



Novedades Colombianas

ISSN: 0121-3520

ISSN: 2145-5236

novedadesmuseo@unicauca.edu.co

Universidad del Cauca

Colombia

Medina Peña, Daila Xilena; Ibagón, Nicole Estefanía;
Feriz García, Daniel; Pisso-Flórez, Gustavo Adolfo
Diversidad de fitoplancton y estado de conservación de la Laguna
San Rafael ubicada en el Parque Nacional Natural Puracé
Novedades Colombianas, vol. 18, núm. 1, 2023, Enero-Junio
Universidad del Cauca
Colombia

DOI: <https://doi.org/10.47374/novcol.2023.v18.2298>

- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Diversidad de fitoplancton y estado de conservación de la Laguna San Rafael ubicada en el Parque Nacional Natural Puracé

Phytoplankton diversity and conservation status of the San Rafael Lagoon located in the Puracé National Natural Park

Daila Xilena Medina Peña¹
Nicole Estefanía Ibagón²
Daniel Feriz García³
Gustavo Adolfo Pisso-Florez⁴

*¹Facultad de Ciencias Ambientales y Agrarias,
Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail: 080115da@gmail.com*

*²Programa de Ecología, Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail: nicole.ibagon@docente.fup.edu.co*

*³Unidad de investigación en ecología tropical UNIET,
Ecología, Fundación Universitaria de Popayán – FUP.
E-mail: daniferiz@hotmail.com*

*⁴Parque Nacional Natural Puracé. Asociación Ornitológica
del Cauca. Fundación Ecohábitats.
e-mail: tapiflo@gmail.com*

Resumen

La laguna San Rafael, ubicada en el Parque Nacional Natural Puracé, es un sitio sagrado y de valor de conservación para las comunidades indígenas que habitan este territorio. Con el objetivo de evaluar su estado de conservación, se realizó un estudio basado en la diversidad de fitoplancton presente

Historia del artículo

Fecha de recepción:

27-04-2023

Fecha de aceptación:

22-08-2023

DOI: 10.47374/

novcol.2023.v18.2298

en sus aguas. Se llevaron a cabo cuatro muestreos entre junio y octubre de 2022, filtrando 50 L de agua a través de una red de plancton de 20 μm . Se determinó el número de especies utilizando una curva de acumulación y se recopilaron datos fisicoquímicos *in situ* con una sonda digital. Se encontró un total de 90 taxa de fitoplancton, agrupados en Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Xanthophyta y Cyanobacteria. La especie más abundante fue *Melosira* sp. (Bacillariophyta). El ecosistema de la laguna se caracteriza como oligotrófico, con un pH promedio de 6,7, una concentración de oxígeno disuelto de 8,0 mg/L y una temperatura promedio de 13,8°C. Se observa una relación entre la altitud y el número de especies, el cual se ha incrementado considerablemente en las últimas dos décadas, así como la temperatura del agua. Se sugiere que la alta diversidad de microalgas en la laguna San Rafael se debe a la intensa luminosidad en las montañas de la región tropical.

Palabras clave: abundancia, Bacillariophyta, fitoplancton, microalgas.

Abstract

The San Rafael lagoon, located in the Puracé National Natural Park, is a sacred site of conservation value for the indigenous communities that inhabit this territory. In order to evaluate its conservation status, a study was conducted based on the diversity of phytoplankton present in its waters. Four samplings were carried out between June and October

2022, filtering 50 L of water through a 20 μm plankton net. The number of species was determined using an accumulation curve and *in situ* physicochemical data were collected with a digital probe. A total of 90 phytoplankton taxa were found, grouped into Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Xanthophyta and Cyanobacteria. The most abundant species was *Melosira* sp. (Bacillariophyta). The lagoon ecosystem is characterized as oligotrophic, with an average pH of 6.7, a dissolved oxygen concentration of 8.0 mg/L and an average temperature of 13.8°C. A relationship is observed between altitude and the number of species, which has increased considerably in the last two decades, as well as water temperature. It is suggested that the high diversity of microalgae in Laguna San Rafael is due to the intense luminosity in the mountains of the tropical region.

Keywords: abundance, Bacillariophyta, phytoplankton, microalgae.

Introducción

La alta montaña alberga una diversidad de ecosistemas que se extienden desde los 2500 hasta los 5000 msnm. En esta franja altitudinal se encuentran diferentes pisos bioclimáticos, como el andino, alto andino, páramo bajo, páramo, súper páramo y glaciares o nevados (Flórez *et al*, 2010). Los páramos son especialmente importantes debido a los servicios ecosistémicos que brindan, como la regulación y abastecimiento de agua, así como su valor cultural (Nieto *et al*; 2015).

En Colombia existen 37 complejos de páramos protegidos en áreas designadas como reservas naturales (Banco Mundial, 2021). Estos ecosistemas son fundamentales para el suministro de agua a los ríos, ya que contribuyen a los caudales ecológicos (Cabrera y Ramírez, 2014). Además, los páramos ofrecen hábitats para una amplia variedad de especies, permitiendo interacciones entre los componentes físicos y biológicos. Estas redes de interacciones involucran el agua, los suelos, la vegetación, los microorganismos, la fauna y los seres humanos, formando la base del funcionamiento de los ecosistemas de alta montaña (Andinos, 2012).

Dentro de los ecosistemas de páramo se encuentran sistemas lagunares, como el que se localiza en el Parque Nacional Natural Puracé. Este sistema está compuesto por lagunas, entre las cuales se encuentra la laguna San Rafael o Andulbío. La gestión de este cuerpo de agua está a cargo tanto de Parques Nacionales como del Cabildo Indígena de Puracé, reconociendo su valor, tanto en términos de servicios ecosistémicos como culturales (Parques Nacionales Naturales, 2019).

El fitoplancton, que consiste en microalgas, desempeña un papel fundamental en los ecosistemas acuáticos y forma parte de la red trófica pelágica (Núñez, 2008). Estas microalgas son consideradas productores primarios y su comunidad determina la dinámica de la red trófica, influyendo los procesos biogeoquímicos del ecosistema (Hallegraeff, 2010). El estudio del

fitoplancton en las lagunas de alta montaña, como la laguna San Rafael en el PNN Puracé, puede proporcionar información valiosa sobre la calidad del agua y las condiciones ambientales de este ecosistema.

El objetivo de esta investigación es evaluar el estado de conservación de la laguna San Rafael basándose en la diversidad de su comunidad fitoplanctónica.

Materiales y métodos

Área de estudio

La laguna San Rafael se encuentra ubicada en las coordenadas 2°22'14,14"N 76°21'10,72"O, al nororiente del Parque Nacional Natural Puracé, cerca del resguardo indígena de Puracé, a una altitud aproximada de 3300 msnm. Tiene una superficie de 16,78 has. Su principal afluente es la quebrada Chorrillos, desde este ecosistema acuático nace el río Bedón, que forma parte de la cuenca alta del río Magdalena (Fig. 1). La zona está rodeada por vegetación típica del páramo, como frailejones (*Espeletia* spp.), chuscales (*Chusquea* spp.) y pajonales (*Calamagrostis* spp.) (Martínez *et al.*, 2009).

Durante las visitas se observó que hay poca intervención humana en el área, ya que no se evidencian actividades económicas directas sobre el cuerpo de agua ni pisoteo, aunque hay informes de grupos de pescadores que frecuentan el lugar en busca de trucha para pesca recreativa.

