejercer un efecto de lavado por la entrada y salida del agua y exportando gran cantidad de elementos necesarios en el metabolismo de estos organismos (Barbosa, 2009).

Los análisis de diversidad (números efectivos de especies) mostraron que M1, M2 y M3 obtuvieron los mayores valores de  $q_1$  (entropía de Shannon), y  $q_2$  (inverso de Simpson) con un porcentaje de cobertura satisfactorio, lo que indica que el número de individuos del “universo” del cual se obtiene la muestra, es similar al observado en la muestra (Chao y Shen, 2003), lo que indica que la representatividad del muestreo de la comunidad fitoplanctónica del humedal El Silencio, durante los primeros tres muestreos, fue bastante buena (Moreno *et al.*, 2011). Después del M4 se detectó una baja diversidad en términos de riqueza específica ( $q_0$ ), debido a la influencia de diversos factores físicos, químicos, temporalidad y, en especial, la incidencia directa de macrófitas flotantes (Gordillo *et al.*, 2020), las cuales afectaron la dinámica de esta comunidad (Caraco *et al.*, 2006; Dorador *et al.*, 2003; Umaña, 2010).

El diagrama de ordenación directa (ACC) evidenció que las variables alcalinidad y fósforo total presentan un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) en la comunidad fitoplanctónica del humedal. El fósforo es un elemento limitante en el desarrollo de las comunidades algales, ya que es un principal contribuyente en los ciclos energéticos celulares (Zouiten, 2012). De igual forma, la alcalinidad es una variable relacionada con la productividad del agua, en donde las aguas con mayor concentración presentan mayor productividad (Araya, 2018). La posible relación del fitoplancton en M1 con alcalinidad,  $\text{NO}_3$ , sólidos totales, y  $\text{PO}_4$ , puede indicar la preferencia de algunas especies de euglenofíceas y clorofíceas por estos nutrientes. Los muestreos M2 y M3 presentaron alguna relación entre el fósforo total, pH, oxígeno disuelto y precipitación con especies de euglenofíceas, lo que se muestra el efecto directo que tiene el fósforo sobre el crecimiento de las comunidades algales, ya que las especies relacionadas, en especial *Lepocinclis ovum*, fueron muy abundantes. Los

demás muestreos presentaron algún tipo de relación con las variables nitritos ( $\text{NO}_2$ ), coliformes fecales y sólidos suspendidos y las morfoespecies asociadas con los géneros *Frustulia*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Ankistrodesmus* y *Pinnularia*, evidenciándose cambios importantes en la composición del humedal, nuevamente a partir del establecimiento de macrófitas acuáticas.

## CONCLUSIONES

Las especies fitoplanctónicas más representativas del humedal El Silencio fueron relativamente constantes en los primeros muestreos; sin embargo, se asociaron con la dinámica del cuerpo de agua, ya que a partir del cuarto muestreo *Lepocinclis ovum*, *Actinastrum hantzschii*, *Trachelomonas volvocinopsis*, *Lepocinclis* sp.1 y *Phacus longicauda*, disminuyeron sus densidades y no se evidenció una dominancia exclusiva de alguna especie, confirmando lo observado en otras investigaciones con especies de algas en humedales tropicales de zonas bajas.

La temporada climática influyó en la dinámica de la comunidad fitoplanctónica, ya que en el periodo de mayores precipitaciones se reflejaron altas concentraciones de nutrientes como fósforo y nitratos, factores que son indispensables para el crecimiento y desarrollo de esta comunidad en el humedal.

El fósforo presentó un efecto significativo en el desarrollo de las comunidades fitoplanctónicas del humedal según el análisis de ordenación directa (ACC), ya que es un elemento limitante para el metabolismo del fitoplancton. A partir del cuarto muestro su concentración disminuyó, lo que se generó una disminución proporcional en las densidades algales, posiblemente por el establecimiento repentino de macrófitas flotantes.

Debido a su gran sensibilidad a los cambios fisicoquímicos y ambientales, la comunidad fitoplanctónica representa una excelente alternativa para la evaluación y monitoreo de los ecosistemas acuáticos lenticos someros de zonas bajas, generando un conocimiento base para la creación de planes de manejo y programas de conservación de estos cuerpos de agua claves y altamente susceptibles a la presión antropogénica y al cambio climático global.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Tolima, a la Maestría en Ciencias Biológicas y al Grupo de Investigación en Zoología (GIZ) por su apoyo en la fase de campo y laboratorio. De manera especial agradecemos la asistencia del Comité Editorial y los aportes de los evaluadores para mejorar la presentación, enfoque y análisis de nuestra investigación.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses.

