



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 07/11/2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Gonzalo Reyes Torres, con C.C. No. 1082805463,

Pablo Emilio Jacanamijoy Chasoy, con C.C. No. 1075277722,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o \_\_\_\_\_

Titulado Variación estacional en la diversidad y composición de los géneros de fitoplancton presentes en el humedal Pisingo, Neiva-Huila

presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de

Licenciado en Ciencias Naturales: Física, Química y Biología;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_



<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 4</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** Variación estacional en la diversidad y composición de los géneros de fitoplancton presentes en el humedal Pisingo, Neiva-Huila

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido

Primero y Segundo Nombre

Reyes Torres

Gonzalo

Jacanamijoy Chasoy

Pablo Emilio

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido

Primero y Segundo Nombre

Martínez Silva

Paula

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido

Primero y Segundo Nombre

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Licenciado en Ciencias Naturales: Física, Química y Biología

**FACULTAD:** Educación

**PROGRAMA O POSGRADO:** Licenciatura en Ciencias Naturales: Física, Química y Biología

**CIUDAD:** Neiva

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2019

**NÚMERO DE PÁGINAS:** 85

**TIPO DE ILUSTRACIONES:**

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 4</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

Diagramas \_\_\_ Fotografías X Grabaciones en discos \_\_\_ Ilustraciones en general X Grabados \_\_\_ Láminas \_\_\_  
Litografías \_\_\_ Mapas X Música impresa \_\_\_ Planos \_\_\_ Retratos \_\_\_ Sin ilustraciones \_\_\_ Tablas o Cuadros X

**SOFTWARE:**

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN ():**

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Fitoplancton</u>	<u>Phytoplankton</u>	6. _____	_____
2. <u>Diversidad</u>	<u>Diversity</u>	7. _____	_____
3. <u>Bioindicación</u>	<u>Bioindication</u>	8. _____	_____
4. <u>Humedal</u>	<u>Eutrophication</u>	9. _____	_____
5. <u>Eutrofización</u>	<u>Wetland</u>	10. _____	_____

**RESUMEN DEL CONTENIDO:**

El humedal Pisingo, se ubica en los predios del Jardín Botánico, al sur en la ciudad de Neiva (Huila) en la comuna 6; se encuentra sobre la cuenca de la quebrada Matamundo y es un ecosistema urbano en medio de un bosque seco tropical que cuenta con todas las comunidades hidrobiológicas. Hasta el momento gracias a las labores que se desarrollan dentro del Jardín Botánico, existen varios estudios sobre diversos grupos faunísticos, pero no se han trabajado las comunidades hidrobiológicas y no existe una línea base de información al respecto. En este estudio se efectuó una caracterización de la comunidad de fitoplancton del humedal Pisingo, buscando información sobre su potencial como



organismos bioindicadores y su relación con las variables fisicoquímicas durante dos periodos climáticos contrastantes.

Se identificaron en total 44 géneros fitoplanctónicos, siendo las clases predominantes Cyanophyceae, Zygnematophyceae, Bacillariophyceae y Chlorophyceae y los géneros más abundantes *Spirulina*, *Chroococcus*, *Volvox*, *Spirogyra*, *Euglena*, *Closterium* y *Pinnularia* para la temporada de lluvias y *Crucigenia*, *Pinnularia*, *Scenedesmus*, *Centrtractus* y *Volvox* en la temporada seca. Con relación a las variables fisicoquímicas, la conductividad eléctrica, los sólidos totales, fosfatos y oxígeno disuelto, explican el principal gradiente al que respondió la distribución de los géneros según los análisis de correspondencia canónica. A partir de estos datos y de las comunidades registradas se estableció que el humedal Pisingo presenta condiciones propias de la eutrofización. De este trabajo, surgió una herramienta pedagógica que consistió en la elaboración de un atlas virtual del fitoplancton del humedal Pisingo.

**ABSTRACT:**

The Pisingo wetland is located on the grounds of the Botanical Garden, south in the city of Neiva (Huila) in commune 6; It is located on the Matamundo gorge basin and is an urban ecosystem in the middle of a tropical dry forest that has all the hydrobiological communities. So far, thanks to the work carried out within the Botanical Garden, there are several studies on various faunal groups, but hydrobiological communities have not been worked on and there is no information baseline. In this study, a characterization of the phytoplankton community of the Pisingo wetland was carried out, seeking information on their potential as



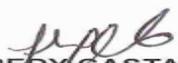
bioindicating organisms and their relationship with physicochemical variables during two contrasting climatic periods.

A total of 44 phytoplanktonic genera were identified, with the predominant classes being Cyanophyceae, Zygnematophyceae, Bacillariophyceae and Chlorophyceae and the most abundant genera *Spirulina*, *Chroococcus*, *Volvox*, *Spirogyra*, *Euglena*, *Closterium* and *Pinnularia* for the rainy season and *Crucigenia*, *Pinnularia*, *Pinnularia*, *Pinnularia* *Scenedesmus*, *Pinnularia*, and *Volvox* in the dry season. Regarding the physicochemical variables, the electrical conductivity, the total solids, phosphates and dissolved oxygen, they explain the main gradient to which the distribution of the genera responded according to the canonical correspondence analysis. Based on these data and the registered communities, it was established that the Pisingo wetland has conditions of eutrophication. From this work, a pedagogical tool emerged that consisted in the development of a virtual atlas of the phytoplankton of the Pisingo wetland.

#### APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Jhon Fredy Castañeda Gómez

Firma:

  
JHON FREDY CASTAÑEDA GÓMEZ

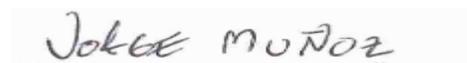
Nombre Jurado: Ángela Goretty García Gómez

Firma:

  
ÁNGELA GORETTY GARCÍA G.

Nombre Jurado: Jorge Leonardo Muñoz Yustres

Firma:

  
JORGE LEONARDO MUÑOZ Y.

VARIACIÓN ESTACIONAL EN LA DIVERSIDAD Y COMPOSICIÓN DE LOS  
GÉNEROS DE FITOPLANCTON PRESENTES EN EL HUMEDAL PISINGO, NEIVA-  
HUILA

GONZALO REYES TORRES  
PABLO EMILIO JACANAMIJOY CHASOY

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE EDUCACIÓN  
LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES: FÍSICA, QUÍMICA Y  
BIOLOGÍA  
NEIVA- HUILA  
2019

VARIACIÓN ESTACIONAL EN LA DIVERSIDAD Y COMPOSICIÓN DE LOS  
GÉNEROS DE FITOPLANCTON PRESENTES EN EL HUMEDAL PISINGO, NEIVA-  
HUILA

Línea de investigación: LIMNOLOGÍA

Alumno: GONZALO REYES TORRES

PABLO EMILIO JACANAMIJOY CHASOY

Directora: PAULA MARTÍNEZ SILVA

MSc Bióloga Universidad Nacional de Colombia

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE EDUCACIÓN

LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES: FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLOGÍA

NEIVA- HUILA

2019

### **Agradecimientos**

- A Dios Todopoderoso por regalarnos la vida y cada día de trabajo para la realización de esta tesis de pregrado.
- A las familias Reyes Torres y Jacanamijoy Chasoy por estar siempre brindándonos su apoyo incondicional, les agradecemos con creces.
- A la profesora y directora de este trabajo Paula Martínez Silva (MSc), por brindarnos su conocimiento y apoyo técnico en la caracterización de los géneros fitoplanctónicos, redacción del documento, trabajo de campo y en sus invaluable recomendaciones.
- Al ingeniero ambiental Jorge Leonardo Muñoz Yustres, por dedicar parte de su tiempo en la verificación taxonómica y su apoyo técnico.
- Al personal encargado del Jardín Botánico de Neiva, por permitirnos el espacio y el tiempo para acceder a ese maravilloso lugar. Agradecimiento especial al Licenciado Erick Camilo Gaitán López por aconsejarnos y acompañarnos en el estudio de campo en el humedal Pisingo.
- Al personal del laboratorio de Biología, en especial al profesor Wilson Rodrigo Cruz Flor, por brindarnos el espacio y las herramientas técnicas para realizar nuestra tesis.
- A todos los amigos de la Licenciatura en Ciencias Naturales: Física, Química y Biología, que de una u otra forma nos motivaron a seguir adelante en este proyecto.

## Tabla de contenido

1. Introducción .....	1
2. Planteamiento del problema.....	4
3. Planteamiento de la pregunta de investigación .....	4
4. Antecedentes .....	5
4.1 Caracterización fitoplanctónica en Latinoamérica y el Caribe .....	5
4.2 Estudios de caracterización fitoplanctónica en Suramérica .....	6
4.3 El fitoplancton en ecosistemas acuáticos colombianos.....	8
4.4 Estudios fitoplanctónicos en el departamento del Huila .....	11
4.4.1 Sistemas lenticos .....	11
4.4.2 Sistemas loticos.....	12
4.4.3 Hallazgos de Fitoplancton sobre patrimonio arqueológico.....	12
5. Justificación .....	13
6. Marco teórico.....	15
6.1 El fitoplancton.....	15
6.2 Características citológicas del fitoplancton.....	16
6.3 Ciclos de reproducción .....	16
6.4 Divisiones fitoplanctónicas más representativas en ecosistemas acuáticos .....	16
6.4.1 Bacillariophyta.....	16
6.4.2 Chlorophyta.....	17
6.4.3 Cyanophyta .....	17
6.4.4 Euglenophyta .....	18
6.4.5 Dynophyta.....	19
6.5 Grupos funcionales del fitoplancton .....	20
6.6 Indicadores de biodiversidad .....	22
6.6.1 Índice de Margalef.....	22
6.6.2 Índice de Shannon- Weiner.....	22
6.6.3 Índice de uniformidad de Pieulou .....	23
6.7 Estado trófico .....	23
6.7.1 Índice compuesto de Thunmark y Nygaard .....	23
6.8 Los Humedales.....	24
6.9 Tipos de humedales.....	25
6.10 Funciones y servicios ecosistémicos de los humedales .....	25
6.11 La Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971).....	26
6.12 Humedales colombianos .....	26
7. Objetivos .....	28

7.1	Objetivo general.....	28
7.2	Objetivos específicos .....	28
8.	Metodología .....	29
8.1	Ubicación de la zona de estudio.....	29
8.2	Sitios de muestreo .....	30
8.3	Periodo climático de estudio.....	31
8.4	Etiquetado de muestras .....	32
8.5	Fase de campo.....	32
8.5.1	Variables fisicoquímicas .....	32
8.5.1	Muestreo del fitoplancton .....	32
8.6	Fase de laboratorio.....	33
8.6.1	Variables fisicoquímicas .....	33
8.6.2	Cuantificación del fitoplancton en cámara de conteo Sedgewick-Rafter.....	34
8.6.3	Identificación del fitoplancton por medio de claves taxonómicas. ....	34
8.7	Fase de análisis .....	34
8.7.1	Variables fisicoquímicas.....	34
8.7.2	Comunidades del fitoplancton. ....	34
8.7.3	Índices ecológicos y trófico. ....	35
9.	Resultados.....	36
9.1	Parámetros fisicoquímicos.....	36
9.2	Comunidades fitoplanctónicas .....	38
9.2.1	Composición y abundancia .....	38
9.2.2	Índices de riqueza, diversidad y equidad. ....	43
9.2.3	Distribución espacial y temporal del fitoplancton .....	44
9.2.4	Influencia de las variables fisicoquímicas con respecto al fitoplancton. ....	45
9.2.5	Géneros fitoplanctónicos y sus procesos bioindicadores. ....	47
9.2.6	Géneros formadores de blooms algales.....	48
9.3	Aplicación móvil.....	49
10.	Discusión de resultados.....	50
10.1	Variables fisicoquímicas del agua.....	50
10.2	Composición de las comunidades del fitoplancton.....	52
10.3	El fitoplancton como bioindicador.....	56
11.	Conclusiones .....	60
12.	Recomendaciones .....	62
13.	Referencias.....	63
14.	Infografía.....	71

## Índice de figuras

Figura 1. Diversidad taxonómica y de tamaño en una muestra de fitoplancton. <i>Ceratium</i> , C; <i>Peridinium</i> , P; <i>Anabaena</i> , A .....	15
Figura 2. Diversidad morfológica de las diatomeas.....	17
Figura 3. Filamentos del género <i>Anabaena</i> .....	18
Figura 4. Diagrama de una <i>Euglena</i> .....	19
Figura 5. Dibujo de simetrías de las placas de los dinoflagelados. <i>Peridinium</i> y <i>Ceratium</i> ...20	
Figura 6. Sitios de Ramsar de Colombia.....	26
Figura 7. Ubicación a escala del municipio de Neiva en el departamento del Huila.....	29
Figura 8. Ubicación del Parque Jardín Botánico de Neiva, en la comuna 6.....	30
Figura 9. Puntos de muestreo en el Humedal Pisingo.....	30
Figura 10. Promedio de las precipitaciones anuales mensuales de los años 2010 hasta 2017, reportados por la estación meteorológica apto Benito Salas, en la ciudad de Neiva-Huila.....	31
Figura 11. Red fitoplanctónica de tamaño de poro de 25 $\mu\text{m}$ .....	33
Figura 12. Análisis de los componentes principales de las variables fisicoquímicas del humedal Pisingo. Se visualizan 4 sitios por cada momento hidrobiológico, diferenciados por L y S que significan lluvia y sequía respectivamente.....	37
Figura 13. Porcentajes de abundancia de las clases fitoplanctónicas más representativas durante los dos momentos hidrobiológicos de estudio y riqueza de las clases fitoplanctónicas.....	39
Figura 14. Algunos géneros fitoplanctónicos de la época de sequía presentes en el humedal Pisingo.....	41
Figura 15. Algunos géneros fitoplanctónicos de la época de sequía presentes en el humedal Pisingo.....	42
Figura 16. Índices de diversidad biológica de Shannon, Margalef y Pielou.....	43
Figura 17. Análisis multidimensional no métrico para las dos temporadas climáticas en el humedal Pisingo.....	44
Figura 18. Análisis de correspondencia canónica de los sitios de muestreo, las variables fisicoquímicas y los géneros del fitoplancton durante la época lluviosa.....	45

Figura 19. Análisis de correspondencia canónica de los sitios de muestreo, las variables fisicoquímicas y los géneros del fitoplancton durante la época seca.....	46
---	----

### Índice de tablas

Tabla 1. Geo posicionamiento de los puntos de muestreo.....	31
Tabla 2. Ficha para el etiquetado de las muestras.....	32
Tabla 3. Variables fisicoquímicas analizadas en el humedal Pisingo.....	34
Tabla 4. Resultados de las variables fisicoquímicas en el humedal Pisingo... ..	36
Tabla 5. Géneros fitoplanctónicos encontrados en el humedal Pisingo.....	40
Tabla 6. Índices de estado trófico del humedal Pisingo.....	47
Tabla 7. Procesos bioindicados por los géneros fitoplanctónicos en el humedal Pisingo.....	48

## Resumen

El humedal Pisingo, se ubica en los predios del Jardín Botánico, al sur en la ciudad de Neiva (Huila) en la comuna 6; se encuentra sobre la cuenca de la quebrada Matamundo y es un ecosistema urbano en medio de un bosque seco tropical que cuenta con todas las comunidades hidrobiológicas. Hasta el momento gracias a las labores que se desarrollan dentro del Jardín Botánico, existen varios estudios sobre diversos grupos faunísticos, pero no se han trabajado las comunidades hidrobiológicas y no existe una línea base de información al respecto. En este estudio se efectuó una caracterización de la comunidad de fitoplancton del humedal Pisingo, buscando información sobre su potencial como organismos bioindicadores y su relación con las variables fisicoquímicas durante dos periodos climáticos contrastantes.

Se identificaron en total 44 géneros fitoplanctónicos, siendo las clases predominantes Cyanophyceae, Zygnematomyceae, Bacillariophyceae y Chlorophyceae y los géneros más abundantes *Spirulina*, *Chroococcus*, *Volvox*, *Spirogyra*, *Euglena*, *Closterium* y *Pinnularia* para la temporada de lluvias y *Crucigenia*, *Pinnularia*, *Scenedesmus*, *Centritractus* y *Volvox* en la temporada seca. Con relación a las variables fisicoquímicas, la conductividad eléctrica, los sólidos totales, fosfatos y oxígeno disuelto, explican el principal gradiente al que respondió la distribución de los géneros según los análisis de correspondencia canónica. A partir de estos datos y de las comunidades registradas se estableció que el humedal Pisingo presenta condiciones propias de la eutrofización. De este trabajo, surgió una herramienta pedagógica que consistió en la elaboración de un atlas virtual del fitoplancton del humedal Pisingo.

**Palabras claves:** Fitoplancton, diversidad biológica, bioindicación, parámetros fisicoquímicos.

### Abstract

The Pisingo wetland is located on the grounds of the Botanical Garden, south in the city of Neiva (Huila) in commune 6; It is located on the Matamundo gorge basin and is an urban ecosystem in the middle of a tropical dry forest that has all the hydrobiological communities. So far, thanks to the work carried out within the Botanical Garden, there are several studies on various faunal groups, but hydrobiological communities have not been worked on and there is no information baseline. In this study, a characterization of the phytoplankton community of the Pisingo wetland was carried out, seeking information on their potential as bioindicating organisms and their relationship with physicochemical variables during two contrasting climatic periods.

A total of 44 phytoplanktonic genera were identified, with the predominant classes being Cyanophyceae, Zygnematophyceae, Bacillariophyceae and Chlorophyceae and the most abundant genera *Spirulina*, *Chroococcus*, *Volvox*, *Spirogyra*, *Euglena*, *Closterium* and *Pinnularia* for the rainy season and *Crucigenia*, *Pinnularia*, *Pinnularia*, *Pinnularia*, *Scenedesmus*, *Pinnularia*, and *Volvox* in the dry season. Regarding the physicochemical variables, the electrical conductivity, the total solids, phosphates and dissolved oxygen, they explain the main gradient to which the distribution of the genera responded according to the canonical correspondence analysis. Based on these data and the registered communities, it was established that the Pisingo wetland has conditions of eutrophication. From this work, a pedagogical tool emerged that consisted in the development of a virtual atlas of the phytoplankton of the Pisingo wetland.

**Keywords:** Phytoplankton, biological diversity, bioindication and physicochemical parameters.

## 1. Introducción

La convención sobre los humedales es un tratado intergubernamental aprobado en 1971, que enfoca sus esfuerzos a la conservación y el uso sostenible de los humedales, así como la conservación de los recursos hídricos. Esta última premisa de carácter conservacionista del agua, se ha articulado con la creación de informes que proporcionan un mecanismo para dar seguimiento a los cambios en los recursos y en su gestión y como parámetro de medida en el avance hacia diversos objetivos, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en donde el agua se convierte en un elemento transversal, ya que el acceso al agua potable y al saneamiento son elementos indispensables para el logro de todos los objetivos, como erradicar la pobreza, combatir el hambre y mejorar la salud.

Aunque desde 1997 Colombia hace parte de esta convención, los humedales en el territorio colombiano han sido considerados como áreas baldías, sin valor ecológico o ambiental y por lo tanto destinados a actividades productivas (Mosquera y Peña, 2012). No obstante, debido a la creciente demanda del agua y a la necesidad de contar con espacios para la conservación de la biodiversidad, los humedales han venido tomando una mayor importancia para las comunidades debido a los múltiples servicios ecosistémicos que brindan, gracias a recursos y procesos naturales que benefician a los humanos y al ambiente tales como la depuración de desechos en cuerpos hídricos, la regulación del ciclo hidrológico, la retención de sedimentos y nutrientes, la descomposición de biomasa, el control de la erosión, la estabilización microclimática y la presencia de refugios para la vida silvestre (Ricaurte et al., 2015; Mosquera y Peña, 2012). Además, proveen servicios sociales y productivos como la recreación, la pesca artesanal, la acuicultura, y actividades turísticas.

Actualmente los humedales constituyen un centro crítico de atención para las instituciones y profesionales ya que urge profundizar y ampliar el conocimiento que se

tienen sobre ellos. La constante intervención antrópica altera las dinámicas de los humedales y repercuten en las comunidades biológicas dependientes de estos ecosistemas. Este panorama se ha convertido en un enorme problema y ha motivado a crear nuevos principios metodológicos para la evaluación y monitoreo de los humedales como un recurso de enorme valor ecológico, económico y social.

La contaminación de un humedal se puede reflejar en las comunidades biológicas que lo componen. Un constituyente natural de los cuerpos hídricos son los macroinvertebrados, que son organismos de un tamaño entre  $250\text{-}300\mu\text{m}$  y constituyen el grupo dominante en ríos, siendo indicadores de alteraciones del ecosistema, debido a sus cortos ciclos de vida y a sus exigencias de nutrientes que se relacionan con los niveles de contaminación (Mosquera y Peña, 2012). Dentro de las comunidades de productores primarios que subsisten en los ecosistemas acuáticos se encuentran las macrófitas, que son útiles para la detección y seguimiento de variables fisicoquímicas (Mosquera y Peña, 2012) y las comunidades del fitoplancton.

El fitoplancton, es el principal productor primario dentro de las cadenas tróficas acuáticas, además es un indicador biológico que se relaciona directamente con la contaminación orgánica y las presiones hidromorfológicas que determinan cambios en las tasas de renovación del agua (Bellinger y Sigeo, 2010).

En este contexto, el desarrollo de un proyecto de investigación en el Jardín Botánico de Neiva, ubicado en las coordenadas, latitud  $2^{\circ} 53' 57.7206''$  y longitud  $-75^{\circ} 16' 13.2162''$ , propiciara la información para entender la variabilidad de las comunidades del fitoplancton en función de los periodos climáticos contrastantes, en este ecosistema tan importante para la ciudad de Neiva.

Con base a los resultados obtenidos de la caracterización de los géneros del fitoplancton en el humedal Pisingo, se espera obtener una visión más holística de las

dinámicas que experimenta el fitoplancton a través de las temporadas climáticas, su relación con los cambios de las variables fisicoquímicas del agua y obtener un estado general de la calidad del humedal al utilizar la capacidad bioindicadora del fitoplancton.

Por último, debido a que la Universidad Surcolombiana está dirigida a generar proyectos ambientales enmarcados en la conservación del agua y en la biodiversidad, se espera que la socialización de los resultados, genere un impacto positivo en los estudiantes del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad Surcolombiana y en el personal encargado del Jardín Botánico de Neiva, hacia la generación de nuevas investigaciones en este campo en los cuerpos hídricos del Huila.