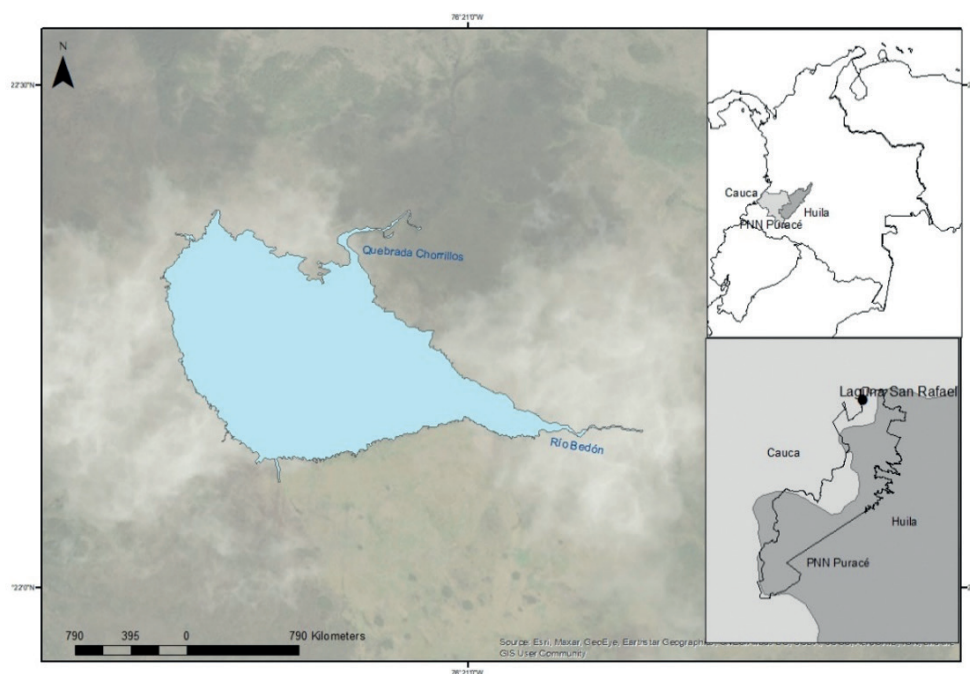


Figura 1: ubicación geográfica de la laguna San Rafael, PNN Puracé. Fuente: Ibagón N., 2023.

La laguna San Rafael experimenta cuatro períodos climáticos con dos periodos lluviosos entre marzo y junio y de septiembre a diciembre, y dos periodos secos desde mediados de diciembre hasta marzo y desde finales de junio hasta principios de septiembre. Esta laguna es considerada un sitio de valor cultural para el pueblo indígena Coconuco del resguardo de Puracé, pues dentro de este ecosistema acuático se llevan a cabo rituales de refrescamiento (Parques Nacionales Naturales, 2019).

Fase de campo

Se realizaron cuatro visitas a la laguna San Rafael con el propósito de recolectar

muestras de fitoplancton. Estas tuvieron lugar en distintos meses de 2022, correspondiendo a diferentes períodos climáticos. En junio (M-1), se recogieron muestras durante el periodo de lluvia, en julio (M-2) y septiembre (M-3) durante el periodo seco, y en octubre (M-4) durante periodo de lluvia. Las muestras de fitoplancton se obtuvieron en el borde de la laguna filtrando 50 L de agua a través de una red de plancton con una abertura de 20µm para obtener muestras cuantitativas, las cuales fueron envasadas en frascos de 500 ml y se preservaron in situ con una solución Transeau.

Fase de laboratorio

Se empleó un microscopio Leica ICC 50 W. Se observó directamente la muestra con aumentos de 10X y 40X, realizando un barrido en zigzag y registrando cada individuo de las diferentes taxas encontradas. Se midió el volumen de la muestra utilizado en cada análisis para calcular las densidades de microalgas correspondientes (M-1= 209 ml, M-2= 192 ml, M-3= 184 ml, M-4= 201 ml). La identificación de las diferentes taxa se llevó a cabo utilizando catálogos especializados, como los de Burgos y García (2007), Chivatá y López (2014), Donato (2001), Dos Santos (2016), Núñez-Avellaneda (2008), Pinilla (2000) y Ramírez (2000). Además, se utilizó el Sistema de Información Taxonómica Integrado (ITIS, por sus siglas en inglés) para verificar la jerarquía taxonómica de cada género y confirmar su validez.

Parámetros fisicoquímicos

Se tomaron mediciones de parámetros fisicoquímicos tanto in situ, utilizando una sonda multiparámetro HQ 40 de Hach, como ex situ, en el laboratorio. Los parámetros analizados incluyeron pH (método SM 4500H+B), conductividad (método SM2510), oxígeno disuelto y temperatura. Además, se registraron datos de turbidez (método SM2130B), sólidos suspendidos totales (método SM2450D), nitritos (método 8507 HACH), nitratos (método 8171 HACH), fosfatos (método 8048 HACH) y nitrógeno amoniacal (método M62 Lovivond).

Fase de Análisis

Se realizó una curva de acumulación por muestra para determinar la cantidad de alícuotas necesarias para describir la diversidad de las muestras. Se utilizaron tres índices ampliamente reconocidos: índice de diversidad de Shannon-Weaver (H), índice de dominancia de Simpson (λ) e índice de equidad de Pielou (J'). Estos proporcionan medidas cuantitativas y significativas de la riqueza de especies, dominancia relativa y equitatividad en la comunidad fitoplanctónica.

Se calcularon diferentes índices limnológicos para evaluar el estado trófico de la laguna relacionados con la presencia de cianofíceas, clorofíceas, diatomeas y euglenófitos, utilizando la relación entre el número de taxones de diferentes grupos de fitoplancton. También se calculó un índice compuesto que consideraba la presencia de múltiples grupos de fitoplancton.

$$\text{Índice para cianofíceas} = \frac{\text{número de taxones de desmidiaceas}}{\text{número de taxones de cianocíceas}}$$

$$\text{Índice para Clorofíceas} = \frac{\text{número de taxones de chlorococcales}}{\text{número de taxones de desmidiaceas}}$$

$$\text{Índice para diatomeas} = \frac{\text{número de taxones de diatomeas centricas}}{\text{número de taxones de diatomeas pennales}}$$

$$\text{Índice para euglenofita} = \frac{\text{número de taxones de euglenofitas}}{\text{número de taxones de cianofíceas mas chlorococcales}}$$

$$\text{Índice compuesto} = \frac{\text{numero de taxones de cianofíceas, mas chlorococcales mas ditomeas centricas mas euglenofitas}}{\text{número de taxones de desmidiáceas}}$$

Se realizó un análisis de correspondencia canónica para investigar la correlación entre las variables fisicoquímicas del entorno y la abundancia del fitoplancton. Se seleccionaron 21 especies abundantes y ocho factores fisicoquímicos para este análisis. El objetivo era determinar cómo las variables fisicoquímicas influían en la

distribución y abundancia del fitoplancton en la laguna (Tabla 1).

Este estudio forma parte de un proyecto más amplio enfocado en establecer una “Línea base para el estado ecológico de los ecosistemas lenticos valor objeto de conservación del PNN Puracé – segunda fase”, aprobado en la convocatoria 017 de “Proyecto Universidad Estado Empresa Sociedad” de la Fundación Universitaria de Popayán, 2021.

