

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL JABOQUE
MEDIANTE LA IDENTIFICACIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA Y
LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA**

JENNIFFER ALEJANDRA COTRINO VILLA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ**

2020

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL JABOQUE
MEDIANTE LA IDENTIFICACIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA Y
LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA**

JENNIFFER ALEJANDRA COTRINO VILLA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Ambiental

Directora

Liliana Salazar López

Bióloga M.Sc.

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

BOGOTÁ

2020

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	OBJETIVOS	6
2.1.	OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2.	OBJETIVOS ESPECIFICIOS.....	6
3.	ANTECEDENTES	7
3.1.	Convención Ramsar	7
3.2.	Política Nacional de Humedales.....	7
3.3.	Política Distrital de Humedales	8
4.	MARCO REFERENCIAL.....	9
4.1.	MARCO CONTEXTUAL	9
4.1.1.	Humedales.....	9
4.1.2.	Bienes y servicios ecosistémicos de los humedales	9
4.1.3.	Descripción del área de estudio	10
5.	MARCO TEÓRICO.....	12
5.1.	Fitoplancton	12
5.2.	Fitoplancton como indicador	13
5.3.	Estado trófico	13
5.4.	Parámetros fisicoquímicos	15
5.5.	Índices de diversidad.....	16
5.6.	Software PAST	18
6.	METODOLOGÍA.....	19
6.1.	Etapa preliminar	19
6.2.	Etapa diseño de muestreo	19
6.3.	Fase de campo.....	22
6.4.	Fase de laboratorio	23
6.4.1.	Estudio Cualitativo	23
6.4.2.	Estudio Cuantitativo de la comunidad algal	24
6.5.	Fase de análisis.....	24
6.5.1.	Análisis Cualitativo	24
6.5.2.	Análisis Cuantitativo.....	25
6.5.3.	Frecuencia de ocurrencia	25

7.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	27
7.1.	Presencia- Ausencia del Fitoplancton (Cualitativo).....	27
7.1.1.	Comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica	28
7.1.2.	Comportamiento temporal de la comunidad fitoplanctónica	29
7.2.	Frecuencia específica	31
7.3.	Índices de diversidad.....	32
7.3.1.	Índice de Simpson	32
7.3.2.	Índice de Berger Parker	33
7.3.3.	Índice de Shannon	34
7.3.4.	Índice de Margalef.....	36
7.3.5.	Índice de Menhinick	36
7.4.	Curva de acumulación de especies	38
7.5.	Condiciones fisicoquímicas del humedal Jaboque	39
	Temperatura.....	39
	Oxígeno Disuelto	40
	pH	41
	Conductividad	42
7.6.	Relación de las condiciones fisicoquímicas con los índices biológicos	43
7.6.1.	Correlación Spearman.....	43
7.6.2.	Correlación canónica.....	45
8.	CONCLUSIONES	49
9.	RECOMENDACIONES	50
10.	BIBLIOGRAFIA.....	53

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Porcentaje de clases taxonómicas de la comunidad de fitoplancton.....	27
Gráfica 2. Comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica	29
Gráfica 3. Comportamiento temporal de la comunidad fitoplanctónica	30
Gráfica 4. Frecuencia específica.....	31
Gráfica 5. Valores del índice de Simpson para las estaciones de muestreo	32
Gráfica 6. Valores del índice de Simpson para los tres muestreos.....	33
Gráfica 7. Valores para el índice de Berger Parker para las estaciones de muestreo.....	34
Gráfica 8. Valores para el índice de Shannon para las estaciones de muestreo.....	35
Gráfica 9. Valores del índice de Shannon para los tres muestreos	35
Gráfica 10. Valores para el índice de Margalef para las estaciones de muestreo.....	36
Gráfica 11. Valores para el índice de Menhinick para las estaciones de muestreo	37
Gráfica 12. Máximos y mínimos de Margalef y Menhinick para los tres muestreos.....	38
Gráfica 13. Curva de acumulación de especies	39
Gráfica 14. Variación de la temperatura del agua para las estaciones de muestreo	40
Gráfica 15. Variación de oxígeno para las estaciones de muestreo	41
Gráfica 16. Valores de pH para las estaciones de muestreo	42
Gráfica 17. Conductividad para las estaciones de muestreo	43
Gráfica 18. Correlación de Spearman.....	44
Gráfica 19. Correlación canónica.....	46

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación geográfica del Humedal Jaboque.....	10
Mapa 2. Estaciones de muestreo	21

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores del estado trófico del índice de Carlson	15
Tabla 2. Descripción de los parámetros fisicoquímicos.....	15
Tabla 3. Ubicación estaciones de muestreo.....	19
Tabla 4. Presencia Ausencia de fitoplancton	24
Tabla 5. Clasificación taxonómica del fitoplancton	25
Tabla 6. Comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica.....	28
Tabla 7. Comportamiento temporal de la comunidad fitoplanctónica.....	29
Tabla 8. Siglas de los morfotipos de la correlación canónica	45
Tabla 9. Fosforo total en tres estaciones del humedal Jaboque	47
Tabla 10. Valor de estado trófico para las tres estaciones del humedal Jaboque	47
Tabla 11. Morfotipos y estado trófico	48

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación puntos de muestreo	20
Ilustración 2. Medición de parámetros fisicoquímicos	22
Ilustración 3. Recolección de fitoplancton	23
Ilustración 4 . Fotografías de taxones de fitoplancton	30

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Clasificación taxonomía del fitoplancton y registro fotográfico

Anexo 2: Documento de Excel con tabla de presencia ausencia, tabla cuantitativa, índices de diversidad.

RESUMEN

El objetivo general de este estudio fue analizar la calidad del agua del humedal Jaboque mediante la identificación de la comunidad fitoplanctónica y las condiciones fisicoquímicas del agua en dos periodos climáticos, para esto se visitó el humedal y se determinaron tres estaciones de muestreos ubicadas en los tres tercios en que se divide el humedal (tercio alto, tercio medio y tercio bajo en la desembocadura del humedal al río Bogotá).

Para esto se tomaron muestras de fitoplancton con una malla de 23 micras y se midieron los parámetros fisicoquímicos en campo de oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos totales, turbidez, conductividad y temperatura; las muestras de fitoplancton fueron analizadas en el laboratorio de la universidad Santo Tomás y la metodología que uso para el conteo de taxones fue directo y se registró en una tabla de Excel. Se hallaron los índices de diversidad Simpson, Shannon, Margalef, Menhinick y Berger Parker, para relacionar los índices con los parámetros fisicoquímicos, también se relacionaron los géneros encontrados con los parámetros para ver la afinidad que había entre los dos.

Se encontraron 53 géneros de fitoplancton y los morfotipos que estuvieron presentes en casi todas las estaciones fueron *Navicula Sp.*, *Nitzschia Sp.*, *Mycrocystis sp.* y *Oscillatoria sp.* indicadoras de aguas con contaminación orgánica intensa y muy intensa.

Por su importancia dentro de la estructura ecológica principal de Bogotá y como humedal de importancia RAMSAR, el humedal Jaboque necesita ser estudiado y tener un seguimiento sobre la calidad del agua y del ecosistema ya que se están presentando obras que afectan el ecosistema.

Palabras claves: Humedal, fitoplancton, calidad del agua, bioindicador, eutrófico.

ABSTRAC

The general objective of this study was to analyze the water quality of the Jaboque wetland by identifying the phytoplankton community and the physicochemical conditions of the water in two climatic periods, for this the wetland was visited and three sampling stations located in the three thirds into which the wetland is divided (high third, middle third and low third at the mouth of the wetland to the Bogotá river).

For this, phytoplankton samples were taken with a 23 micron mesh and the physicochemical parameters were measured in the field of dissolved oxygen, pH, total dissolved solids, turbidity, conductivity and temperature; The phytoplankton samples were analyzed in the laboratory of the Santo Tomas University and the methodology used for the taxon count was direct and was recorded in an-Excel table. The diversity indices Simpson, Shannon, Margalef, Menhinick and Berger Parker were found, to relate the indices to the physicochemical parameters, the genres found were also related to the parameters to see the affinity between the two.

53 genera of phytoplankton were found and the morphotypes that were present in almost all the stations were *Navicula* Sp., *Nitzschia* Sp., *Mycrocystis* sp. and *Oscillatoria* sp. Indicators of waters with intense and very intense organic pollution.

Due to its importance within the main ecological structure of Bogotá and as a RAMSAR important wetland, the Jaboque wetland needs to be studied and have a follow-up on the quality of the water and the ecosystem since works that affect the ecosystem are being presented.

Key words: Wetland, phytoplankton, water quality, bioindicator, eutrophic

1. INTRODUCCIÓN

El humedal Jaboque se ubica en la localidad de Engativá en la ciudad de Bogotá y es el segundo de mayor extensión después del humedal Tibabuyes, este ecosistema ha tenido diferentes intervenciones antrópicas que han disminuido su área, contaminado sus aguas y alterado su equilibrio por grandes obras como la ampliación del aeropuerto el dorado, construcciones como senderos, endurecimientos, urbanizaciones, rellenos y vertimientos domésticos e industriales.

Por su importancia como humedal Ramsar y los servicios ecosistémicos que presta como provisión de hábitat para especies endémicas y migratorias, depuración de aguas, provisión de agua, regulación y protección de inundaciones, entre otras, se hace necesario estudiarlo y tener un seguimiento que permita conocer el estado actual de la calidad del agua y del ecosistema en general para la toma de decisiones con los usos ya establecidos de la estructura ecológica principal como la conservación, restauración, investigación y educación.

Los organismos de fitoplancton (algas y bacterias) presentes en un ecosistema funcionan como un indicador biológico ya que están ligados a condiciones puntuales en cuerpos de agua y sus ciclos de vida permiten diferenciar cambios que indican algún tipo de alteración; algunas divisiones de fitoplancton tienen rangos amplios de tolerancia lo que hace que se adapten a condiciones difíciles. Así ciertos organismos y poblaciones de algas se relacionan con aguas eutróficas, mesotróficas y/o oligotróficas.

Además, el fitoplancton es de gran importancia en los ecosistemas acuáticos ya que son productores primarios y representan el primer eslabón en la cadena alimenticia, la función ecológica principal del fitoplancton es ser la entrada de energía al sistema a través de la producción primaria.

En este estudio se identificó la comunidad de fitoplancton presente en el humedal Jaboque en periodos de lluvia y poca lluvia en tres estaciones de muestreo, se midieron los parámetros fisicoquímicos y se analizaron espacial y temporalmente. Se hallaron también los índices biológicos de Simpson, Shannon, Margalef y Menhinick para conocer la biodiversidad del humedal y su relación con las condiciones fisicoquímicas del agua, esto para determinar el estado del humedal en relación con la bioindicación de los morfotipos.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GENERAL

Determinar el estado actual de la calidad del agua del humedal Jaboque mediante la identificación de la comunidad fitoplanctónica y su relación con las condiciones fisicoquímicas del agua, dada su importancia como humedal constituyente del sistema de humedales Ramsar del distrito capital.

2.2.OBJETIVOS ESPECIFICIOS

- Identificar la composición, estructura y abundancia de fitoplancton.
- Determinar las condiciones fisicoquímicas del agua del humedal Jaboque.
- Comparar las condiciones fisicoquímicas y los índices biológicos para la determinación del estado trófico.
- Determinar el estado trófico del humedal teniendo en cuenta las condiciones fisicoquímicas y la comunidad de fitoplancton presente.

3. ANTECEDENTES

3.1. Convención Ramsar

La convención sobre los humedales o convención Ramsar, es un tratado intergubernamental que se aprobó en la ciudad de Ramsar en Irán el 2 de febrero de 1971 y que entró en vigor en 1975, este tratado es el primero de los tratados modernos sobre conservación y uso sostenible de los recursos naturales, en un principio su énfasis se direccionaba especialmente en la preservación de estos ecosistemas por ser hábitat de aves acuáticas. Sin embargo, en el transcurso del tiempo se amplió su alcance hasta abarcar la conservación de estos ambientes, en todos sus aspectos, por la importancia que tienen en el bienestar de las comunidades. Esta convención se elaboró para llamar la atención internacional sobre el ritmo con que los hábitats de humedales estaban desapareciendo por falta de comprensión sobre las importantes funciones, valores, bienes y servicios que los humedales proveen. [1]

Colombia, desde 1998 hace parte de la convención Ramsar [2], y cuenta hasta la fecha con doce sitios de importancia internacional, en el 2018 se declararon cinco nuevos humedales donde se encuentra el complejo de humedales urbanos de Bogotá, del cual hace parte el humedal de Jaboque, objeto de esta investigación; teniendo así un total de un millón ochocientos setenta y un mil ochocientos dos (1.871.802) ha de humedales en categoría Ramsar en el mundo. [3]

3.2. Política Nacional de Humedales

Con la adhesión de Colombia en la convención Ramsar ratificada en 1998 en Costa Rica, en la reunión panamericana y como firmante del convenio de Diversidad Biológica, que es también un marco de referencia para la generación y el desarrollo político y normativo en torno a la conservación y protección de ecosistemas estratégicos, Colombia se compromete a elaborar estrategias, planes, programas y políticas para el cumplimiento de esto. [4]

La política para los humedales interiores del país (2002) tiene como objetivo *“propender por la conservación y el uso sostenible de los humedales interiores de Colombia con el fin de mantener y obtener beneficios ecológicos, económicos y socioculturales, como parte de integral del desarrollo del país”* donde se reconozcan como parte integral y estratégica del territorio, integrándolos en la planificación de uso del espacio físico, recursos naturales y el ordenamiento del territorio. [5]

3.3. Política Distrital de Humedales

Estudiando las recomendaciones de la convención Ramsar y teniendo en cuenta la Política Nacional de Humedales Interiores de Colombia, se inició la formulación de la Política de Humedales del Distrito Capital, teniendo en cuenta también el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) 2004 y diferentes acuerdos existentes que establecen normas encaminadas a proteger los elementos naturales y del ambiente que conforman los sistemas hídricos y orográficos.