## **2. Planteamiento del problema**

Los humedales urbanos, surgen como un nuevo paradigma en el contexto de la ecología y su relación con las grandes ciudades como Neiva. Estos ecosistemas acuáticos en gran medida se consideran zonas baldías y a menudo son vistos como obstáculos para el desarrollo de ciudades. El humedal Pisingo, se ubica en las coordenadas latitud  $2^{\circ} 53' 57.7206''$  y longitud  $-75^{\circ} 16' 13.2162''$ , en el parque Jardín Botánico de Neiva y posee las características de un humedal urbano ya que es un ecosistema fuertemente transformado, rodeado por una matriz urbana que aún presenta comunidades acuáticas de macroinvertebrados, peces, moluscos, macrófitas, zooplancton, perifiton y fitoplancton (Olaya, 2017; Roldan 1992).

Las comunidades acuáticas de los humedales dependen en gran medida del fitoplancton, que es el principal productor primario y están reguladas por factores externos como los aportes de nutrientes, que se reflejan en el estado trófico del ecosistema (Pulido, 2015). En el humedal Pisingo, la eutrofización es un proceso originado por el incremento de nutrientes y se encuentra influenciado por la producción de materia orgánica autóctona del humedal, lo cual favorece el desarrollo del fitoplancton.

Actualmente no existen estudios relacionados en la caracterización fitoplanctónica en este humedal y por tanto se ignora este aspecto limnológico esencial para el desarrollo de las dinámicas ecológicas y para la elaboración de un Plan de Manejo Ambiental del humedal Pisingo. Además, se desconoce como las comunidades del fitoplancton fluctúan a través de los periodos climáticos.

## **3. Planteamiento de la pregunta de investigación**

¿Cuál es la composición de la comunidad de fitoplancton del humedal Pisingo y de qué forma varía en dos periodos climáticos?

## 4. Antecedentes

### 4.1 Caracterización fitoplanctónica en Latinoamérica y el Caribe

En México, la caracterización de las comunidades fitoplanctónicas en los sistemas acuáticos, ha abarcado zonas de gran importancia como sus ambientes marinos y cuerpos de agua dulce. Regiones como la península de Yucatán, la Bahía de Acapulco y sistemas de cenotes, canales y lagunas son los más publicados a la hora de la caracterización fitoplanctónica, en donde se reporta a través del seguimiento y el estudio durante las temporadas de lluvias, la gran diversidad de microalgas (Silvia et al., 2007). Un factor a resaltar son los altos índices de ocurrencia de las especies *Microcystis aeruginosa*, *Chlorella vulgaris*, *Synedra ulna*, *Dictyosphaerium pulchellum* y *Microcystis protocystis*, además, las divisiones Bacillariophyta y Dynophyta se reportan como dominantes para los sistemas de aguas saladas (Silvia et al., 2007; Okolodkov y Blanco, 2011).

Otro aspecto importante en la investigación del fitoplancton se dio en los 4,054 km de la zona costera de México, donde se identificó y ubico por georreferenciación, 47 órdenes de la flora fitoplanctónica con más de 1214 especies, con 8 especies exclusivas de la región y varias con potencialidad tóxica (Meave del Castillo y Ramos, 2017).

En sistemas lagunares como los de Baja California y el sistema lagunar Santa María-Topolobambo-Ohuira, para entender la dinámica, distribución y biodiversidad, se trabajó el enfoque de los grupos funcionales del fitoplancton, obteniéndose relaciones entre las estrategias fisiológicas de una especie para sobrevivir y explotar ambientes (Ayala, 2008). Algunas de estas estrategias aplican para las divisiones Chlorophyta, Bacillariophyta y las floraciones algales nocivas que se distinguen por estar presentes en aguas turbias con gran cantidad de materia orgánica (López, Tavera y Novelo, 2015; Ayala, 2008).

En la región Caribeña, también se presentan estudios fitoplanctónicos de caracterización en Puerto Rico, donde se reporta que la comunidad de la Bahía de Mayagüez, presenta abundancias de las divisiones Bacillariophyta y Dynophyta. Los géneros más abundantes fueron *Asterionella*, *Guinardia*, *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Cylindrotheca*, *Alexandrium*, *Rhizosolenia*, *Ceratium*, *Gonyaulax* y *Protoperdinium* (Tapia-Larios, 2008). En Cuba, en la región de la Bahía de San Fuego, donde la salinidad oscila entre 32.7 y 36.6 ups, con temperaturas de 31°C, se identificaron 33 géneros de Bacillariophyta, 17 de Dynophyta, 2 de Cyanophyta y 1 de Cryptophyta, siendo las especies dominantes *Thalassiosira sp*, *Cyclotella sp*, *Thalassionema nitzschioides* y *Prorocentrum micans* (Moreira et al., 2007).

#### **4.2 Estudios de caracterización fitoplanctónica en Suramérica**

Rodríguez et al., (2010) en su estudio sobre comunidades del fitoplancton en Venezuela, indicó que la densidad poblacional en la isla Tortuga es de 25000 Cel/L, identificando 54 especies, con abundancia en la división Bacillariophyta (*Navicula sp*, *Nitzschia sp* y *Hemiaulus sinensis*) y dinoflagelados. Estas mismas divisiones se encuentran también en términos de mayor dominancia en el Golfo de Cariaco, tal como lo evidencia La Barbera, Gamboa y Senior (1999) que lo asocian a los altos índices de nutrientes nitrogenados, fosfatos y oxígeno disueltos en los cuerpos de agua.

En la Cocha Llanchara ubicada en el río Nanay, Loreto-Perú, se analizaron parámetros como la densidad poblacional y diversidad del fitoplancton en periodos hidrológicos cambiantes, permitiendo caracterizar la población fitoplanctónica, representada por 54 géneros, donde las mayores riquezas estuvieron influenciadas por las bajas conductividades eléctricas y corresponden para las divisiones Chlorophyta, Zygothryx, Bacillariophyta, Cyanophyta, Euglenophyta y Dynophyta (López y Vela, 2011). También en la Bahía de Independencia y en la Bahía de Sechura, se caracterizó la

población de fitoplancton, registrándose dominancia de las diatomeas y dinoflagelados, que se correlacionaron a las óptimas temperaturas (15,4 a 17,2°C) superficiales del mar para estas divisiones (Montes, Galves y Rivera, 2005; Ochoa y Tarazona, 2003).

Guamán y González (2016) con el fin de reconocer la distribución y la predominancia de las microalgas en áreas protegidas del Ecuador, elaboraron el catálogo de microalgas y cianobacterias del Ecuador, donde reportaron gran variedad de especies pertenecientes a las divisiones Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Glaucophyta, Ocrophyta, Cyanophyta, Dynophyta y Euglenophyta, que se encontraron bajo condiciones de pH entre 8-9, temperaturas de 11-14 °C, buenas condiciones de radiación solar y alta conductividad eléctrica.

En Chile, también se estudió la abundancia y distribución temporal del fitoplancton en canales, fiordos y embalses de las regiones del estrecho de Magallanes, Puerto Montt, Golfo del Concorvado y el estero Elefantes, donde se obtuvieron patrones de abundancia pertenecientes a las divisiones Chlorophyta, Bacillariophyta y Dynophyta, con presencia de floraciones nocivas que se deben a la baja salinidad y a elevadas concentraciones de fosfatos (Avaria, 2006).

En los embalses Cabra, Corral y el Tunal de la cuenca del Juramento en Argentina, los cuales poseen mayor tenor salino, altas concentraciones de sólidos en suspensión y elevados niveles de nitrógeno, se han realizado estudios poblacionales del fitoplancton durante varios años de muestreo (1998-2001), obteniéndose inventarios algales que reportan en promedio 320 especies, siendo las divisiones más diversas Cyanophyta (64 especies), Chlorophyta (116 especies) y Bacillariophyta (112 especies), con dominancia en las especies de diatomeas como *Aulacoseira granulata* durante las épocas invernales (Salusso y Moraña, 2014). También, Mirande et al., (2009) y González (2013) evidenciaron en sus estudios descriptivos de la flora fitoplanctónica en la Tierra del Fuego

estos mismos grupos de dominancia, pero con menor diversidad de taxones del fitoplancton.

En Uruguay en su principal sistema lotico, el río Negro, se han realizado estudios de caracterización del fitoplancton en zonas de los embalses Rincón de Bonete, Baygorria y Palmar. En estos ambientes los análisis de fitoplancton evidencian una mayor abundancia de las divisiones Chlorophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Cyanophyta y Chrysophyta, siendo los géneros de las diatomeas céntricas *Aulacoseira* y *Microcystis* los de mayor presencia (Pérez, 2002). También De León y Chalar (2003) en su estudio fitoplanctónico en el embalse de Santo Grande, el cual presenta altas concentración de sólidos suspendidos, fosfatos y fósforo total en invierno, reportaron 187 especies correspondientes a las Divisiones Chlorophyta (105), Bacillariophyta (25), Euglenophyta (21), Cyanophyta (20), Chrysophyta (7), Dynophyta (4) y Cryptophyta (3).

#### **4.3 El fitoplancton en ecosistemas acuáticos colombianos**

Para Colombia se reportan estudios en las diferentes Ecorregiones estratégicas e hidrográficas, a continuación, se mencionan algunos de los reportes desarrollados al respecto.

En la Ecorregión Andina, estudios de caracterización fitoplanctónica para el altiplano Cundiboyacense, donde las condiciones limnológicas corresponden a concentraciones de oxígeno entre 1,2 y 7 mg/L, temperaturas entre 16 y 22°C y concentraciones de nitratos y nitritos de 0,3 mg/L, sobresalen la presencia de las divisiones fitoplanctónicas de Cyanophyta, Bacillariophyceae, Euglenophyta y Chlorophyta, con dominancia de los géneros *Scenedesmus* y *Microcystis* (Vásquez, Ariza y Pinilla, 2006; Donato, 1991). En los cuerpos hídricos de la región del Chicamocha se registran de acuerdo a las temporadas de sequía, abundancia de las divisiones Euglenophyta y Chlorophyta, que proliferan cuando se registran mayores concentraciones

de oxígeno disuelto, baja transparencia, conductividades eléctricas altas y baja concentración de fósforo (Rodríguez y Aranguren, 2014). También la Sierra Nevada del Cocuy presenta dominancia en las divisiones Cyanophyta, Chlorophyta y Chrysophyta, debido a que estos ambientes presentan, temperaturas inferiores a 20 °C y valores de saturación de oxígeno inferiores a 7mg/L (Barbero et al., 2011).

En Bogotá los análisis cuantitativos del fitoplancton en humedales, evidencian condiciones de alta concentración de materia orgánica, ideales para la abundancia de especies fitoplanctónicas. En el humedal Salitre, los valores del nitrógeno total, nitratos y fosfatos mostraron un aumento significativo que favoreció la dominancia de las divisiones Zygnematophyta y Chlorophyta (Pulido, 2015). En los humedales Juan Amarillo, Santa María y el embalse San Rafael, se encontró en mayor proporción las divisiones Chlorophyta, Dynophyta y Euglenophyta (Rodríguez, 2012). También en el humedal Jaboque determinaron las diatomeas perifíticas, obteniendo un total de 96.173 especies, siendo *Achnanthes hungarica* la especie dominante y los géneros *Nitzschia*, *Gomphonema* y *Pinnularia* los más ampliamente distribuidos y con mayor riqueza (Mejía, 2011).

La región del Magdalena medio al ser una zona hidrológica importante para el país, presenta estudios donde se exhiben abundancias en las divisiones Chlorophyta, Myxophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta (Pedraza, Márquez y García, 1984; Montoya y Aguirre, 2009). También en el departamento del Meta, se presenta mayor distribución de las divisiones Bacillariophyta, Chlorophyta, Euglenophyta y Cyanophyta, debido a que los cuerpos hídricos poseen características de pH ácido y bajas concentraciones de iones y nutrientes (Rivera et al., 2009; Moreno et al., 2016).

En el Tolima, CORTOLIMA (2007), en el proyecto de caracterización del plancton en los humedales urbanos del municipio de Anzotegui, Santa Isabel y las

Piedras, se colectó un total de 1095 organismos distribuidos en 5 clases y 22 géneros, donde las divisiones más abundantes fueron Bacillariophyta y Chlorophyta y las menores Dynophyta y Euglenophyta, siendo los géneros *Tabellaria*, *Nitzschia*, y *Microspora* los de mayor riqueza, mientras *Spirulina*, *Ankistrodesmus*, *Euglena*, *Eudorina*, *Gomphonema* y *Oocystis*, los que menor número de organismos presentaron.

En la Ecorregión del Caribe, la presencia de aguas de lastres que arriban a puertos, ha centrado parte del estudio del fitoplancton en caracterizar las floraciones algales nocivas en la Bahía de Cartagena (Dimar-CIOH, 2011). Mancera, Gavio y Arencibia, (2009) reportaron diatomeas tóxicas como *Leptocylindrus sp* y *Chaetoceros concavicornis*, las cuales se relacionan debido a los altos valores de nutrientes inorgánicos disueltos, como lo son el nitrógeno y el fósforo.

En la región de la Amazonia, se han tipificado humedales en la cuenca del río Ortegoza y lagunas que pertenecen al piedemonte Caquetense con inmediaciones al Putumayo, sector que se denomina eje PAT. Estos ambientes que poseen características de alta mineralización, buena transparencia, altos niveles de nitrógeno y fósforo, arrojaron una mayor riqueza de las clases Bacillariophyceae, Dinophyceae, Chlorophyceae, Euglenophyceae, Cyanophyceae y Zygothryxaceae. (Núñez et al., 2006; Ricaurte et al., 2015, Duque y Núñez, 1998, 2000).

Todos estos estudios han permitido concluir que, debido a la vasta extensión de la región amazónica, los niveles de biodiversidad fitoplanctónica presenta valores bajos, que se ordenan de manera decreciente así: Amazonas > Putumayo > Caquetá (Duque y Núñez, 1998).

#### 4.4 Estudios fitoplanctónicos en el departamento del Huila

**4.4.1 Sistemas lenticos.** En 1987 cuando entra en operación la hidroeléctrica Betania, Duque y Donato (1988) reportaron 110 especies, de las cuales 16 eran nuevas para Colombia. Con respecto a la abundancia de las comunidades del fitoplancton, se evidencia un aumento en las divisiones Bacillariophyta, Chlorophyta, Euglenophyta y Cyanophyta, producto del poco cambio de renovación de las aguas en el embalse, (Duque y Donato, 1998).

Estudios más recientes en el embalse de Betania, revalidaron que las clases más abundantes del fitoplancton fueron Bacillariophyta, Dynophyta, Conjugatophyta, Chlorophyta, Euglenophyta y Cyanophyta, con predominancia de las especies *Synedra ulna*, *Ceratium sp*, *Melosira granulata*, *Fragilaria sp* y *Staurastrum sp* (Martínez, Delgado y Muñoz, 2016; Pastrana, 2013; Martínez, 2015). Estas especies en su gran mayoría son responsables de una tendencia clara de la represa a un proceso de eutrofización, que además se incrementa con el aumento de la entrada de materia orgánica proveniente de la represa el Quimbo y repercute en el aumento de las comunidades fitoplanctónicas y de algunas especies (*Ceratium sp*, *Anabaena sp* y *Microcystis sp*) productoras de toxinas perjudiciales para los peces (Martínez, Delgado y Muñoz, 2016).

Otro lugar donde se realizaron estudios fitoplanctónico es en el parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos en el sector de la laguna Encantada. En él, se determinó la composición del fitoplancton, obteniéndose valores de 4102 individuos representados en 33 géneros. Las divisiones más abundantes fueron Bacillariophyta, Chlorophyta, Zygnematophyta, Cyanophyta, con dominancia de los géneros de *Gonatozygon*, *Amphora* y *Pinnularia* (Pinilla, 2010). También Bonilla y Urrego (2010) estudiaron la diversidad de las comunidades del perifiton en los afluentes Las Quebradas, Chanchiras, La Lindosa, Encantada, Quebrada de la Virginidad en la Cueva del Indio y el río Suaza, donde las

divisiones Chrysophyta y Chlorophyta fueron las más abundantes, junto con los géneros *Oscillatoria* y *Synedra*.

**4.4.2 Sistemas loticos.** Otro estudio que se realizó en algunas corrientes menores del Huila fue generado por Olaya, Sánchez, y Brand (2003) donde reportaron que las divisiones fitoplanctónicas dominantes en los ríos Guarapa, Suaza, Bache y en las quebradas Bateas y Garzón fueron Bacillariophyta, Chlorophyta y Cyanophyta; repitiéndose el mismo patrón para la laguna el Juncal.

**4.4.3 Hallazgos de Fitoplancton sobre patrimonio arqueológico.** En el sur del Huila, dentro del marco del programa integral de conservación de la Fuente de Lavapatas en el Parque Arqueológico de San Agustín, se determinó que el componente algal se encuentra representado por las divisiones Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyta y Euglenophyta, siendo los géneros más representativos *Spirogyra*, *Gomphonema*, *Cymbella*, *Navícula*, *Pinnularia*, *Nitzschia*, *Microcystis*, *Anabaena* y *Oscillatoria*, los cuales presentan adhesión al sustrato de la roca del Lavapatas (Villalba y Malagón, 2011).

## 5. Justificación

El parque Jardín Botánico de Neiva, dentro de su extensión de 20 hectáreas, cuenta con dos reservorios de agua importantes: el humedal Pisingo y la laguna Ibis (Olaya, 2007). Estos ecosistemas que proveen un amplio régimen de servicios ecosistémicos, como la depuración de sustancias, retención de sedimentos, control climático y bienes socioculturales, poseen una gran biodiversidad de comunidades, entre las que sobresalen los invertebrados acuáticos, peces, crustáceos, avifauna asociada y plantas acuáticas como el Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), Barbasco (*Polygonum punctatum*), Cortadera (*Carex sp*), Flor de loto (*Nymphae elegans*), Helecho de agua (*Azolla filiculoides*), Trébol de agua (*Marsilia quadrifolia*) y Junco (*Schoenoplectus californicus*) (Olaya, 2017).

Esta gran diversidad vegetal, permite indicar que la carga orgánica autóctona del humedal es producto de la eutrofización del hábitat. Esta condición altera las características del ecosistema, generando una biodiversidad reducida y puede ser monitoreada mediante la presencia de organismos bioindicadores. Los macroinvertebrados son organismos que indican alteraciones del medio debido a sus cortos ciclos de vida y sus exigencias de nutrientes (Mosquera y Peña, 2012). También, las macrófitas son útiles para la detección y seguimiento de variables fisicoquímicas (Mosquera y Peña, 2012) y el fitoplancton como indicador del estado de carga orgánica en el humedal.

El fitoplancton constituye el principal productor primario del cual se benefician los organismos, en especial como alimento del zooplancton, que a su vez interviene en las rutas alimenticias de la ictiofauna. Debido a esta característica es indispensable realizar estudios de caracterización, con base en la importancia de comprender las dinámicas poblaciones del fitoplancton durante los periodos climáticos contrastantes, ya

que un aumento o disminución de estas especies involucra directamente al ecosistema. Además, se vuelve preponderante reconocer las fluctuaciones en las variables fisicoquímicas que condicionan la distribución del fitoplancton. A si mismo este estudio fitoplanctónico permite establecer un estado general de la calidad del agua, debido al carácter de indicador biológico e implementa información sobre la presencia de géneros productores de floraciones algales, que pueden afectar el estado del humedal.

Por otra parte, esta investigación brinda de manera significativa a nivel departamental y municipal, un soporte científico para las investigaciones fitoplanctónicas y los planes de manejo del humedal Pisingo a futuro. Además, permite dar a conocer este aspecto de la biodiversidad en el programa de Ciencias Naturales y Educación Ambiental (Curso de Química Ambiental) y al personal del Jardín Botánico de Neiva, a través de la socialización de los resultados.

## 6. Marco teórico

### 6.1 El fitoplancton

Son microorganismos protistas unicelulares coloniales o filamentosos con tamaños entre 5-100 $\mu\text{m}$  (Van der Hammen, 2008). Además, son fotosintéticos autótrofos o heterótrofos capaces de sintetizar compuestos mediante la fijación del  $\text{CO}_2$  (Guamán y González, 2016). Se pueden encontrar en todos los ambientes acuáticos, debido a la adaptabilidad que presentan a los diferentes ecosistemas, aun en condiciones extremas (Cerón, 2011). Estos microorganismos constituyen el componente principal en la productividad primaria, convirtiéndolos en las bases de la cadena trófica (CORTOLIMA, 2007). A sí mismo es un indicador potencial de la calidad del agua por la gran diversidad de especies que reaccionan fácilmente a los cambios ambientales (Pulido, 2015).

Una de las características más importantes del fitoplancton es la capacidad de mantenerse en suspensión en las columnas de aguas, con el fin de permanecer en la zona fótica; para ello los organismos fitoplanctónicos desarrollan adaptaciones como la formación de apéndices, filamentos, agrupaciones coloniales, reducción del tamaño, presencia de vacuolas o de flagelos (Pulido, 2015; CORTOLIMA, 2007).

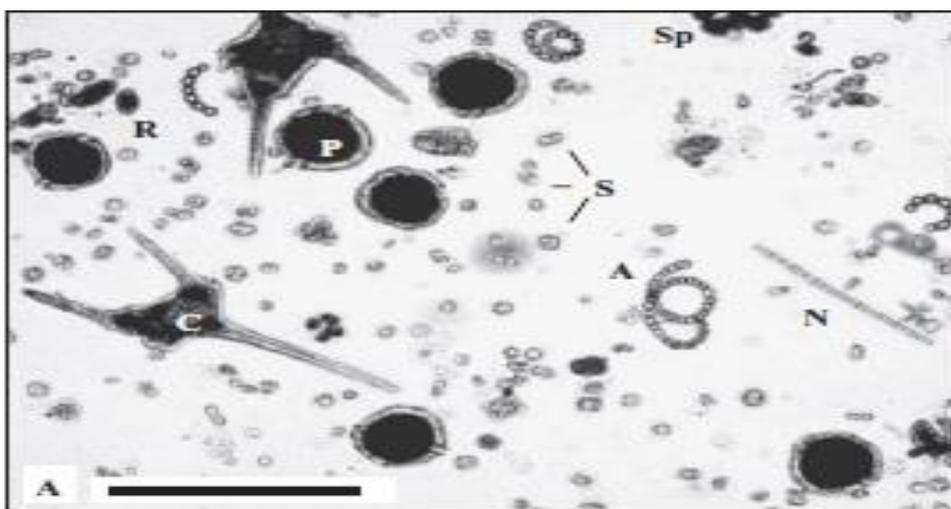


Figura 1. Diversidad taxonómica y de tamaño en una muestra de fitoplancton. *Ceratum*, C; *Peridinium*, P; *Anabaena*, A (Bellinger y Sigee, 2010)

## 6.2 Características citológicas del fitoplancton

Las microalgas eucariotas como las cianobacterias, carecen de organelos con membranas; el resto del fitoplancton eucariótico poseen una pared celular compuesta de una estructura esquelética o fibrilar de celulosa y una matriz amorfa (Guamán y González, 2016).