Tabla 1. Lista de fitoplancton y variables fisicoquímicas para análisis de correspondencia canónica

Especies		Variables fisicoquímicas.
Mel= Melosira sp	Tab= Tabellaria sp	pH
Eua= Euastrum sp	Nit= Nitzschia sp	C= conductividad
Tab 1= Tabellaria sp1	Nav= Navicula sp	=Temperatura
Clo= Closterium sp	Fra= Fragilaria sp	OD= Oxígeno Disuelto
Fra 1= Fragilaria sp1	Nit= Nitzschia sp1	TUR= turbiedad
Nav1= Navicula sp 1	Pin= Pinnularia sp	F= fosfatos
Gei= Geitlerinema sp	Sta= Stauronneis sp	SST= solidos suspendidos totales
Stau= Staurastrum	Clo1= Closterium	A= Alcalinidad
Cal= Caloneis sp	Osc= Oscillatoria sp	
Spi= Spirogyra sp,	Net= Netrium sp,	
Cos= Cosmarium sp	enc= Encyonema sp	

Resultados

Comunidad Fitoplanctónica

Los resultados obtenidos en el estudio de la comunidad fitoplanctónica de la laguna San Rafael PNN Puracé revelaron la presencia de 90 taxa diferentes en total. Estas taxa se distribuyeron en cinco phyla principales, siendo las Bacillariophyta (diatomeas) las más abundantes con 43 especies, seguidas de las Charophyta (algas verdes) con 26 especies (Tabla 2). Las diatomeas también fueron el grupo más dominante en términos de densidad, con una media de 20,06 cel/mL, seguidas por las algas verdes con 4,37 cel/mL. La especie *Melosira* sp. Fue la más abundante a lo largo del monitoreo (Fig.4). Las especies *Nitzschia* sp (Bacillariophyta), *Tabellaria* sp. (Bacillariophyta) las cuales

presentaron las mayores abundancias en el estudio (Anexo 1).

Al analizar los resultados por meses, se observó que el mes M-4 presentó la mayor riqueza con 74 taxa, seguido por el mes M-2 con 71 taxa (Tabla 2). En cuanto a la densidad, el mes M-3 registró la mayor cantidad de células por mililitro, con 9,35 cel/mL (Fig. 2) Las diatomeas dominaron en cada uno de los meses analizados, siendo la *Melosira* sp su especie dominante.

Al observar el análisis por meses de la riqueza por divisiones taxonómicas se puede decir que el patrón es constante en todos los meses, siempre las Bacillariophyta (diatomeas) fueron dominantes, seguida por las Charophyta (algas verdes), presentando menor riqueza la división Xanthophyta (alga verde) (Fig. 3).

Tabla 2. Riqueza y abundancia general de fitoplancton por grupos taxonómicos para la laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé

División	N=abundancia(cel/mL)	S=riqueza (N.º de especies)
Bacillariophyta (Diatomea)	20,06	43
Charophyta (Alga verde)	4,37	26
Chlorophyta (Alga verde)	0,44	14
Cyanobacteria (Alga verde-azul)	0,85	6
Xanthophyta (alga verde)	0,003	1

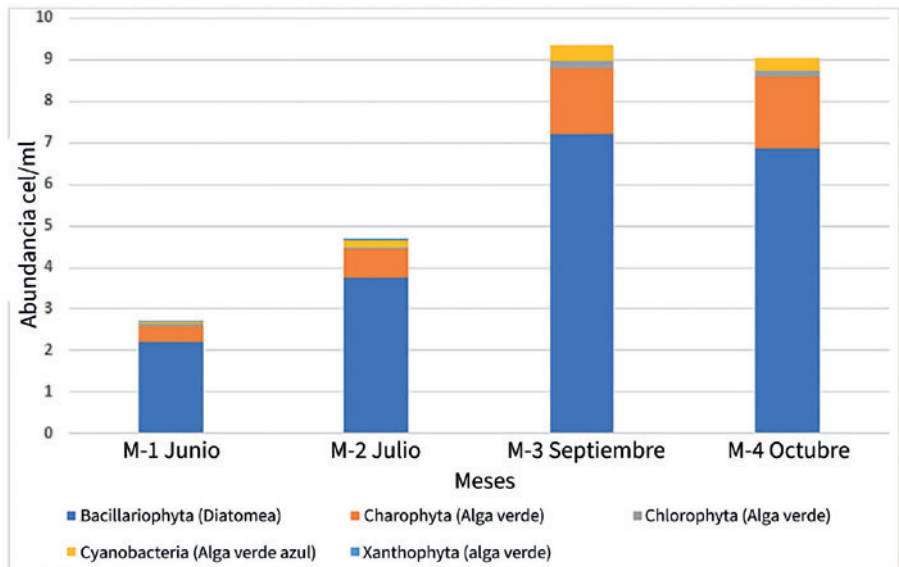


Figura 2. Densidad (cel/ml) de los grupos principales por mes de muestreo de fitoplancton en la laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé.

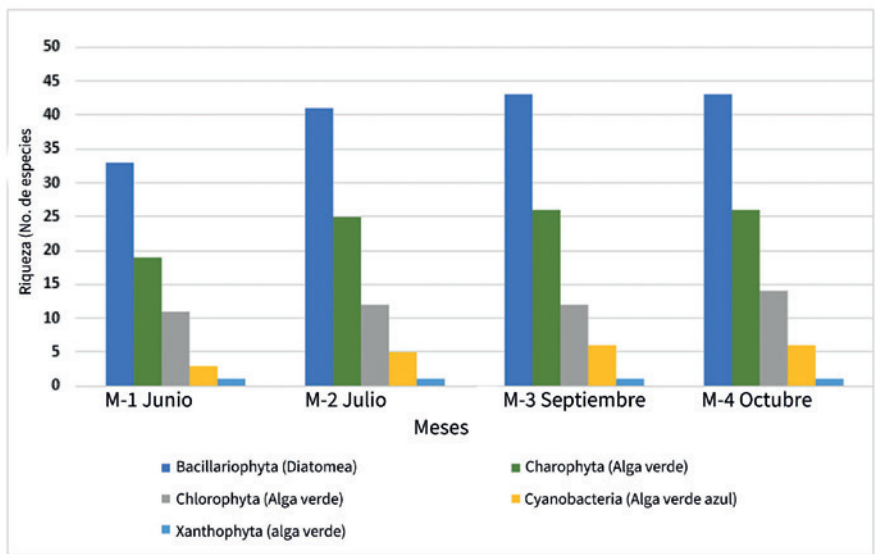


Figura 3. Riqueza de especies por mes de muestreo de fitoplancton en la laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé.