Los humedales de Bogotá son una red de áreas protegidas, constituidos por ecosistemas de interés y valor ecológico y ambiental por sus funciones y atributos. Representan un patrimonio natural y cultural colectivo que se manifiesta en su aporte a la conservación de la biodiversidad mundial, la calidad de la vida, la investigación, la habitabilidad, la sostenibilidad y el disfrute, entre otros aspectos. [4]

Los objetivos de la política distrital de humedales van encaminados a la conservación de los ecosistemas, por su valor intrínseco, los bienes y servicios que ofrecen siendo indispensables en el desarrollo sostenible de la ciudad y la región por lo que se busca un reconocimiento de los humedales por medio del conocimiento y la socialización de éstos, también conservando la estructura y sus funciones, además de adecuar proteger y rehabilitar los procesos ecológicos esenciales, contribuyendo a la estabilidad de los ciclos hidrológicos de la región y demás servicios ecosistémicos que éstos prestan [4]

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO CONTEXTUAL

4.1.1. Humedales

Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y de la vida vegetal y animal asociada a él, se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas. [6]

En la convención sobre los humedales en la ciudad de Ramsar en Irán en 1971, en el artículo 1 quedaron declarados los humedales como:

“las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. [1]

La protección de los humedales reside en la importancia que tienen éstos en la conservación de la biodiversidad, la productividad primaria de la que dependen innumerables especies vegetales y animales como aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces, para subsistir, figuran también como los ecosistemas más productivos del mundo [1]. Dentro del ciclo hidrológico juegan un rol crítico en el mantenimiento de la calidad ambiental y regulación hídrica, tienen un papel fundamental en la mitigación de impactos por inundaciones, absorción de contaminantes, retención de sedimentos, recarga de acuíferos y provisión de hábitats para las especies, entre otros aspectos funcionales. [5]

Mediante la promulgación del decreto 1468 de 2018, se designa el complejo de humedales urbanos del Distrito Capital de Bogotá que será incluido en la lista de Humedales de importancia Ramsar, los cuales también fueron identificados como parques ecológicos distritales de humedal (PEDH) y hacen parte de la estructura ecológica principal, en los que se encuentra el humedal Jaboque [7]

4.1.2. Bienes y servicios ecosistémicos de los humedales

Los ecosistemas como los humedales brindan una gran cantidad de bienes y servicios ecosistémicos, que benefician a la sociedad, éstos son funciones que aportan procesos ecológicos para su funcionamiento, que contribuyen con la captura de carbono, la regulación de gases, el aporte de hábitats para la fauna, oferta de materias primas para la subsistencia del hombre, entre otros. [8]

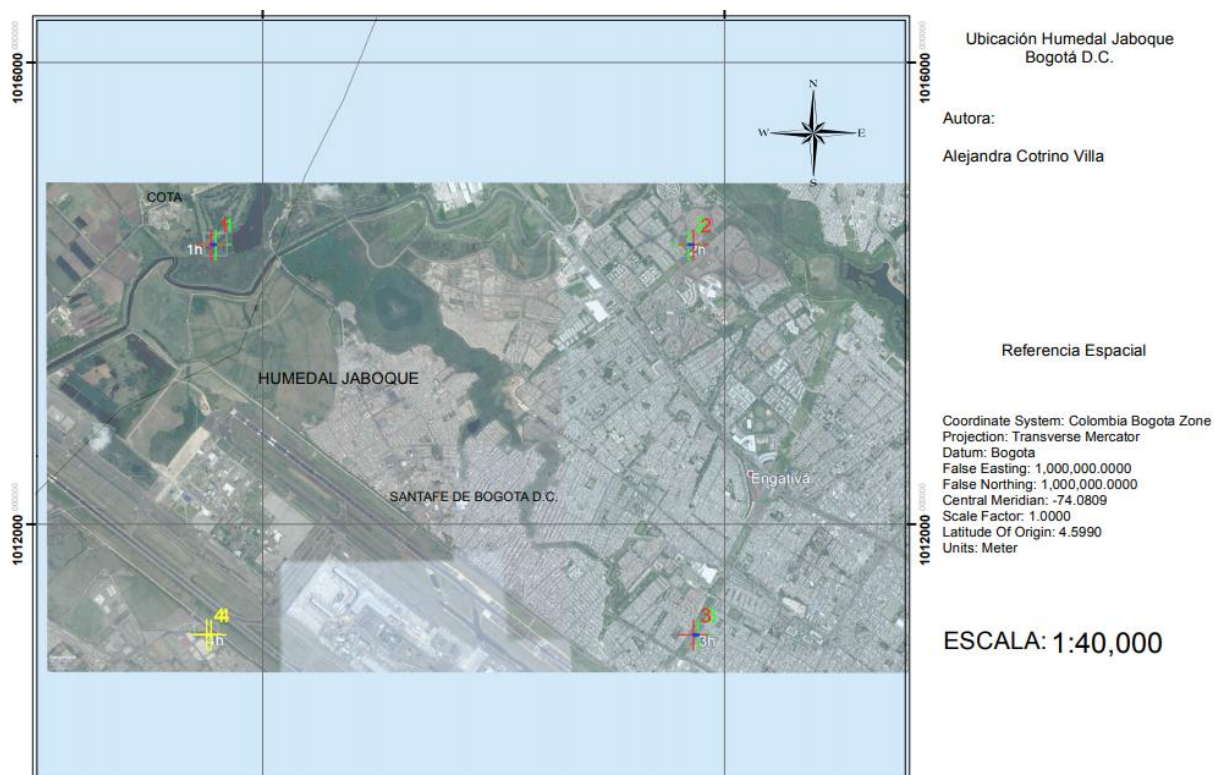
Dentro de los servicios ambientales más importantes que proveen los humedales, se encuentran: la provisión de agua, regulación y protección de inundaciones, zonas de filtración y recargas de acuíferos, mantenimiento de la calidad del agua,

reducción de la erosión, reservorios de biodiversidad, retención de carbono, entre otras. Por otro lado, los bienes que son valores de uso directo podemos encontrar la agricultura, la pesca, la producción de madera, frutas, tintes y plantas medicinales. [9]

4.1.3. Descripción del área de estudio

El humedal Jaboque se ubica en la zona noroccidental de la ciudad de Bogotá, en la localidad 10 de Engativá entre la UPZ 73 y 74 [10], hace parte de la cuenca del río salitre, es un sistema hídrico de gran importancia conformado por siete canales, de los cuales los Ángeles, El Carmelo y Marantá confluyen en el área protegida. [11] Geográficamente se localiza entre el aeropuerto el Dorado, el río Juan amarillo y la autopista Medellín. Tiene una extensión aproximada de 151.9 ha [10]. (Figura 1)

Mapa 1. Ubicación geográfica del Humedal Jaboque



Fuente: Autor

Este ecosistema además de ser el segundo de mayor extensión, después del humedal Juan Amarillo (Tibabuyes: tierra de labradores), ha sido reconocido por la

presencia de monolitos prehispánicos, que lo convierten en uno de los humedales de mayor interés arqueológico. [11]

El humedal Jaboque es una subcuenca cerrada perteneciente a la cuenca del río Bogotá, sobre la llanura fluviolacustre, alimentada por las aguas lluvias y en épocas de invierno, sirve aún de amortiguación de inundación de dicho río. Por las obras de restauración ecológica y su adecuación hidroeformológica realizadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado; el ecosistema se encuentra fragmentado desde la zona alta en los tercios reconocidos y sus correspondientes pontones construidos (Carreras 105F, 109 y 111). [12]

A comienzos del siglo XX el humedal Jaboque era una localidad rural donde se cultivaba papa, maíz, hortalizas y frutales; Con la construcción del aeropuerto y la avenida el Dorado, se modificaron los flujos de agua por los drenajes y un brazo del humedal se redujo. Como consecuencia de la violencia y el desplazamiento que se vivía en el país por el año de 1956 comenzaron a aparecer construcciones en los lados del humedal, lo que provocó la reducción del 20% del área original 20 años más tarde, desde entonces el humedal vivió una situación crítica debido a los rellenos y urbanizaciones, contaminación de las aguas y basuras que provenían de los barrios y las industrias aledañas. [13]

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Fitoplancton

El fitoplancton en su mayoría son organismos microscópicos que representan el primer eslabón en la cadena alimenticia en los ecosistemas acuáticos. [14] Comprende los organismos fotosintéticos que flotan y que se ubican principalmente en la columna de agua, esencialmente en la zona fótica, de donde utilizan la radiación solar como fuente de energía para sintetizar la materia orgánica, por lo que son denominados fotoautotróficos, por su tamaño el fitoplancton puede clasificarse en: picoplancton, ultraplancton, nanoplancton y microplancton. [15]

La función principal ecológica del fitoplancton consiste en ser la entrada de energía al sistema a través de la producción primaria. El fitoplancton está ligado a las condiciones ambientales reinantes en los diferentes tipos de lagos por lo que se considera un tipo de bioindicador de la calidad y la inmediata reacción ante los cambios ambientales [16].

Los grupos de algas predominantes en aguas dulces tropicales pertenecen a los siguientes grupos taxonómicos:

Bacillariophyta: Usualmente denominadas diatomeas, presentan variedad de formas y tamaños, pero tienen la característica común de constituir conchas silíceas cuyos patrones de ornamentación son importantes en su taxonomía [17], esta clase comprende formas unicelulares y coloniales, desprovistas de flagelos. [14]

Cyanophyta: Se las conoce como algas verde-azules, azul verdosas o como cianobacterias, varían de formas unicelulares hasta coloniales. Algunas especies tienen la capacidad de fijar nitrógeno de la atmósfera (*Anabaena spp*, *Nostoc spp*), por lo que se las asocia con aguas deficitarias en nitrógeno o ricas en fósforo. Son propias de condiciones ambientales estables. [17] Son los organismos procariotas de fitoplancton, se desarrollan tanto en agua dulce como en agua marina; abundan en los meses más calientes del año y en aguas de pH neutro o ligeramente básico y su nivel de organización es unicelular, colonial y filamentoso [14].

Dinophyta: Comúnmente conocidas como dinoflagelados, las especies de este grupo están cubiertas por placas de celulosa con ornamentaciones características y están provistas de dos flagelos. Son poco apetecidas por el zooplancton. [17] Se encuentran ampliamente distribuidas en aguas dulces, marinas y estuarinas. En general son unicelulares y autotróficas, en Colombia son ampliamente conocidos los géneros *Peridinium* y *Ceratium*. [14]

Euglenophyta: Aunque son fotosintetizadoras, muchas de ellas pueden ser saprófagas (consumidoras de materia orgánica en descomposición), por lo que se las considera indicadoras de aguas ricas en materia orgánica. [17]

Son organismos flagelados, pueden variar de uno a tres, siendo generalmente dos, uno mayor y más visible que el otro. Predominan generalmente en agua dulce, los Euglenophyta son abundantes en charcas y lagunas temporales con alta concentración de materia orgánica. [14]

Chlorophyta: Se las conoce como algas verdes, por el color brillante de sus cloroplastos. Incluyen desde formas unicelulares, filamentosos hasta coloniales y de libre movimiento o adheridas a un sustrato. En general las asocian con aguas ricas en nutrientes y con una alta relación nitrógeno-fosforo. [17] Es el grupo más diversificado en las aguas dulces, pero también con abundantes números de representantes tanto en estuarios como en el mar. [14]

Xanthophyta: Se caracteriza por su color verde amarillento, son algas unicelulares, coloniales, filamentosas o cenocíticas. Las especies móviles generalmente presentan dos flagelos desiguales. En Colombia han sido reportados los géneros *Tribonema spp*, *Centritractus spp* y *Pseudostaurastrum spp*. [14]

Cryptophyta: Son organismos unicelulares con un par de flagelos desiguales. La célula presenta cloroplastos de colores variados, desde verdes hasta pardos, rojos y verdeazules. No crean colonias; En Colombia se registran los géneros *Cryptomonas sp*, *Rhodomonas sp* y *Chilomonas sp*. [14]

5.2. Fitoplancton como indicador

El fitoplancton se destaca dentro de los indicadores biológicos que comúnmente se utilizan en lagos y humedales por su relación directa a las condiciones ambientales de estos ecosistemas. [14] Por la capacidad que tiene de responder de forma rápida a agentes contaminantes son promisorios en la alerta temprana en el cambio de las características ecológicas de los ecosistemas donde se desarrolla. [18]

5.3. Estado trófico

El estado trófico de humedales, lagos significa la relación entre nutrientes y el crecimiento de la materia orgánica en el mismo, se le atribuye también la condición del metabolismo del ecosistema. Un lago, puede presentar diferentes estados tróficos, como oligotrófico donde las aguas de un ecosistema acuático tienen bajo contenido de nutrientes, con esto generalmente tienen mayor

presencia de plantas y animales, una buena calidad del agua y bajos niveles de productividad primaria y biomasa, con una diversidad alta de especies microalgales; mesotrófico: aguas con nutrientes en cantidades moderadas que contribuyen al desarrollo de organismos acuáticos y eutrófico donde se presenta un enriquecimiento de sustancias nutritivas –nitrógeno y fósforo principalmente- que generan mayor productividad y biomasa pero con aguas pobres en oxígeno y un crecimiento de plantas acuáticas, baja diversidad de especies y mucha abundancia de organismos resistentes a estas condiciones. [18]

La eutrofización se produce de forma natural pero también está asociada a fuentes antropogénicas, el enriquecimiento de nutrientes deteriora la calidad de los ecosistemas y limita el oxígeno de los ecosistemas acuáticos. [19] Aunque el nitrógeno y el fósforo contribuyen a la eutrofización, es el nutriente limitante el que se relaciona al estado trófico, en la mayoría de los casos suele ser el fósforo, que en estos ambientes proviene de procesos antropogénicos y de los fosfolípidos. [20]

5.3.1. Índice del estado trófico (IET o TSI)

El índice de Carlson se estableció en 1977 y se propuso para lagos y embalses de regiones templadas, los valores del índice varían entre 0 y 100 de oligotrófico a hipertrófico. Este índice puede determinarse a partir de varios parámetros como la concentración de clorofila, fosforo total y la transparencia. [21]

Para conocer el nivel trófico de las tres estaciones escogidas del humedal Jaboque se desarrolla la siguiente ecuación donde se tomarán los valores de fosforo total.

$$TSI_{pt} = 14.42 \ln (Pt) + 4.45$$

Dónde:

Pt: Fosforo total (mg/m³)

Con los valores obtenidos en la anterior ecuación se puede saber el estado trófico como se ve en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores del estado trófico del índice de Carlson

Estado trófico	TSI (índice Carlson)
Oligotrófico (TSI<30)	0
	10
	20
	30
Mesotrófico (30<TSI<60)	40
	50
	60
Eutrófico (60<TSI<90)	70
	80
	90
Hipertrófico (90<TSI<100)	100

Fuente: Adaptada por la autora

5.4. Parámetros fisicoquímicos

Tabla 2. Descripción de los parámetros fisicoquímicos

Oxígeno disuelto	
Unidad de parámetro: Mg/L	Valor permisible: 4.0
<i>Criterios de calidad para preservación de flora y fauna, decreto 1076 de 2015.</i>	
Definición: Es la cantidad de oxígeno gaseoso (O ₂) disuelto en el agua. En condiciones aeróbicas se favorece la diversidad de las especies ya que los organismos acuáticos necesitan de oxígeno para sobrevivir y crecer.	

Temperatura	
Unidad de parámetro: °C	Valor permisible:
Definición: Es un parámetro que mide la sensación de calor y frío, la temperatura afecta a la cantidad de oxígeno que transporta el agua, a menor temperatura transporta más oxígeno. La temperatura es muy importante porque influye en la proliferación y en la supervivencia de los microorganismos, cada organismo tiene una temperatura máxima, por encima del cual no es posible el crecimiento; una mínima, por debajo de la cual no tiene lugar la proliferación y una óptima, en que se produce el crecimiento más rápido.	

pH	
Unidad de parámetro: Ud. de pH	Valor permisible: 4.5- 9.0
<i>Criterios de calidad para preservación de flora y fauna, decreto 1076 de 2015.</i>	
Definición: Es una medida que indica la acidez o alcalinidad en el agua, está determinada por el número de iones libres de hidrogeno en una sustancia.	