Según Reynolds (2006) la pigmentación es un aspecto importante, que se deriva de la clorofila que es el color verde de las algas y los carotenoides como el  $\beta$ -caroteno que están presentes en todas las divisiones fitoplanctónicas. No obstante, las ficobilinas se presentan como pigmentos rojos o azules solubles en la membrana celular.

Otra característica sobresaliente son los productos de almacenamientos como los carbohidratos de almidón, sacarosa y trehalosa, con varios glucósidos y manitol (Bellinger y Sigeo, 2010; Guamán y González, 2016).

## 6.3 Ciclos de reproducción

Los ciclos de reproducción del fitoplancton son cortos (15 días), con crecimiento exponencial y pueden ser vegetativos por la división de una sola célula, o por fragmentación de una colonia (Rodríguez y Aranguren, 2014; Romo, 2002). También de manera asexual, la reproducción se da por la producción de esporas móviles y sexualmente por la unión de gametos (Guamán y González, 2016).

## 6.4 Divisiones fitoplanctónicas más representativas en ecosistemas acuáticos

**6.4.1 Bacillariophyta.** Reconocidas como el grupo de las diatomeas. Según López-Osorio, Cañon-Paez y Gracia (2011) son un grupo de microalgas unicelulares y eucariotas que presentan un rango de tamaño entre 50 y 500 $\mu$ m. Son estrictamente autótrofas y presentan pigmentos fotosintéticos como la clorofila *a* y *c*, betacarotenos, fucoxantina y diadinoxantina (Rodríguez, 2012).

Una característica especial de la división Bacillariophyta, es que poseen una pared celular de sílice (dióxido de silicio hidratado) llamada frústula (Rodríguez, 2012; Guamán y González, 2016; Pulido, 2015). Las diatomeas están divididas en dos grupos principales: diatomeas céntricas (simetría radial y planctónicas) y pennadas que se pueden encontrar solitarias o conformando cadenas (Guamán y González, 2016).

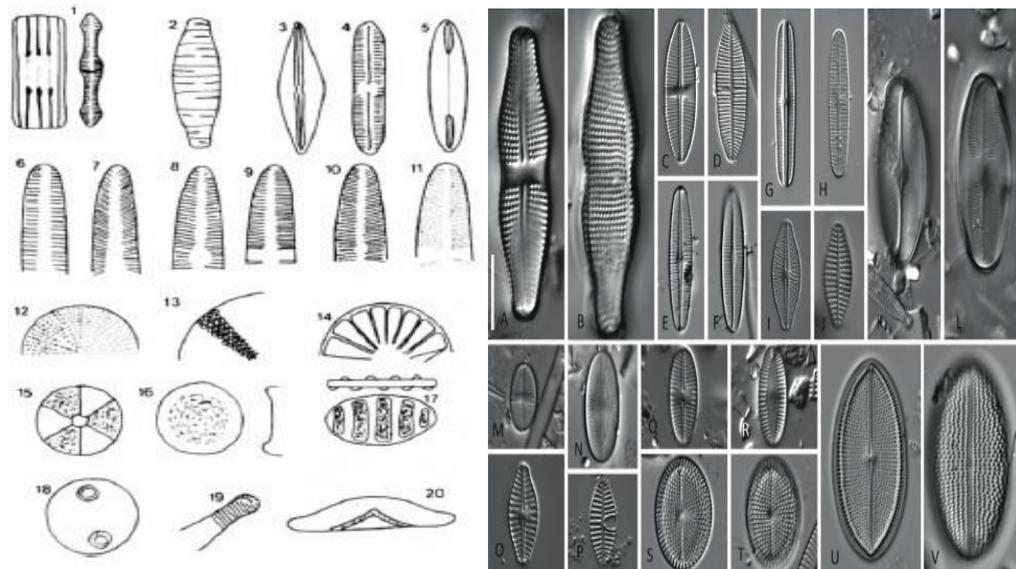


Figura 2. Diversidad morfológica de las diatomeas (Bellinger y Sigeo, 2010; Kociolek, Spaulding y Lowe, 2015)

**6.4.2 Chlorophyta.** Las algas verdes son el grupo más diverso. Existen aproximadamente 7000 especies, de las cuales 800 son marinas; el resto se encuentran en aguas dulces (Guamán y González, 2016).

Son algas unicelulares, pluricelulares o cenocíticas (una gran célula sin tabiques con uno o varios núcleos), que incluye géneros flagelados, cocoides, colonias no móviles y filamentosas (Rodríguez, 2012). Además, esta división fitoplanctónica tiene como principal característica la presencia de clorofila a y b, que es la causa de su color verdoso (Guamán y González, 2016).

**6.4.3 Cyanophyta.** También conocidas como cianobacterias, es el único grupo procarionte de microalgas puesto que carecen de membrana nuclear (Pulido, 2015). Las cianobacterias están presentes unicelularmente o en colonias y presentan pigmentos

fotosintéticos como la clorofila, carotenos como xantofilas y ficocianina que dan la pigmentación de color azulado, por el cual se les conoce como algas verde-azuladas (López-Osorio, Cañon-Paez y Gracia, 2011).

Son predominantes las formas filamentosas y algunas presentan heterocistos y acinetos, que son células especiales cuya forma, número y posición son importantes caracteres taxonómicos, que en particular forman tricomas (Pulido, 2015; Bellinger y Sigeo, 2010).

La reproducción de las cianobacterias se da por división celular, originando fragmentación de colonias o de filamentos y por esporas. Algunas especies de cianobacterias tienen mecanismos químicos (toxinas) y físicos (formando grandes colonias) para evitar su eliminación, lo cual las predisponen a formar afloramientos nocivos algales (Mora, 2011).

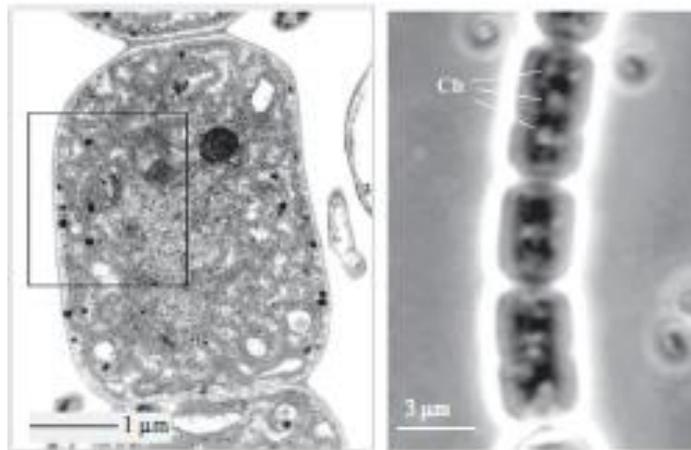


Figura 3. Filamentos del género *Anabaena* (Bellinger y Sigeo, 2010)

**6.4.4 Euglenophyta.** Esta división fitoplanctónica es principalmente de agua dulce e incluye organismos pigmentados y no pigmentados que pueden ser fotoautótrofos o heterótrofos, aunque algunas especies pueden ser saprófagos, por lo que se les considera indicadores de aguas ricas en materia orgánica (Pulido, 2015).

Están rodeadas de un periplasto compuesto por líneas espiraladas de naturaleza proteica y los flagelos poseen un estigma rojo anaranjado basal (Guamán y González, 2016). Generalmente los flagelos están cubiertos por vellosidades y son dos, uno corto que permanece en el interior de la ampolla y el otro sobresale para ayudar a la célula a desplazarse (Parra, 1982, citado por Rodríguez, 2012).

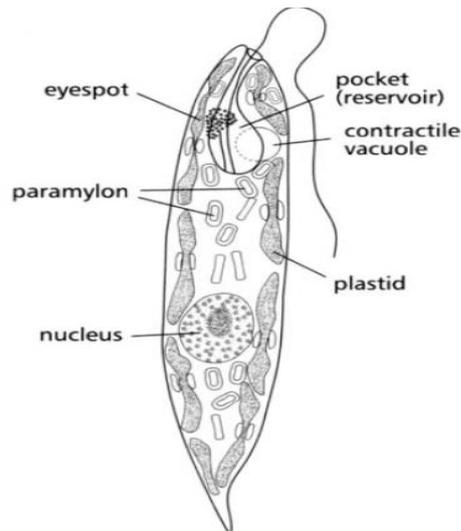


Figura 4. Diagrama de una *Euglena* (Bellinger y Sigeo, 2010)

**6.4.5 Dynophyta.** También denominados dinoflagelados o pirrófitos, son organismos unicelulares que pueden formar agrupaciones en forma de cadenas. Las especies de este grupo están cubiertas por placas de celulosa con ornamentaciones (púas), que son objeto de identificación taxonómica y están provistas de dos flagelos (Pulido, 2015).

Estos flagelos dispuestos transversalmente en un surco longitudinal (sulcus) y otro transversal (annulus), les permiten desplazarse a través de la columna de agua, facilitando la obtención de nutrientes (Guamán y González, 2016; CORTOLIMA, 2007). Algunas especies de esta división se reportan para la formación de floraciones algales (pulido, 2015).

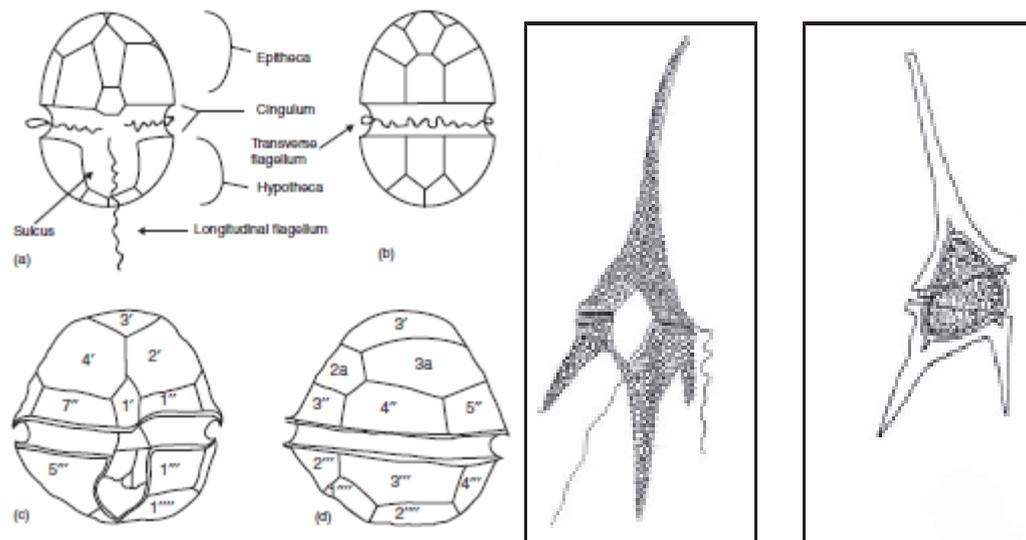


Figura 5. Dibujo de simetrías de las placas de los dinoflagelados. *Peridinium* y *Ceratium* (Bellinger y Sigee, 2010).

## 6.5 Grupos funcionales del fitoplancton

De acuerdo con su morfología, el fitoplancton puede clasificarse en distintos grupos funcionales que relacionan aspectos como la tasa de crecimiento, velocidad de hundimiento, tamaño de la población y biomasa (Pulido, 2015).

**Grupo I. Organismos pequeños con alta relación S/V.** Este grupo incluye géneros de tamaño pequeño y rápido crecimiento, pertenecientes a los taxones Chlorococcales, Chroococcales, Oscillatoriales, Xanthophyceae y Ulothricales (Pulido, 2015). Están adaptados a la adquisición de recursos y a la pérdida rápida de individuos por hundimiento. Pocos de sus miembros tienen impactos negativos en la calidad del agua, aunque algunas cianobacterias pueden producir toxinas (Kruk et al., 2010; Kruk y Segura, 2012).

**Grupo II. Organismos pequeños flagelados con estructuras exoesqueléticas silíceas.** Este grupo contiene sólo representantes de la división Chrysophyta (Pulido, 2015). Estos organismos de pequeño tamaño, poseen bajas tasas de hundimiento debido a la movilidad que presentan. Además, la producción de propágulos resistentes y la

mixotrofia facultativa favorece la abundancia de esta comunidad, al tolerar bajas concentraciones de nutrientes (Kruk et al., 2010).

**Grupo III. Grandes filamentos con aerotopos.** Las especies de este grupo corresponden a los órdenes Nostocales y Oscillatoriales. Son de gran tamaño y crecen lentamente, pero su alta relación A/V, le confiere una mayor tolerancia a la limitación por baja intensidad de luz (Pulido, 2015). Además, la capacidad de algunos organismos de fijar nitrógeno y el potencial de producir propágulos resistentes, les brinda una mayor adaptabilidad en los ecosistemas (Kruk et al., 2010). No obstante, la dominancia por parte de estos organismos puede tener efectos negativos en la calidad del agua, como consecuencia de la alta biomasa alcanzable y el potencial de formar floraciones tóxicas (Kruk et al., 2010).

**Grupo IV. Organismos de tamaño medio que carecen de rasgos especializados.** Este grupo está conformado por los taxones Chlorococcales, Oscillatoriales, Xanthophyta y Zygnematophyta (Pulido, 2015). En general las especies tienen tolerancia a la limitación de recursos y a las tasas de hundimiento, sin embargo, teniendo en cuenta que algunas de las especies tienen tamaño pequeño y son de alta calidad como alimento, son susceptibles a altas pérdidas por pastoreo (Kruk et al., 2010).

**Grupo V. Flagelados unicelulares de tamaño medio a grande.** Su tamaño y relación A/V moderado, junto con la presencia de flagelos, reducen las tasas de pérdida por hundimiento. La motilidad les facilita la búsqueda eficaz de nutrientes, en conjunción con la producción de quistes (Kruk et al., 2010). Además, la capacidad de mixotrofia y fagotrofia de algunas especies les permite tolerar condiciones de menor disponibilidad de nutrientes. A este grupo pertenecen la mayoría de los taxones de Cryptophyta, Dynophyta, Euglenophyta, Volvocales y Chlorococcales (Pulido, 2015).

**Grupo VI. Organismos no flagelados con exoesquelétos silíceos.** Este grupo contiene únicamente diatomeas. Debido a su alta densidad celular y la falta de motilidad, estos organismos se hunden rápidamente y se excluyen de aguas pobres en fuentes asimilables de sílice (Kruk et al, 2010). Las diatomeas rara vez tienen efectos negativos sobre la calidad del agua.

**Grupo VII. Grandes colonias mucilaginosas.** La presencia de mucílago, les ayuda a mantener un microambiente adecuado para las células y evitar el pastoreo. Su gran tamaño y volumen, hacen que las especies de este grupo sean sensibles a un bajo suministro de recursos. Estas características, junto con el potencial para producir toxinas y sustancias alelopáticas, puede promover su proliferación, ubicándolas en la categoría de algas que producen floraciones (Kruk et al, 2010). A este grupo pertenecen especies coloniales de Chlorococcales, Chroococcales y Oscillatoriales.

## 6.6 Indicadores de biodiversidad

**6.6.1 Índice de Margalef.** Índice de diversidad alfa que permite definir la relación de riqueza de especies en función del número de individuos presentes en la muestra o en un área determinada (Molina y Farinos, 2012).

$$I = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Donde I es la biodiversidad, S es el número de especies presentes y N el número total de individuos encontrados. Valores inferiores a 2 son correspondientes a baja biodiversidad y mayores a 5 de alta biodiversidad.

**6.6.2 Índice de Shannon- Weiner.** Se basa en el contenido de información por individuo en muestras obtenidas al azar provenientes de una comunidad de la que se conoce el número total de especies, permitiendo así mismo ser una medida de la incertidumbre (Acevedo, Valdez y Poggi, 2006). Por lo tanto,  $H' = 0$ , cuando la muestra

contenga solo una especie y será máxima cuando todas las especies estén representadas por el mismo número de individuos.

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left[ \left( \frac{n_i}{n} \right) \times \log_2 \left( \frac{n_i}{n} \right) \right]$$

**6.6.3 Índice de uniformidad de Pielou.** Mide la dominancia de especies observada respecto a la diversidad que se podría obtener en una comunidad con el mismo número de especies. Oscila entre 0 y 1, los valores cercanos a 0 indican la dominancia de unas pocas especies (Acevedo, Valdez y Poggi, 2006).

$$J' = \frac{H'}{\text{Log}S}$$

Donde H es el índice de Shannon- Weiner y S el número de especies máxima.

## 6.7 Estado trófico

El estado trófico de los lagos y humedales describe la relación entre la concentración de los nutrientes y el crecimiento de la materia orgánica en el mismo (Pulido, 2015). Esta condición en gran medida es causada por las concentraciones de nitrógeno y el fósforo, producto del metabolismo y del balance de entradas y salidas de materia del humedal (Camargo, 2008). Si bien los efectos de la eutrofización son visibles, este proceso es complejo debido a las múltiples variables que contempla.

**6.7.1 Índice compuesto de Thunmark y Nygaard.** Permite determinar el estado trófico de un ecosistema con base en la relación entre especies fitoplanctónicas accidentales y dominantes (Pulido, 2015). Si el índice compuesto tiene un valor menor a uno se considera oligotrófico, si es mayor a tres es eutrófico (Ramírez, 2000).

$$IC = \frac{\text{No taxones } \textit{Cyanophyceae} + \textit{Chlorococcales} + \textit{Diat. centrales} + \textit{Euglenophyta}}{\textit{Desmidiaceae}}$$

## 6.8 Los Humedales

Hay humedales en todas partes, desde la tundra hasta el trópico. No se sabe con exactitud qué porcentaje de la superficie terrestre se compone de humedales. Según la estimación del Centro Mundial de Monitoreo de la Conservación del PNUMA sería de unos 570 millones de hectáreas, aproximadamente el 6% de la superficie de la Tierra, de los cuales 2% son lagos, 30% turberas arbustivas o abiertas, 26% turberas de gramíneas o carrizo, 20% pantanos y 15% llanuras aluviales (Ramsar, 2016; Roa-García y Brown, 2016).

Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y de las comunidades asociadas a él (Ricaurte, 2000). Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas (Ramsar, 2006, 2016). Además, la Convención de Ramsar hace una ampliación de la definición dentro de su reglamentación al incluir las extensiones de marismas, pantanos, turberas y superficies cubiertas de aguas naturales, artificiales, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas (Ramsar, 2016).

Sin embargo, en su acepción más común, se asume que un humedal es un ecosistema lentic; es decir aquel conformado por cuerpos de aguas estancadas bajo regímenes hidrológicos muy diversos (Camargo, 2008). Además, estos cuerpos de agua pueden variar de manera periódica y solo existir en épocas lluviosas o durante los desbordes de ríos vecinos originando grandes cuerpos de agua como las selvas inundables o de menor tamaño como lagunas (Camargo, 2008).

Tradicionalmente, para la limnología clásica los humedales son depresiones de agua continental que mantienen áreas húmedas con o sin vegetación debido a la

superficialidad del nivel freático, por lo cual son considerados como un tipo diferente de ambiente acuático respecto de los lagos y ríos (Ricaurte et al, 2015).

Otra definición de humedal, la propone Jaramillo, Cortes y Flórez (2016) en donde los define como un tipo de ecosistema que debido a condiciones geomorfológicas e hidrológicas permite la acumulación de agua y que da lugar o es consecuencia de un tipo característico de suelo y a organismos adaptados a estas condiciones. También Aristizabal (2016) define al humedal como un territorio transicional entre sistemas terrestres y acuáticos donde el nivel del agua está en o cerca de la superficie o la superficie es cubierta por una delgada capa de agua.

### **6.9 Tipos de humedales**

En general, se reconocen cinco tipos de humedales principales: Marinos (humedales costeros, lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral); estuarios (marismas de marea y manglares); lacustres (humedales asociados con lagos); ribereños (humedales adyacentes a ríos y arroyos); y palustres (Ramsar, 2016).

Además, hay humedales artificiales, como estanques de cría de peces y camarones, estanques de granjas, tierras agrícolas de regadío, depresiones inundadas salinas, embalses, estanques de grava, piletas de aguas residuales y canales (Ramsar, 2006; 2016).

### **6.10 Funciones y servicios ecosistémicos de los humedales**

Los humedales cumplen con una serie de funciones ecológicas, producto de las interacciones de sus componentes biológicos y físicos. Entre los más importantes se tiene la regulación del ciclo del agua, control de inundaciones, retención de nutrientes, refugios para la vida silvestre y el almacenamiento de aguas subterráneas (Ricaurte, 2000). También presenta fines comerciales como la pesca, agricultura, recursos energéticos como la turba y materia vegetal y actividades de recreación y turismo (Ramsar, 2016).

Además, los humedales poseen atributos especiales como parte del patrimonio cultural de la humanidad al estar asociados a creencias religiosas, cosmológicas y a valores espirituales que constituyen una fuente de inspiración estética y artística que aporta información arqueológica sobre el pasado remoto (Ramsar, 2016).

### 6.11 La Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)

La Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), es un tratado intergubernamental cuya misión es la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales, con ayuda de la cooperación internacional en aras de contribuir al desarrollo sostenible en todo el mundo (Ramsar, 2006).

Hasta el 2016, 169 naciones se han adherido a la convención y más de 2200 humedales en todo el mundo, han sido incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de Ramsar, en la cual Colombia ostenta la inclusión de 7 sitios Ramsar.