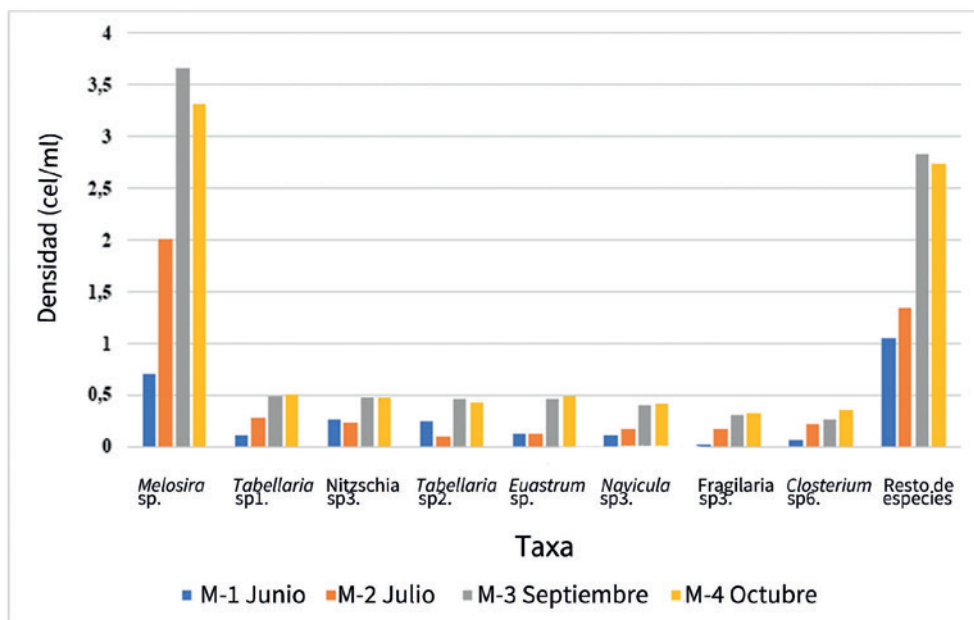


Figura 4. Densidad (cel/ml) de las taxa principales por mes de muestreo de fitoplancton en la laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé.

El mes que exhibió la mayor riqueza en términos de diversidad de especies fue el M-4. Sin embargo, al analizar los demás índices de diversidad, se observa que el mes con la mayor diversidad fue el M-1, con un índice de diversidad (H') de 2,99. Además, este mes también presentó los valores más altos de equidad ($J' = 0,71$) y la menor dominancia ($1-D = 0,10$). En orden descendente, los meses que le siguieron en términos de diversidad fueron M-4, M-3 y M-2, respectivamente (Tabla 3).

Índices limnológicos: los índices de Nygaard utilizados para estimar el estado trófico de la laguna indicaron que se encuentra en estado de oligotrofia en todos los meses,

tanto según el índice de clorofíceas como el índice compuesto. El índice de diatomeas reveló que es un ambiente pobre en nutrientes. (Tabla 4).

Parámetros fisicoquímicos: en relación con los parámetros fisicoquímicos, se registraron temperaturas entre 13,2 °C y 15,8 °C, pH ácido con valores entre 6,46 y 6,93, oxígeno disuelto entre 7,88 y 8,1 mg/L, y conductividad entre 9,57 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 26,05 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La turbidez fue baja en general. Los valores de nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos y fosfatos indicaron concentraciones bajas o indetectables en la laguna (Tabla 5).

**Tabla 3 Índices de diversidad de fitoplancton en la laguna San Rafael
– Parque Nacional Natural Puracé por los meses de estudio**

Índices	M-1	M-2	M-3	M-4
Taxa_S	67	71	67	74
Abundancia	3845	6904	13425	13570
Shannon_H	2,99	2,40	2,68	2,80
Simpson_1-D	0,89	0,77	0.82	0.84
Equitability_J	0,71	0,56	0.63	0.65
Porcentaje de densidad de Melosira sp.	26,19%	43,11%	39,14%	36,58%

**Tabla 4 Índices de Nygaard de fitoplancton en la Laguna San Rafael
– Parque Nacional Natural Puracé por los meses de estudio**

Índices de Nygaard	M-1	M-2	M-3	M-4
Índices para clorofíceas	0,6 Oligotrófico	0,5 Oligotrófico	0,37 Oligotrófico	0,5 Oligotrófico
Índices para diatomeas	0,2 Pobre en nutrientes	0,26 Pobre en nutrientes	0,28 Pobre en nutrientes	0,21 Pobre en nutrientes
Índice compuesto	1,05 Oligotrófico	1 Oligotrófico	1,05 Oligotrófico	1,1 Oligotrófico

Tabla 5 Parámetros químicos del fitoplancton en la Laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé

Parámetros	M-1	M-2	M-3	M-4	Promedio
pH	6,5	6,9	6,9	6,5	6,7
Conductividad (μS/cm)	25,5	21,9	26,1	9,6	20,8
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,9	8,1	8,0	8,0	8,0
Temperatura °C	13,0	13,0	15,8	13,3	13,8
Turbidez UNT	3,8	1,9	1,9	1,3	2,2
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0,021	<0,01	0,036	0,001	0,019
Nitratos (mg/L)	<0,1	0	0	0,3	0,1
Nitritos (mg/L)	< 0,002	0	0,002	1	0,33
Fosfatos (mg/L)	<0,02	0,35	0,16	0,07	0,19
Sólidos suspendidos totales	0,015	1	<1	<20	0,508
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)		5,4	10	4,3	6,6
DBO (mg/L)	<6,0	<6	8	<6	

El análisis de Componentes Canónicos (CCA) revela relaciones entre las especies y las variables fisicoquímicas. En el primer eje de análisis, se encontró una correlación positiva del 52,12%, mientras que en el segundo eje la correlación fue del 46,53%. En la gráfica de CCA, se puede observar que las variables que muestran una correlación positiva son el oxígeno disuelto, el pH y el

fosfato, mientras que la turbidez muestra una correlación negativa (Fig. 5). En cuanto a las especies, se encontró una correlación positiva entre el fosfato y el oxígeno disuelto con la especie *Encyonema* sp.. Por otro lado, la alcalinidad y la temperatura se correlacionan negativamente con la especie *Oscillatoria* sp. Además, la conductividad se correlaciona negativamente con *Nitzschia* sp1.

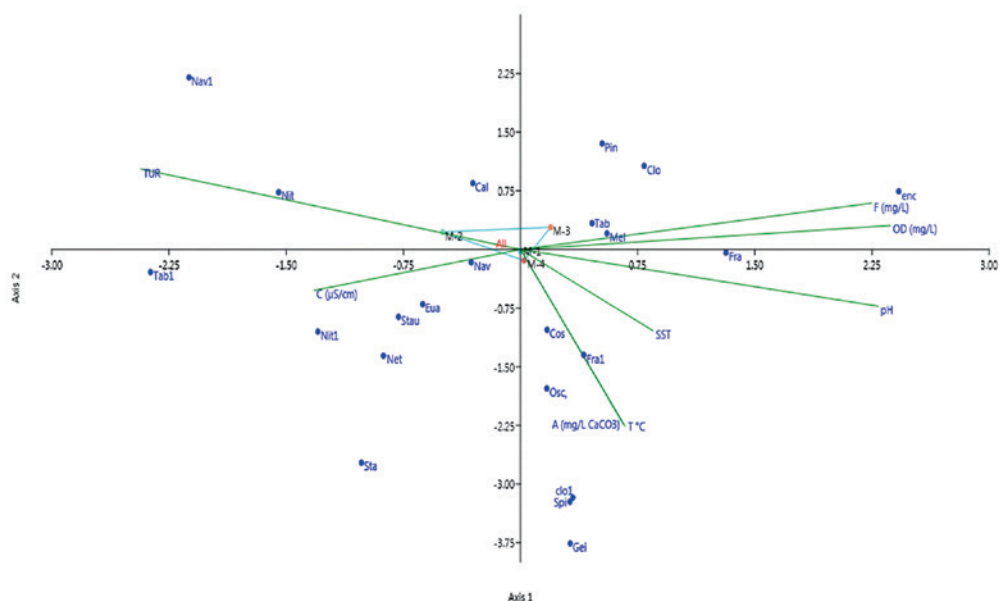


Figura 5. Análisis de correspondencia canónica abundancia y variables climática.