Solidos totales disueltos	
Unidad de parámetro: FNU	Valor permisible: 100 mg/l
<i>Valor propuesto por Sierra Ramírez 2011 [22]</i>	
Definición: Los sólidos totales disueltos indica la presencia de sales disueltas, partículas en suspensión de carácter orgánico e inorgánico	

Conductividad	
Unidad de parámetro: $\mu\text{S/cm}$	Valor permisible: 100
<i>Resolución 2115 de 2007, Artículo 3.</i>	
Definición: La conductividad mide la concentración iónica en una solución, En el agua, la conductividad es principalmente de iones salinos, por lo que puede tratarse como un índice de la carga de sal, en el agua residual, o de pureza, en la potable.	

Turbiedad	
Unidad de parámetro: UJT - FNU	Valor permisible: 10 Unidades
<i>Resolución 1076 de 2015, Artículo 2.2.3.3.9.4.</i>	
Definición: Es la reducción de la transparencia de un líquido causado por la presencia de partículas sin disolver.	

Fuente: [22] [23] [14]

5.5. Índices de diversidad

Índice de Simpson

El primer índice de diversidad utilizado en ecología, indica la probabilidad que dos individuos tomados al azar sean de la misma especie y estén influenciado por las especies más dominantes, se utilizó para encontrar el grado de similitud entre las estaciones de muestreo y la diversidad de la comunidad. [24] [25] [26]

El índice de Simpson indica dominancia, por lo que les da un peso mayor a las especies abundantes; toma valores entre 0 y un máximo de $[1-1/s]$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S (ni - 1)}{N(N - 1)}$$

Dónde:

S: número de especies

N: total de organismos presentes (o unidades cuadradas)

n: es el número de ejemplares por especie.

Índice de Shannon

Este índice de diversidad se mide por el número de especies presentes en cada monitoreo y la información por individuo en muestras obtenidas al azar de una comunidad que se le conoce el número total de especies (s). El valor del índice varía entre 0,5 y 5; los valores cercanos a 0 indican ausencia de diversidad, los valores por encima de 3 se consideran diversos en especies, mientras que los que están por debajo de 2 se consideran bajos en diversidad. [26] [27]

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

Dónde:

S: número de especies

N: número de todos los individuos de todas las especies

ni: número individuos de la especie i

Índice de Margalef

Proporciona datos de riqueza de especies de vegetación, este índice mide el número de especies por número de individuos especificados o la cantidad de especies por área en una muestra. Fue propuesto por el biólogo y ecólogo Ramon Margalef. [28]

$$D_{mg} = (S - 1) / (\ln N)$$

Dónde:

S: número de especies;

N: número total de individuos

Los valores inferiores a 2 se relacionan con baja diversidad y los valores superiores a 5 indican alta diversidad.

Índice de Menhinick

Este índice al igual que el de Margalef se basa en la relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, que aumenta a medida que aumenta el tamaño de la muestra. [28]

$$DMn = (S) / (\sqrt{N})$$

Dónde:

S: número de especies;

N: número total de individuos

5.6. Software PAST

Past es un paquete estadístico utilizado en panteología y muchas otras áreas como ingeniería, ciencias de la tierra y economía [29]. Es un software libre para el análisis de datos científicos que permite entre muchas cosas hacer un análisis ecológico [30]. Past cuenta con un módulo para calcular atributos biológicos dentro y entre comunidades. Los datos de los taxones con su abundancia se cargan en este software para calcular dominancia, índice de Simpson, Shannon, Margalef, Berger-Parker, Chao-1 entre otras.

6. METODOLOGÍA

6.1. Etapa preliminar

Se realizaron dos salidas de campo con el propósito de realizar un reconocimiento general del humedal Jaboque y determinar así los puntos de muestreo, teniendo en cuenta los sectores en que se divide el humedal, las actividades antropogénicas alrededor, las zonas de preservación y las zonas de vertimientos, las características ecológicas del humedal, como la fauna y la flora, y las zonas de acceso al humedal y aquellas restringidas por obras y por el difícil acceso como en el espejo de agua, además de los puntos que ya se tenían estipulados para monitoreo de calidad del agua por parte del acueducto.

6.2. Etapa diseño de muestreo

En la selección de las unidades muestrales o puntos de muestreo, además de las condiciones ecológicas, se tuvo en cuenta la facilidad de acceso al punto por condiciones como la topografía, espejo de agua, obras distritales y seguridad.

Se seleccionaron tres puntos representativos de cada uno de los sectores del humedal.

Tabla 3. Ubicación estaciones de muestreo

	Coordenadas	Descripción del punto
Tercio alto	W 74 ° 07' 44" N 4° 42' 37"	En este punto se encuentra canalizado los bordes del humedal, es aledaño a barrios residenciales –barrio la Riviera-. Presencia de buchón (<i>Eichhornia crassipes</i>), sombrillita de agua (<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>), enea (<i>Typha latifolia</i>), lengua de vaca y junco (<i>Schoenoplectus californicus</i>).
Tercio medio	W 74 ° 08' 0,8" N 4° 43' 11"	Cerca de este punto se encuentra la construcción de edificios residenciales y senderos en sus orillas, hay un paso peatonal entre los barrios Unir y la Faena

		(Proyecto reconfirmación hidrogeomorfológica). Presencia de buchón (<i>Eichhornia crassipes</i>), lenteja de agua (<i>Lemna gibba</i>), sombrillita de agua (<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>), cortaderia (<i>Juncia (carex sp.)</i>) y botoncillo (<i>Bidens laevis</i>) que predomina en gran parte de este punto.
Tercio bajo	W 74 ° 08' 45.8" N 4° 43' 34.4"	Punto de difícil acceso que colinda con el río Bogotá, es la zona donde se puede observar mayor preservación del humedal. Presencia de junco (<i>Schoenoplectus californicus</i>), sombrillita de agua (<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>), pasto kikuyo (<i>pennisetum clandestinum</i>), predomina en una parte extensa el botoncillo (<i>Bidens laevis</i>)

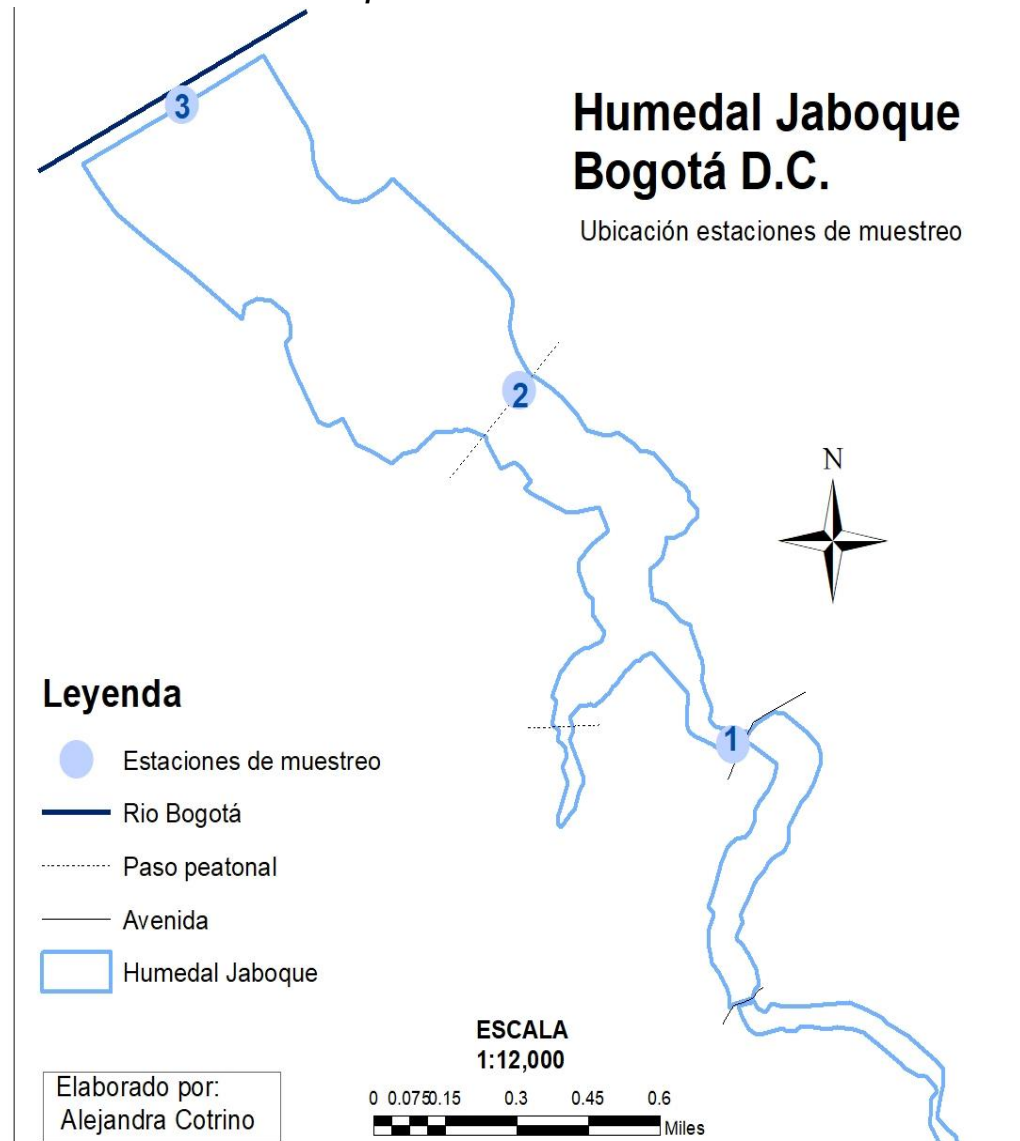
Fuente: Autor

Ilustración 1. Ubicación puntos de muestreo



Fuente: Autor

Mapa 2. Estaciones de muestreo



En el mapa, se muestra la ubicación de los tres puntos de muestreo seleccionados a lo largo del humedal, las zonas de acceso y las zonas de restricción, además de las actividades y usos del suelo alrededor del humedal.

Para la identificación de la comunidad fitoplanctónica y las condiciones fisicoquímicas se realizaron 3 salidas de campo en los meses de mayo, agosto y octubre de 2019, se seleccionaron estos meses teniendo en cuenta las temporadas o periodos de lluvias, periodos secos y de transición.

6.3. Fase de campo

-Variables físicas y químicas

Para la toma de muestras se tuvo en cuenta el instructivo del IDEAM para la toma de muestras de agua residuales (2007), la medición de los parámetros fisicoquímicos se realizaron *in situ* utilizando una sonda multiparamétrica marca HANNA HI, donde se obtuvieron los datos de temperatura, pH, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y conductividad, esta se realizó en el mismo lapso de horario en los diferentes muestreos, ya que variables como la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto se ven afectadas por el momento del día en que se realicen las mediciones [31]

Para la aplicación del índice de Carlson se tuvo en cuenta información secundaria de fósforo total, de anteriores estudios hechos en el humedal Jaboque y datos de las estaciones de muestreo posteriores (2 meses) al último muestreo.

Ilustración 2. Medición de parámetros fisicoquímicos



Fuente: Autor

-Muestreo para la recolección de fitoplancton

En esta etapa se realizó la recolección de los organismos fitoplanctónicos de forma directa con una red de fitoplancton de 23 micras, filtrando 5 L de agua, las muestras se recolectaron en frascos color ámbar de vidrio de 120ml y de plástico de 30ml, debidamente rotulados, donde se registró la fecha y la estación de muestreo; Para fijarlos se utilizó solución Transeau y lugol.

Los frascos se almacenaron para su posterior análisis en el laboratorio de la universidad Santo Tomás; para el análisis se utilizó el método directo o ecológico que comprende dos partes, la primera de carácter cualitativo y la segunda de carácter cuantitativo. [32]

Ilustración 3. Recolección de fitoplancton



Fuente: Autor

6.4. Fase de laboratorio

6.4.1. Estudio Cualitativo

Para la identificación de los organismos fitoplanctónicos se utilizó un microscopio marca Carl Zeiss del laboratorio de la Universidad Santo Tomás, donde se observaron las muestras desde el objetivo más pequeño hasta 40X, las muestras fueron previamente homogenizadas manualmente, además se hizo el uso de manuales y libros de claves taxonómicas, tales como “A manual of the fresh-water algae in north Carolina” y “Atlas de los microorganismos de Agua Dulce” y se corroboró la identificación de géneros con la base de datos como algaeBase. [33]

6.4.2. Estudio Cuantitativo de la comunidad algal

Para el análisis cuantitativo de las algas, se homogenizaron las muestras manualmente por agitación suave, con una pipeta de Pasteur plástica de 3ml se sacaron 4 alícuotas en total, cada gota de agua equivale a 0.05ml; las gotas se pusieron en una lámina portaobjetos para su posterior análisis. Para esto, se hizo un barrido por toda la laminilla, se inició en un lugar al azar (un extremo de la laminilla) para hacer luego transectos a lo largo o ancho y en un solo sentido sea vertical u horizontal. El conteo de las muestras de las algas se hizo por método directo y quedó registrado en una ficha de identificación donde se tenía el nombre del taxón, el conteo parcial y el total.

El conteo de las especies se registró en la siguiente tabla (Anexo 2):

Tabla 4. Presencia Ausencia de fitoplancton

Taxonomía			Muestreo 1						Muestreo 2						Muestreo 3						Total
			E1		E2		E3		E1		E2		E3		E1		E2		E3		
Clase	Familia	Genero	1 A	1 B	2 A	2 B	3 A	3 B	1 A	1 B	2 A	2 B	3 A	3 B	1 A	1 B	2 A	2 B	3 A	3 B	
Chlorophyceae	Scenedesmaceae	Scenedesmus sp1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4

6.5. Fase de análisis

6.5.1. Análisis Cualitativo

El análisis cualitativo muestra la composición taxonómica y el número de taxones presentes (presencia-ausencia) en cada una de las estaciones, condición que permite evaluar la riqueza de especies y que proporcionan información del estado de las comunidades y del ecosistema.

Los organismos de fitoplancton encontrados se relacionaron como se ve en la tabla 4, aquí se registró la foto, la taxonomía y el ambiente en el que se desarrollan según la literatura de estudios realizados en el humedal Jaboque y otros humedales de Bogotá y Colombia. (Anexo 1)

Tabla 5. Clasificación taxonómica del fitoplancton

Morfotipo	Ambiente en el que se desarrolla	Taxonomía	Foto
Scenedesmus sp1.	Aguas con contaminación moderada. Aguas estancadas y corrientes (Mesotrofía y Eutrofización)	Dominio: Eukaryota Reino: Plantae Filo: Chlorophyta Clase: Chlorophyceae Orden: Sphaeropleales Familia: Scenedesmaceae Género: Scenedesmus.	

Fuente: Elaboración propia

6.5.2. Análisis Cuantitativo

Para la determinación de la diversidad y abundancia de especies encontradas en el humedal Jaboque se realizaron cálculos de frecuencia de ocurrencia y se corrió el programa estadístico PAST (326 B) para calcular los índices de diversidad y equidad Shannon, dominancia de Simpsony Berger Parker y de riqueza específica de Margalef, y Menhinick.