#### Colombia / Colombie / Colombia (7 Ramsar Sites, 754,148 hectares)

* Complejo de Humedales Laguna del Otún	25/06/2008	Risaralda	6,579 ha	04°45'N 075°25'W
* Complejo de Humedales de la Estrella Fluvial Inírida (EFI)	08/07/2014	Guainía	250,159 ha	03°49'N 067°51'W
* Complejo de humedales Lagos de Tarapoto	28/09/2017	Amazonas	45,464 ha	03°47'S 070°32'W
* Delta del Río Baudó	05/06/2004	Chocó	8,888 ha	04°53'N 077°22'W
* Laguna de la Cocha	08/01/2001	Nariño	39,000 ha	01°03'N 077°12'W
* Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta <sup>MR</sup>	18/06/1998	Magdalena	400,000 ha	10°45'N 074°29'W
* Sistema Lacustre de Chingaza	25/06/2008	Cundinamarca	4,058 ha	04°30'N 073°45'W

Figura 6. Sitios Ramsar de Colombia (Ramsar, 2016)

### 6.12 Humedales colombianos

La riqueza hídrica colombiana se manifiesta en la favorable condición de almacenamiento superficial, representada por la existencia de cuerpos de agua lenticos, distribuidos en buena parte de la superficie y por la presencia de enormes extensiones de humedales (Aristizabal, 2016). Un inventario reciente, reporta que cerca del 26% del territorio continental e insular de Colombia, equivalentes a 30.7 millones de hectáreas, corresponden a humedales (Jaramillo, Cortes-Duque y Flórez, 2015).

De manera subdividida el área hidrográfica de Colombia presenta en el Pacífico humedales como los manglares que corresponden a un 5% de los humedales continentales del país, en los llanos de la Orinoquia la presencia de humedales corresponde al 48%, el área del Magdalena y el Cauca corresponden al 18% y la región de la Amazonia aporta el 20% de humedales del país (Jaramillo, Cortes-Duque y Flórez, 2015).

## **7. Objetivos**

### **7.1 Objetivo general**

Caracterizar el fitoplancton a nivel de género presente en el humedal Pisingo, Neiva-Huila, durante dos periodos climáticos contrastantes del año 2019.

### **7.2 Objetivos específicos**

1. Determinar algunas características fisicoquímicas del agua en el humedal Pisingo durante las dos temporadas climáticas.
2. Evaluar algunos índices de diversidad biológica alfa y beta del fitoplancton, durante dos periodos climáticos contrastantes en el humedal Pisingo.
3. Establecer por medio de géneros bioindicadores del fitoplancton, el estado trófico y la calidad del agua del humedal Pisingo.
4. Contrastar las diferencias en la composición de los géneros fitoplanctónicos durante los dos periodos climáticos en el humedal Pisingo.
5. Realizar un catálogo de los géneros de fitoplancton presentes en el humedal Pisingo (Neiva-Huila) a través de una APP móvil.

## 8. Metodología

### 8.1 Ubicación de la zona de estudio

El Jardín Botánico de Neiva y en consecuencia el humedal Pisingo, se ubica en las coordenadas latitud  $2^{\circ} 53' 57.7206''$  y longitud  $-75^{\circ} 16' 13.2162''$ , en el municipio de Neiva-Huila. Los predios del terreno del Parque Jardín Botánico se enmarcan en el área urbana, al sur, en la comuna 6 y sobre la cuenca de la quebrada Matamundo, con una extensión aproximada de 20 hectáreas (Olaya, 2017).

Según Olaya, (2017) Pertenece al primer piso altitudinal (Basal), su temperatura media supera los  $28^{\circ}\text{C}$  y la precipitación total anual se aproxima a los 1300mm, que lo caracteriza para una zona de bosque seco tropical. En general los suelos son poco profundos y compactados, con algunas áreas erosionadas, presencia de rocas superficiales y dificultad para succionar el agua de lluvia, con especies vegetales nativas que son tolerantes a un déficit prolongado de humedad (Olaya, 2017).

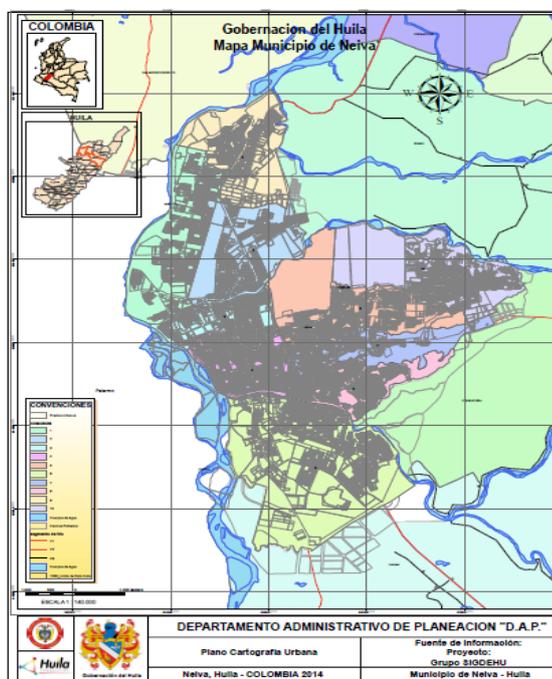


Figura 7. Ubicación a escala del municipio de Neiva en el departamento del Huila (Gobernación del Huila, 2006)



Figura 8. Ubicación del Parque Jardín Botánico de Neiva, en la comuna 6 (Adaptado de IGAC, 2018)

## 8.2 Sitios de muestreo

El humedal Pisingo es un ambiente de carácter artificial, que posee una extensión de 41.002,51m<sup>2</sup> y se encuentra formado por el represamiento de la quebrada Matamundo en el interior del Jardín Botánico de Neiva (Algarra y Gaitán, 2017). Para el estudio se establecieron las siguientes estaciones de muestreo, que abarcan una gran extensión del humedal.



Figura 9. Puntos de muestreo en el Humedal Pisingo (Adaptado de Olaya, 2017)

Tabla 1

*Geoposicionamiento de los puntos de muestreo*

<i>Coordenada</i>	<i>Puntos de muestreo</i>			
	1	2	3	4
<b>Latitud</b>	2° 53'49.562"	2° 53'49.564"	2°53'55.19"	2°53'57.80"
<b>Longitud</b>	-75°16'17.0"	-75°16'19.9"	-75°16'17.9"	-75°16'15.3"

Es de resaltar que el punto de muestreo ubicado en el centro, se colecto unos metros más cerca de la plataforma del humedal, debido a que el Jardín Botánico no posee barcas que permitieran el acceso al centro del humedal, requisito fundamental para evitar a los reptiles como las babillas.

### 8.3 Periodo climático de estudio

Entendiendo que los periodos climáticos tienen mucha importancia para el cálculo del régimen de caudal ambiental y considerando que las ocurrencias de algunas especies se concentran en tiempos de mayor precipitación, se debe tener en cuenta el mes hidrológico que contengan la media mensual más alta de precipitaciones en un estudio de biodiversidad acuática (Castro, Carvajal y Jiménez, 2013).

Para el estudio fitoplanctónico del humedal Pisingo, se tuvo en cuenta los índices de precipitaciones mensuales anuales reportados por la estación meteorológica 21115020 (Apto Benito Salas).

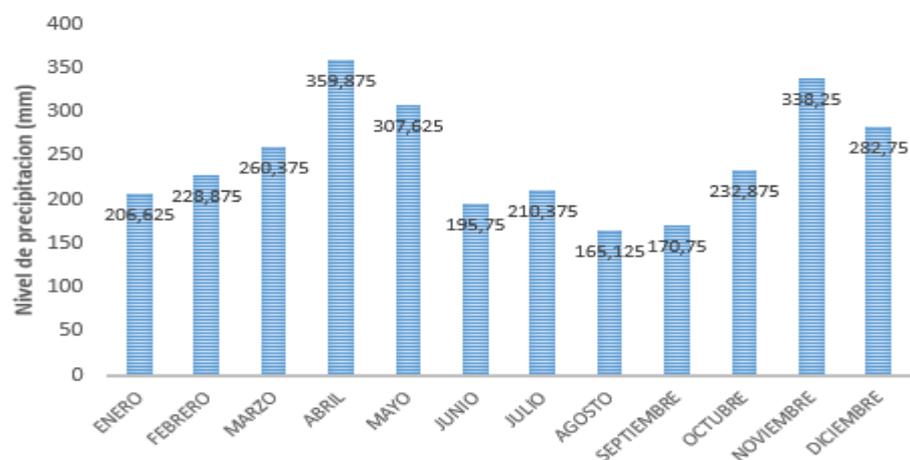


Figura 10. Promedio de las precipitaciones anuales mensuales de los años 2010 hasta 2017, reportados por la estación meteorológica apto Benito Salas, en la ciudad de Neiva-Huila (Adaptado de IDEAM, 2018).

Según los reportes meteorológicos se indica que, en el municipio de Neiva, ocurren dos períodos lluviosos con un período seco intermedio, típico de un régimen de precipitación de tipo bimodal, influenciado por el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical sobre el territorio colombiano (Gobernación del Huila, 2006).

De acuerdo a los antecedentes climatológicos de la zona, la investigación abarca dos periodos de muestreo, comprendidos en el mes de abril (niveles de precipitación altos) y junio (niveles de precipitación bajos) del año 2019.

#### 8.4 Etiquetado de muestras

Tabla 2

*Ficha para el etiquetado de las muestras*

TIPO DE MUESTRA:	
FECHA:	MUESTRA N°:
LOCALIDAD:	
HABITAT:	
PRESERVADA CON:	
COLECTOR:	

#### 8.5 Fase de campo

**8.5.1 Variables fisicoquímicas.** Para la recolección de las muestras de aguas se siguió el protocolo indicado en APHA (2005). En cada punto de muestreo se capturaron dos muestras de aguas a una profundidad de 20cm, en frascos de vidrio de color ámbar de 1000mL, durante cada periodo climático y se mantuvieron refrigeradas a 10°C hasta su traslado al laboratorio.

**8.5.1 Muestreo del fitoplancton.** Se utilizó un balde graduado de 10 L, acoplado a un sistema de amarres, el cual se lanzó diez veces en cada punto de muestreo con el fin de filtrar 100 litros de agua. Los lanzamientos se hicieron de manera subsuperficial por un tiempo de 2 minutos y a una velocidad constante con el fin de no espantar los especímenes de fitoplancton móviles; el agua colectada se filtró con una red cónica de fitoplancton de 20  $\mu m$  (Pinilla, 2017; Bellinger y Sigee, 2010). Cada filtrado se depositó

en frascos de 600 mL a los que se les agregó la solución Transeau con el fin de preservar las muestras (Vicente et al., 2005).

La solución Transeau (6: agua destilada, 3: alcohol al 90% y 1: formol al 37%) se aplicó a razón de 1:1. Este preservante permite identificar la presencia de almidón en las Chlorophyta (Mosquera y Peña, 2012; Pastrana, 2013). Además, preserva estructuras morfológicas como flagelos (Pinilla, 2017). Posteriormente las muestras se mantuvieron a una temperatura de 15°C, protegidas de la luz, dentro de una nevera portátil de icopor.

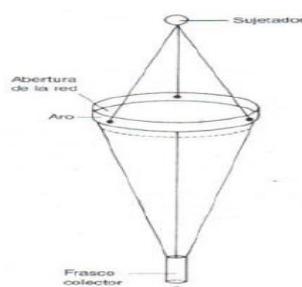


Figura 11. Red fitoplanctónica de tamaño de poro de 25  $\mu\text{m}$  (Ramírez, 2000)

## 8.6 Fase de laboratorio

**8.6.1 Variables fisicoquímicas.** Las muestras de agua se trasladaron a la división ambiental del laboratorio de Diagnosticamos SAS (Laboratorio acreditado por el IDEAM, resolución 1557 del 2018), donde se siguieron las directrices establecidas para el análisis de aguas superficiales por el Standard Methods (APHA, 2005). Es de resaltar que solamente las variables de pH y temperatura fueron medidas *in situ*.

Tabla 3

*Variables fisicoquímicas analizadas en el humedal Pisingo*

<i>Variable</i>	<i>Método</i>
pH	Potenciométrico
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	SM 2510 B
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Termómetro
Demanda Biológica de Oxígeno ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ )	SM 5210B Y ASTM D888 METODO C
Fosfatos ( $\text{mg P0}_4/\text{L}$ )	SM 4500-PD
Nitratos ( $\text{mg NO}_3/\text{L}$ )	SM 4500 NO3-B
Nitritos ( $\text{mg NO}_2/\text{L}$ )	SM 4500 NO2-B
Oxígeno Disuelto ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ )	ASTM D888 METODO C
Sólidos Disueltos Totales ( $\text{mg}/\text{L}$ )	CALCULO
Sulfatos ( $\text{mg SO}_4/\text{L}$ )	SM 4500 SO4-E

### **8.6.2 Cuantificación del fitoplancton en cámara de conteo Sedgewick-Rafter.**

Inicialmente las submuestras se aclimataron por un periodo de 12h y se homogenizaron con movimientos circulares durante 1 minuto. De cada muestra se utilizaron 5 mL que fueron analizados en una cámara de conteo Sedgewick-Rafter (Reguera et al., 2011; Pinilla, 2007, Reguera et al., 2011).

El recuento celular se llevó a cabo en un microscopio óptico Leica DM500, con cámara integrada, realizando la cuantificación en toda la cámara de conteo mediante recorridos en forma de S (Pinilla, 2107).

**8.6.3 Identificación del fitoplancton por medio de claves taxonómicas.** Para la identificación de los géneros fitoplanctónicos se utilizaron las siguientes claves taxonómicas: Bicudo & Menezes, 2006; Bellinger y Sigee, 2010; Guamán y González, 2016; Prescott, 1954; Pinilla, 2017; MAGRAMA, 2012a, 2012b y las listas taxonómicas de [algaebase.org](http://algaebase.org).

## **8.7 Fase de análisis**

**8.7.1 Variables fisicoquímicas.** Se realizó un análisis de componentes principales en el software PAST v 2.17c. Según Davis (1986), el análisis de componentes principales son combinaciones lineales de los datos normalizados que reflejan la mayor varianza a través de componentes. Estos componentes en un estudio de diversidad, permiten cuantificar las variables fisicoquímicas mayoritarias responsables de la variación de las poblaciones en un ecosistema. El ACP se realizó con todas las variables fisicoquímicas, sin involucrar los géneros del fitoplancton ya que estos no ofrecen un gradiente que los permita relacionar y no brinda una distribución espacial.

**8.7.2 Comunidades del fitoplancton.** La cuantificación de las comunidades fitoplanctónicas se utilizaron para ejecutar un análisis de escalado multidimensional no métrico (NMDS), el cual ilustra la conformación de grupos basados en sus similitudes

(Índice de Sørensen) en cada temporada de estudio (Oyvind, 2012). Esta característica permite establecer como se distribuyen espacial y temporalmente los géneros de fitoplancton y evidenciar la existencia de comunidades propias para cada temporada climática.

Por último, para complementar el ACP, se realizó un análisis de correspondencia canónico, el cual relaciona las variables fisicoquímicas con la presencia de los géneros del fitoplancton (Legendre y Legendre, 1998). El ACC se realizó con las variables fisicoquímicas que tuvieron mayor variación en el ACP y se involucró todos los géneros fitoplanctónicos para establecer diferencias entre géneros ocasionales y abundantes. Este análisis además permite encontrar géneros que se adapten a amplios rangos de tolerancia en el humedal.

Los dos análisis estadísticos se realizaron con el software PAST v 2.17c.

**8.7.3 Índices ecológicos y trófico.** La diversidad de especies en cada periodo climático y punto de muestreo se estimó con los índices de diversidad de Shannon, índice de riqueza de Margalef y equidad de Pielou.

Para determinar el estado trófico del humedal se calculó el índice compuesto de Nygaard (Ramírez, 2000). Para complementar la información se empleó bibliografía especializada con el fin de establecer asociaciones fitoplanctónicas que relacionen los aspectos abióticos y la composición fitoplanctónica (Hutcliinson, 1961; Roldan, 1992; Roldan y Ramírez, 2008; Bellinger y Sigeo, 2010).

## 9. Resultados

### 9.1 Parámetros fisicoquímicos.

Las muestras de aguas se analizaron en un laboratorio acreditado por el IDEAM, que corresponde a DIAGNOSTICAMOS SAS (División ambiental) donde se reportaron las siguientes concentraciones fisicoquímicas.

Tabla 4

*Resultados de las variables fisicoquímicas en el humedal Pisingo*

<i>Variable</i>	<i>Época seca</i>				<i>Época lluviosa</i>			
	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S4</i>	<i>I1</i>	<i>I2</i>	<i>I3</i>	<i>I4</i>
pH	7,2	6,9	6,8	6,9	7,2	7	6,8	6,9
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	222,7	209,6	207	198	207,9	198,2	193,4	187,0
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	27	26,2	26	27	28	27,8	27	27,5
Demanda Biológica de Oxígeno ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ )	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fosfatos ( $\text{mg PO}_4/\text{L}$ )	0,32	0,3	0,28	0,3	0,19	0,18	0,175	0,19
Nitratos ( $\text{mg NO}_3/\text{L}$ )	0,68	0,58	0,55	0,51	0,68	0,55	0,53	0,52
Nitritos ( $\text{mg NO}_2/\text{L}$ )	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Oxígeno Disuelto ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ )	8,5	8,1	7,8	7,7	5,3	5,4	5	5,01
Sólidos Disueltos Totales ( $\text{mg}/\text{L}$ )	159	145	143	139	148	135	131	126
Sulfatos ( $\text{mg SO}_4/\text{L}$ )	10	9,9	9,7	9,8	10	10	9,9	9,7

De acuerdo a los reportes presentados en la Tabla 4, las variables fisicoquímicas analizadas en cada época de muestreo, permiten estimar que los valores en general son altamente similares. No obstante, las mayores fluctuaciones con respecto a cada temporada, se dieron en los parámetros de la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y los sólidos disueltos totales.

La conductividad eléctrica presentó variaciones comprendidas entre 187 y 222,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , alcanzando el valor máximo en el sitio 1 de muestreo, en la época de sequía. El pH, fluctuó entre 6,7 y 7,2 unidades, lo cual mantiene ambas temporadas climáticas en el rango de la neutralidad. Con relación al oxígeno disuelto vario entre 5,01 y 8,5  $\text{mgO}_2/\text{L}$ , siendo el periodo de sequía el que obtuvo la mayor concentración. Por su parte la demanda

biológica de oxígeno obtuvo valores muy estables en ambos momentos hidrológicos inferiores a 10 mgO<sub>2</sub>/L.

Los sólidos disueltos totales denotaron una fluctuación entre 126 y 159,7 mg/L, siendo la temporada de sequía la que presenta mayor concentración en el sitio 1 de muestreo. Estos valores a su vez concuerdan con el factor de incremento de la conductividad eléctrica, ya que un aumento de las sales disueltas incrementa la conductividad eléctrica.

Por último, los nutrientes de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos, muestran concentraciones bajas en todos los puntos de muestreo de las temporadas climáticas.

Con relación a la ordenación de las variables fisicoquímicas mediante el análisis de componentes principales (ACP) durante los dos periodos climáticos, los resultados se expresan en la Figura 12.

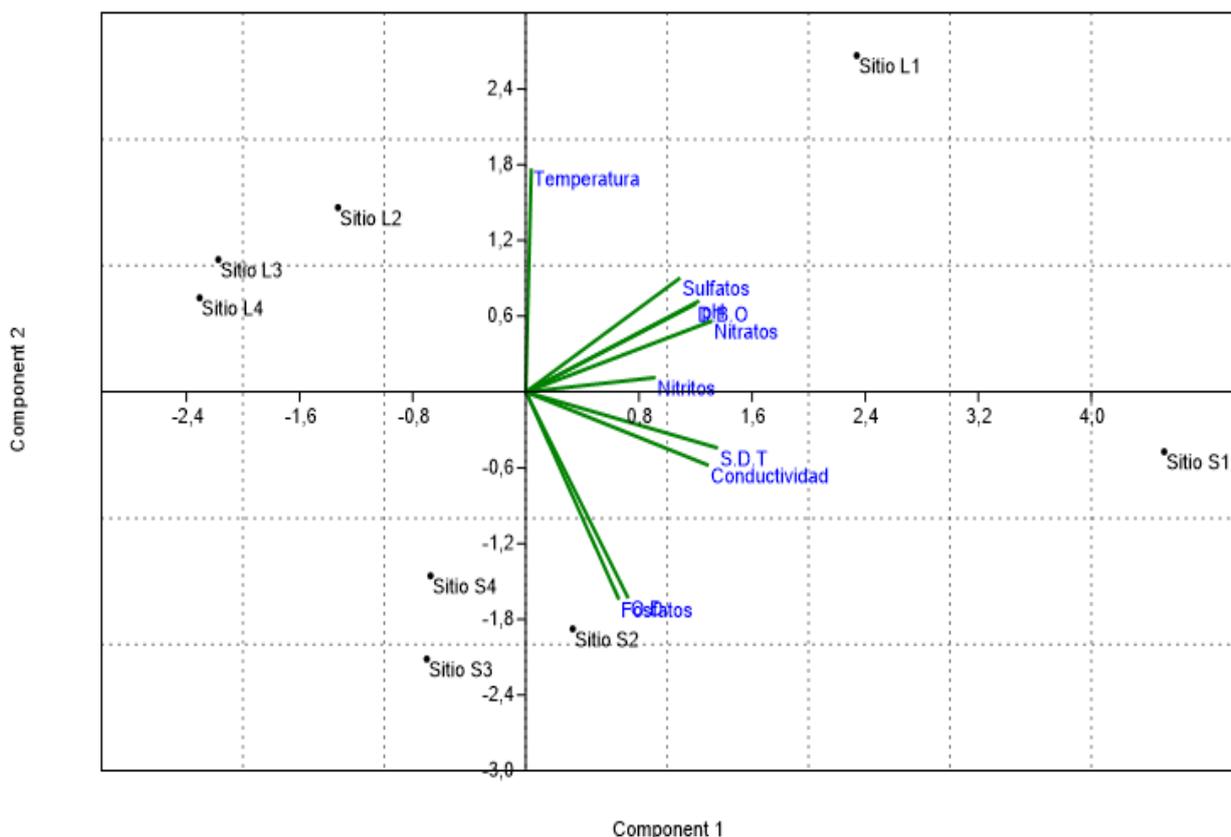


Figura 12. Análisis de componentes principales de las variables fisicoquímicas del humedal Pisingo. Se visualizan 4 sitios por cada temporada climática, diferenciados por L y S que significan lluvia y sequía respectivamente.