Discusión

La laguna San Rafael exhibe una mayor riqueza de fitoplancton que otras lagunas del Parque Nacional Natural Puracé. Por ejemplo, la laguna El Rebollero presenta 41 taxa, la laguna Magdalena 50 taxa, la laguna Santiago 56 taxa, la laguna Cusiyaco 44 taxa, la laguna Presentación 20 taxa y la laguna Larga 22 taxa (Donato, 2001). Adicionalmente, la laguna San Rafael ha experimentado un aumento en la abundancia y riqueza del fitoplancton en comparación con estudios anteriores realizados entre 1992 y 2001 (Donato, 1992; 2001). Estos cambios pueden atribuirse a la modificación en las condiciones ambientales, como el aumento en la temperatura, las precipitaciones y los cambios en el uso del suelo (Zapata

et al., 2021). Esta riqueza de microalgas fitoplanctónicas en una laguna a 3300 msnm es un hallazgo poco común, pues lo común es que la tendencia es que el número de especies disminuya con la altitud (Barta *et al.*, 2017). Se plantea la posibilidad de que la presencia de truchas en la laguna San Rafael esté causando un efecto cascada, donde el consumo de peces en los macroinvertebrados y zooplancton podría desencadenar un afloramiento de fitoplancton (Herrera *et al.*, 2017).

La composición del fitoplancton en la laguna San Rafael está dominada por las algas diatomeas, un grupo cosmopolita que puede encontrarse en diversos ambientes húmedos (Blanco *et al.*, 2010). Este grupo de microalgas también domina en otras

lagunas de alta montaña, como la laguna de Chingaza en Colombia (Donato, 1991), el embalse San Roque en Córdoba, Argentina (Daga *et al.*, 2020), la laguna La Viuda en Lima, Perú (Huanaco *et al.*, 2016) y la laguna San Rafael en estudios anteriores (Donato, 2001; Modesto-Iregui *et al.*, 2002).

La especie *Melosira* sp. (*M. Italica*) ha sido reportada en el fitoplancton de varias ubicaciones en Colombia, como Betania en Huila (Duque y Donato, 1988), Laguna de Fúquene, Chisacá de Boyacá Cundinamarca a una altitud de 2540 msnm (Donato *et al.*, 1987), Caño Choco en el departamento de Meta (Duque y Donato, 1992), y Ciénaga de San Antonio Magdalena (Osorio y Manjarrés, 2015). Esta especie actúa como un indicador biológico de ambientes oligotróficos y baja conductividad (Pinilla, 2000). La laguna San Rafael proporciona un entorno adecuado para esta especie, ya que es oligotrófica y tiene una baja conductividad.

La laguna San Rafael se encuentra en un estado oligotrófico, similar al que se evidenció en el estudio anterior realizado en 2001 (Donato, 2001). Este estado es común en lagunas de alta montaña, como la laguna Cumbal en Colombia (Donato, 1991) y la laguna Soto en Argentina (Poi *et al.*, 2016). La oligotrofia puede implicar una escasez de nutrientes, pero con un alto contenido de carbonatos, y puede encontrarse en diversos hábitats (Camacho *et al.*, 2010). Aunque el tamaño del cuerpo de agua se ha mantenido en 16,7 has desde 2014 (Plaza, 2014), es probable que durante la estación seca se vea reducido, al igual que el volumen de

agua, lo que podría resultar en un aumento de la concentración de nutrientes en el cuerpo de agua. Algunos autores que han medido previamente el tamaño del cuerpo de agua de la laguna San Rafael reportaron una notable disminución del mismo. Por ejemplo, Yasnó *et al.* (2000) reportaron un área de 26,5 ha (citado por Joaquín, 2005); Donato (2001) reportó 20 ha; Muñoz (2008) indicó un área aproximada de 18,9 ha, mientras que Imbachí (2014) mencionó un área de 15,7 ha.

En el presente estudio se evidencia un aumento en la temperatura del agua de la Laguna San Rafael desde 2001 hasta la actualidad de 9,06 °C – 10,2 °C (Donato, 2001) a 13 °C – 15 °C en 2022. Dicho aumento de temperatura atribuido al cambio climático no solo tiene un efecto en las dinámicas físicas del ecosistema, sino que también puede conllevar al aumento de microalgas sensibles a los cambios bruscos de temperatura y de las variables fisicoquímicas como el pH. La temperatura de los ambientes de alta montaña puede aumentar entre 0,1 °C – 0,2 °C (Pabón-Caicedo, 2012) y esto puede generar que muchos lagos lleguen a temperaturas de 20 °C, lo que puede ser fatal para los organismos, ya que las temperaturas altas aceleran su metabolismo, aumentando la demanda de oxígeno, transformando estos ecosistemas en lagos tropicales (Solorza, 2018; Zapata *et al.*, 2021). Al presentarse este aumento de temperatura, las lagunas y, en general, los ecosistemas

de páramo andino, se encontrarían vulnerables por el desequilibrio ecológico que se generaría cambios radicales en el paisaje, pasando de páramo a bosque (Romero y Castro, 2011). En este sentido, se ha demostrado que el cambio climático genera transformaciones drásticas en la composición de microalgas (diatomeas) en lagos andinos (Michelutti, *et al.*, 2015). Un estudio realizado en los Alpes suizos demostró que el aumento de la temperatura del agua resultó en cambios significativos en la composición del fitoplancton, como la disminución de especies sensibles al calor y aumento de especies que toleran el aumento del calor (Anneville *et al.*, 2005).

Debido al aumento de la temperatura en la laguna San Rafael desde 2001 (Donato; 2001) se esperaba un aumento en el pH (Koinig *et al.*; 1998), sin embargo, este presentó una disminución de 7,2 en 2001 a 6,7 en 2022, similar a los reportados por Plazas (2014) de 6,17 e Imbachi, (2014) de 6,5. Este parámetro se correlaciona positivamente con la composición de las especies de fitoplancton presentes en la laguna. La geomorfología y el sustrato de la laguna también pueden afectar el pH, pues si son ambientes de origen glaciar tienden a presentar estos valores bajos de pH (Criales *et al.*; 2020). La abundancia de diatomeas ha sido relacionada en lagos andinos de Colombia con factores como la acidez del agua (Muñoz y Rivera; 2022).

En el análisis de correspondencia canónica, se ha encontrado una correlación positiva entre el fosfato y el oxígeno disuelto con la composición de especies en la laguna. Los valores de oxígeno disuelto presentados por la laguna San Rafael son muy similares a los estudios anteriores en el mismo lugar (Donato, 2001). El oxígeno disuelto fue de 8,7 mg/L, y este valor puede deberse a la ubicación de la laguna, ya que está expuesta a fuertes vientos (Donato, 1991; Rivera, 2005). Tanto el fosfato como el nitrógeno influyen en la composición de las diatomeas (Muñoz y Rivera, 2022).

Conclusiones

Este estudio pone en evidencia el aumento en la riqueza de fitoplancton presente en la laguna San Rafael, así como la dominancia de la especie *Melosira* sp. y el aumento de temperatura del agua en los últimos años. Estos hallazgos son una alerta sobre el seguimiento de dicho cuerpo de agua y las demás lagunas del Parque Nacional Natural Puracé que están siendo afectadas por el cambio climático.

Aunque la laguna San Rafael se encuentra en estado oligotrófico, los cambios relatados en el fitoplancton y la presencia de trucha en el ecosistema son factores de riesgo que deben considerarse como alerta para continuar con las acciones de conservación implementadas por Parques Nacionales Naturales y las comunidades indígenas en el municipio de Puracé.