## REFERENCIAS

- Alves da Silva, S. y Bicudo, C. (2009). Cryptoglana, Monomorphina e Phacus (Euglenophyceae) de um reservatório no Estado do Rio Grande do Sul, sul do Brasil. *Rev. Bras. Bot.*, 32(2), 253–270.
- Alves da Silva, S. y Schüller, A. (2007). Novos registros do gênero Trachelomonas Ehr. (Euglenophyceae) no Parque Estadual Delta do Jacuí e no Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Bot. Bras.*, 21(2), 401–409.
- Araya, M. (2018). *Evaluación de la productividad de las aguas mediante parámetros fisicoquímicos para el conocimiento del estado de vulnerabilidad en el Río Bebedero*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Nacional]. <http://repositorio.utm.ac.cr/handle/123456789/152>
- American Public Health Association (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. Academic Press.
- Barbosa, G. (2009). *Variación temporal del fitoplancton en la laguna sabanas del páramo de Belmira*. [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander]. Semantic Scholar. <https://www.semanticscholar.org/paper/Variacion-temporal-del-fitoplancton-en-la-laguna-de-Mendoza>.
- Bejumea, C., Villada, A., y Castaño, J. (2020). Comportamiento de la estructura térmica y características morfológicas de un humedal de montaña tropical. *RACCEFYN*, 44(171), 329-343. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1046>
- Beklio lu, M., Meerhoff, M., Davidson, T., Ger, K., Havens, K. y Moss, B. (2016). Preface: Shallow lakes in a fast changing world. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 778(1), 9–11.
- Bellinger, E. y Sigee, D. (2015). *Freshwater algae: identification and use as bioindicators*. John Wiley y Sons.
- Caraco, N., Colej, J., Findlay, S. y Wigand, C. (2006). Vascular plants as engineers of oxygen in aquatic systems. *BioScience*, 56(1), 219–225.
- Castellanos, C. (2006). Los ecosistemas de humedales en Colombia. *Revista Luna Azul*, 13(4), 1-5.
- Chao, A. y Shen, T. (2003). Nonparametric estimation of Shannon's diversity index when there are unseen in sample. *Environ Ecol Stat*, 10(1), 429–443.
- Coesel, P. (1983). *De desmidiaceën van nederland -Sieralgen- Deel 2. Fam. Closteriaceae*. KNNV Uitgeverij.
- Collwell, R. (2013). *EstimateS*. <http://viceroi.colorado.edu/estimates/EstimateSPages/EstimateSRegistration.htm>
- Cortolima. (2016). *“Caracterización y planes de manejo de los humedales del Tolima”*. Cortolima.
- De Tezanos-Pinto, P. (2008). *Influencia de las macrofitas flotantes en la comunidad fitoplanctónica en un humedal del bajo Paraná*. Universidad de Buenos Aires.
- Díaz, J., Perea, E., Moreira, J. y García, M. (2019). *Atlas de organismos planctónicos en los humedales de Andalucía*. Red de Información Ambiental de Andalucía.
- Díaz, O., de Anda, J., Lugo, O., Pacheco, A. Nunnally, D., Shear, H., Senés, C. y Gradilla, M. (2021). Rapid Changes in the Phytoplankton Community of a Subtropical, Shallow, Hypereutrophic Lake During the Rainy Season. *Front Microbiol.*, 12(415), 1-21.
- Dillard, G. (2000). Freshwater algae of the southeastern United States. *Bibl Phycol.*, 106(1), 134.
- Dorador, C., Pardo, R. y Vila, I. (2003). Variaciones temporales de parámetros físicos, químicos, y biológicos de una laguna de altura: el caso del lago Chungará. *Rev Chil Hist Nat*, 76(1), 15–22.
- Esqueda, K., Sánchez, A., Valdés, G., Salcedo, M., Franco, A., y Florido, R. (2016). Fitoplancton en el humedal tropical Chaschoc en la cuenca baja del río Usumacinta. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(4), 1177-1188. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.10.015>
- González, E., Ortaz, M., Peñaherrera, C., Montes, M. y Mendoza, J. (2003). Fitoplancton de cinco embalses de Venezuela con diferentes estados tróficos. *Limnetica*, 22(1-2), 15–35.
- Gordillo, J. (2018). *Colonización y sucesión de la comunidad fitoperifítica en el humedal El Silencio*. [Tesis de maestría, Universidad del Tolima]. Repositorio institucional UT. <http://repositorio.ut.edu.co/jspui/handle/001/2533>.
- Gordillo, J., Guevara, G. y Reinoso, G. (2020). A practical device for evaluating periphyton colonization dynamics in tropical shallow wetlands. *Limnologica.*, 81(1).
- Guiry, M. y Guiry, G. (2019). *AlgaeBase. World-wide electronic publication*. AlgaeBase. <http://www.algaebase.org>.
- Havens, K., Paerl, H., Philips, E., Zhu, M., Beaver, J., y Srika, A. (2016). Extreme weather events and climate variability provide a lens to how shallow lakes may respond to climate change. *Water*, 8(6), 229. <https://doi.org/10.3390/w8060229>
- Huertas, K., y Reinoso, F. (2019). *Diversidad del fitoplancton como indicador de la calidad del agua del humedal el Silencio San Sebastián de Mariquita (tolima, colombia)*. [Tesis de Maestría, Universidad del Tolima].
- Kociolek, J., Balasubramanian, K., Blanco, S., Coste, M., Ector, L., Liu, Y., Kulikovskiy, M., Lundholm, N. y Ludwig, T. (2019). *DiatomBase*. <http://www.diatombase.org>
- Komárek, J., Kaštovský, J., Mareš, J. y Johansen, R. (2014). Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera), using a polyphasic approach. *Preslia*, 86(1), 295–335.
- Magurran, A. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing.
- Menezes, R., Attayde, J., Kosten, S., Lacerot, G., Souza, L., Costa, L., y Jeppesen, E. (2019). Differences in food webs and trophic states of Brazilian tropical humid and semi-arid shallow lakes: implications of climate change. *Hydrobiologia*, 829(1), 95-111. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3626-8>
- Moreno, C., Barragán, F., Pineda, E. y Pavón, N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Rev Mex Biodivers*, 82(4), 1249–1261.