Según la Figura 12, las dos componentes principales explican el 85,6% de la variación total de los datos. El primer componente (75,3%) se encuentra fuertemente correlacionado con las variables sulfatos, nitratos, sólidos totales y conductividad eléctrica, mientras el segundo componente (10,3%) se relaciona positivamente con la temperatura y negativamente con los fosfatos y oxígeno disuelto.

De acuerdo con el ACP, se establece que la conductividad eléctrica, sólidos totales, son las variables que se relacionan fuertemente con los sitios S1, mientras en el sitio L1, se relaciona con los sulfatos y nitratos. Por su parte, el sitio S2 está influenciado por las variables fosfatos y oxígeno disuelto. En relación a los demás sitios de muestreo no se presentaron variables dominantes, lo que da lugar a una similitud entre sus datos fisicoquímicos y se representa por la formación de dos grupos independientes. El primer grupo lo conforma los sitios L2, L3, L4 y el segundo S4 y S3.

## **9.2 Comunidades fitoplanctónicas**

**9.2.1 Composición y abundancia.** Durante el estudio fitoplanctónico realizado en los dos periodos climáticos correspondientes a los meses de abril y junio del 2019, se identificaron en el humedal Pisingo 12 clases de fitoplancton, las cuales abarcan 22 órdenes, 36 familias y 44 géneros.

La clase Cyanophyceae presentó la mayor riqueza con un 30% de todos los géneros fitoplanctónicos, mientras Zygnematophyceae y Bacillariophyceae corresponden al 21% y 20% respectivamente. La cuarta clase más abundante fue Chlorophyceae con un 9% y posteriormente la clase Euglenophyta con un 7%. Las demás clases de fitoplancton presentan abundancias entre 1-4 % de la muestra total de géneros (Figura 13).

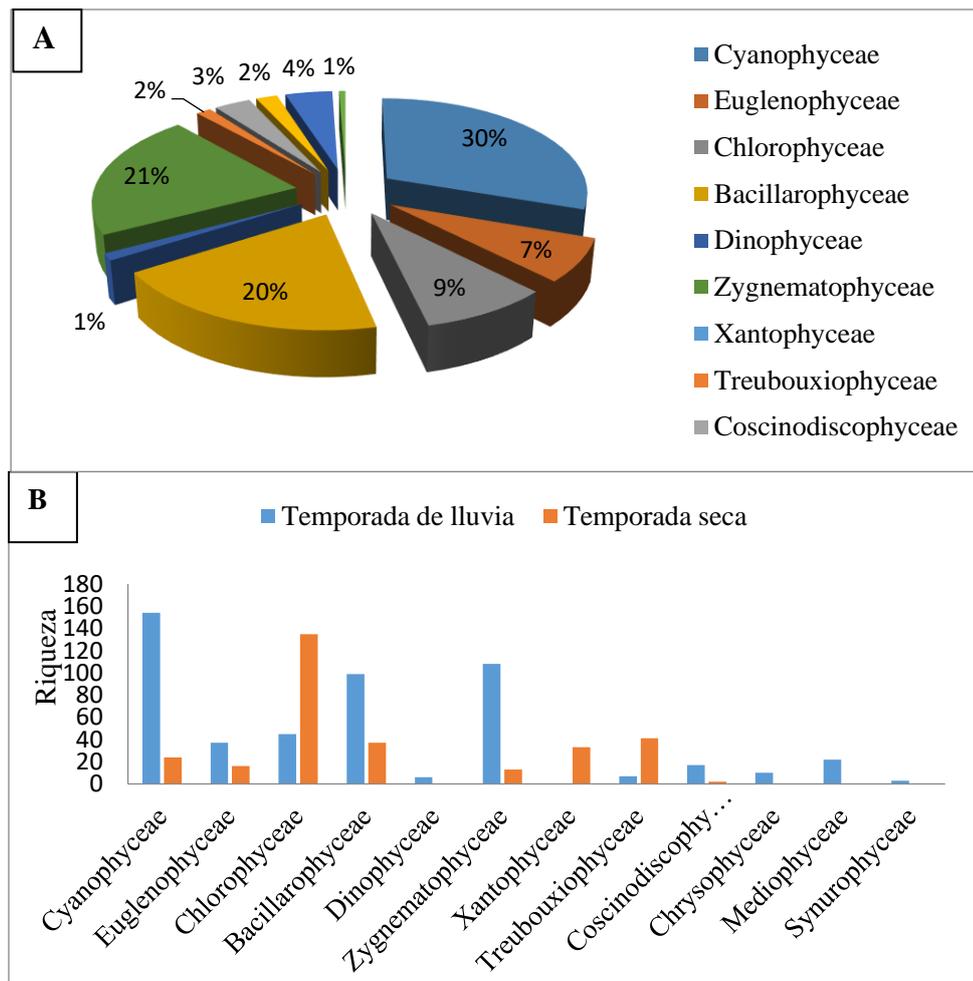


Figura 13. A. Porcentajes de abundancia de las clases fitoplanctónicas más representativas durante los dos periodos climáticos de estudio. B. Riqueza de las clases fitoplanctónicas en las dos épocas de muestreo.

De acuerdo con las temporadas climáticas, el periodo de lluvias presentó una mayor abundancia de la clase Cyanophyceae (154 organismos), Bacillariophyceae (99 organismos) y Zygnematophyceae (108 organismos), mientras en la época seca la mayor clase representada fue Chlorophyceae (135 organismos), seguida en menor proporción por Bacillariophyceae (37 organismos), Xanthophyceae (33 organismos) y Trebouxiophyceae (41 organismos).

Tabla 5

*Géneros fitoplanctónicos encontrados en el humedal Pisingo.*

<i>Clase</i>	<i>Orden</i>	<i>Familia</i>	<i>Genero</i>	
<b>Cyanophyceae</b>	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i> <i>Aphanocapsa</i>	
	Spirulinales	Spirulinaceae	<i>Spirulina</i>	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	
	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>	
	Chroococcales	Aphanizomenonaceae	<i>Aphanizomenon</i>	
		Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>	
<b>Euglenophyceae</b>	Euglenales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	
		Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i> <i>Euglena</i>	
		Phacaceae	<i>Phacus</i>	
<b>Chlorophyceae</b>	Volvocales	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>	
		Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	<i>Pediastrum</i> <i>Hydrodictyon</i> <i>Tetraedron</i>
	Chlamydomonadales	Neochloridaceae	<i>Golenkinia</i>	
		Selenastraceae	<i>Ankistrodesmus</i> <i>Kirchneriella</i> <i>Selenastrum</i> <i>Scenedesmus</i>	
		Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus</i>	
		Volvocaceae	<i>Volvox</i>	
		Sphaerocystidaceae	<i>Sphaerocystis</i>	
		Chrysosphaeraceae	<i>Chrysosphaera</i>	
		Chlorellales	Chlorellaceae	<i>Actinastrum</i>
		Trebouxiophyceae	Trebouxiophyceae	<i>Crucigenia</i>
ordo incertae sedis	incertae sedis			
<b>Coccinodiscophyceae</b>	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i>	
	Aulacoseirales	Aulacoseriaceae	<i>Aulacoseira</i>	
<b>Bacillariophyceae</b>	Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Tabellaria</i>	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navícula</i>	
		Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	
		Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i> <i>Synedra</i>	
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	
<b>Mediophyceae</b>	Stephanodiscales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>	
		Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>	
<b>Synurophyceae</b>	Synurales	Synuraceae	<i>Synura</i>	
<b>Dinophyceae</b>	Peridinales	Peridiniaceae	<i>Peridinium</i>	
	Gonyaulacales	Ceratiaceae	<i>Ceratium</i>	
<b>Zygnematophyceae</b>	Desmiales	Closteriaceae	<i>Closterium</i>	
		Desmidiaceae	<i>Staurastrum</i> <i>Cosmarium</i>	
		Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i> <i>Zygnema</i>
	<b>Xanthophyceae</b>	Mischococcales	Centrtractaceae	<i>Centrtractus</i>

Nota: la clasificación taxonómica de los géneros reportados en este estudio se revalida con la clasificación aceptada por AlgaeBase. El género *Crucigenia* no presenta una clasificación oficial.

A continuación, se presentan algunos de los géneros más representativos por época climática de estudio.

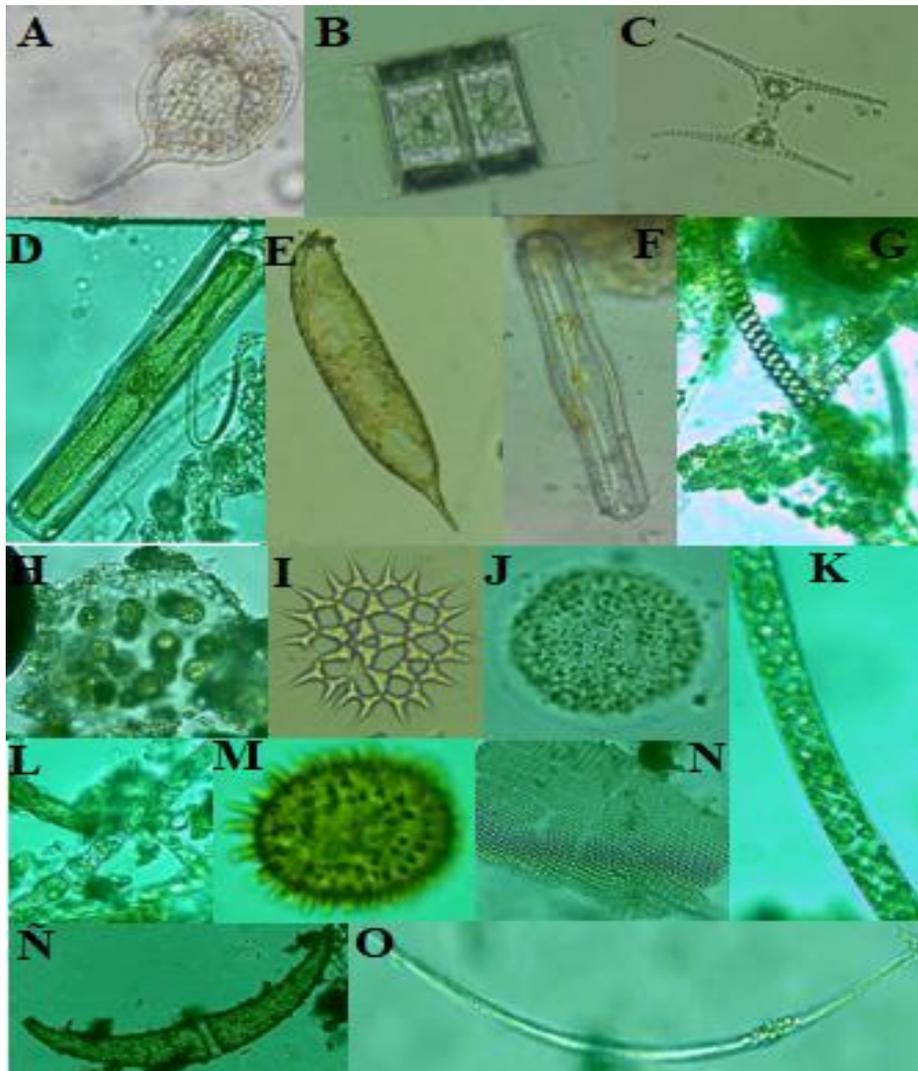


Figura 14. Algunos géneros fitoplanctónicos presentes en el humedal Pisingo durante la época de lluvias. A. *Phacus*.; B. *Tabellaria*.; C. *Staurastrum*.; D. *Tabellaria*.; E. *Euglena*.; F. *Pinnularia*. G. *Spirulina*.; H. *Gloeocapsa*. I. *Pediatrum*.; J. *Aphanocapsa*.; K. *Spirogyra*.; L. *Anabaena*.; M. *Trachelomonas*.; N. *Merismopedia*.; Ñ, O. *Closterium*.

Durante la época de lluvias, las comunidades fitoplanctónicas pertenecientes a la clase Cyanophyceae estuvieron representadas en mayor proporción por los géneros *Merismopedia*, *Spirulina*, *Aphanizomenon*, *Chroococcus* y *Anabaena*. A su vez la clase Euglenophyta presento la mayor riqueza en los géneros *Euglena*, *Phacus* y *Trachelomonas*.

Con relación a la clase Chlorophyceae las mayores riquezas se distribuyen uniformemente en todos los sitios de muestreos, destacándose los géneros *Ankistrodesmus*, *Tetraedron* y *Volvox*. En la clase Bacillariophyta predominaron los géneros *Tabellaria*, *Fragilaria*, *Pinnularia* y *Cymbella*, siendo el sitio 1 el de mayor población. Por último, la clase Zygnematophyceae se vio representada por los géneros *Closterium*, *Staurastrum* y *Spirogyra*, demostrando que el sitio 2 poseía mayor dominancia de estos géneros.

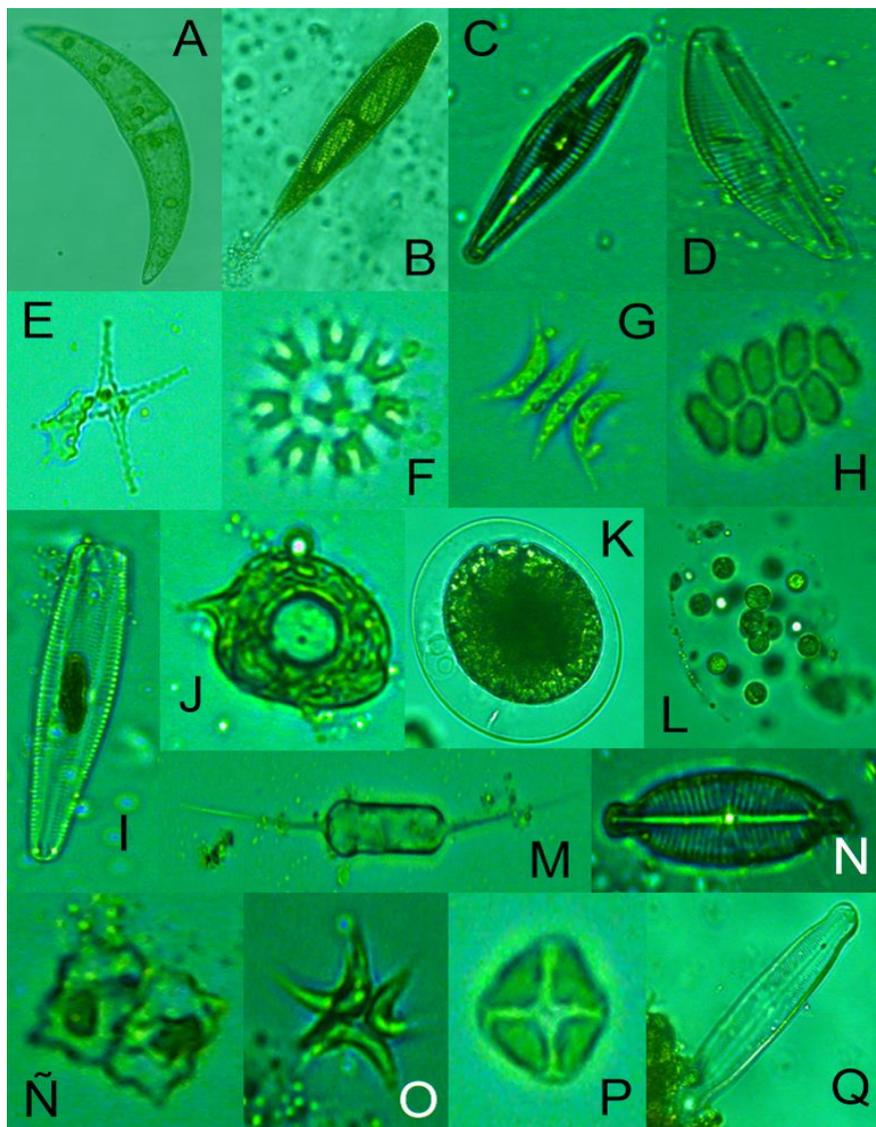


Figura 15. Algunos géneros fitoplanctónicos de la época de sequía presentes en el humedal Pisingo. A. *Closterium*.; B. *Euglena*.; C. *Navicula*.; D. *Cymbella*.; E. *Staurastrum*.; F. *Pediastrum*.; G, H. *Scenedesmus*.; I. *Gomphonema*. J. *Phacus*.; K. *Volvox*.; L. *Gleocapsa*.; M. *Centritractus*.; N. *Navicula*.; Ñ. *Cosmarium*.; O. *Selenastrum*.; P. *Crucigenia*.; Q. *Pinnularia*.

En la época de sequía, las comunidades fitoplanctónicas pertenecientes a la clase Cyanophyceae estuvieron representadas por los géneros *Merismopedia*, *Spirulina*, *Chroococcus* y *Gleocapsa*, Siendo el sitio de muestreo 1 el que presentó mayor riqueza. La clase Euglenophyta presentó la mayor riqueza en los géneros *Euglena* y *Phacus*. En relación a la clase Chlorophyceae las mayores riquezas se encuentran en el sitio 4, siendo predominantes los géneros *Ankistrodesmus*, *Kirchneriella*, *Scenedesmus* y *Volvox*. Con respecto a la clase Bacillariophyta predominaron los géneros *Tabellaria*, *Navícula*, y *Gomphonema*, presentando el sitio 1 la mayor población fitoplanctónica. Por último, la clase Xanthophyceae se vio representada solamente por el género *Centritractus*.

### 9.2.2 Índices de riqueza, diversidad y equidad.

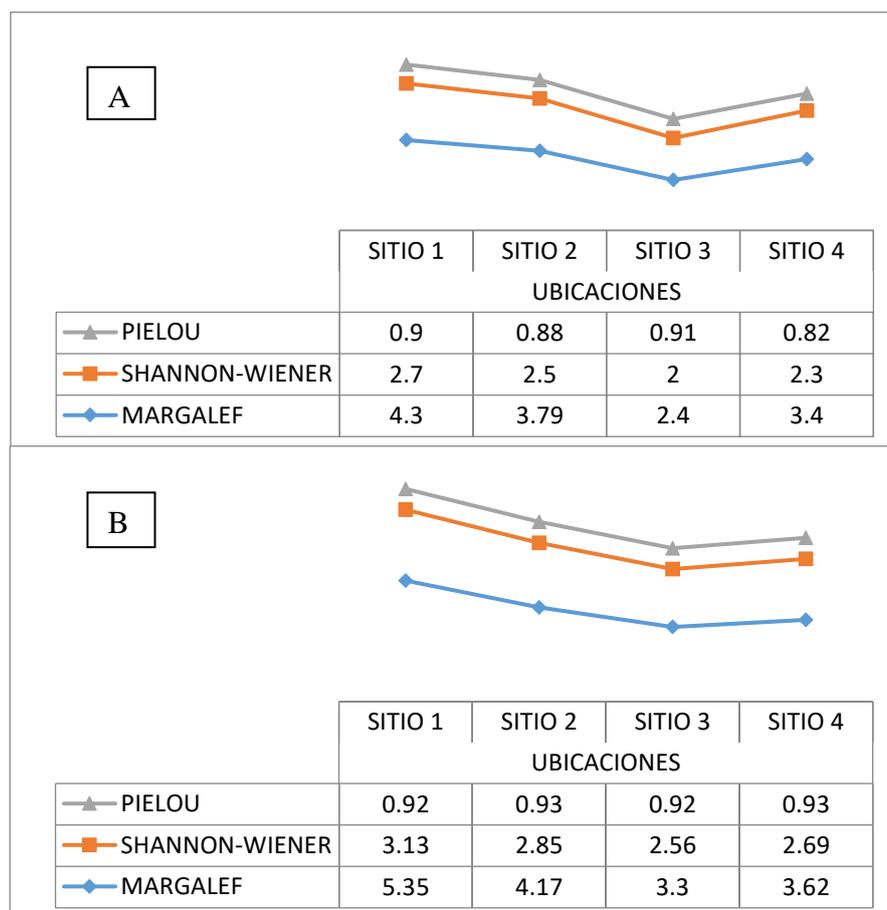


Figura 16. Índices de diversidad biológica de Shannon-Wiener, Margalef y Pielou. A. Temporada de lluvia. B. Temporada seca.

De acuerdo a la Figura 16, el índice de riqueza de Margalef para la temporada de lluvia muestra que la mayor abundancia de géneros se dio en el sitio 1, mientras los demás registran índices bajos en riqueza. Con relación al periodo de sequía los valores presentan una tendencia negativa en el número de géneros por unidad muestral, siendo el sitio 1 el de mayor riqueza.

El índice de diversidad de Shannon-Wiener, para las dos temporadas climáticas, presento valores de biodiversidad normales en todos los sitios de muestreo, aunque se destaca el sitio 1 para cada época, por tener mayor biodiversidad de géneros fitoplanctónicos. Para el índice de equidad de Pielou, las dos temporadas climáticas presentaron valores promedios a 0,9, lo cual esclarece que la biodiversidad esperada es muy similar en cada sitio de muestreo.

**9.2.3 Distribución espacial y temporal del fitoplancton.** Con relación a la Figura 17, el NMDS presentó un valor de Stress de 0,09, el cual se considera aceptable (Kruskal, 1964). Además, establece que cada temporada climática no presento un ensamble fitoplanctónico característico. Con base a los sitios de muestreo, se originaron 2 grupos conformados por L2, S2 y L1, S1, los cuales presentan alta similitud entre sus comunidades fitoplanctónicas, mientras los demás sitios de muestreo, exhiben una menor similitud en la biodiversidad del fitoplancton.