Referencias

Andinos, P. 2012. Ecología, hidrología y suelos de páramos. Autores: Luis Ll., Alejandra S., Rolando C., Bert De B., Boris O. and Pablo B. Ecuador. Pág. 238, 239. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56475.pdf>

Anneville, O., Gammeter, S., y Straile, D. 2005. Phosphorus decrease and climate variability: mediators of synchrony in phytoplankton changes among European peri-alpine lakes. *Freshwater Biology*, 50(10), 1731-1746. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01429.x>

Banco Mundial. 2021. Delimitación y protección de los 37 páramos de Colombia. World Bank. 14 pp.

Barta, B., Mouillet, C., Espinosa, R., Andino, P., Jacobsen, D. y Christoffersen, K. 2017. Glacial-fed and paramo lake ecosystems in the tropical high Andes. *Hydrobiologia* 813, 19-32 (2018). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3428-4>

Blanco Lanza, S., Álvarez Blanco, I., Cejudo Figueiras, C., Bécares Mantecón, E., Ector, L., García

Burgos, M. D., and García, E. 2007. Atlas de Microorganismos presentes en los humedales Andaluces. Consejo del Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España. 251 pp.

Cabrera, M. and W. Ramírez (Eds). 2014. Restauración ecológica de los páramos de Colombia Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt 296 pp. Disponible en: <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31451>

Cai, Y., Qi, L., Shan, T., Liu, Y., Zhang, N., Lu, X., & Fan, Y. 2022. Application of Phytoplankton Taxonomic -Diversity Indices to Assess Trophic States in Barrier Lake: A Case of Jingpo Lake. *Diversity*, 14(11), 1003. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/d14111003>

Camacho, A., Borja, C., Valero-Garcés, B., Sahuquillo, M., Cirujano, S., Soria, J., Rico E., de la Hera A., Santamans, A., García, A., Chicote, A., and Gosálvez, R. 2010. Aguas oligo-mesotróficas calcáreas con vegetación de *Chara* spp. . En: Chivatá, J and López L. (2014) *Cartilla Ilustrada Fitoplancton y Zooplancton Humedal Córdoba*. Bogotá D.C. 39 pp.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2018. Guía nacional de modelación del recurso hídrico para aguas superficiales continentales. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/guia-nacional-para-la-modelacion-recurso-hidrico-superficial-continental/>

Criales-Hernández, M.I. Sanchez-Lobo, D.M. y Almeyda Osorio, J.K. 2020. Expanding the knowledge of plankton diversity of tropical lakes from the Northeast Colombian Andes. *Revista de Biología Tropical*, 68(Suppl. 2), S159-S176. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/rbt.v68is2.44347>

Cuna, E., Caballero, M., Zawisza, E., y Ruiz, C. 2015. Historia ambiental de un lago alpino en el centro de México. *Revista Especializada en Ciencias Químico Biológicas*, 18(2):97-106. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.09.001>

Cuna, E., Alcocer, J., Gaytán, M. y Caballero, M. 2022. Phytoplankton biodiversity in two tropical, high mountain lakes in central Mexico. *Diversity*, 14(1), 42. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/d14010042>

Daga, I. C., Fernández Belmonte, M. C. y Reyna, S. M. 2020. Composición algal y bioindicadores de calidad de agua. Caso de estudio: Embalse San Roque, Córdoba. Argentina. *Cuadernos del Curiham*. 26: 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.35305/curiham.v26io.143>

De León, L., y Chalar, G. 2003. Abundancia y diversidad del fitoplancton en el Embalse de Salto Grande (Argentina Uruguay). Ciclo estacional y distribución espacial. *Limnetica*, 22(1-2), 103-113. Disponible en: <https://doi.org/10.23818/limn.22.07>

Donato R., J. C. 1991. Fitoplancton y aspectos físicos y químicos de la laguna de Chingaza en Cundinamarca, Colombia. *Caldasia*, 16(79), 489–500. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/35656/36203>

Donato, J., Duque, S., Mora, E., y Osejo, L. 1987. Estructura y dinámica del fitoplancton de la Laguna de Fúquene (Cundinamarca, Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales*, 16(62), 113–144. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/23641387>

Donato-Rondón, J. C. 2001. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (Colombia): Composición y factores de distribución. ISBN: 958-9205-45-3 232 pp. Disponible en: <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/47>

Dos Santos, R. Melissa. 2006. Atlas: Algas del Paraguay Características e Importancia, Muestreo en Paraguay Clave de Identificación e Ilustraciones FACEN, 234 pp. Disponible en: <https://revistabioika.org/es/entrevista/post?id=117#!>

Duque, S., y Donato, J. 1992. Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. *Cuadernos divulgativos*, 35, 1–21.

Duque, S., y Donato, J. C. 1988. Estudio del fitoplancton durante las primeras etapas de llenado del embalse de la central hidroeléctrica de Betania, Huila Colombia. *Universitas Scientiarum*, 1(2), 29–52. Disponible en: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/5090>

Flórez, A., Barajas, A. F., Jaramillo, O., Martínez, N. J., Barrera, M. S., y Montoya, J. W. 2010. Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. Bogotá: IDEAM. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021769/Sistemas_morf_Territ_Col_Ideam_Contentido.pdf

Hallegraeff, G. M. 2010. Ocean climate change, phytoplankton community responses, and harmful algal blooms: a formidable predictive challenge 1. *Journal of phycology*, 46(2), 220–235. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2010.00815.x>

Herrera-Martínez, Y., Paggi, J. C., y García, C. B. 2017. Cascading effect of exotic fish fry on plankton community in a tropical Andean high mountain lake: a mesocosm experiment. *Journal of Limnology*, 76(2), 397-408. Disponible en: <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2017.1488>

Huanaco, J. L., Montoya Terreros, H., Castellanos Sánchez, P. L., y Quiroz Barraza, R. A. 2018. Evaluación de la diversidad del fitoplancton de la laguna La Viuda (Lima, Perú) en agosto-noviembre 2016. *Arnaldoa*, 25(3), 1027-1040. Disponible en: <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25314>

Imbach, D. 2014. Integridad ecológica de la laguna San Rafael Parque Nacional Natural Puracé, Cauca. Universidad del Cauca, Popayán.

Joaqui, S.C. 2005. Análisis multitemporal de las coberturas vegetales para ecotopos paramunos caracterizando las intervenciones antrópicas, en una ventana del Parque Nacional Natural Puracé. Universidad del Cauca, Popayán.

Koinig, K. A., Schmidt, R., Sommaruga-Wögrath, S., Tessadri, R., y Psenner, R. 1998. Climate change as the primary cause for pH shifts in a high alpine lake. *Water, Air, and Soil Pollution*, 104, 167-180. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1004941013924>

Martínez, J., Figueroa, A., y Ramírez, B. 2009. Cambios de cobertura y fragmentación a través de un análisis espacio temporal en el Parque Nacional Natural Puracé. Fragmentación y coberturas vegetales en ecosistemas andinos, departamento del Cauca, 137-155.