Para los parámetros fisicoquímicos se hizo una comparación por estaciones de los resultados obtenidos en campo, se analizó si hubo variaciones entre las estaciones o muestreos realizados.

Para los índices de diversidad se aplicó la prueba de normalidad Shapiro Wilk para comprobar la normalidad de los datos; se aplicó también la prueba de Kruskal-Wallis para realizar comparaciones y establecer si existen diferencias significativas.

Las relaciones estadísticas entre los parámetros fisicoquímicos y los taxones encontrados en las tres estaciones se obtuvieron mediante un análisis de correspondencia canónica. La correlación de Spearman se realizó para determinar asociaciones negativas o positivas entre los índices de diversidad y las variables fisicoquímicas. Esto se realizó a través del software R studio (3.4.4).

6.5.3. Frecuencia de ocurrencia

Con la tabla presencia Ausencia se halló la frecuencia de ocurrencia de los morfotipos, que se calculan con la relación de las especies encontradas y el número

de estaciones o puntos de muestreo, con la metodología propuesta por Mateucci y Colma [34]

$$F = (Pa/p) * 100$$

Donde:

F= Frecuencia de ocurrencia

Pa= Número de muestras en que la especie fue encontrada

p= Número total de muestras analizadas

Con los siguientes criterios establecidos:

- Muy frecuentes $\geq 70\%$ Frecuentes
- Frecuentes $< 70\%$ y $\geq 40\%$
- Poco frecuentes $< 40\%$ y $\geq 10\%$
- Esporádicas $< 10\%$

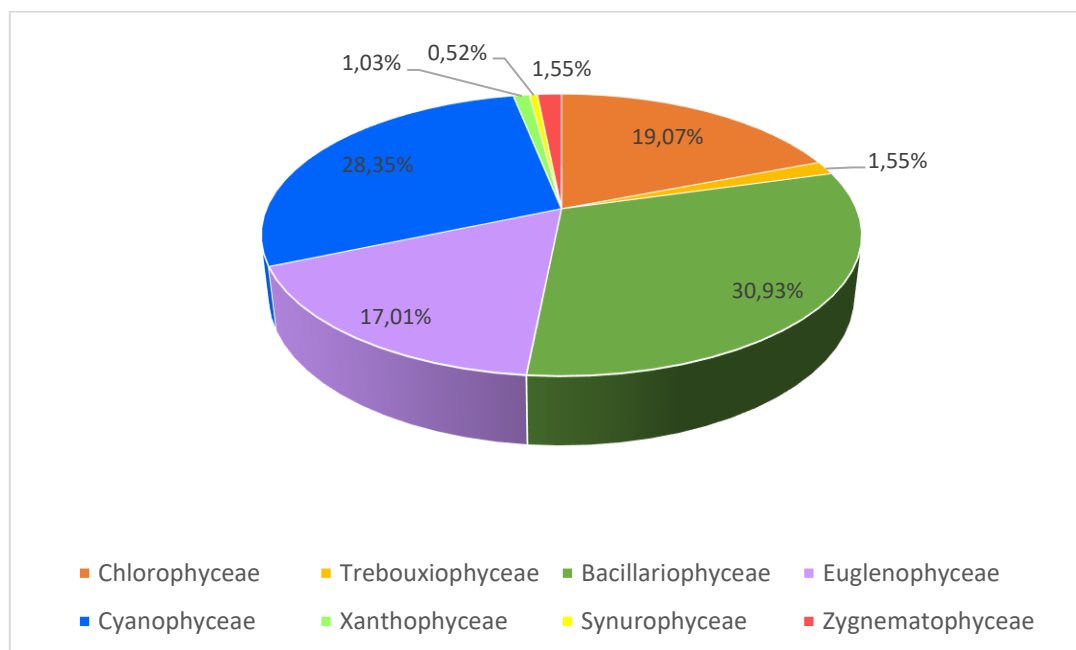
7. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados obtenidos para la determinación del estado actual de la calidad del agua del humedal Jaboque mediante la identificación de la comunidad fitoplanctónica y su relación con las condiciones fisicoquímicas del agua, se realizaron teniendo en cuenta el enfoque cualitativo y cuantitativo de la presencia de la comunidad algal en el tiempo y en el espacio, y su relación con los parámetros de calidad del agua.

7.1. Presencia- Ausencia del Fitoplancton (Cualitativo)

El análisis cualitativo del humedal Jaboque se realizó teniendo en cuenta la matriz presencia/ ausencia de los morfotipos de algas en las tres estaciones y tres épocas de muestreo, de tal manera que se registraron un total de 194 individuos y 54 géneros divididos en 8 clases: Cyanophyceae (28,35%), Bacillariophyceae (30,93%), Chlorophyceae (19,07%), Euglenophyceae (17,01%), Trebouxiophyceae (1,55%), Xanthophyceae (1,03%), Zygnematophyceae (1,55%), Synurophyceae (0,52%), como se observa en la gráfica 1.

Gráfica 1. Porcentaje de clases taxonómicas de la comunidad de fitoplancton



Fuente: Elaboración propia

Las clases más representativas Bacillariophyceae y Cyanophyceae le dan un carácter de eutrofia al humedal Jaboque, los géneros más representativos de estas clases son *Nitzschia sp.*, *Navicula sp.*, *Oscillatoria sp.* y *Microsystis sp.* Los géneros de *Navicula sp.*, *Oscillatoria sp.* y *Microsystis sp.*, son indicadores de aguas con contaminación orgánica intensa y muy intensa, propios de aguas estancadas, el género *Nitzschia sp.*, se encuentra en aguas puras, poco contaminadas y también en aguas muy contaminadas que indican Mesotrofía y Oligotrofía. [35]

7.1.1. Comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica

La estación que presentó el mayor número de especies fue la uno (tercio alto del humedal) con 74 individuos, seguido de la estación dos con 72 individuos y la tercera estación con 48 individuos. La primera estación presentó el mayor número de la clase Euglenophyceae con 20 individuos, este grupo ecológicamente se han considerado bioindicadores de aguas con alto contenido de materia orgánica, que se relacionan con aguas eutróficas; En la estación dos la clase dominante fue Cyanophyceae y en la tercera estación la Bacillariophyceae.

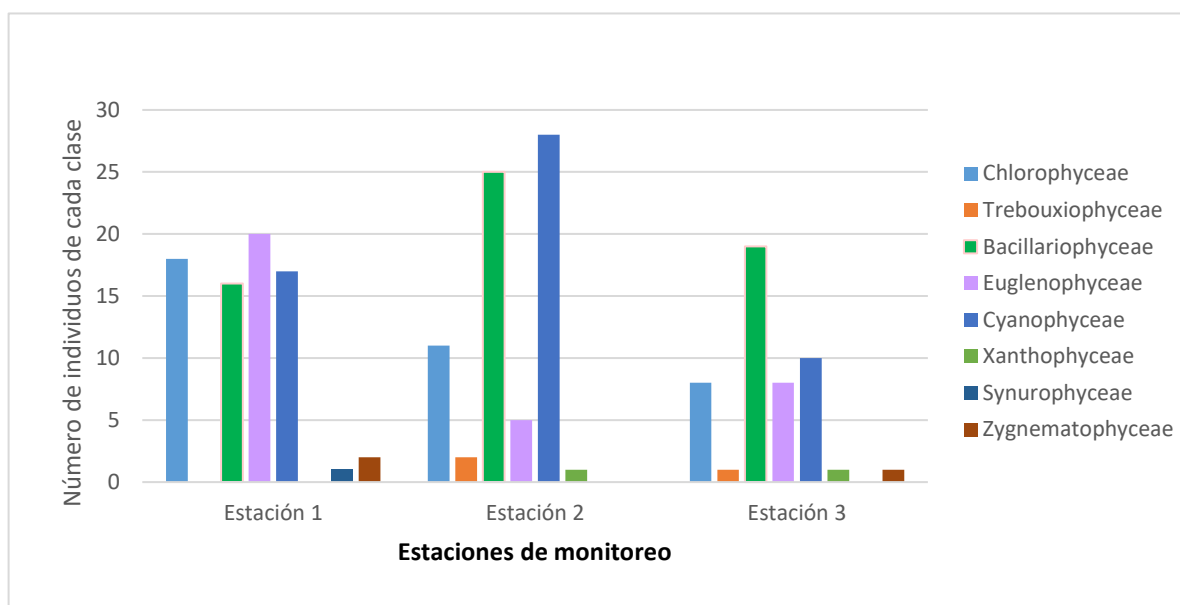
Para tener una mayor visualización del comportamiento dinámico y espacial de la comunidad algal, en la tabla 5 se muestra la relación espacial de las microalgas a lo largo de los muestreos.

Tabla 6. Comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica

Clase	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Chlorophyceae	18	11	8
Trebouxiophyceae	0	2	1
Bacillariophyceae	16	25	19
Euglenophyceae	20	5	8
Cyanophyceae	17	28	10
Xanthophyceae	0	1	1
Synurophyceae	1	0	0
Zygnematophyceae	2	0	1

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 2. Comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica



Fuente: Elaboración propia

7.1.2. Comportamiento temporal de la comunidad fitoplanctónica

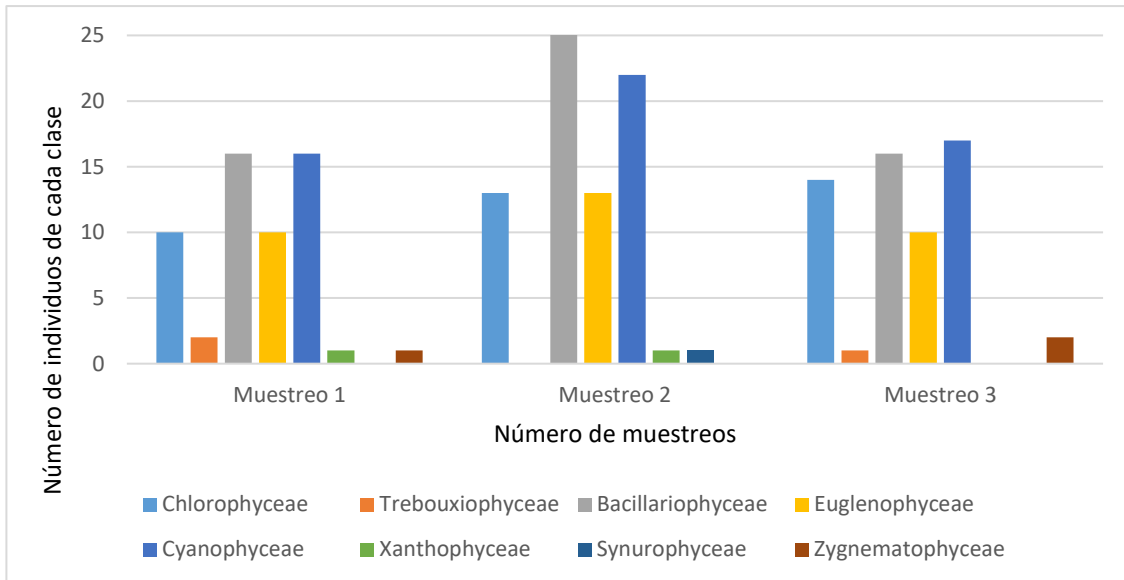
El muestreo 2 presentó el mayor número de individuos con 78, seguido del muestreo 2 con 60 individuos y el muestreo 1 con 56 individuos. El primer muestreo tiene dos clases representativas: Bacillariophyceae y Cyanophyceae con 16 individuos cada una, en el muestreo dos fue la clase Bacillariophyceae con 28 individuos y en el tercer muestreo es Cyanophyceae con 17 individuos. Las tres clases representativas: Euglenophyceae, Bacillariophyceae y Euglenophyceae (Arcos y Gómez) en el 2006 las asociaron con una condición de eutrofia en el cuerpo del agua del humedal Jaboque. [36]

Tabla 7. Comportamiento temporal de la comunidad fitoplanctónica

Clase	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
Chlorophyceae	10	13	14
Trebouxiophyceae	2	0	1
Bacillariophyceae	16	28	16
Euglenophyceae	10	13	10
Cyanophyceae	16	22	17
Xanthophyceae	1	1	0
Synurophyceae	0	1	0
Zygnematophyceae	1	0	2

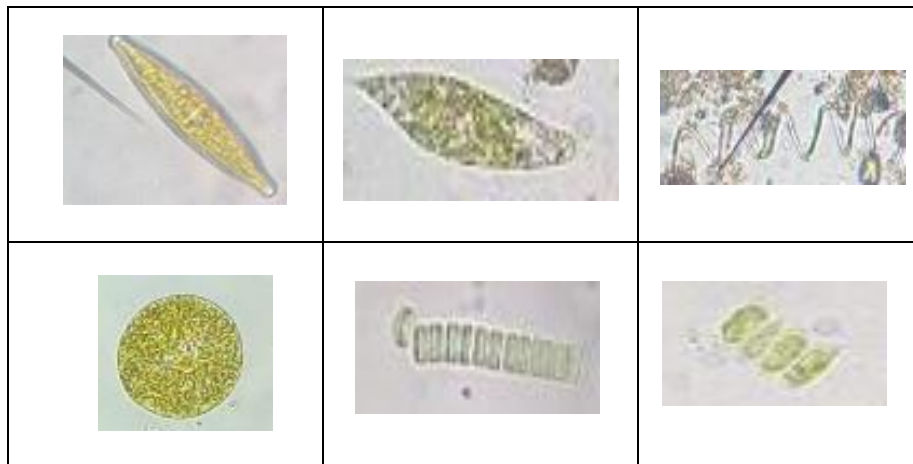
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3. Comportamiento temporal de la comunidad fitoplanctónica



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4. Fotografías de taxones de fitoplancton



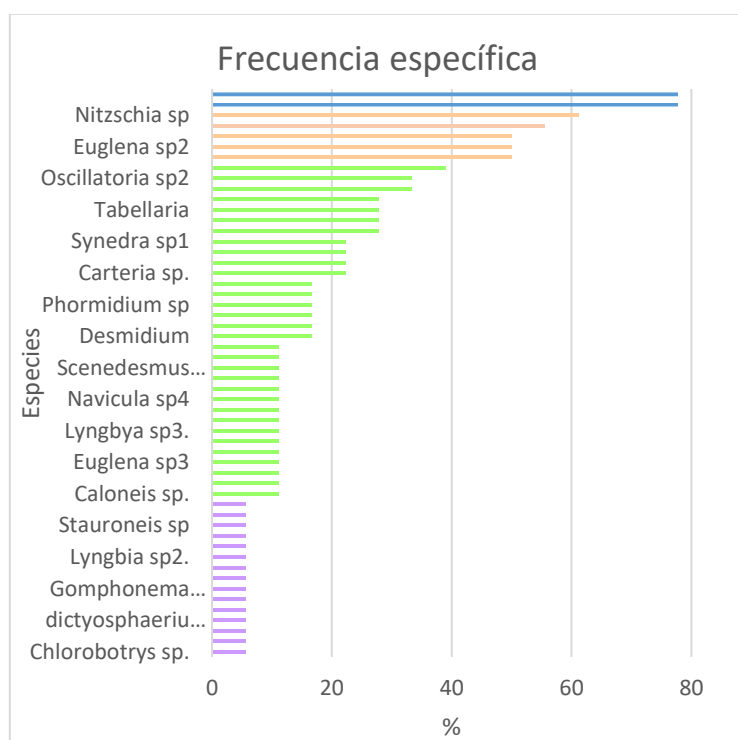
Navicula Sp., *Euglena Sp.*, *Spirulina Sp.*, *Volvox Sp.*, *Ulothrix Sp.*, y *Scenedesmus Sp.*

7.2. Frecuencia específica

La frecuencia específica se halló con los datos registrados en la tabla de presencia ausencia (anexo 1) siguiendo la metodología propuesta por Mateucci y Colma, los morfotipos presentes se dividieron en 4 categorías según su frecuencia de ocurrencia en muy frecuentes, frecuentes, poco frecuentes, y esporádicos representados en porcentaje (Gráfica 4).