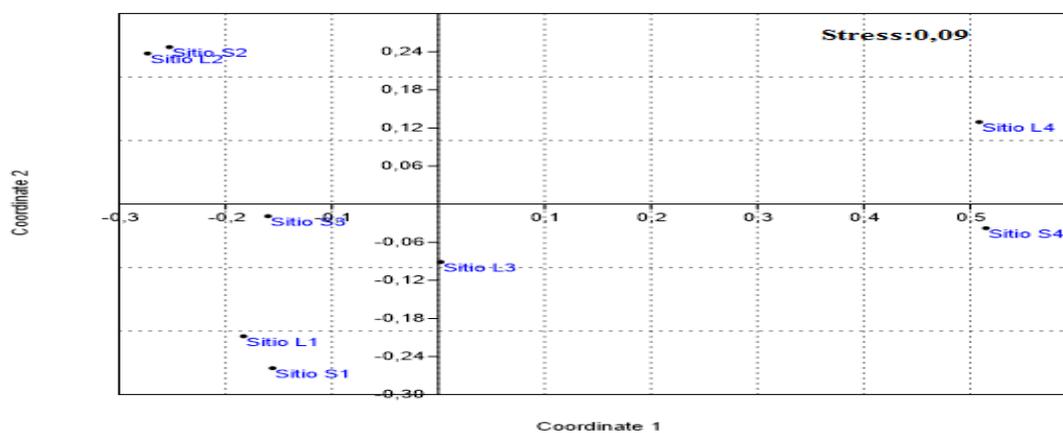


Figura 17. Análisis multidimensional no métrico. L, lluvia y S, sequia, para los sitios de muestreo.

## 9.2.4 Influencia de las variables fisicoquímicas con respecto al fitoplancton.

**9.2.4.1 Temporada de lluvia.** El análisis de correspondencia canónica (CCA) permite relacionar las abundancias de los géneros fitoplanctónicos con las variables ambientales analizadas en el estudio.

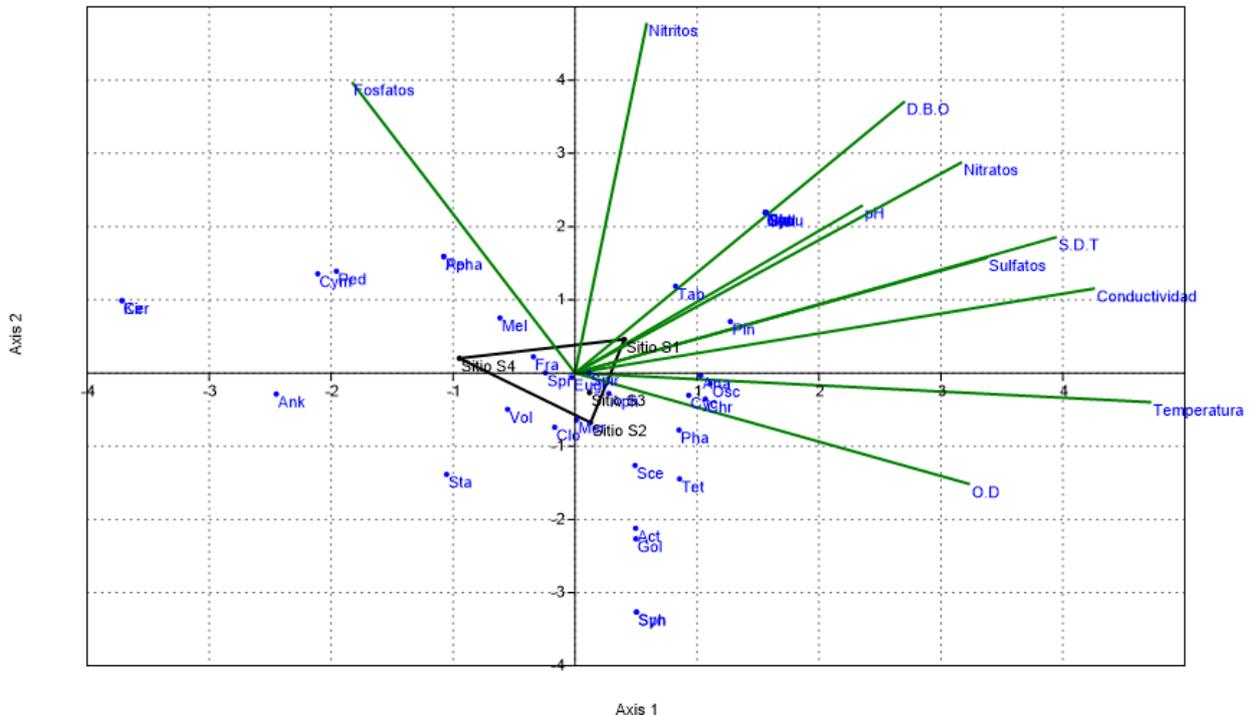


Figura 18. Análisis de correspondencia canónica de los sitios de muestreo, las variables fisicoquímicas y los géneros del fitoplancton, durante la época lluviosa. Los géneros se representan por sus iniciales (ver Tabla 5).

De acuerdo a la Figura 18, el primer eje canónico explicó el 43,1% de la varianza y resulto fuertemente correlacionado con la conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, nitratos y sulfatos, indicando que estas variables explican el principal gradiente al que respondió la distribución de los géneros. Además, indicó que en el sitio 1, los géneros *Oscillatoria*, *Cymbella*, *Anabaena* y *Pinnularia*, se relacionan con la influencia de estas variables.

El segundo eje explicó el 35,2% de la variación, resultando correlacionado positivamente con los nitritos, DBO y fosfatos y negativamente con el oxígeno disuelto. El sitio 4 se correlaciono con los fosfatos y es indicativo de los géneros de *Melosira*, *Aphanocapsa*, *Pediastrum* y *Cymbella*. Para los sitios 2 y 3 estos se encuentran

influenciado por el oxígeno disuelto, evidenciando la presencia de géneros de la clase Chlorophyceae.

En relación a los géneros *Fragilaria*, *Euglena*, *Spirulina*, *Volvox* y *Closterium*, se evidencia que poseen un amplio rango de condiciones para habitar ya que se encuentran en todos los sitios de muestreo.

Por último, los géneros que se distribuyen alejados del origen de los ejes, como *Tetraedron*, *Staurastrum* y *Ankistrodesmus*, no se ven influenciados en gran medida por las variables fisicoquímicas, aunque esto se puede deber a que no presentaron una gran abundancia que permitiera correlacionarlas.

#### 9.2.4.2 Temporada seca.

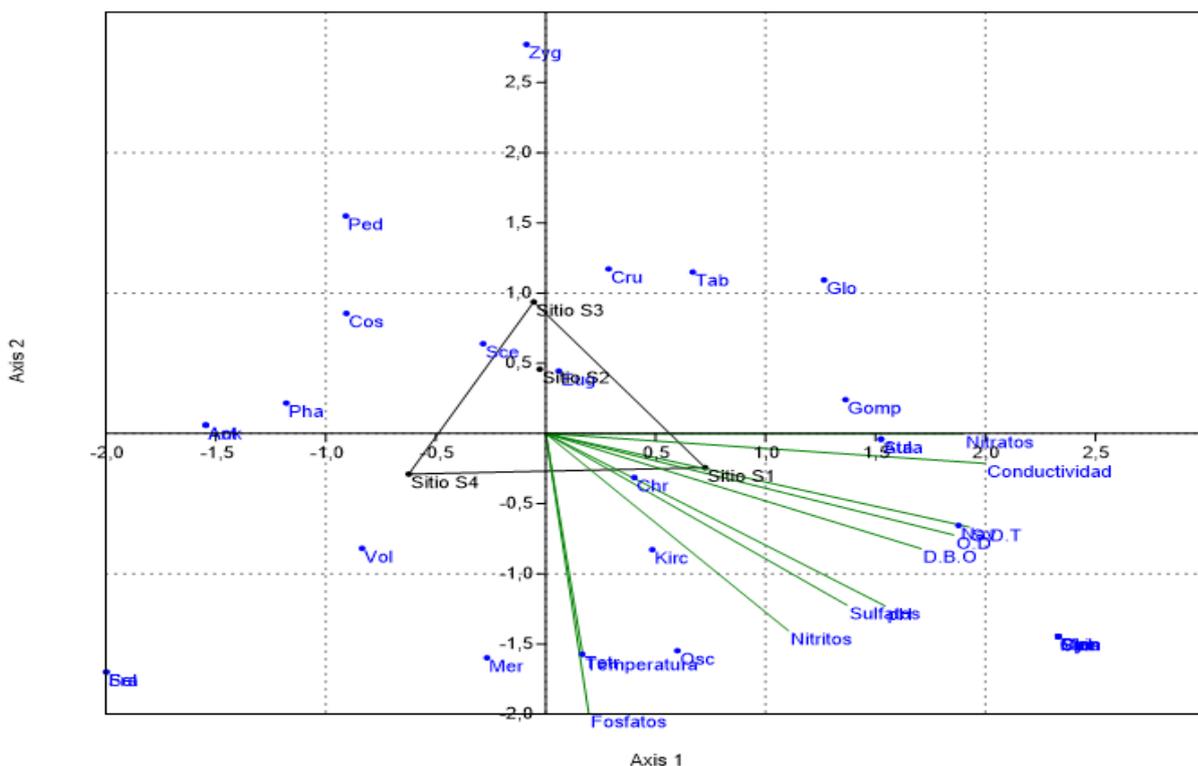


Figura 19. Análisis de correspondencia canónica de los sitios de muestreo, las variables fisicoquímicas y los géneros del fitoplancton, durante la época seca. Los géneros se representan por sus iniciales (ver tabla 5).

Con base a la figura 19, el primer eje canónico explicó el 55,3% de la varianza y resultado correlacionado con la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y solidos disueltos totales principalmente, indicando que estas variables explican la mayor distribución de

los géneros. Como resultado índico que el sitio 1 de muestreo, se correlaciono con todas las variables positivamente, predominando los géneros *Chroococcus*, *Kirchneriella* y *Gomphonema*.

El segundo eje explicó el 28,2% de la variación, resultando correlacionado con los fosfatos, nitratos y temperatura, los cuales influenciaron directamente los géneros *Oscillatoria* y *Merismopedia*.

Los sitios S4, S3 y S2, no presentaron variables dominantes que reflejaran su composición fitoplanctónica. Además, se establece que la gran mayoría de géneros que se reportaron en la temporada seca presentaron poca abundancia. No obstante, los géneros *Scenedesmus*, *Volvox* y *Crucigenia*, según el ACC denotan abundancia, pero no se correlaciona con las variables.

**9.2.5 Géneros fitoplanctónicos y sus procesos bioindicadores.** Para establecer el estado trófico y la calidad del agua del humedal Pisingo, se realizó una síntesis bibliográfica que relaciona la bioindicación de los géneros del fitoplancton y las variables fisicoquímicas, además, de calcular algunos índices tróficos.

Tabla 6

*Índices de estado trófico del humedal Pisingo*

<i>Índice</i>	<i>Época seca</i>	<i>Época lluviosa</i>
<b>Compuesto</b>	2,8	2,2
<b>Cianofíceo</b>	1,2	1,6

Nota: La universalidad de estos índices implica restricciones de uso en los trópicos (Ramírez, 2000). No se recomienda utilizarlos si el numerador o denominador da 0.

De acuerdo a la Tabla 6, el índice compuesto fitoplanctónico, presenta un valor para un ecosistema eutrófico débil, en la temporada seca, mientras para la época lluviosa tiende a un estado de mesotrofia. Con relación al índice cianofíceo, presento una tendencia de estado mesotrófico a eutrófico. Por otro lado, la literatura reporta que la gran mayoría de géneros son bioindicadores de eutrofización en el humedal Pisingo.

Tabla 7

*Procesos bioindicados por los géneros fitoplanctónicos en el humedal Pisingo*

<b>Género</b>	<b>Proceso Bioindicado</b>
<i>Anabaena</i>	Mezcla y turbulencia, mesotrofia, ultraoligotrofia. Estratificación térmica y química.
<i>Aphanizomenon</i>	Eutrofia .
<i>Chroococcus</i>	Estratificación térmica, sucesión avanzada, oligotrofia, eutrofia. Tolerancia al derrame de petróleo.
<i>Merismopedia</i>	Oligotrofia y eutrofia.
<i>Oscillatoria</i>	Sedimentos y conductividad alta, eutrofia, mesotrofia. Tolerancia a pesticidas, estratificación térmica y química.
<i>Euglena</i>	Resistencia a pesticidas, eutrofia, sedimentos y conductividad alta. Resistencia a derrame de petróleos.
<i>Phacus</i>	Materia orgánica, resistencia a derrame de petróleos, sedimentos y conductividad alta.
<i>Trachelomonas</i>	Eutrofia, sedimentos y conductividad alta.
<i>Pediastrum</i>	Eutrofia, mesotrofia. Resistencia a pesticidas.
<i>Golenkinia</i>	Hipereutrofia.
<i>Ankistrodesmus</i>	Oligotrofia y eutrofia.
<i>Scenedesmus</i>	Mesotrofia. Resistencia a pesticidas. Sedimentos y conductividad alta.
<i>Volvox</i>	Baja mineralización. Meso a eutrofia. Período lluvioso.
<i>Schaerocystis</i>	Eutrofia.
<i>Actinastrum</i>	Eutrofia.
<i>Crucigenia</i>	Meso a eutrofia.
<i>Tabellaria</i>	Mesotrofia.
<i>Navícula</i>	Resistencia a pesticidas, turbulencia, sedimentos y conductividad alta, mesotrofia.
<i>Pinnularia</i>	Hipereutrofia. Agua litorales, oligotrofia, baja conductividad, aguas blandas y ácidas.
<i>Fragilaria</i>	Mesotrofia.
<i>Synedra</i>	Mesotrofia, sucesión.
<i>Gomphonema</i>	Sedimentos y conductividad alta, eutrofia, sucesión, aguas poluídas.
<i>Cyclotella</i>	Oligotrofia.
<i>Synura</i>	Aguas ricas en zinc.
<i>Peridinium</i>	Eutrofia, estratificación después de la mezcla, sucesión, hipereutrofia, oligotrofia.
<i>Closterium</i>	Mesotrofia a eutrofia.
<i>Staurastrum</i>	Período lluvioso, eutrofia. Oligotrofia cálida.
<i>Cosmarium</i>	pH ácido, aguas someras, Mezcla, baja conductividad, aguas blandas, y ácidas.
<i>Spirogyra</i>	Eutrofia

Adaptado de: Roldan, 1992; Roldan y Ramírez, 2008; Ramírez, 2000; Bellinger y Sigeo, 2010.

Con relación a la bioindicación de la calidad del agua, la presencia de ciertos géneros reportados por la literatura establece que el humedal presenta altas conductividades eléctricas, sólidos disueltos y estratificación térmica, los cuales se validan por la presencia de géneros como *Scenedesmus*, *Peridinium*, *Oscillatoria*, *Gomphonema*, *Euglena*, *Trachelomonas*, *Anabaena*, *Chroococcus* y *Phacus*.

**9.2.6 Géneros formadores de blooms algales.** Dentro de los géneros fitoplanctónicos reportados para el humedal Pisingo en esta investigación y que presentan valores altos en riquezas, se permitió constatar a través de la literatura, los posibles géneros formadores de floraciones algales. Los géneros *Ceratium*, *Spirogyra*, *Tabellaria*,

*Fragilaria*, *Aphanizomenon*, *Anabaena* y *Closterium*, son los más preponderantes a esta tendencia de crecimiento excesivo en el humedal. No obstante, es de resaltar que en el humedal no se evidenciaron floraciones algales.

### **9.3 Aplicación móvil**

El catalogo fitoplanctónico se desarrolló en una aplicación móvil (Mobincube) dirigida a estudiantes de instituciones y a los mismos universitarios Surcolombianos, e incluye información sobre: Los humedales y su importancia, el fitoplancton y las fichas con los géneros encontrados en el humedal Pisingo. A la aplicación se puede acceder a través de la siguiente dirección en internet:

[http://mobincube.mobi/53LGQ4?fbclid=IwAR2YMNUBQgjCQr\\_anZuUCEiRKkyObAj2XCHuGRaIMHKU9alOhJDOfmmNFdA](http://mobincube.mobi/53LGQ4?fbclid=IwAR2YMNUBQgjCQr_anZuUCEiRKkyObAj2XCHuGRaIMHKU9alOhJDOfmmNFdA)

## 10. Discusión de resultados

### 10.1 Variables fisicoquímicas del agua

En general, las variables fisicoquímicas durante los dos periodos climáticos no presentaron fluctuaciones significativas. Sin embargo, algunos parámetros obtuvieron cambios importantes, los cuales se pueden atribuir a las variaciones que generan los periodos climáticos sobre los ecosistemas acuáticos (Bouvy et al., 2006)

Los valores de pH y la temperatura se mantuvieron constantes en los dos periodos climáticos. Según Olaya (2017), la temperatura promedio anual del humedal Pisingo es de 28°C. Teniendo en cuenta que el pH, fluctuó entre 6,7-7,1 unidades, se puede inferir que la alcalinidad del humedal estuvo representada en gran medida por los bicarbonatos y por tanto se traduce en un bajo nivel de monóxido de carbono disuelto, indicativo de una baja tasa de descomposición orgánica (Romero, 2009). En consecuencia, se establece que el pH está dentro de los límites para los humedales naturales (Roldan y Ramírez, 2008).

La conductividad eléctrica indicó que la composición química de las sales disueltas en el agua, presento cambios en las concentraciones de acuerdo a las épocas climáticas y el estado trófico del humedal (Bouvy et al., 2006). En la temporada seca sus valores fueron mayores (222,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), indicando un grado intermedio de mineralización, mientras para la época de lluvia la conductividad eléctrica fue menor, favoreciendo la diversidad de algunos géneros fitoplanctónicos característicos para esta condición (Roldan, 1992).

Las concentraciones mayoritarias de solidos disueltos totales durante los dos periodos climáticos, indican que el humedal presenta una buena cantidad de material suspendido que contribuye a aumentar las concentraciones de la conductividad eléctrica (Sierra, 2011). Además, al ser un cuerpo lenticó el humedal Pisingo, las temporadas

climáticas generaron que los sólidos totales, aumentaran debido a la escorrentía generada por otros cauces, ya sean de origen natural o antropogénico y por el mismo régimen de lluvias que lo alimenta. (Romero,2009).

Con respecto a las concentraciones de oxígeno disuelto y demanda biológica de oxígeno que son fundamentales para el desarrollo de los organismos acuáticos y para la degradación de la materia orgánica, estos se encuentran en un rango normal para el humedal (Roldan, 1992). Estos valores de oxigenación del sistema pueden deberse en gran sentido por el proceso de fotosíntesis que realizan las macrófitas, las cuales presentan altos índices de abundancia en el humedal Pisingo (Olaya, 2017). Esta situación, a su vez permite la acumulación de materia orgánica que favorece el desarrollo de las comunidades acuáticas y ayuda a estabilizar las concentraciones de los gases disueltos y los nutrientes (Reynolds, 1997).

Con relación a las concentraciones de los nutrientes, no se presentaron cambios importantes durante las dos temporadas climáticas. Los nitritos y nitratos, que son variantes del nitrógeno y son los más importantes para los ecosistemas acuáticos, por cuanto constituyen la fuente principal para los organismos, presentaron valores inferiores a 0,02 y 0,6 mg/L respectivamente e indican que aún no hay problemas de eutrofización. De acuerdo con Roldan (1992), son valores muy bajos y evidencian la circulación de estos nutrientes a través de la biomasa vegetal. Además, los buenos niveles de oxígeno disuelto del humedal favorecieron la oxidación de los nitritos, generando mayores niveles de nitratos en los sitios 1 de muestreo en ambas temporadas.

Por su parte la concentración de los fosfatos, presento muy bajas concentraciones, debido a que la gran cantidad de macrófitas y demás organismos lo asimilan muy rápidamente. Además, la disponibilidad de los fosfatos en su forma más habitual como

ortofosfatos disminuye en lagos con pH inferiores a 7, afectando su productividad (Roldan y Ramírez, 2008).

La concentración de sulfatos que se encuentran de la manera más particular como ion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), en el agua y son producto de la disociación de las rocas o el régimen de lluvias, presentan valores normales (Sierra, 2011). Debido a que el humedal denoto un pH neutro, se estima que la forma principal de los sulfatos se da en  $\text{HS}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , los cuales son aniones que las comunidades algales los pueden transformar en proteínas (Reynolds, 1997).

## 10.2 Composición de las comunidades del fitoplancton

En el humedal Pisingo, las clases taxonómicas de más abundancia corresponden a Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyta y Zygnematophyceae, siendo predominantes en el sitio 1 de muestreo y exhibiendo una menor diversidad en los demás lugares. No obstante, los únicos géneros que presentaron dominancia fueron *Scenedesmus*, *Spirulina*, *Centritractus*, *Euglena* y *Navícula*.

Estos patrones evidencian una tendencia a que las comunidades fitoplanctónicas no sean homogéneas e isotópicas, permitiendo que dominen unos pocos taxones de la comunidad y es indicativo de que el ambiente fisicoquímico de la columna de agua tiene concentraciones suficientes de nutrientes, que hacen que ciertos géneros mejor adaptados prosperen más eficientemente de acuerdo a los periodos climáticos (Yount, 1956; Hutcliinson, 1961).

La clase Cyanophyceae según John et al., (2002), exhiben una gran abundancia en aguas diversas debido a su amplio rango de tolerancia, pero no obstante con preferencias de pH bajo. Además, estos organismos frecuentemente dominan las aguas superficiales, en condiciones de eutrofización. De los géneros más abundantes: *Merismopedia*, *Spirulina*, *Aphanizomenon*, y *Chroococcus*, se establece que presentan un

crecimiento óptimo a distintas temperaturas y tolerando bajas relaciones de fósforo y nitrógeno (Reynolds, 2006; Bellinger y Sigeo, 2010). Además, géneros filamentosos como *Oscillatoria* y *Aphanizomenon*, al presentar vacuolas que fijan el nitrógeno, les permiten una mayor movilidad en la columna de agua y por lo tanto proliferar más (Komarek y Johansen, 2015). Esto se revalida con los análisis de correspondencia canónica, donde relacionan esta variable como factor que influye en la predominancia de estos géneros. Además, Reynolds (2006), establece que el nitrógeno es un elemento fundamental para el desarrollo de las comunidades fitoplanctónicas al generar competitividad.

Las algas verdes o Chlorophytas, son el grupo más predominante de las aguas dulces. En este sentido el humedal Pisingo presentó la más alta diversidad de géneros fitoplanctónicos en esta clase. Los géneros más abundantes fueron *Kirchneriella*, *Scenedesmus*, *Volvox* y *Ankistrodesmus*, los cuales son géneros susceptibles a proliferar en un amplio rango de concentraciones fisicoquímicas, siendo encontrados en lagos eutrofizados, con altas conductividades eléctricas y humedales muy pobres en nutrientes (Bellinger y Sigeo, 2010; Reynolds, 2006; Nakada y Kozaki, 2015). Además, los géneros *Scenedesmus* y *volvox* que fueron los de mayor riqueza, son grandes productores de biomasa debido a que principios de verano, al ser unicelulares, de rápido crecimiento y coloniales dominan gran parte de las comunidades planctónicas (Pechar, 2002). Este aspecto concuerda con lo registrado en la temporada seca, en donde los recambios poblacionales evidenciaron un aumento considerable de estos géneros en todos los sitios de muestreo del humedal Pisingo.