Michelutti, N, Wolfe, A.P., Cooke, C.A., Hobbs W.O., Vuille, M. y Smol, J.P. 2015 Climate Change Forces New Ecological States in Tropical Andean Lakes. *PLoS ONE* 10(2): e0115338. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115338>

Modesto -Iregui, M., Guillot, G., y Donato, J. C. 2002. Dimensión fractal y relación área superficial/volumen de algas del fitoplancton de lagos colombianos. *Caldasia*, 24(1), 121-134. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/73138>

Montoya M, Y. y Aguirre R., N. 2013. Dinámica fisicoquímica de las aguas de un sistema de planicies inundables tropicales. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (69), 256-273. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/430/43029812020.pdf>

Montoya-Moreno, Y. y Aguirre-Ramírez, N. 2008. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical colombiana. *Hidrobiológica*, 18 (3), 189-197. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57822408002>

Muñoz, F. 2008. Caracterización biofísica, análisis espacio temporal y de erupción antrópica, para humedales alto andinos, caso tipo laguna de San Rafael (Zona Norte) Parque Nacional Natural Puracé y Humedal de Calvache. Universidad del Cauca, Popayán-Cauca.

Muñoz-López, C.L. y Rivera-Rondón, C.A. 2022. Diatom response to environmental gradients in the high mountain lakes of the Colombia's Eastern Range. *Aquat Sci* 84, 15. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00027-021-00838-z>

Nieto, M., Cardona, L. y Agudelo, C. 2015. Análisis de servicios ecosistémicos. Provisión y regulación hídrica. En: Ungar, P. (ed.) (2015 ISBN 978-958-8889-49-8 96pp. Disponible en: <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9296>

R.Duque, S., y NúñezAvellaneda, M. 2000. Microalgas Acuáticas de la Amazonía Colombiana. *Biota Colombiana*, 1 (2), 208-216. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/491/49110203.pdf>

Osorio-Ávila, F.J., y Manjarrés-García, G. A. 2015. Ficoperifiton asociado a macrófitas en la ciénaga Cerro de San Antonio, Magdalena-Colombia. *Intropica*, 10(1), 74-83. Disponible en: <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/1649>

Pabón Caicedo, J. D. 2012. Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36(139), 261-278.

Pinilla, G. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano. 67pp.

Pla, L., 2006. Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31 (8), 583-590. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf>

Parques Nacionales Naturales. 2019. Plan de manejo ambiental Parque Nacional Natural Puracé 2020-2024. 180 p.

Plaza-Ortega, V., Valencia-Rojas, M. P., y Figueroa-Casas, A. 2017. Aplicación del índice integrado relativo de antropización (INRA), en un ecosistema de alta montaña. *Luna Azul*, (44), 80-93. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3217/321750362006/html/>

Plaza, V. 2014. Alteraciones antrópicas en el sistema lagunar San Rafael (Parque Nacional Natural Puracé) a través de tres subdivisiones de hábitat. Universidad del Cauca, Popayán.

Poi, ASG, Casco, SL, Neiff, JJ, Carnevali, RP y Gallardo, LL. 2016. Lagunas periurbanas de Corrientes Argentina: de la mesotrofia a la eutrofia un camino de ida y vuelta en 20 años. *Biología acuática* 31: 1 – 9. Disponible en: <http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/30708>

Pugnetti, A., y Bettinetti, R. 1999. Biomass and species structure of the phytoplankton of an high mountain lake (Lake Paione Superiore, Central Alps, Italy). *Journal of Limnology*, 58(2), 127-130. Disponible en: <https://doi.org/10.4081/jlimnol.1999.127>

Ramirez Restrepo J. J. 2000. Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios (No. 589.4 R1481f Ej. 1 019715). Editorial Universidad de Antioquia.

Ramírez, J.J. 2000. Variación diurna y estacional del contenido calórico, la estabilidad y el trabajo del viento en una laguna tropical. *Acta Limnol. Bras.* 12: 39-54. Disponible en <https://hdl.handle.net/10495/20586>

Rivera-R, C., Solano-M, D., Zapata-A, A., y Donato-R, J. 2005. Phytoplankton diversity in a tropical high mountain lake. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 29(1), 418-421. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03680770.2005.11902046>

Romero, J. A., and Castro, L. A. P. 2011. Siecha un bioma mágico que puede sufrir perturbaciones locales de origen biótico. *CapyCua*, 5(1), 2. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4020219>

Sánchez Castillo, P.M., L. Cruz-Pizarro and P. Carrillo. 1989. Caracterización del fitoplancton de las lagunas de alta montaña de sierra nevada (Granada, España) en relación con las características fisico-químicas del medio. *Limnetica*-5-1-p-37. Disponible en: <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-5-1-p-37.pdf>

Solorza-Bejarano, J. (Ed.). 2018. Ecología y cambio climático en ecosistemas de alta montaña en Colombia. Bogotá D.C., Colombia: Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. 68 pp.

Zapata, A.; Rivera-Rondón, C.A.; Valoyes, D.; Muñoz-López, C.L.; Mejía-Rocha, M. y Catalan, J. 2021. Páramo Lakes of Colombia: An Overview of Their Geographical Distribution and Physicochemical Characteristics. *Water*, 13, 2175. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w13162175>

Anexo 1. Diversidad de especies, laguna San Rafael, Parque Nacional Natural Puracé.

DIVISION	Especies	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Cel/ml
Bacillariophyta (Diatomea)	Melosira sp.	0,702936667	2,00064	3,662376667	3,30779	9,67374333
Charophyta (Alga verde)	Nitzschia sp3.	0,261946667	0,23424	0,479306667	0,46967	1,44516333
Bacillariophyta (Diatomea)	Tabellaria sp2.	0,243136667	0,1024	0,46816	0,43751	1,25120667
Bacillariophyta (Diatomea)	Navicula sp1.	0,164413333	0,14912	0,169986667	0,18224	0,66576
Chlorophyta (Alga verde)	Euastrum sp1.	0,120523333	0,13376	0,460496667	0,48642	1,2012
Chlorophyta (Alga verde)	Navicula sp3.	0,110073333	0,1664	0,406853333	0,41741	1,10073667
Bacillariophyta (Diatomea)	Tabellaria sp1.	0,1045	0,27968	0,485576667	0,50786	1,37761667
Bacillariophyta (Diatomea)	Colonia sp1.	0,07106	0,1536	0,075936667	0,04154	0,34213667
Bacillariophyta (Diatomea)	Navicula sp2.	0,066183333	0,01152	0,00836	0,00804	0,09410333
Bacillariophyta (Diatomea)	Closterium sp6.	0,062003333	0,21248	0,25707	0,35242	0,88397333
Bacillariophyta (Diatomea)	Cosmarium sp1.	0,062003333	0,01216	0	0	0,07416333

Charophyta (Alga verde)	<i>Pinnularia</i> sp4.	0,06061	0,00064	0,06061	0,05829	0,18015
Charophyta (Alga verde)	<i>Pinnularia</i> sp2.	0,057823333	0,15488	0,187403333	0,16616	0,56626667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Nitzschia</i> sp1.	0,055733333	0,032	0,17765	0,20971	0,47509333
Cyanobacteria (alga verde-azul)	<i>Skeletonema</i> sp2.	0,053643333	0,01024	0,017416667	0,00871	0,09001
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Staurastrum</i> sp3.	0,04389	0,04288	0,1672	0,12864	0,38261
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Caloneis</i> sp.	0,043193333	0,07232	0,113556667	0,12462	0,33369
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Aulacoseria</i> sp1.	0,02926	0,0064	0	0	0,03566
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Asterionella</i> sp	0,02508	0,00576	0,00209	0,00201	0,03494
Cyanobacteria (alga verde-azul)	<i>Fragilaria</i> sp3.	0,023686667	0,17536	0,312106667	0,32227	0,83342333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Fragilaria</i> sp2.	0,0209	0,05696	0,21318	0,22043	0,51147
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Staurastrum</i> sp2.	0,018113333	0,01024	0	0	0,02835333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Stauroneis</i> sp.	0,017416667	0,02752	0,169986667	0,14204	0,35696333