Los géneros *volvox sp.* y *microsystis sp.*, se encuentran dentro del rango muy frecuente, seguido del género *Nitzschia sp.* que también se encontró en abundancia en varias estaciones de muestreo; Los géneros que están dentro del rango poco frecuente presentan un porcentaje de 59.25%, los esporádicos el 27,7%, frecuentes con 9,26% y muy frecuentes con 3.7%.

Gráfica 4. Frecuencia específica



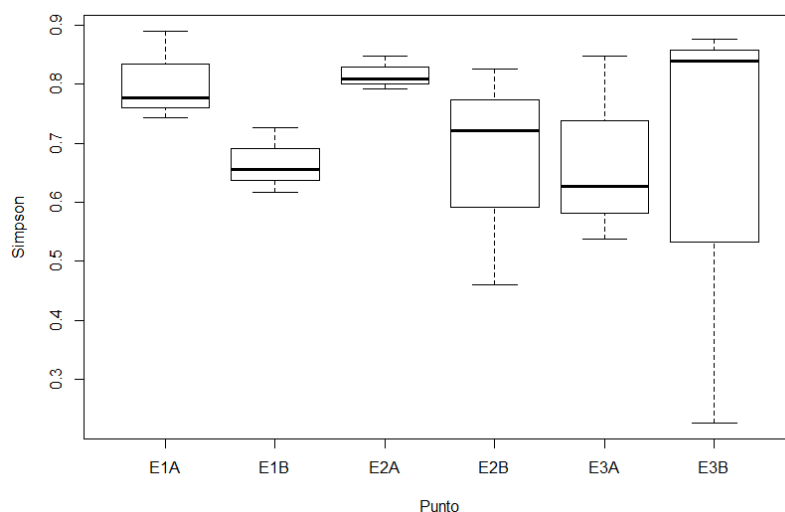
Fuente: Elaboración propia

7.3. Índices de diversidad

7.3.1. Índice de Simpson

En el diagrama de cajas y bigotes para el índice de Simpson (Gráfica 5) que se emplea para determinar la dominancia de especies, se puede observar que los valores más altos se dieron en los puntos 1A, 2A, 2B, 3A y 3B con valores por encima de 0,81 para algunas de las fechas de muestreo, el más alto se dio en el punto 1A en el muestreo 1 con un valor de 0,89. Los puntos con valores más bajos se dieron en el 3B y el 2B con valores de 0,22 y 0,46 respectivamente. Los valores del índice que se encuentren cercanos a cero indican heterogeneidad en la distribución de las especies, mientras que los valores más cercanos a uno evidencian homogeneidad en su distribución, además de alta diversidad y baja dominancia.

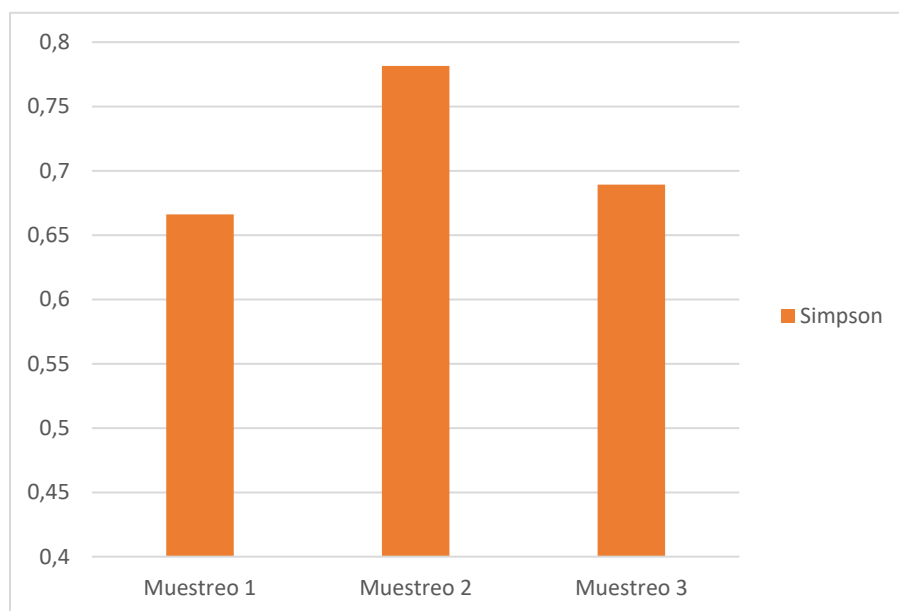
Gráfica 5. Valores del índice de Simpson para las estaciones de muestreo



Fuente: Autora

Con el índice de Simpson se evidencia un comportamiento similar para los tres muestreos ya que se encuentran por encima de 0,6; en el muestreo dos se evidenció el valor más alto con 0,78, seguido del tres y el uno con valores de 0,69 y 0,66 respectivamente. El índice de Simpson está mostrando para los diferentes muestreos una alta diversidad.

Gráfica 6. Valores del índice de Simpson para los tres muestreos



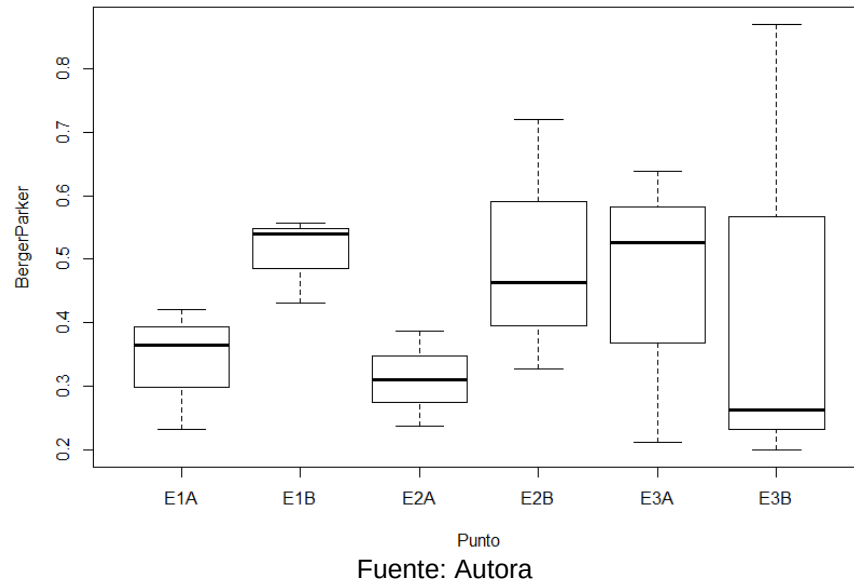
Fuente: Autora

7.3.2. Índice de Berger Parker

El índice de Berger Parker se emplea al igual que el índice de Simpson para determinar la dominancia de las especies, este índice se halló para corroborar el índice Simpson. Como se puede ver en la gráfica 5 y en la gráfica 7, tienen comportamientos similares, pero son inversos. La estación 3B mostro en los dos la mayor dispersión en comparación con los otros puntos y replicas.

El índice de Berger Parker presenta valores entre cero y uno, los valores más cercanos a uno indican mayor dominancia y menor diversión, mientras que los valores más cercanos a cero indican menor dominancia.

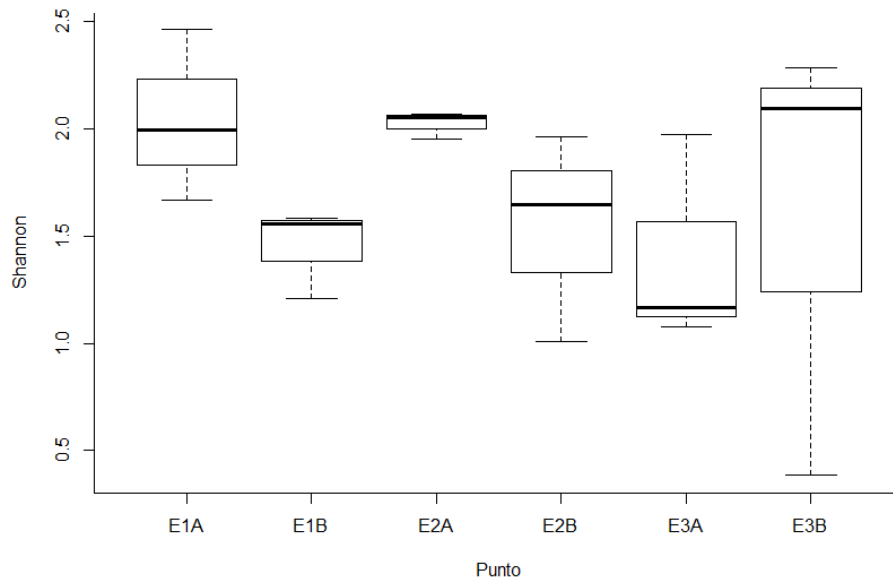
Gráfica 7. Valores para el índice de Berger Parker para las estaciones de muestreo



7.3.3. Índice de Shannon

El diagrama de cajas y bigotes para el índice de Shannon (Gráfica 8) que se utiliza para establecer la uniformidad de las especies, muestra valores heterogéneos entre estaciones y réplicas de muestreo. La estación 3B mostró una mayor dispersión, y se presentó un valor mínimo de 0,3. La estación 1A tiene una diversidad intermedia teniendo un valor máximo de 2,46; Las estaciones 1B, 2A y 2B presentaron valores por debajo de la media. Este índice indica que entre mayor sea el valor, las especies presentes se van a distribuir más equitativamente.

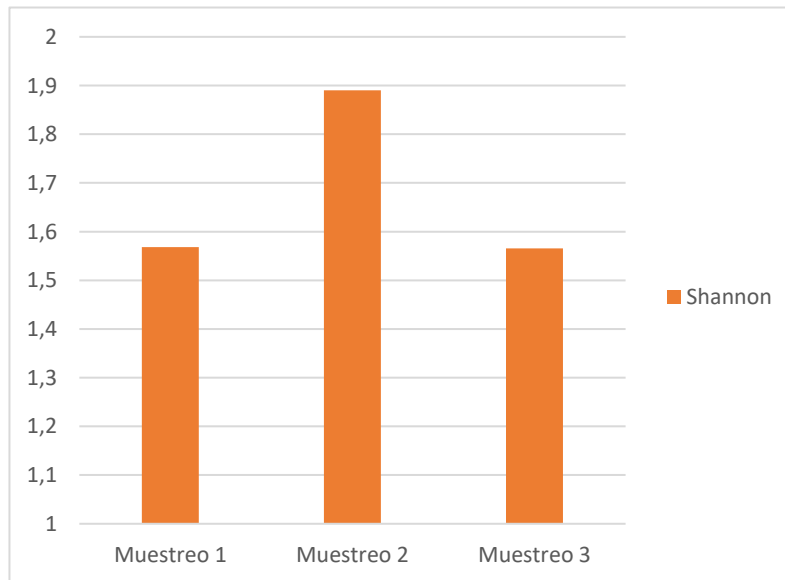
Gráfica 8. Valores para el índice de Shannon para las estaciones de muestreo



Fuente: Autora

El índice de Shannon indica que la diversidad de especies en promedio fue mayor en el muestreo dos que corresponda a la época seca que en los meses de lluvia, en los muestreos 1 y muestreo 3, donde se observa valores similares (Gráfica 9).

Gráfica 9. Valores del índice de Shannon para los tres muestreos

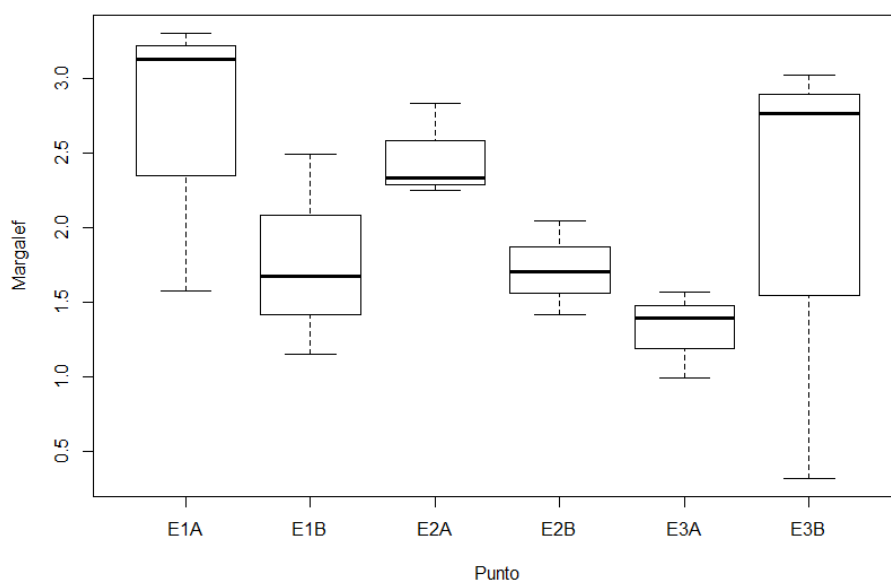


Fuente: Autora

7.3.4. Índice de Margalef

La gráfica de cajas y bigotes para el índice de riqueza de Margalef (Gráfica 10) que se emplea para hallar la riqueza específica, muestra los valores más altos para la estación 1A y 3B con valores de 3,3 y 3,02 respectivamente, sin embargo, estas dos tienen valores mínimos por debajo de la media; los puntos con los valores más bajos son 3A y 3B con valores de 0,98 y 0,31. Los valores más altos presentan mayor riqueza específica, lo que significa que permite conocer la cantidad de especies.