- Novelo, E. (2012). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Chlorophyta*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Oliveira, I., Bicudo, C. y Moura, C. (2013). First records of Zygnematales (Zygnematophyceae, Streptophyta) for the state of Bahia, Brazil. *Acta Bot Brasilica*, 27(1), 743–750.
- Ortega, M., Alvarado, R., Hernández, R. y Sánchez, J. (2013). Evolución trófica de un lago tropical hiposalino en México con base al fitoplancton. *Biológicas*, 12(2), 75–81.
- Palmer, C. (1969). A composite rating of algae tolerating organic pollution. *J Phycol*, 5(1), 78–82.
- Palmer, C. (1980). *Algae and Water Pollution: The Identification, Significance, and Control of Algae in Water Supplies and in Polluted Water*. Castle House Publications.
- Pereira, M. y Azeteiro, U. (2003). Structure, organization and elemental composition of the envelopes of Trachelomonas (Euglenophyta): A review. *Acta Oecol*, 27(3), 526–536.
- Ramírez, J. (2000). *Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias*. Universidad de Antioquia.
- Reynolds, C. (2006). *The ecology of phytoplankton*. University Press.
- Ricaurte, L., Patiño, J., Zambrano, D., Arias, J., Acevedo, O. y Aponte, A. (2019). A Classification System for Colombian Wetlands: an Essential Step Forward in Open Environmental Policy-Making. *Wetlands*, 39(5), 971–990.
- Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Universidad de Antioquia.
- Round, F. (1983). *Biología das Algas. 2 ed.* Editorial Guanabara Dois.
- Samanez, I. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: Plancton, perifiton, bentos y peces en aguas continentales del Perú*. Museo de historia Nacional.
- Šmilauer, P. y Lepš, J. (2014). *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO 5*. Cambridge University Press.
- Sommer, U., Gliwicz, Z., Lampert, W. y Duncan, A. (1993). The PEG-Model of succession of planktonic events in fresh waters. *Arch. Hydrobiol*, 106(4), 433–471.
- R core Team (2013). *R program*. A Language and Environment for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>.
- Torres, G., Rodríguez, M. (2019). *Evaluación de la influencia de descargas difusas en el grado de eutrofización de un cuerpo de agua léntico a través del modelo PLOAD. Caso de estudio Lago de Tota*. [Tesis de Pregrado, Universidad La Salle]. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2175&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2175&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Umaña, G. (2010). Temporal variation of phytoplankton in a small tropical crater lake, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 58(4), 1405–1419.
- Vásquez, C., Ariza, A. y Pinilla, G. (2006). Descripción del Estado Trófico de Diez Humedales del Altiplano Cundiboyacense. *Univ Sci (Bogota)*, 11(2), 61–75. 10
- Wehr, J. y Sheath, R. (2003). *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*. Academic Press.
- Wehr, J. y Sheath, R. (2015). *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*. Academic Press.
- Zouiten, H. (2012). *Análisis Mediante Modelado Avanzado de Procesos de Eutrofización en Lagunas Litorales: Aplicación a Masas de Agua Atlánticas y Mediterráneas*. Universidad de Cantabria.