Con relación a la clase Zygnematophyceae, el orden Desmidiaceales fue el de mayor prevalencia con los géneros de *Closterium* y *Staurastrum*. Según Bicudo y Menezes (2006), estos géneros habitan aguas ligeramente ácidas-neutras, en condiciones de bajas

concentraciones de nutrientes y en aguas distroficas. Además, son característicos para aguas con altas conductividades eléctricas y duras (Castro, Zúñiga y Mora, 2018; Ramírez y Roldan, 2008). Estas facilidades de adaptación en gran medida se ven influenciadas por su morfología, ya que reducen la tendencia a la sedimentación y favorecen la permanencia cerca de la superficie (Pulido, 2015). Con relación al género *Spirogyra*, presento una gran riqueza durante la temporada de lluvias. Esto en gran parte es debido a su rol de importancia como productor primario y a su particularidad de tolerar los niveles elevados de contaminantes encontrados en hábitats perturbados, lo cual facilita su proliferación (Hainz et al., 2009; Stancheva et al., 2013).

Acerca de las diatomeas, los géneros *Tabellaria*, *Navícula* y *Pinnularia* que son de tipo pennadas, fueron los que demostraron mayores índices de riqueza. Estas abundancias en gran medida se ven representadas por la capacidad de crecer en condiciones en que los nutrientes inorgánicos de Nitrógeno, fosforo y Sílice están moderados, al igual que la concentración de luz, conductividades eléctricas bajas y temperatura (Roldan, 1992; Kociolek, Spaulding, y Lowe, 2015). En consecuencia, estos géneros pueden competir con otras microalgas debido a estos amplios rangos de tolerancia, junto con su capacidad de crecer en aguas con turbulencias (Bellinger y Sigee, 2010).

Con base a las clases de menor impacto que estuvieron presentes en el humedal Pisingo, como Euglenophyta, con los géneros *Phacus* y *Euglena*, se determinó que se encuentran generalmente en ambientes donde hay abundancia de descomposición orgánica material (Bellinger y Sigee, 2010). Esto concuerda con el sitio 1 y 2 del muestreo, en donde la cantidad de materia orgánica era considerable y no presentaba migración. Además, Triemer y Bozena (2015) concuerdan en que los hábitats típicos de

estos géneros incluyen lagos poco profundos y son raros en aguas oligotróficas o con gran caudal.

De las Xanthophyta, el género *Centrtractus* fue el único que se registró y en gran abundancia durante la época de sequía. Por lo general son bastante limitadas en su explotación de hábitats acuáticos, que tienden a ocurrir en barro húmedo y tierra (Ott, Oldham, Rybalka y Fried, 2015). Además, se caracteriza por proliferar en ambientes cálidos en condiciones distroficadas, en aguas enriquecidas con materia orgánica y con valores de pH de 4.5 a neutro alcanzando sus máximas floraciones en temperaturas menores de 20°C (Round, 1981).

Respecto a los dinoflagelados en el humedal Pisingo, solamente se reconocieron los géneros *Peridinium* y *Ceratium*, que se correlacionan con ambientes competitivos y ocurriendo particularmente en aguas duras y de bajos niveles de nutrientes inorgánicos. Es de recalcar que estas especies presentaron valores bajos de riqueza, que de acuerdo a Bellinger y Sigee (2010), se debe a que exhiben un comportamiento regulado por los ciclos estacionales, en donde en las temporadas secas, migran a las profundidades sobreviviendo como quistes debido a la limitación del fósforo.

Con relación al NMDS la homogeneidad de las comunidades del fitoplancton de los grupos L2, S2 y L1, L2, son característicos de zonas donde no se presentan elevadas tasas de renovación de sus aguas Bouvy et al., (2006). Los sitios 3 y 4 de muestreo en cada temporada climática no presentaron elevadas similitudes en su biodiversidad, lo que podría estar influenciado por el régimen hidrológico. En un sentido amplio se visualiza que la distribución espacial y temporal del fitoplancton es relativamente estable en el humedal Pisingo, aunque es recomendable el seguimiento en un tiempo de estudio mayor.

De acuerdo con el ACC y el ACP, se pudo observar que el sitio 1 de muestreo en cada temporada se vio influenciado por la fuerte presencia de conductividades altas,

solidos disueltos y oxígeno disuelto. Estas variables establecieron la mayor diversidad del fitoplancton en géneros de la clase Euglenophyceae, Cyanophyceae y Bacillariophyta. Según Hutchinson (1967), estas comunidades se correlacionan con estas variables, debido a que el oxígeno disuelto, la presencia de iones y el material en suspensión aumentan la composición del fitoplancton. En relación a las diatomeas la baja presencia de nutrientes, es indicativo para su abundancia, aunque en la época seca presento menor riqueza. El punto 2 de muestro se correlaciono con el oxígeno disuelto, indicando una mayor abundancia de la clase Chlorophyceae en la temporada seca, a pesar que Reynolds (2006), establece que esta clase es altamente productiva y cosmopolita. Por último, los demás sitios de muestreo, no presentaron una afinidad particular por alguna variable fisicoquímica, estableciendo que los géneros presentes pueden ser de tipo ocasionales, aunque se debe tomar a manera de hipótesis ya que no se realizó un seguimiento prolongado.

Un aspecto a tener en cuenta, en el comportamiento de las comunidades en los periodos climáticos, es considerar el impacto que tuvo el régimen bimodal en la ciudad de Neiva, debido a que durante la investigación el periodo climático de lluvias se extendió hasta inicios de Julio del año 2019, generando que los datos del periodo seco estuviesen condicionados, por lo tanto, no permitió reflejar un adecuado estado de la composición fitoplanctónica en esta época, lo cual concuerda con el ACC para la temporada seca.

### **10.3 El fitoplancton como bioindicador**

De acuerdo con sus ciclos vitales cortos, el fitoplancton refleja cambios estructurales en su composición al presentarse fluctuaciones ambientales que pueden ser por procesos naturales o antrópicos. En el humedal Pisingo, la gran mayoría de géneros reportados (Tabla 7) presentaron la indicación de un estado de eutrofización del humedal. Según Hutchinson (1967) los géneros *Scenedesmus*, *Staurastrum*, *Crucigenia*,

*Aphanizomenon*, y *Oscillatoria*, se caracterizan para indicar un estado de eutrofización en el ecosistema.

Según Carlson (1997) esta condición de eutrofización, es debido a que normalmente los humedales eutrofizados con litorales pocos profundos como el Pisingo, son los medios más adecuados para la sedimentación y enriquecimiento de nutrientes, favoreciendo la abundancia de macrófitas y algas (Roldan, 1992).

De acuerdo con los índices de estado trófico calculados que tienen en cuenta la relación entre los taxones de algas presentes, indicaron una condición de mesotrofia a eutrofia. Sin embargo, no tienen una clara relación con el estado trófico en sistemas tropicales poco profundos (Pulido, 2015). Por esta razón, la composición del fitoplancton puede ser más útil que estos índices tróficos (Huszar et al., 1998).

Con relación a la calidad del agua del humedal Pisingo, se puede establecer la presencia de elevadas conductividades eléctricas que se correlacionan con los géneros *Oscillatoria*, *Euglena*, *Scenedesmus* y *Navícula*. Esta indicación particular de una elevada conductividad eléctrica podría desencadenar una limitación para la vida de las especies por estar sometidas a una presión osmótica (Roldan y Ramírez, 2008; Sierra, 2011).

Por su parte los sólidos disueltos, se relacionan con la presencia de los géneros *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Phacus*, *Trachelomonas* y *Euglena* principalmente (Bellinger y Sigeo, 2010). Según Roldan y Ramírez (2008) la acumulación de material suspendido puede generar turbidez que impida el paso de los rayos solares, taponando el sistema de intercambio gaseoso y facilitando que el humedal presente estratificación térmica, el cual se bioindica con la presencia de géneros como *Anabaena*, *Oscillatoria* y *Euglena* (Pinilla, 2010).

En términos de flujo de nutrientes, debido a que el humedal es de poca profundidad (4m) los géneros fitoplanctónicos como las algas verdes normalmente se

vuelven codominante a principios del verano (Bellinger y Sigeo, 2010). No obstante, esta profundidad no permite establecer una indicación por parte del fitoplancton ya que la interacción entre el sedimento y la columna no reflejan la disponibilidad de estos nutrientes (Pulido, 2015). Aun así, Estas poblaciones fitoplanctónicas, permiten establecer que el humedal presenta un flujo constante de nutrientes, en donde el fosforo y el nitrógeno al estar en baja proporción y al ser limitado, son transformados en gran medida por el fitoplancton (Mulholland, 1996; Whitton et al 2005).

Por otro lado, enfocándonos en los géneros potencialmente formadores de floraciones algales, se puede establecer que el género filamentoso *Spirogyra* con frecuencia forma floraciones superficiales o escoria. Según Pokorny et al., (2002), el género *Spirogyra* generalmente produce floraciones flotantes de masas verdes espumosas o viscosas, conocidas como espuma de estanque, que en efecto no producen toxinas adversas para los organismos acuáticos, pero si generan sistemas en donde el oxígeno disminuye afectando y reduciendo la diversidad fitoplanctónica (Bellinger y Sigeo, 2010).

Las cianobacterias *Anabaena*, *Aphanizomenon* y *Oscillatoria*, son géneros que producen neurotóxicas que afectan a las poblaciones acuáticas y se manifiestan en gran medida por la mortandad de peces (Watson et al., 2015). Es de resaltar que las especies productoras de estas toxinas no se presentaron en el humedal Pisingo, pero debido a que las cianobacterias y en general estos géneros poseen tasas de alto crecimiento en condiciones de escasos de nutrientes y además poseen adaptaciones para explotar estas áreas, se recomienda un seguimiento en tiempos más largos de estudio.

Por último, la especie *Ceratium hirundinella* y el género *Peridinium* a pesar de estar pobremente representadas, son característicos para habitar ambientes en donde las concentraciones de fosforo son bajas y las aguas duras (Palmer, 1962). De acuerdo a su toxicidad los reportes generados los asocian a muertes de peces, pero sus toxinas no han

sido estudiadas a complejidad (Palmer, 1962; Watson et al., 2015). Es probable que la presencia de estos géneros en el humedal Pisingo se deban a sus migraciones en la columna del agua en donde los niveles de fosforo pueden ser más aprovechados en el fondo del humedal.

## 11. Conclusiones

- Las variables fisicoquímicas de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto, explicaron la mayor variabilidad de los géneros fitoplanctónicos en el humedal Pisingo. Además, las concentraciones de los nutrientes presentaron valores normales para los dos periodos climáticos de estudio en el humedal Pisingo.
- El humedal Pisingo presentó patrones de abundancia poblacional fitoplanctónica, donde en la temporada de lluvias dominaron los géneros *Pinnularia*, *Tabellaria*, *Spirogyra*, *Chroococcus* y *Closterium*, mientras en la temporada seca predominaron los géneros *Scenedesmus* y *Volvox*. Es de resaltar que las comunidades de fitoplancton no presentaron ensambles fitoplanctónicos propios de acuerdo a cada temporada climática.
- Las comunidades fitoplanctónicas durante las dos temporadas climáticas denotaron altos índices de diversidad y riqueza en el sitio de muestreo 1. En relación a los demás puntos de muestreo los índices ecológicos muestran una disminución de su diversidad.
- La utilización del fitoplancton como bioindicador, estableció que el humedal Pisingo presenta un estado de eutrofia débil, debido a que la gran mayoría de géneros fitoplanctónicos son propios para esta condición. Igualmente, las aguas del humedal Pisingo se caracterizaron por poseer altas conductividades eléctricas, y sólidos disueltos totales, así como la presencia de estratificación térmica.
- La presencia de los géneros *Spirogyra*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Ceratium* y *Peridinium*, son indicadores para la formación de floraciones algales, sin embargo, no se presentaron blooms en el humedal Pisingo. Aun así, se recomienda generar un seguimiento de estos géneros en el humedal, debido a que pueden generar disturbios en las condiciones de la calidad del agua.

- La aplicación móvil del fitoplancton del humedal Pisingo, es una herramienta pedagógica que contribuye al proceso divulgativo de la información, debido a que los estudiantes cada día están más inmersos en las nuevas tecnologías. Además, la utilización de posters favorece la visualización de la investigación en la Universidad Surcolombiana y en el humedal Pisingo.

## 12. Recomendaciones

- En futuros estudios se recomienda monitorear las variables fisicoquímicas durante un ciclo hidrológico completo, con el fin de obtener una mayor certeza de la distribución espacio-temporal de las comunidades fitoplanctónicas.
- Realizar la medición de parámetros fisicoquímicos a distintas profundidades para reconocer el ciclado de nutrientes en el cuerpo del agua. Además, es conveniente efectuar mediciones de dureza y otros iones minoritarios.
- Con el fin de favorecer el uso adecuado de la bioindicación del fitoplancton se recomienda generar asociaciones algales que compartan las mismas características de habitabilidad de un medio. Además, se invita a realizar un seguimiento constante del cuerpo hídrico para reportar floraciones algales.
- Para una determinación más aproximada de la calidad del agua por medio de géneros bioindicadores del fitoplancton se recomienda utilizar índices de estados tróficos que involucre las abundancias del fitoplancton y variables fisicoquímicas, como las concentraciones de DBO y clorofila.
- En pro de la divulgación de trabajos científicos entre la comunidad y los estudiantes, se recomienda la elaboración de herramientas didácticas virtuales como la desarrollada en este trabajo, que muestren la importancia y belleza de los organismos acuáticos.

### 13. Referencias

- Acevedo, J. Valdez, I & Poggi, H. (2006). *¿Cómo medir la biodiversidad?* Curso de tecnología N°3. ISBN 968-5441-03-0. México DF.
- Algarra, A. P., & Gaitán, E. C. (2017). Los humedales Ibis y Pisingo de la ciudad de Neiva. En. R. Lara., & G. Gutiérrez. *Parque Jardín Botánico de Neiva “un encuentro con la naturaleza.* (pp. 35-39). Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Alcaldía del municipio de Neiva- Huila.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) & Water Pollution Control Federation (WPF). 2005. Standard methods for examination of water and wastewater. 21th edition, Victor Graphics, Baltimore, USA.Pp1368.
- Aristizabal, V., M. (2016). *Lineamientos hidrológicos para la delimitación de humedales. Casos de estudio: ciénaga de la Zapatosa y complejo de esteros paz de Ariporo.* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia.
- Avaria, S. (2006). *Fitoplancton de canales y fiordos australes.* Universidad de Valparaíso.
- Ayala, G. (2008). *Grupos funcionales del fitoplancton y estado trófico del sistema lagunar Topolobampo-Ohuira-Santa María.* (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México.
- Barbero, M., Díaz, S. A., Molano, N., Morales, A., Moreno, F., Ontiveros, M. K., & Paternina, R. (2011). *Análisis limnológico de ecosistemas acuáticos del PNN el Cocuy.* Universidad Nacional de Colombia.
- Reguera, B., Alonso, R., Moreira, A., & Méndez, S. (2011). *Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas.* COI de UNESCO y OIEA, Paris y Viena 2011.
- Bellinger, E., G. Sigeo, D., C (2010). *Freshwater algae identification an use as bioindicators.* Ed, Wiley-Blackwell. ISBN 978-0—470-05814-5.
- Bicudo, C. E. D. M., & Menezes, M. (2006). *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições.* Rima.
- Bonilla, G. C., & Urrego, O. G. (2010). “Caracterización de la comunidad perifítica en ríos del parque nacional natural cueva de los guacharos”. En A. Guzmán., N. Moreno., G. Pinilla., & S. Reinales. *Estudio de ecosistemas terrestres y acuáticos ubicados en el parque nacional natural Cueva de los Guacharos (Acevedo-Huila).* (pp.27-38). Bogotá- Colombia.
- Bouvy, M., N. Ba, S. Ka, S. Sane, M. Pagano & R. Arfi. (2006). Phytoplankton community structure and species assemblage succession in a shallow tropical lake (Lake Guiers, Senegal). *Aquatic Microbial Ecology* 45 (2): 147-161.

- Camargo, G. (2008). "Lineamientos generales para la restauración de humedales en Colombia". En D. Rivera. *Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos*. (pp. 25-40). Bogotá- Colombia.
- Castro, L, M., Carvajal, Y., & Jiménez, H. (2013) "Morfología fluvial y régimen natural de caudales". En. Cantera, J. R., Carvajal, Y., & Castro, H. *Caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos*. (pp. 81-111). Universidad del Valle.
- Castro, Y. Zúñiga, L & Mora, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-1. Enero-marzo 2018. Pág. 35-46.
- Carlson, R. E. (1977). Airophicstate index for lakes. *limnol. Oceanogr.*, 22: 361-369.
- Cerón, V. A. (2011). *Estructura y dinámica de comunidades microalgales asociadas a lagunas facultativas secundarias en la estación de investigación y transferencia de tecnología en aguas residuales y reuso, municipio de Ginebra, Valle del Cauca*. (Tesis de maestría). Universidad del Valle.
- Convención de Ramsar, (2016). *Introducción a la Convención sobre los Humedales*. 5ª. Edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza, 2016.
- Convención de Ramsar, (2006). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)*, 4a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- Davis, J.C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons.
- De León, I., & Chalar, G. (2003). *Abundancia y diversidad del fitoplancton en el Embalse de Salto Grande (Argentina – Uruguay). Ciclo estacional y distribución espacial*. Sección Limnología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Iguá 4225 CP: 11400. Montevideo– Uruguay.
- Dimar-CIOH. (2011). *Catálogo de Fitoplancton de la Bahía de Cartagena, Bahía Portete y Agua de Lastre*. Dirección General Marítima- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Ed Dimar, Serie de Publicaciones Especiales CIOH Vol 5. Cartagena de Indias, Colombia.
- Donato., J. C. (1991), *Fitoplancton y aspectos físicos y químicos de la laguna de Chingaza*. *Caldasia* 16 (79): 489-500. Universidad Javeriana.
- Duque, S., & Núñez, M. (1998) *Fitoplancton de algunos ríos y lagos de la Amazonia colombiana*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI). Leticia, Amazonas.
- Duque, S., & Núñez, M. (2000). *Microalgas Acuáticas de la Amazonía Colombiana*. *Biota Colombiana* 1 2 (208)- (206). Leticia, Amazonas.
- Duque, S., & Donato, J. (1988). *Estudio del fitoplancton durante las primeras etapas de llenado del embalse de la central hidroeléctrica Betania, Huila-Colombia*. *Rev. Fac. Cien. Univ. Jav.* Vol.1, n° 2, 1988.

- Gobernación del Huila. (2006) *Análisis de la estabilidad de las islas ubicadas en el río Magdalena frente a la ciudad de Neiva*. Informe GH-001. Universidad Nacional de Colombia.
- González, G. (2013). *Fracciones de tamaño de fitoplancton de las lagunas de la turbera de Rancho Hambre (Tierra del Fuego): caracterización y relación con los factores bióticos y abióticos*. (Tesis de doctorado). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Guamán, M., & González, R. (2016). *Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador*. Corporación para la investigación energética. Laboratorio de Biotecnología Energética. Quito, Ecuador.
- Hainz, R., Wöber, C., Schagerl, M., (2009). *The relationship between Spirogyra (Zygnematophyceae, Streptophyta) filament type groups and environmental conditions in Central Europe*. *Aquat. Bot.* 91, 173–180.
- Hutchinson, G. E. (1967) *A Treatise on Limnology*, vol II. Introduction to lake biology and the limnoplankton. John Wiley y Sons. New York. 1115 p.
- Huszar, V., L. H. Silva, P. Domingos, M. Marinho y S. Melo. 1998. Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. *Hydrobiologia* 369/370: 59-71.
- Hutchinson, G. E. (1961). "*the paradox of little plankton*", *Am. Zool.* 95: 137-147.
- Jaramillo, U., Cortés-Duque, J. & Flórez, C. (eds.). (2016). *Colombia Anfibia, un país de humedales*. Volumen II. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 116 p.
- Jaramillo, U., Cortés-Duque, J. & Flórez, C. (eds.). (2015). *Colombia Anfibia, un país de humedales*. Volumen I. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 140 p.
- John, D.M., Whitton, B.A., & Brook, A.J. (2002) *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, pp. 702.
- Kociolek, P. Spaulding, S., A & Lowe, R., L. (2015). *Bacillariophyceae: The Raphid Diatoms*. *Freshwater Algae of North América*. (pp. 709-772).
- Komarek, J & Johansen, J., R. (2015). *Filamentous Cyanobacteria*. *Freshwater Algae of North América*. (pp. 136-235).
- Kruk, C., Huszar, V. L. M., Peeters., E. H. M., Bonilla, S., Costa, L., Lurling, M., Reynolds, C. S., & Scheffer, M. (2010). *A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton*. *Freshwater Biology*, vol. 55, no. 3, p. 614-627. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x>
- Kruk, C., & Segura, A. M. (2012). *The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups*. *Rev. Hydrobiologia* (2012) 698:191-202.