Gráfica 10. Valores para el índice de Margalef para las estaciones de

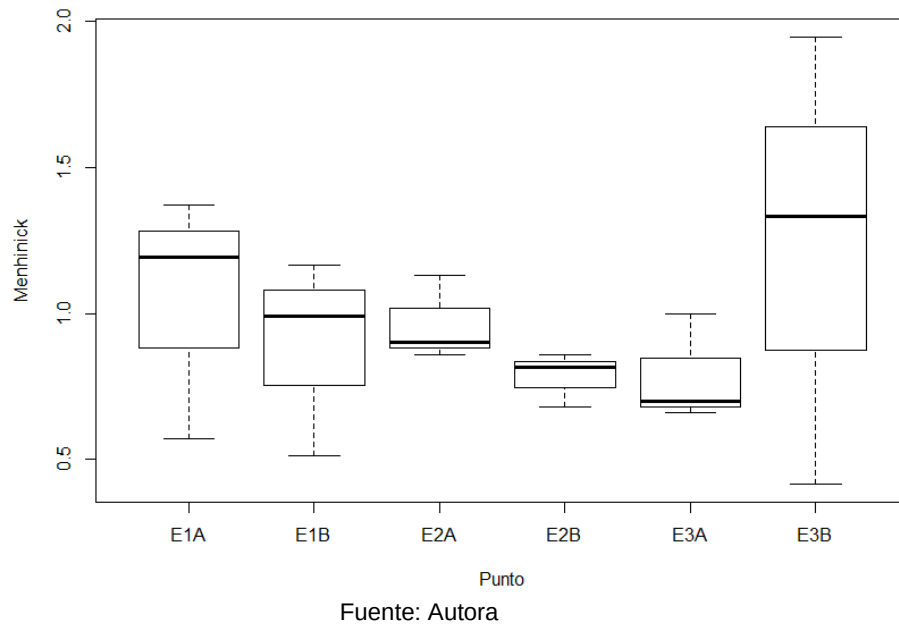


Fuente: Autora

7.3.5. Índice de Menhinick

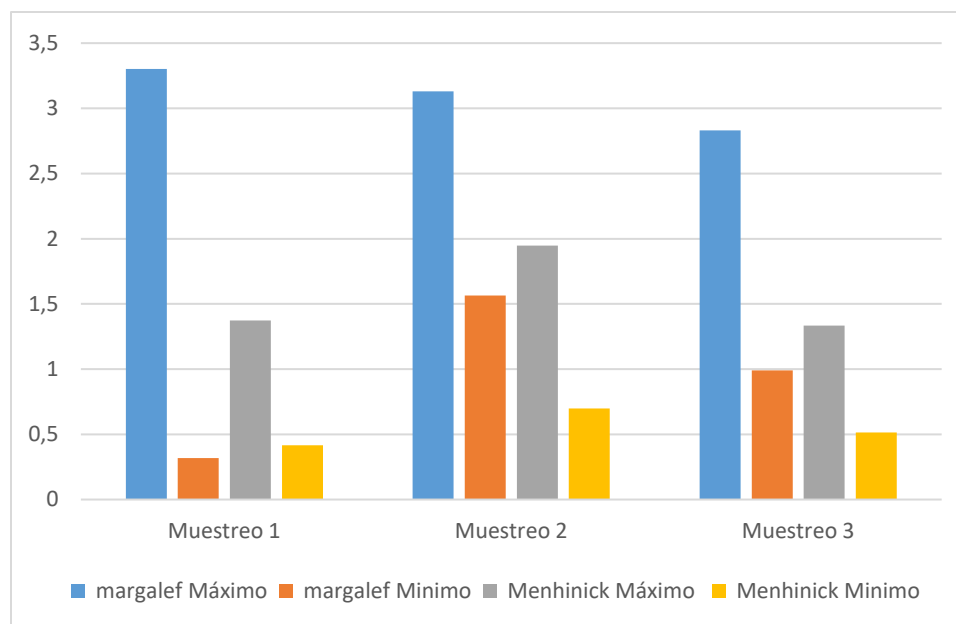
El índice de Menhinick al igual que Margalef muestra la riqueza específica en los diferentes puntos de muestreo, los valores más altos se dieron en la estación 3B en el muestreo dos con un valor de 1,94 y el punto A1 con un valor de 1,4. Los valores más bajos también se dieron en el punto 3B en el muestreo 1 con un valor de 0,41. Los primeros dos puntos tienen valores por debajo de la media, mientras que las estaciones 2B y A3 presentan valores por encima de la media (gráfica 11)

Gráfica 11. Valores para el índice de Menhinick para las estaciones de muestreo



En la Gráfica 12 se observa los valores máximos de Margalef para los tres muestreos realizados en el humedal Jaboque, mostrando 3.3, 3.13 y 2,83, mientras que el índice de Menhinick tiene valores máximos de 1.9, 1,4 y 1.3. Los valores mínimos en Margalef presentan datos de 1.56, 1 y 0,3, en Menhinick se observa valores mínimos de 0.7, 0.5 y 0,4. Con estos dos índices de riqueza, se evidencia una diversidad de intermedia a poca, ya que no se obtuvieron valores por encima de 4. Estos son índices son comparables por que presentan las mismas estaciones, si bien los dos índices son de riqueza en la gráfica se puede observar que los valores para Margalef son mayores que para Menhinick, esto se debe a la ecuación que se utiliza para cada uno, Margalef tiene un log que hace una proyección a futuro de la riqueza de las especies, mientras que Menhinick tiene una raíz que determina puntalmente lo diversa que es la muestra.

Gráfica 12. Máximos y mínimos de Margalef y Menhinick para los tres muestreos.



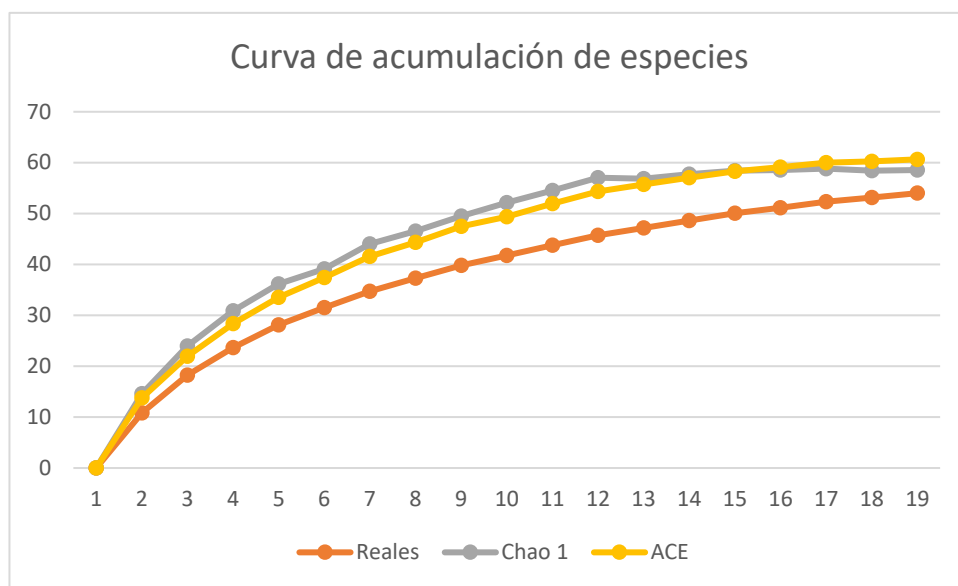
Fuente: Autora

7.4. Curva de acumulación de especies

La curva de acumulación de especies (Gráfica 13) se hizo para determinar el esfuerzo de muestreo, este se realizó con el software estimate. Se utilizaron los estimadores no paramétricos de Chao1 y ACE, que son estimadores de abundancia y les dan peso a las especies “raras”.

Al calcular la eficiencia se obtuvieron valores de 92,19 para Chao1 y de 89 para ACE, con la gráfica se puede ver que la mayor acumulación de especies se dio entre la muestra 1 y la muestra 8.

Gráfica 13. Curva de acumulación de especies



Fuente: Autora

7.5. Condiciones fisicoquímicas del humedal Jaboque

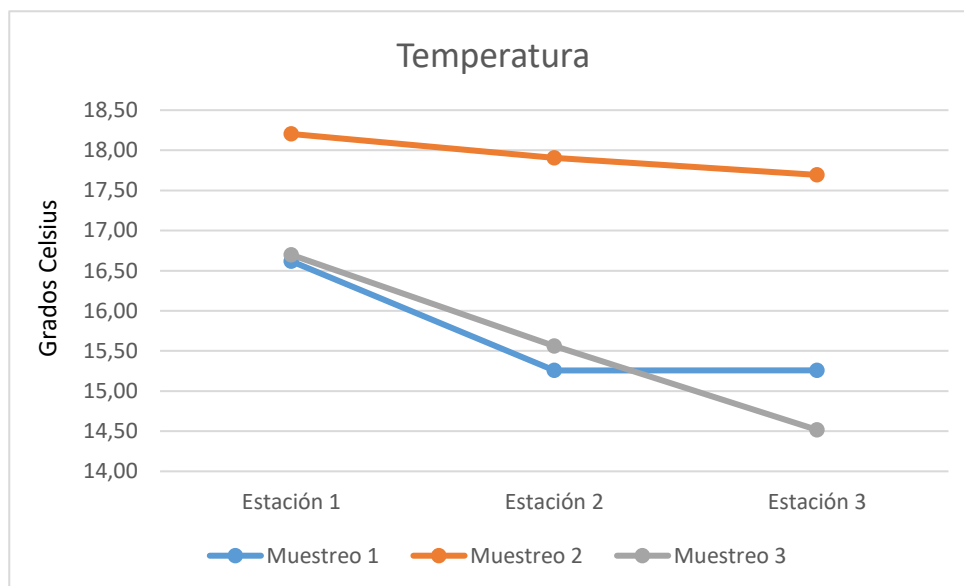
El desarrollo de los microorganismos en el agua está relacionado con las condiciones ambientales en las cuales viven, destacándose en particular el pH, la temperatura y el oxígeno. [14] Como se mencionó anteriormente en la metodología, el muestreo se realizó en el mismo lapso de horario para no tener alteraciones en los datos en las estaciones de muestreo.

El lapso de horario comenzaba en la estación uno sobre las 9:00- 9:30 de la mañana y terminaba en la estación tres sobre la 1:00pm- 1:30pm.

Temperatura

La temperatura es uno de los factores más importantes porque influye en el crecimiento y proliferación de los microorganismos, es un parámetro físico que se relaciona con el oxígeno. en la gráfica 14 se observa el comportamiento de la temperatura para las tres estaciones y los tres muestreos.

Gráfica 14. Variación de la temperatura del agua para las estaciones de muestreo



Fuente: Autora

La temperatura del agua del humedal en las tres estaciones para los tres muestreos realizados estuvo entre 14.52 °C y 18.20°C.

La Estación 1 presentó valores de 16.6°C, 16.7°C y 18°C, este punto siempre presentó los valores más altos en relación con las otras dos estaciones, esto puede deberse a que en este lugar las aguas se encuentran estancadas y las orillas del humedal están pavimentadas por la canalización.

La Estación 2 presentó valores de 15.26°C, 15.56°C y 17.91, la estación se encuentra en el tercio medio del humedal

La Estación 3 presentó valores de 14.52°C, 15.26°C y 17.69°C, para los tres muestreos en esta estación se presentaron los valores más bajos; la estación está en el tercio bajo y en la desembocadura del humedal al río Bogotá por lo que el agua está en constante movimiento.

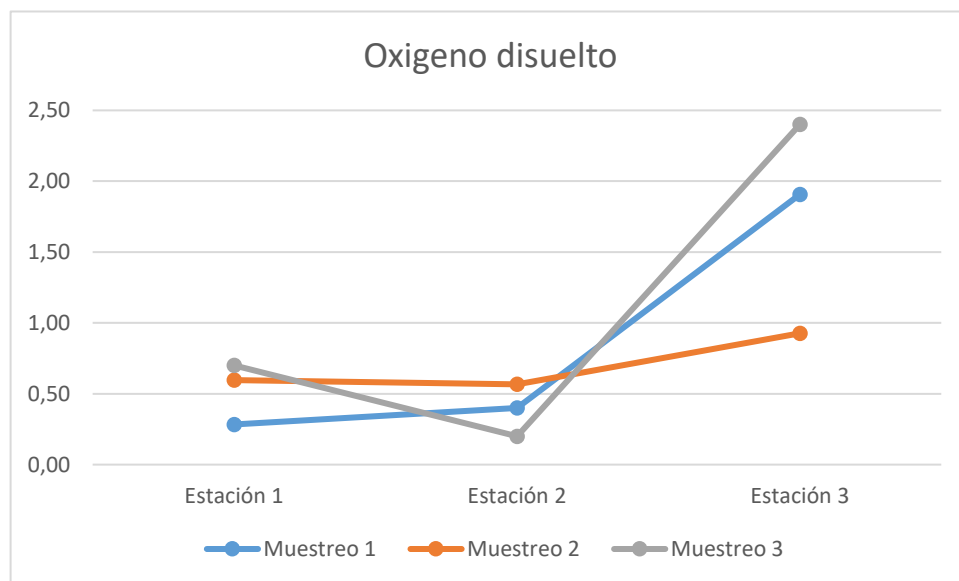
La temperatura para el muestreo dos (agosto) fue mayor que en los muestreos uno (mayo) y tres (octubre), ya que este muestreo se realizó en temporada seca.

-Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importantes para determinar la calidad de agua, está estrechamente relacionado con la temperatura ya que influye

en la capacidad del oxígeno para disolverse, porque diferentes gases tienen solubilidad a diferente temperatura.

Gráfica 15. Variación de oxígeno para las estaciones de muestreo



Fuente: Autora

Para la estación 1 el OD muestra valores de 0,

28, 0,60 y 0,70 mg/l, esto se presenta en zonas que han sido intervenidas ya que el flujo del agua es casi nulo [35].

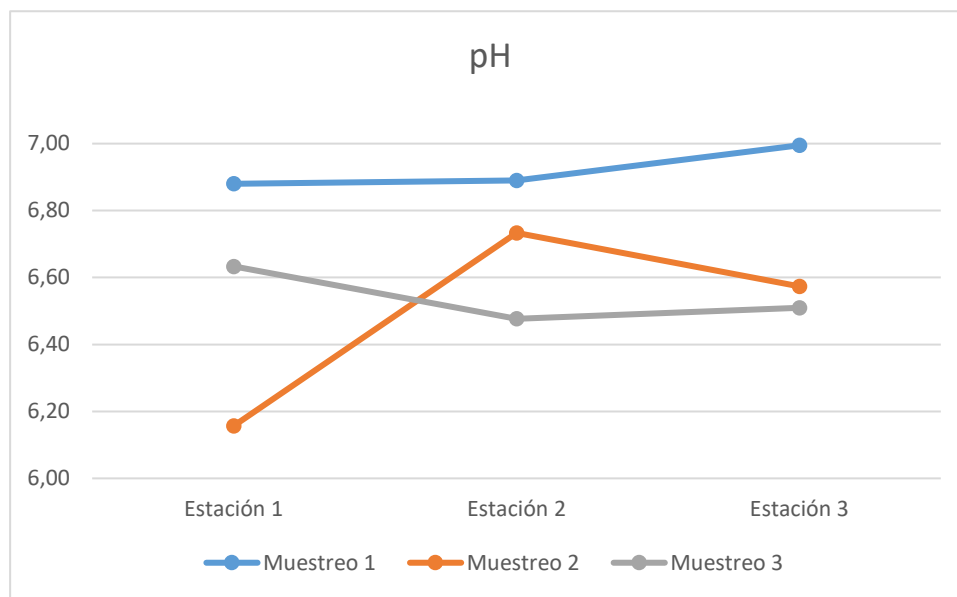
La estación dos, muestra valores de 0,2, 0,4 y 0,57mg/l, estos valores se pueden dar ya que en el tercio medio donde está la estación hay presencia abundante de macrófitas como el botoncillo que domina gran parte de esta zona, teniendo así un espejo de agua muy reducido.