Charophyta (Alga verde)	<i>Nètrium</i> sp1	0,017416667	0,01216	0,07315	0,08978	0,19250667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Fragilaria</i> sp1.	0,015326667	0,04032	0,053643333	0,06097	0,17026
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Cosmarium</i> sp2.	0,013236667	0,00192	0,006966667	0,00804	0,03016333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Closterium</i> sp2.	0,01254	0,00128	0	0	0,01382
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Cosmarium</i> sp3.	0,01254	0,0256	0,08569	0,07705	0,20088
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Pediastrum</i> sp.	0,01254	0,03072	0,130276667	0,06097	0,23450667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Cerataulina</i> sp	0,011843333	0,0032	0	0	0,01504333
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Asterococcus</i> spl.	0,01146667	0,00064	0,009056667	0,0067	0,02754333
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Chlorella</i> sp.	0,01146667	0	0	0	0,0114667
Cyanobacteria (alga ver- de-azul)	<i>Oscillatoria</i> sp.	0,01146667	0,02176	0,113556667	0,11524	0,26170333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Synedra</i> sp.	0,01045	0,00128	0,003483333	0,00335	0,01856333
Charophyta (Alga verde)	<i>Microspora</i> sp1.	0,009753333	0,016	0,00209	0,00335	0,03119333

Cyanobacteria (alga verde-azul)	<i>Mougeotia</i> sp.	0,009056667	0	0,005573333	0,01541	0,03004
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Scenedesmus</i> sp.	0,00836	0,00256	0	0,00201	0,01293
Cyanobacteria (alga verde-azul)	<i>Spyrogyra</i> sp2.	0,007663333	0,00768	0,03971	0,03082	0,08587333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Diatoma</i> sp.	0,006966667	0	0	0,00067	0,00763667
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Euastrum</i> sp2.	0,006966667	0,0064	0,034833333	0,03015	0,07835
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Aulacoseria</i> sp2.	0,00627	0,00192	0,00209	0,00201	0,01229
Charophyta (Alga verde)	<i>Oocystis</i> sp2.	0,005573333	0,00256	0,003483333	0,0067	0,01831667
Charophyta (Alga verde)	<i>Pinnularia</i> sp1.	0,005573333	0	0	0	0,00557333
Charophyta (Alga verde)	<i>Surirella</i> sp.	0,005573333	0,00448	0,009753333	0,00938	0,02918667
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Closterium</i> sp1.	0,004876667	0,00128	0,000696667	0	0,00685333
Charophyta (Alga verde)	<i>Fragilaria</i> sp4.	0,004876667	0	0	0,00268	0,0075667
Charophyta (Alga verde)	<i>Pinnularia</i> sp3.	0,004876667	0,00128	0,004876667	0,00268	0,01371333

Chlorophyta (Alga verde)	<i>Ankyra</i> sp	0,00418	0	0	0	0,00418
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Closterium</i> sp5.	0,00418	0	0	0	0,00418
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Hyalotheca</i> sp.	0,00418	0,15424	0,034136667	0,04757	0,24012667
Charophyta (Alga verde)	<i>Skeletonema</i> sp1.	0,003483333	0	0,00418	0,00402	0,01168333
Charophyta (Alga verde)	<i>Spirogyra</i> sp1.	0,003483333	0,00704	0,126793333	0,09447	0,23178667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Colonia</i> sp2.	0,00209	0,00064	0	0	0,00273
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Cymbella</i> sp.	0,00209	0	0	0,00134	0,00343
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Gaillardinema</i> sp.	0,00209	0,00256	0,212483333	0,15075	0,36788333
Charophyta (Alga verde)	<i>Oocystis</i> sp3.	0,00209	0,00512	0,017416667	0,01943	0,04405667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Spondylosium</i> sp.	0,00209	0,00256	0	0	0,00465
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Thalassionema</i> sp.	0,00209	0,00512	0	0	0,00721
Cyanobacteria (Alga ver- de-azul)	<i>Aphanothece</i> sp.	0,001393333	0	0	0	0,00139333
Xanthophyta (alga verde)	<i>Botrydiopsis</i> sp.	0,001393333	0,00128	0	0	0,00267333

Charophyta (Alga verde)	<i>Netrium</i> sp2.	0,001393333	0,00192	0,002786667	0,00469	0,01079
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Asterococcus</i> sp2.	0,000696667	0,00512	0,000696667	0,00067	0,00718333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Brachysira</i> sp.	0,000696667	0	0	0	0,00069667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Closterium</i> sp3.	0,000696667	0,00832	0,07315	0,04757	0,12973667
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Microspora</i> sp2.	0,000696667	0	0	0	0,00069667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Planktosphaeria</i> sp	0,000696667	0	0,01146667	0,01474	0,02658333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Amphora</i> sp	0	0,00128	0	0,00804	0,00932
Cyanobacteria (alga ver- de-azul)	<i>Anabaena</i> sp	0	0	0,00418	0,00804	0,01222
Charophyta (Alga verde)	<i>Bulbochaete</i> sp	0	0,01984	0,000696667	0,000696667	0,02123333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Chaetoceros</i> sp.	0	0	0,005573333	0,01809	0,02366333
Chlorophyta (Alga verde)	<i>closterium</i> sp4.	0	0,00832	0,107286667	0,1407	0,25630667
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Coconeis</i> sp1.	0	0,02176	0,013933333	0,01474	0,05043333
Charophyta (Alga verde)	<i>Cymatopleura</i> sp.	0	0,00256	0,00209	0,00402	0,00867

Charophyta (Alga verde)	<i>Desmidium</i> sp.	0	0	0,015326667	0,01943	0,03475667
Charophyta (Alga verde)	<i>Encyonema</i> sp.	0	0,016	0,093333333	0,07035	0,17970333
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Eunotia</i> sp.	0	0,01024	0,001303333	0,00938	0,02101333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Gloeocystis</i> sp.	0	0	0	0,00603	0,00603
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Micrasterias</i> sp.	0	0	0	0,00402	0,00402
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Nitzschia</i> sp2.	0	0,00128	0,01146667	0,01474	0,02716667
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Nostoc</i> sp	0	0	0,03553	0,03886	0,07439
Charophyta (Alga verde)	<i>Oocystis</i> sp1.	0	0,00064	0	0,01206	0,0127
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Pleurotaenium</i> sp.	0	0,00256	0,02299	0,03752	0,06307
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Rhopalodia</i> sp.	0	0	0,00209	0,0067	0,00879
Charophyta (Alga verde)	<i>Sellaphora</i> sp.	0	0,00128	0,00209	0,00804	0,01141

Charophyta (Alga verde)	<i>Sirogonium</i> sp.	0	0,00384	0,000696667	0,01072	0,01525667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Sphaerocystis</i> sp.	0	0,07616	0	0	0,07616
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Staurastrum</i> sp4.	0	0	0,06897	0,05494	0,12391
Charophyta (Alga verde)	<i>Thalassionema</i> sp.	0	0,00448	0,004876667	0,01675	0,02610667
Charophyta (Alga verde)	<i>Spirulina</i> sp.		0,04032	0,00418	0,01407	0,05857
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Staurastrum</i> sp1.		0,00256	0,001393333	0,01675	0,02070333