- La Barbera, A., Gamboa, J., & Senior, W. (1999). *Fitoplancton del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela*. Rev. Bio. Trop., 47 (Sup. 1): 57-63,1999. Cumaná, Estado Sucre. Venezuela.
- Legendre, P. & L. Legendre. 1998. *Numerical Ecology*, 2nd English ed. Elsevier, 853 pp.
- López Osorio, R.; M. Cañón Páez; M. & Gracia, E. (2011). Diatomeas. Pp. 17-67. En: DIMAR - CIOH. 2009. *Catálogo Fitoplancton de la Bahía de Cartagena, Bahía Portete y Agua de Lastre*. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Ed. DIMAR, Serie Publicaciones Especiales CIOH Vol. 5. Cartagena de Indias, Colombia. 135 Pp.
- López, R., & Vela, L. (2011). *Densidad y diversidad del fitoplancton de la cocha Llanchama, en los periodos hidrológicos de creciente y media vaciante, Loreto, Perú*. Conoc. Amaz, 2 (2): 157-166.
- López, Z., Tavera, R., & Novelo, E. (2015). *El fitoplancton de un canal de Xochimilco y la importancia de estudiar ecosistemas acuáticos urbanos*. México, D.F.
- MAGRAMA. (2012a). *Catálogo y claves de identificación de organismos fitoplanctónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico*. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Madrid- España.
- MAGRANA. (2012b). *Catálogo y claves de identificación de organismos fitobentónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico*. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Madrid- España.
- Martínez, P. (2015). *Variación espacio-temporal de microalgas acuáticas del embalse de Betania – Huila y su relación con la calidad del agua*. Rev. Intertropica. ISSN 1794-161X 10 11 - 19 Santa Marta, Colombia, enero - diciembre de 2015.
- Martínez, P., Delgado, J. F., & Muñoz, J. L. (2016). *Diversidad de géneros del fitoplancton del embalse de Betania– Huila y su importancia como bioindicadores*. Revista Científica, 25, 241-251. Doi: 10.14483/udistrital.jour.RC.2016. 25.a8
- Meave del Castillo, M., & Ramos, P. (2017). *Diversidad y dinámica del fitoplancton marino en la bahía de Acapulco, Guerrero*. Versión 1.3. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Occurrence Dataset <https://doi.org/10.15468/uv9r4x> accessed vía GBIF.org on 2018-05-22.
- Mejía, D. M. (2011). *Diatomeas perifíticas y algunas características limnológicas de un humedal urbano en la ciudad de Bogotá*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá- Colombia.
- Mirande, G., Barreto, A., Haleblian, S., & Tracanna, B. (2009). *Biodiversidad del parque nacional pre-delta (entre ríos, Argentina) ii. Estudio cuantitativo del fitoplancton*. ISSN 0373-580 X Bol. Soc. Argent. Bot. 44 (1-2): 11 - 23.

- Molina, F & Farinos, H. (2012). *Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad. Aplicación al estudio de comunidades vegetales*. Universidad politécnica de Valencia.
- Montes, R., Galves, M., & Rivera, H. (2005). *Fitoplancton de la bahía Sechura, Piura*. Universidad Nacional de Piura. Miraflores, Castilla, Piura. Perú.
- Montoya, Y., & Aguirre, N. (2009). *Estado del arte de la limnología de lagos de planos inundables en las ciénagas*. Revista Gestión y Ambiente. Volumen 12 No.3, agosto a diciembre de 2009, Medellín ISSN 0124.177X.
- Mora, P. (2011). *Comparación de la morfología funcional del fitoplancton y su relación con factores físicos y químicos en el primer periodo del 2007 y 2011, en el tercio alto del humedal Juan Amarillo*. (tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá- Colombia.
- Moreira, A., Seisdedo, M., Leal, S., Comas, A., Delgado, G., Regadera, R., Alonso, C., Muñoz, A., & Abatte, M. (2007). *Composición y abundancia del fitoplancton de la bahía de Cienfuegos, Cuba*. Rev. Invest. Mar. 28(2):97-109.
- Moreno, F., Caro, C. I., Pinilla, G.A., & Osorio, D. P. (2016). *Estado actual del conocimiento sobre microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos en el departamento del Meta*. Acta Biológica Colombiana., 22 (3): 274-306.
- Mosquera, Z & Peña, E, J. (2012) “Evaluación de la biodiversidad de las comunidades hidrobiológicas y su uso como bioindicadores en ecosistemas acuáticos”. En. Peña, E. J., Cantera, J., Muñoz, E. *Evaluación de la contaminación en ecosistemas acuáticos: estudio del caso de la laguna Sonso, cuenca alta del río Cauca*. (pp. 197-217). Universidad Autónoma de Occidente.
- Mulholland, P. J. 1996. Role in nutrient cycling streams. In: Stevenson, R. J., M. L. Bothwell & R. L. Lowe (Eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, California, USA, pp. 609-640.
- Nakada, T & Kozaki, H. (2015). *Flagellate Green Algae*. “Freshwater Algae of North América”. (pp. 265-313).
- Núñez, M., Agudelo, E., Alonso, J., & Escobar, M. (2006). *Balance anual sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia colombiana*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI). Bogotá- Colombia.
- Ochoa, N., & Tarazona, J. (2003). *Variación temporal de pequeña escala en el fitoplancton de la Bahía de Independencia*. Pisco, Perú.
- Okolodkov, B., & Blanco, R. (2011). *Diversidad de microalgas marinas y de aguas salobres*. CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. Instituto de Ecología. México.
- Olaya, A. (2017). Un ecosistema de bosque seco tropical para el proyecto parque jardín botánico de Neiva. En. R. Lara., & G. Gutiérrez. *Parque Jardín Botánico de Neiva*

- “*un encuentro con la naturaleza*. (pp. 23-35). Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Alcaldía del municipio de Neiva- Huila.
- Olaya, A., Sánchez, M., & Brand, M. (2003). Diversidad natural e interacciones entre ecosistemas del departamento del Huila. En A. Olaya., & M. Sánchez. *Ecosistemas Estratégicos del Huila: Significado ecológico y cultural*. (pp. 37-40.). Universidad Surcolombiana.
- Ott, D., Oldman, C., K. Rybalba, N & Fried, T. (2015). *Xanthophyte y Eustigmatophyte and Raphidophyte*. Freshwater Algae of North América. (pp. 485-536).
- Oyvind, H. (2012). *Paleontological Statistics*. Natural History Museum. PAST. Versión 2.17.
- Palmer, C.M., 1962. *Algae in water supplies*. Public Health Service Publication No. 657, Superintendent of Documents. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 88 pp.
- Pastrana, E. (2013). *Relación de grupos funcionales fitoplanctónicos basados en su morfología presentes en el embalse de Betania durante dos periodos hidrológicos*. Yaguará (Huila).
- Pechar, L. (2002) *Hydrobiological evaluation of Trebon fishponds since the end of the nineteenth century*. Hydrobiologia 40, 247–250.
- Pedraza, G. S., Márquez, G., & García, L. C. (1984). *Aspectos hidro-limnológicos en las ciénagas de Chucuri y Aguas Negras (Magdalena medio, Colombia) durante un ciclo anual*. Acta biológica colombiana. Vol. 1. No. 5. Bogotá- Colombia.
- Pérez, M. (2002). *Fitoplancton del río Negro*. Limnética, v.: 21 1-2, p.: 81 – 93. Montevideo- Uruguay.
- Pinilla, G. (2010). “Composición del plancton de red de la laguna Encantada, Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos”. En A. Guzmán., N. Moreno., G. Pinilla., & S. Reinales. *Estudio de ecosistemas terrestres y acuáticos ubicados en el parque nacional natural Cueva de los Guacharos (Acevedo-Huila)*. (pp.19-26). Bogotá- Colombia.
- Pinilla, G., A (2017). *Prácticas de limnológica: Guías de laboratorio y campo*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- Prescott, G., W (1954). *How to know the freshwater algae*. Ed, Brown Company. Dubuque, Iowa.
- Pokorny, J. et al. (2002) *Role of macrophytes and filamentous algae in fishponds*. In Kvet, J., Jenik, J. and Soukupova, L. (eds) *FreshwaterWetlands and their Sustainable Future*. New York, USA, Parthenon Publishing, pp. 97–124.
- Pulido, P. C (2015). *El fitoplancton en la determinación del estado trófico del humedal el Salitre (Bogotá, Colombia) en épocas Climáticas contrastantes*. (Tesis de maestría). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

- Ramírez J. 2000. *Fitoplancton de Agua Dulce: Aspectos Ecológicos, Taxonómicos y Sanitarios*. 1 ed. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. Pp 207.
- Reynolds, C., S. (2006). *Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Reynolds, C., S. 1997. *Vegetation Process in the Pelagic: A Model for Ecosystem Theory. Excellence in Ecology*. Ecology Institute Oldendorf/Luhe.
- Ricaurte, L., F. (2000). *Los humedales de la Amazonia Colombiana. "Conocimiento para su conservación"*. Instituto amazónico de investigaciones científicas (SINCHI). Bogotá, DC, Colombia.
- Ricaurte, L.F.; Núñez-Avellaneda, M.; Pinilla, M.C.; Marín, C.A.; Velásquez-Valencia, A.; Alonso, J. C.; Mojica, J. I.; Betancourt, B.; Salazar, C.; Caicedo, D.; Acosta-Santos, A.; Castro, W.; Argüelles, J. H. (2015). *Inventario y tipificación de humedales en la cuenca del río Orteguaza, Departamento del Caquetá, Amazonia colombiana*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, Convención de Ramsar. Bogotá, Colombia. 128 p.
- Rivera, C. A., Zapata, A. M., Pérez, D., Morales, Y., Ovalle, H., & Álvarez, J. P (2009). *Caracterización limnológica de humedales de la planicie de inundación del río Orinoco*. Acta biol. Colombia., Volumen 15, Numero 1.
- Roa-García, M., C & Brown, S. (2016). *Caracterización de la acumulación de carbono en pequeños humedales andinos en la cuenca alta del río barbas (Quindío, Colombia)*. Rev. Caldasia 38(1):117-135. 2016.
- Rodríguez, A. P., & Aranguren, N. J. (2014). *Comunidad planctónica de un embalse con alta tensión ambiental: La Playa, cuenca alta del río Chicamocha (Tuta, Boyacá), Colombia*. Biota Colombiana. ISSN 0124-5376. Volumen 15. Número 2. Especial embalses y ríos regulados Julio - diciembre de 2014.
- Rodríguez, M., Díaz, J., ~~Chazotte~~ L., Subero, S., & Troccoli, L. (2010). *Biomasa y abundancia del fitoplancton en la isla la Tortuga, dependencia federal, Venezuela*. Bol. Inst. Oceanográfico. Venezuela, 49 (1): 77-86 (2010).
- Rodríguez, L. S (2012). *Determinación del estado trófico de tres ecosistemas lenticos en la sabana de Bogotá con base al fitoplancton en dos periodos climáticos contrastantes*. (Tesis de grado). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá-Colombia.
- Roldán, G. 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Editorial Univ. Antioquia. Medellín, Colombia. 529 p.
- Roldán, G. y J. Ramírez. 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Segunda Edición. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín. 442 p.
- Romero, J. A. (2009). *Calidad del agua*. Tercera edición. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 485 p.

- Romo, A. K. (2002). *Manual para el cultivo de microalgas*. (Trabajo de grado). Universidad Autónoma de Baja California.
- Round, F.E., 1981. *The Ecology of Algae*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Salusso, M., & Moraña, L. (2014). *Fitoplancton de embalses subtropicales del noroeste argentino*. *Gestión y Ambiente* 17 (1): 209-222.
- Sierra, C. A. 2011. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. Universidad de Medellín. Medellín, Colombia. 457 p.
- Silvia, J., López, A., Roberto, C., & Medina, B. (2007). *Diversidad y distribución del fitoplancton de agua dulce en la Península de Yucatán, México*. Boletín Del Instituto de Botánica (Ibugana). Vol, 13. Número 2. Universidad de Guadalajara.
- Stancheva, R., Hall, J.D., McCourt, R.M., Sheath, R.G., (2013). *Identity and phylogenetic placement of Spirogyra species (Zygnematophyceae, Charophyta) from California streams and elsewhere*. *J. Phycol.* 49, 588–607.
- Tapia-Larios, C. M. (2008). *Variación Espacial Y Temporal Del Fitoplancton En La Bahía De Mayagüez, Puerto Rico*. Ed: Proquest Digital Dissertation. ISBN: 9780549414353. Puerto Rico.
- Triemer, R., E & Bozena, Z. (2015). *Photosynthetic Euglenoids*. *Freshwater Algae of North América*. (pp. 459-483).
- Van der Hammen, T., Gary, F., Roselli, L., Chisca, M. L., Camargo, G., Guillot, G., Useche, Y., & Rivera, D. (2008). “Generalidades del ecosistema de humedal”. En D. Rivera. *Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos*. (pp. 41-79). Bogotá- Colombia
- Vásquez, C.; Ariza, A.; Pinilla, G. (2006). *Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense*. *Universitas Scientiarum*, vol. 11, núm. 2, julio-diciembre, 2006, pp. 61-75. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Vicente, E., De Hoyos, C., Sánchez, P., & Cambra, J. (2005) *Protocolos de muestreo y análisis del fitoplancton*. *Confederación Hidrológica del Ebro*. España
- Villalba, L. S., & y Malagón, A (2011). *Biodeterioro de la fuente de Lavapatas, parque arqueológico de San Agustín-Huila. Colombia*. *Revista. Ge-conservación*, N° 2. 2011. Pág., 65-80. ISSN: 1989-8568.
- Watson, S, B., Whitton, B, A., Higgins, S., Paerl, H, W., Brooks, B, W., & Wehr, J, D. (2015). *Harmful Algal Blooms*. *Freshwater Algae of North América*. (pp. 873-920).
- Whitton, B. A., A. M. Al-Shehri, N. T. W. Ellwood & B. L. Turner. 2005. Ecological aspects of phosphatase activity in cyanobacteria, eukaryotic algae and bryophytes. In: Turner, B.L., E. Frossard & D.S. Baldwin (Eds.). *Organic phosphorus in the environment*. CAB International, Wallingford, U.K., pp. 205-241.

Yount, J., L. (1956). Factors that control species numbers in Silver Springs, Florida. *Limnology and Oceanography*, 1 (4): 286-295.

#### 14. Infografía

Algaebase: Listing the World's Algae. (2016). *Algaebase.org*. Disponible en: <http://www.algaebase.org/>

CORTOLIMA, (2007). *Plancton*. Corporación Autónoma Regional del Tolima. Recuperado de: [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documento\\_s/pom\\_totare/diagnostico/ki\\_210110plancton.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documento_s/pom_totare/diagnostico/ki_210110plancton.pdf)

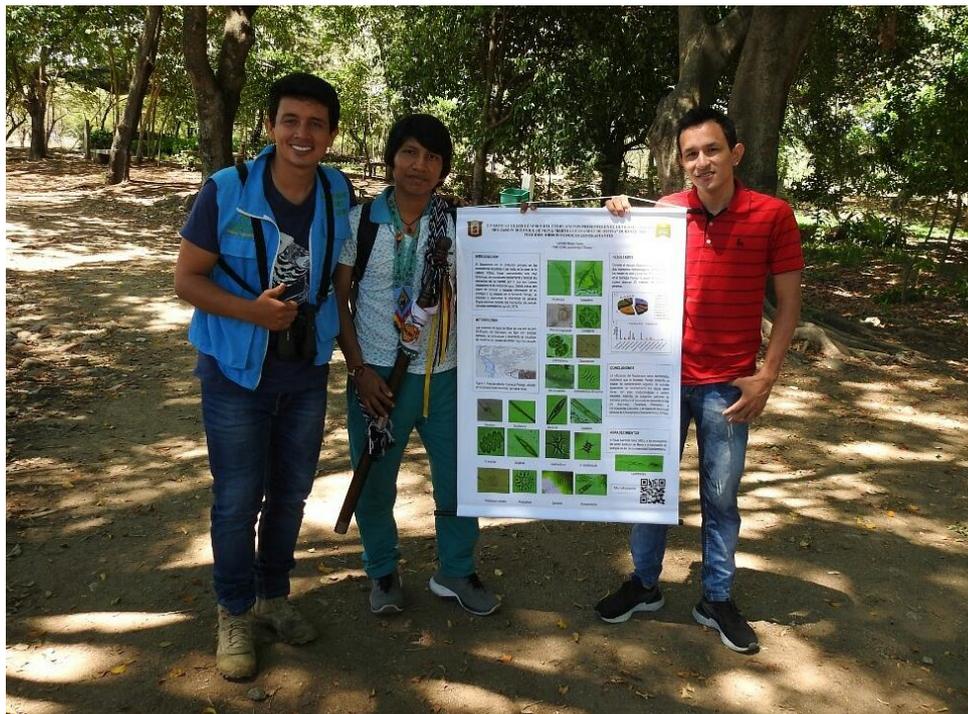
IDEAM. (2018). *Anomalía de la precipitación decadal*. MINAMBIENTE. Recuperado de : <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/precipitacion-mensual-por-ano>. Bogotá- Colombia.

IGAC. (2018). *Geoportal*. Recuperado de: <https://geoportal.igac.gov.co/> Bogotá Colombia

## Anexos



Anexo 1. Aplicación móvil



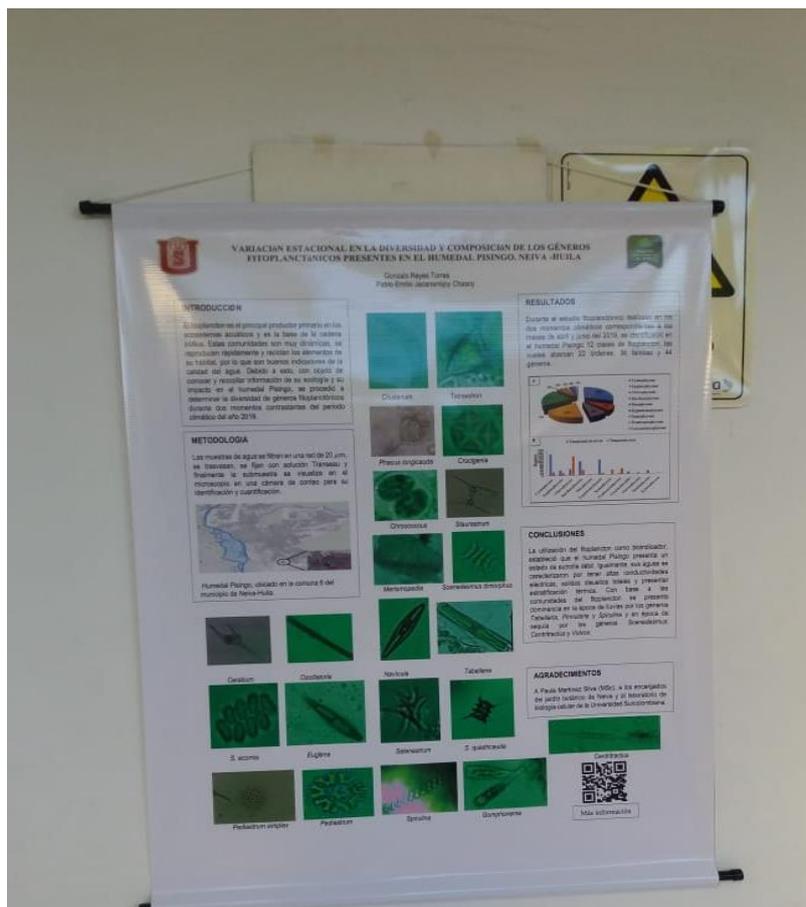
Anexo 2. Socialización en el humedal Pisingo



Anexo 3. Socialización de Resultados



Anexo 4. Socialización de los resultados



Anexo 5. Poster ilustrativo de la investigación. Ubicado en el laboratorio de Biología de la Universidad Surcolombiana

GÉNERO	CUANTIFICACIÓN			
	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4
<i>Merismopedia</i>	2	-	-	3
<i>Spirulina</i>	2	-	-	-
<i>Oscillatoria</i>	1	-	-	2
<i>Gloeocapsa</i>	4	1	2	-
<i>Chroococcus</i>	3	2	-	2
<i>Euglena</i>	3	1	2	3
<i>Phacus</i>	-	3	-	4
<i>Pediastrum</i>	-	4	3	5
<i>Tetraedron</i>	2	-	-	2
<i>Ankistrodesmus</i>	-	-	1	3
<i>Kirchneriella</i>	9	3	-	6
<i>Selenastrum</i>	-	-	-	5
<i>Scenedesmus</i>	7	9	5	12
<i>Volvox</i>	11	11	-	37
<i>Actinastrum</i>	-	-	1	-
<i>Crucigenia</i>	6	8	6	4
<i>Melosira</i>	2	-	-	-
<i>Aulacoseira</i>	2	1	-	-
<i>Tabellaria</i>	4	3	2	1
<i>Navícula</i>	13	3	-	-
<i>Pinnularia</i>	3	-	-	-
<i>Fragilaria</i>	-	-	-	2
<i>Cymbella</i>	1	-	-	-
<i>Gomphonema</i>	3	2	-	-
<i>Closterium</i>	2	-	-	-
<i>Staurastrum</i>	2	1	-	-
<i>Cosmarium</i>	-	4	-	3
<i>Zygnema</i>	-	1	-	-
<i>Centritractus</i>	8	3	4	12

Anexo 6. Cuantificación del fitoplancton en la temporada seca.

GENERO	CUANTIFICACION			
	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4
<i>Merismopedia</i>	7	9	7	5
<i>Aphanocapsa</i>	3	-	-	3
<i>Spirulina</i>	16	10	12	13
<i>Oscillatoria</i>	4	3	-	-
<i>Anabaena</i>	6	3	3	-
<i>Aphanizomenon</i>	5	4	3	4
<i>Gloeocapsa</i>	4	-	-	-
<i>Chroococcus</i>	16	14	-	-
<i>Trachelomonas</i>	4	-	-	-
<i>Euglena</i>	8	5	6	5
<i>Phacus</i>	3	3	3	-
<i>Chlamydomonas</i>	3	-	-	-
<i>Pediastrum</i>	1	-	-	2
<i>Hydrodictyon</i>	2	-	-	-
<i>Tetraedron</i>	2	4	-	-
<i>Golenkinia</i>	-	2	2	-
<i>Ankistrodesmus</i>	-	3	-	7
<i>Kirchneriella</i>	-	-	-	2
<i>Scenedesmus</i>	-	-	1	-
<i>Volvox</i>	2	3	2	3
<i>Sphaerocystis</i>	-	4	-	-
<i>Chryso-sphaera</i>	10	-	-	-
<i>Actinastrum</i>	-	3	4	-
<i>Melosira</i>	6	-	5	6

<i>Tabellaria</i>	15	-	6	2
<i>Navícula</i>	4	-	-	-
<i>Pinnularia</i>	12	6	7	9
<i>Fragilaria</i>	8	3	-	1
<i>Synedra</i>	-	3	-	-
<i>Cymbella</i>	7	-	-	16
<i>Cyclotella</i>	9	5	8	-
<i>Synura</i>	3	-	-	-
<i>Peridinium</i>	2	-	-	2
<i>Ceratium</i>	-	-	-	4
<i>Closterium</i>	9	14	16	10
<i>Staurastrum</i>	1	12	-	8
<i>Spirogyra</i>	14	8	9	7

---

Anexo 7. Cuantificación temporada lluviosa