En la estación tres se tienen valores de 0,93, 1,91y 2,4mg/l, en relación con los primeros puntos, en el tercio bajo se tienen mejores condiciones de oxígeno, a pesar de tener un zona cubierta por macrófitas, esto se debe primero a la relación entre la temperatura y el oxígeno, ya que a menor temperatura se transporta una mayor cantidad de oxígeno, como se evidencio anteriormente la estación tres presentó los valores más bajo de temperatura, por otro lado el tercio bajo del humedal presenta la mayor preservación del ecosistema.

pH

La mayoría de los ecosistemas acuáticos presentan valores entre 5 y 9, cada especie tiene un valor de tolerancia diferentes a este parámetro, sin embargo, muy pocas pueden crecer en pH muy ácido (2) o con pH muy alcalino con valores superiores a 10. (Gráfica 16) [14]

Gráfica 16. Valores de pH para las estaciones de muestreo



Fuente: Autora

El promedio del pH fue de 6,65. Los valores oscilaron entre 6,16 y 7,0, teniendo así aguas ligeramente ácidas y neutras.

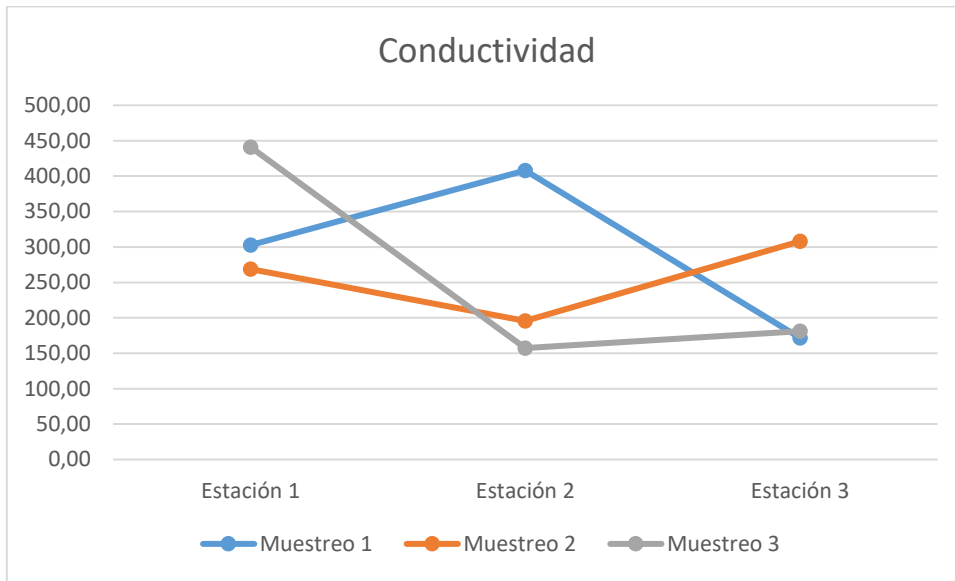
En la estación 1 se presentaron valores de 6,16, 6,63 y 6,88, en esta estación se presentó una mayor variabilidad en este parámetro, teniendo el valor más bajo que muestra aguas ligeramente ácidas.

Los datos obtenidos en las estaciones del humedal Jaboque se encuentran dentro de los valores asimilables y en los que se encuentra normalmente los ecosistemas, permitiendo así el desarrollo de diferentes especies de fitoplancton.

Conductividad

La conductividad evalúa la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta de los iones en solución (cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio), la descarga de aguas residuales aumenta la conductividad ya que aumentan la concentración de iones como nitratos, sulfato, u otros iones [37]

Gráfica 17. Conductividad para las estaciones de muestreo



Fuente: Autora

La conductividad presentó valores entre 157,3 $\mu\text{S/cm}$ y 441 $\mu\text{S/cm}$, para la estación 1 se presentaron valores de 268,67, 302,67 y 441, en la estación dos se tuvieron valores de 195,67, 157,33 y 408 $\mu\text{S/cm}$, en la estación tres se tuvieron valores de 171,67, 181,33 y 308, $\mu\text{S/cm}$. El promedio más alto se evidencia presenta en la estación 1, lugar donde las condiciones del ecosistema

7.6.Relación de las condiciones fisicoquímicas con los índices biológicos

7.6.1. Correlación Spearman

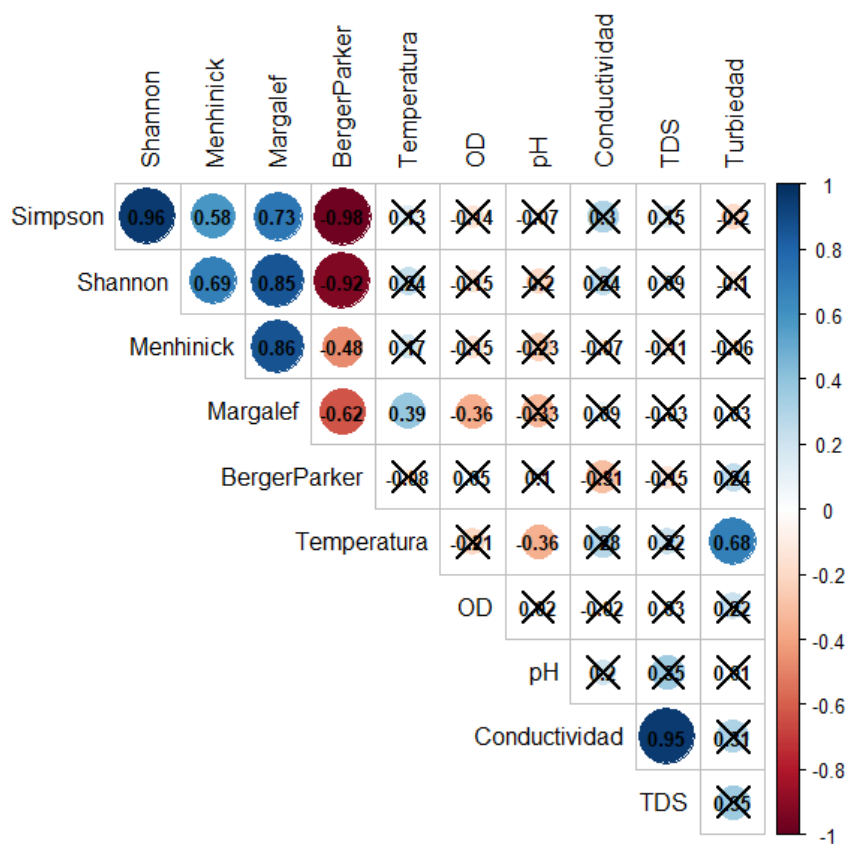
El coeficiente rho de Spearman oscila entre valores de uno positivo a uno negativo, los valores más próximos a la unidad indican una correlación fuerte sea positiva o negativa, los valores más próximos a cero indican que no hay correlación. Los signos indican la dirección de la relación, el signo positivo indica que una variable aumenta conforme la otra también aumenta y disminuye conforme la otra también lo haga mientras que el negativo es inversamente proporcional indicando así que mientras una variable aumenta la otra disminuye o viceversa [38].

Como se observa en la Gráfica 18 la correlación de Spearman muestra los colores de azul a rojo de diferentes tonalidades que representan el Rho de Spearman y la "X" la significancia entre las variables. Para los índices biológicos y las condiciones fisicoquímicas se tiene una asociación débil debido a que las X indican que no existe correlación, pero aun así puede incidir sobre los parámetros.

La temperatura tiene una correlación positiva de 0.39 con el índice de Margalef, lo que indica que ante un posible incremento en este parámetro puede haber un incremento también en la riqueza específica. Esto se debe a que la temperatura es uno de los parámetros más influyentes en la proliferación y supervivencia de los microorganismos ya que a medida que incrementa la temperatura aumenta también las reacciones enzimáticas y las tasas de reproducción, esto tiene un límite y depende también de los organismos y su punto óptimo de temperatura para desarrollarse. [14]

El Oxígeno disuelto también presenta una correlación con Margalef de -0.36, indicando que, a menor oxígeno disuelto, mayor es la riqueza específica.

Gráfica 18. Correlación de Spearman



7.6.2. Correlación canónica

Este método es usual utilizarlo en el campo de la ecología para analizar la relación de la abundancia de diferentes especies con las condiciones o características ambientales de donde se encuentran [39]. Los microorganismos de fitoplancton para desarrollarse necesitan de ciertas características o condiciones en los ambientes donde viven, la Gráfica 19 muestra la agrupación de los morfotipos con las variables fisicoquímicas que más se vieron influenciadas.

En la Tabla 8 están los morfotipos y la sigla con la que aparecen en la Gráfica 19 de correlación. Las variables fisicoquímicas que aparecen son las que se midieron en campo en las tres estaciones de muestreo: Oxígeno disuelto, pH, sólidos totales disueltos, turbiedad y conductividad.

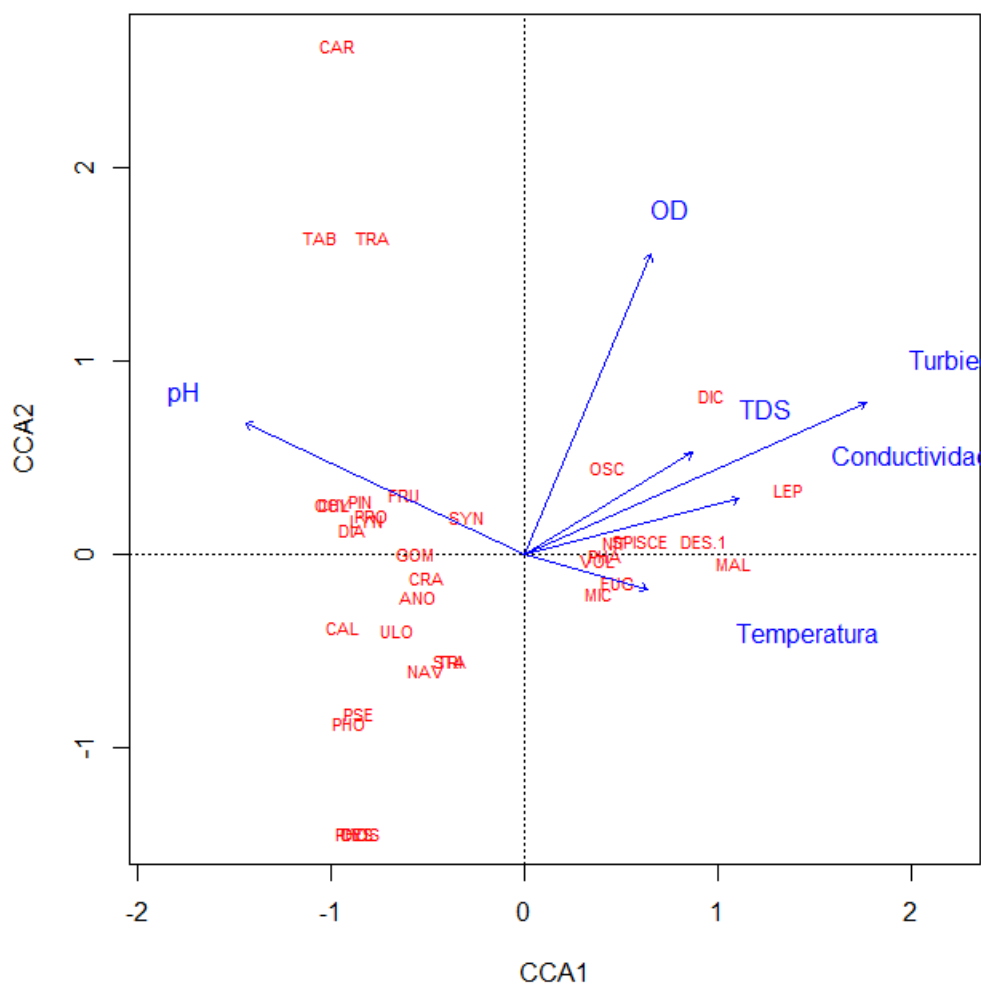
Tabla 8. Siglas de los morfotipos de la correlación canónica

Morfotipos	ID	Morfotipos	ID
Scenedesmus	SCE	Pinnularia	PIN
Carteria	CAR	Euglena	EUG
Desmodesmus	DES	Lepocinclis	LEP
Volvox	VOL	Phacus	PHA
Protococcus	PRO	Trachelomonas	TRA
Oocystis	OCY	Mallomonas	MAL
Dictyosphaerium	DIC	Oscillatoria	OSC
Anomoeoneis	ANO	Phormidium	PHO
Synedra	SYN	Lyngbya	LYN
Stauroneis	STA	Ulothrix	ULO
Craticula	CRA	Pseudanabaena	PSE
Nitzschia	NIT	Cylindrospermum	CYL
Navicula	NAV	Spirulina	SPI
Caloneis	CAL	Microcystis	MIC
Frustulia	FRU	Gomphosphaeria	PHOS
Diatoma	DIA	Tribonema	TRI
Tabellaria	TAB	Chlorobotrys	CHL
Gomphonema	GOM	Desmidium	DES

En la gráfica _ se puede ver una afinidad de los morfotipos *synedra sp.*, *Frustulia sp.*, *Diatoma sp.*, *Desmodesmus sp.*, *Pinnularia sp.*, *Gomphonema sp.*, *Protococcus Sp.* y *Lyngbya Sp.*, con el parámetro pH, los morfotipos, *Scenedesmus sp.*, *Spirulina Sp.* y *Lepocinclis sp.* tiene afinidad con la conductividad, los morfotipos *Microcystis sp.*, *Euglena sp.*, *Volvox sp.* y *Phacus Sp.* muestran afinidad con la temperatura, con los sólidos totales disueltos se encuentra afinidad con *Oscillatoria sp.*, y *Dictyosphaerium sp.*,

Las flechas más largas están representadas por los parámetros que tienen mayor influencia, lo que significa que cualquier alteración se reflejara también en una alteración de las especies afines.

Gráfica 19. Correlación canónica



Fuente: Programa r

7.7 Estado trófico

Para establecer el estado trófico en las estaciones de muestreo se tomaron en cuenta datos en las estaciones de fechas posteriores (temporada seca).

Tabla 9. Fosforo total en tres estaciones del humedal Jaboque

Parámetro	E1	E2	E3
Fosforo total (mg/l)	1,1	2,7	2,2

Fuente: Datos laboratorio para enero 2020

El fósforo total es empleado tradicionalmente como índice de la calidad del agua y del estado trófico, ya que se considera a este elemento como un nutriente limitante respecto a la productividad fitoplanctónica en cuerpos superficiales de agua [40].

La estación dos presentó el valor más alto de fosforo total (2,7mg/l),. esto puede deberse a que esta estación está cerca. a las casas de donde aún se registran vertimientos domésticos

Tabla 10. Valor de estado trófico para las tres estaciones del humedal Jaboque

Estaciones	TSI pt	Estado trófico
Estación 1	107	Hipereutrófico (90<TSI<100)
Estación 2	118	
Estación 3	115	

Fuente: Elaboración propia

Aplicando el índice de Carlson que tiene en cuenta el fosforo total se obtienen valores por encima de cien que indican hipereutrofía. En otros estudios en años anteriores en el humedal Jaboque se clasificó el humedal como eutrófico por encontrar valores de fosforo total (1.63 y 4.9mg/l) [41]; en otros estudios también se encontraron valores de fosforo entre (0.03 y 4.51) [42], En estudio realizado por (Malagon) en el 2017 se determinó el Humedal Jaboque como eutrófico teniendo en cuenta el fósforo como parámetro evaluado [31]

Este elemento se considera el factor más importante en sistemas acuáticos lenticos [43] , las concentraciones de este elemento pueden incrementar según lo indica (Ramirez& Machado) en épocas de lluvia por el proceso de lixiviación que se da con el arrastre de sedimentos y otras sustancias presentes en lugares aledaños a estos cuerpos de agua.

En la tabla 11 se pueden observar las características de algunos morfotipos encontrados, estos varían de entre Mesotrofia a Eutrofia, sin embargo, como se mencionó anteriormente los generos *Nitzschia sp.*, *Oscillatoria sp* y *microcystis sp.* que son los más abundantes son indicadores de aguas con contaminación orgánica intensa y muy intensa, propios de aguas estancadas.

Como lo menciona (Rodriguez) citando a Horner, las condiciones de Eutrofia en humedales de la Sabana de Bogotá son normales ya que los humedales son de manera natural sistemas eutróficos y sapróbicos, teniendo en cuenta que los procesos de urbanización incrementan los nutrientes y materia orgánica en estos ecosistemas. [44]

Tabla 11. Morfotipos y estado trófico

Morfotipos	Estado Trófico	Morfotipos	Estado Trófico
Scenedesmus Sp.	Eutrofia	Pinnularia Sp.	Mesotrofia
Euglena Sp.	Eutrofia	Gomphonema Sp.	Eutrofia
Desmidium Sp.	Mesotrofia	Lepocinclis Sp.	Eutrofia
Volvox Sp.	Mesotrofia-Eutrofia	Phacus Sp.	Mesotrofia-Eutrofia
Tabellaria Sp.	Meso-Eutro	Trachelomonas Sp.	Mesotrofia
Oocystis Sp.	Eutrofia	Tribonema Sp.	Mesotrofia
Synedra Sp.	Mesotrofia	Oscillatoria Sp.	Eutrofia
Nitzschia Sp.	Mesotrofia	Phormidium Sp.	Mesotrofia
Navicula Sp.	Mesotrofia	Lyngbya Sp.	Hipereutrofia
Stauroneis Sp.	Mesotrofia	Ulothrix Sp.	
Microcystis	Eutrofia	Spirulina Sp.	Meso-Eutro

Fuente: Adaptada por la autora

8. CONCLUSIONES

- Con los índices de riqueza, equidad y dominancia hallados para la comunidad de fitoplancton en las tres estaciones del humedal Jaboque se determina una diversidad media.
- Los géneros con mayor abundancia para las clases más representativas de las tres estaciones en el humedal Jaboque dan un carácter de eutrofia, ya que *Nitzschia* Sp., *Navicula* sp., *Oscillatoria* sp. y *Microsystis* sp., son indicadores de aguas con contaminación orgánica intensa y muy intensa.
- La correlación de los parámetros físicos químicos y los índices de diversidad presentaron una asociación débil, únicamente se obtuvieron datos para el índice de riqueza de Margalef en relación positiva con la temperatura y negativa con el oxígeno disuelto.
- La relación de los morfotipos encontrados en las estaciones seleccionadas del humedal con las condiciones del ecosistema denotan aguas ricas en materia orgánica, propios de aguas con contaminación moderada o muy moderada, característica de aguas de Mesotrofia a Eutrofia.
- El pH para las estaciones de muestreo tuvo un promedio de 6,6 lo que indica aguas ligeramente acidas.
- Los géneros *Oscillatoria* Sp, *Microsystis* Sp., *Nitzschia* Sp. y *Navicula* Sp., *Ulothrix* Sp., que se encontraron en casi todos los muestreos podrían considerarse Eurico ya que resisten a variaciones en el ambiente.
- El oxígeno disuelto para estas tres estaciones varió de 0,20 (estación 2) a 2,40. La estación que presentó los mayores valores de OD es la estación tres ubicada en la desembocadura al Río Bogotá.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuros estudios realizar más muestreos y en un tiempo más prolongado que incluya al menos dos muestreos por periodo climático e incluir más estaciones en lugares críticos y en los espejos de agua del tercio medio y bajo.
- Se recomienda medir todos los parámetros fisicoquímicos para determinar las relaciones entre los taxones y las variables y también los índices de diversidad.
- Existen conexiones erradas en barrios aledaños al humedal Jaboque que vierten sus aguas domesticas al ecosistema, por lo que se recomienda a las autoridades competentes verificar los puntos.
- El humedal Jaboque es uno de los más grandes e importantes de Bogotá por lo que se requiere intervención institucional y participación de la comunidad aledaña, ya que en el tercio alto del humedal se encuentra gran cantidad de residuos solidos en los bordes y espejos de agua.
- Para establecer el estado trófico con la comunidad fitoplanctónica es necesario llegar a la especie.
- Para futuros estudios se recomienda realizar un pre-muestreo de la comunidad fitoplanctónica para conocer los morfotipos previos al estudio.

ANEXOS

Anexo 1: Clasificación taxonomía del fitoplancton y registro fotográfico

Anexo 2: Documento de Excel con tabla de presencia ausencia, tabla cuantitativa, índices de diversidad.

COMPONENTE SOCIAL

Elaboración de una cartilla para compartir desde el movimiento *YO SOY HUMEDAL* (Organización comunitaria de educación y defensa de los humedales de Engativá), con la información del Humedal Jaboque, la importancia del fitoplancton, clases de fitoplancton y registro fotográfico para compartir con la comunidad de la Upz 72 y 74.

10. BIBLIOGRAFIA

- [1] Secretaría de la Convención de Ramsar 2016, «Introducción a la Convención sobre los Humedales,» *Manual de la Convención de Ramsar*, 2016.
- [2] Cancillería de Colombia, «Convención Ramsar sobre Humedales de Importancia Internacional,» [En línea]. Available: <https://www.cancilleria.gov.co/convencion-ramsar-sobre-humedales-importancia-internacional>.
- [3] RAMSAR, «Colombia designa dos nuevos humedales de importancia internacional,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ramsar.org/es/nuevas/colombia-designa-dos-nuevos-humedales-de-importancia-internacional>.
- [4] Alcaldía Mayor de Bogotá, Departamento técnico administrativo Medio Ambiente, «Políticas de humedales del distrito capital,» Bogotá, 2006.
- [5] Ministerio del Medio Ambiente, «Política Nacional para Humedales interiores de Colombia,» Bogotá, 2002.
- [6] Secretaría de la Convención de Ramsar, «Manual de la Convención Ramsar,» *RAMSAR*, 2013.
- [7] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Decreto 1468 de 2018,» 6 Agosto 2018. [En línea].
- [8] P. Moreno, *Servicios ambientales que proporcionan los humedales*, Instituto de Ecología A.C..
- [9] E. M. Martínez Quiroga, *VALORACIÓN ECONOMICA DEL HUMEDAL JABOQUE MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE PRECIOS HEDONICOS*, Bogotá, 2017.
- [10] Acueducto Agua y Alcantarillado de Bogotá, «Plan de Manejo Ambiental Humedal Jaboque,» Bogotá, 2006.
- [11] Jardín Botánico de Bogotá, «Jardin Botanico de Bogotá,» [En línea]. Available: <http://www.jbb.gov.co/index.php/conoce-los-humedales/pedh-jaboque>.
- [12] S. Y. Cadena Valbuena, *LINEAMIENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL HUMEDAL INTERIOR JABOQUE*, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018.
- [13] O. Rangel, *Humedales de la localidad de Engativá*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [14] J. J. Ramírez Restrepo y G. Roldán Pérez, *Fundamentos de limnología neotropical*, 2a edición ed., Universidad de Antioquia, 2008.

- [15 L. M. Gomez Luna, «Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos,» *Revista Cubana de Química*, vol. XIX, p. 20, 2007.]
- [16 G. Roldán Pérez, Fundamentos de limnología neotropical, Medellin: Universidad de Antioquia, 2008.]
- [17 G. Pinilla y J. Duarte, «La importancia ecológica de las ciénagas del canal del dique y la determinación de su estado limnológico,» Bogotá, 2006.]
- [18 C. Vasquez y G. Pinilla Agudelo, «Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense,» *Universitas Scientiarum*, vol. 11, Diciembre 2006.]
- [19 D. P. Moreno Franco, J. Quintero Manzano y A. Lopez Cuevas , «Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de autrofia,» 2010.]
- [20 E. Ongley, Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos, Burlington: FAO.]
- [21 *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*, Iztapalapa: Universidad Autonoma metropolitana, 2010.]
- [22 L. E. Gualdrón Durán, «EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE RÍOS DE COLOMBIA USANDO PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS,» *Dinámica Ambiental*, nº 1, p. 20, Diciembre 2016.]
- [23 Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Decreto Unico Reglamentario 1076 de 2015,» 26 Mayo 2015. [En línea].]
- [24 Ecological Survey & Habitat Restoration Site, «Simpson's Diversity Index,» [En línea].]
- [25 Unidad Académica Yucatán, «Laboratorio de Biología de la conservación,» [En línea].]
- [26 Universidad Nacional de la Plata, «Estimación de la diversidad específica,» *Facultad de ciencias naturales y museo*, 2008.]
- [27 J. Carabias, J. A. Meave, T. Valverde y Z. Cano Santana, Ecología y medio ambiente, México : Pretince Hall, 2009.]
- [28 A. M. Campo y V. S. Duval, «Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina),» *Anales de Geografía*, vol. 34, nº 2, 2014.]
- [29 University of Oslo, «PAST Paleontological STatistics,» 1999-2019. [En línea]. Available: <http://folk.uio.no/ohammer/past/past3manual.pdf>.]

- [30 Universitetet i Oslo, «The past of the future,» [En línea]. Available:
] <https://folk.uio.no/ohammer/past/>.
- [31 G. A. Pinilla Agudelo y G. H. Guillot Monroy, Estudios ecológicos en humedales de Bogotá;
] aplicaciones para su evaluación, seguimiento y manejo, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2017.
- [32 J. J. Ramirez, Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios,
] Medellín: Universidad de Antioquia, 2000.
- [33 «AlgaeBase,» 1996. [En línea]. Available: <https://www.algaebase.org/search/genus/>.
]
- [34 K. P. Barros da Silva, M. M. Da Silva Costa y È. A. Cecilia Guedes, «Variação temporal do
] fitoplâncton de um lago pertencente à Área de Proteção Permanente no estado de Alagoas, nordeste do Brasil,» *SciELO*, vol. 25, nº 4, 2011.
- [35 ACUEDUCTO, AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, «PLAN DE MANEJO AMBIENTAL
] HUMEDAL JABOQUE,» 2006. [En línea].
- [36 M. Arcos Pulido y A. Gómez Prieto, «Microalgas perifitas como indicadoras del estado de las
] aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C.,» *NOVA*, vol. 4, nº 006, 2006.
- [37 Asociación Civil Investigación y Desarrollo, «Guía para la utilización de las Valijas Viajeras,»
] Junio 2007. [En línea]. Available:
http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf.
- [38 E. Cabrera, «EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE LOS RANGOS DE SPEARMAN,» *Habanera
] de Ciencias Médicas*, vol. 8, nº 2, 2009.
- [39 B. Adriyanov Kostov, «Aportación de análisis canónico de correspondencias al análisis
] textual,» 2013.
- [40 M. Aguirre Cordon, A. Vanegas Chacón y N. García Álvarez, «Evaluación del estado trófico del
] lago de Izabal, Guatemala.,» *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 25, nº 1, 2016.
- [41 D. M. Mejia Rodríguez, *Diatomeas perifíticas y algunas características limnológicas de un
] humedal urbano de la sabana de Bogotá*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [42 Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, *IX Fase del programa de seguimiento y monitoreo de
] efluentes industriales y afluentes al recurso hídrico de Bogotá*, Bogotá, 2010.
- [43 J. J. Ramirez Restrepo y T. Machado, *Influencia de la precipitación y los ortofosfatos sobre el
] fitoplancton de la represa la "Fe"*, Medellín, 1982.

- [44 L. S. Rodríguez Garzón, *Determinación del estado trófico de tres ecosistemas lénticos de la sabana de Bogotá con base al Fitoplancton, en dos periodos climáticos contrastes.*, Bogotá: Universidad Militar Nueva Granda, 2012.
- [45 M. Romero Saldaña, «Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal,» vol. 6, nº 3, 2016.
- [46 IDEAM, «Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA),» Octubre 2011. [En línea].
- [47 P. Torres, C. Hernan Cruz y P. Patiño, «ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellin*, vol. 8, nº 15, Octubre 2009.
- [48 Universidad Complutense Madrid, «Universidad Complutense Madrid,» Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Nitratos.%20f.pdf>.
- [49 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 días,» Junio 2007. [En línea].
- [50 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «FÓSFORO TOTAL EN AGUA POR DIGESTIÓN ACIDA,» Mayo 2004. [En línea].

ANEXOS

La prueba de Shapiro-Wilk es para contrastar la normalidad de los datos y se empleó por tener datos menores a 50, [45] esta prueba indica normalidad en el comportamiento de las variables cuando el P- valor es mayor a 0,05, como se observa en la tabla, el índice de Simpson es el único que no cumple con esta condición. Esto indica que la variable Simpson no se ajusta a una distribución normal por lo que no se podría aplicar pruebas paramétricas.

Prueba Shapiro-Wilk		
Simpson	W = 0.85498,	p-value = 0.01016
Shanon	W = 0.93312,	p-value = 0.2203
Menhinick	W = 0.93841,	p-value = 0.2721
Margalef	W = 0.96887,	p-value = 0.7761
BergerParker	W = 0.93536,	p-value = 0.241

Programa r, para hallar Shapiro Wilk

La prueba Kruskal-Wills es una prueba no paramétrica que permite realizar las comparaciones entre estación y muestreo para establecer diferencias significativas.

Para esta prueba igual que para la prueba de normalidad Shapiro-Wilk se tiene en cuenta el p-valor, este debe ser menor a 0,05 para considerar diferencias estadísticamente significativas.

La prueba concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas espaciales ni temporales respecto a los índices biológicos.

Kruskal-Wallis				
Índices		Df	Chi-cuadrado	p-value
Simpson	Muestro	2	1,1345	0,5671
	Estaciones	2	0,14035	0,9322
Berker-Parker	Muestro	2	0,78363	0,6758
	Estaciones	2	0,14035	0,9322
Shannon	Muestro	2	1,731	0,4208
	Estaciones	2	0,15205	0,9268
Margalef	Muestro	2	2,6082	0,2714
	Estaciones	2	1,7661	0,4135
Mehinick	Muestro	2	2,0117	0,3657
	Estaciones	2	0,2924	0,864

