

**ESTUDIO LIMNOLÓGICO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL
HUMEDAL JAIME DUQUE CUERPO DE AGUA N° 1- PARQUE JAIME DUQUE
(TOCANCIPÁ-CUNDINAMARCA).**

LAURA XIMENA GUEVARA MONTAÑA

Proyecto De Investigación (Opción De Grado) Para Optar Por El Título De Ingeniera
Ambiental

Tutora:

RUTH FLÓREZ VARGAS

MSc. - Bióloga

Co-tutora

LILIANA ARDILA FORERO

MSc. - Ingeniería Química

UNIVERSIDAD ECCI

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ, D.C.

2022

Nota de calificación.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a mi madre y hermanos quien ha sido pilar fundamental de mi formación académica, brindando su apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria, sin su amor y sacrificio no habría sido posible.

Además, a todas aquellas personas que compartieron su conocimiento para el desarrollo del trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia: quien estuvo presente en cada una de las etapas de mi proceso de formación, por ser promotores de este sueño que con esmero se convierte en realidad y que para mi es un orgullo y un logro de gran importancia.

A las docentes investigadoras Ruth Flórez y Liliana Ardila de la Universidad ECCI: quienes me guiaron y brindaron su conocimiento en el desarrollo de las diferentes actividades con el fin de cumplir los objetivos planteados con dedicación y profesionalismo.

Al parque Jaime Duque: por permitirme el acceso a las instalaciones, equipos necesarios y personal de apoyo para el libre desarrollo de las actividades enfocadas en los muestreos del Humedal Jaime duque.

A la Universidad ECCI: por brindarme las herramientas adecuadas para enfrentarme a grandes retos que conlleva la ingeniería Ambiental.

Al personal de los Laboratorios de la Universidad ECCI: A todo el equipo de laboratorio quien me asesoro y brindo su apoyo en la ejecución de las practicas, por los insumos puestos a disposición para el cumplimiento de los objetivos.

Al profesor Juan Camilo Dumar: quien me brindo todo su conocimiento en el análisis de datos biológicos y estadísticos en el software PAST

CONTENIDO

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	16
2.	JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.1	JUSTIFICACIÓN.....	16
2.1	DELIMITACIÓN	17
3.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.1	OBJETIVO GENERAL	18
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4.	MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
4.1	MARCO TEÓRICO	19
4.1.1	¿Qué es un humedal?.....	19
4.1.2	Humedales en el mundo	19
4.1.3	Tipos de Humedal.....	20
4.1.4	Importancia y servicios ecosistémicos de los humedales.....	21
4.2	MARCO CONCEPTUAL	22
4.2.1	Componente ecosistémico	23
4.2.2	Componente biológico.....	26
4.2.3	Métodos de medición de la Biodiversidad	27
4.2.4	Componente fisicoquímico.....	29
4.2.5	Estado trófico del agua	30
4.3	MARCO LEGAL	32

4.4	MARCO HISTÓRICO	34
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	36
5.1	PERIODO DE MUESTREO	36
5.2	RECOLECCIÓN DE DATOS FISICOQUÍMICOS	38
5.2.1	Determinación de Fosfatos en el agua (mg P043 -/ L)	41
5.2.2	Determinación de Nitritos en el agua (mg NO2 -/L).....	42
5.2.3	Determinación de Nitratos en el agua (mg NO3 -/L).....	42
5.2.4	Determinación de Nitrógeno Amoniacal en el agua (mg NH4 +/L).....	43
5.2.5	Determinación de <i>DBO5</i>	43
5.2.6	Determinación de DQO en el agua.....	45
5.2.7	Curvas de calibración para Fosfatos, Nitritos, Nitratos, Amonio y DQO	46
5.2.8	Determinación de la Clorofila-a	47
5.3	RECOLECCIÓN DE DATOS BIOLÓGICOS	48
5.2.9	Fitoplancton	48
5.2.10	Zooplancton	50
5.4	BATIMETRÍA	51
5.5	APLICACIÓN ESTADÍSTICA	52
5.5.1	Análisis Estadístico De Variables Fisicoquímicas	52
5.5.2	Análisis Estadístico De Variables Fisicoquímicas Y Biológicas.	54
5.5.3	Correlación De Spearman.....	55
5.6	ÍNDICES DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA.....	55
5.7	ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO	56
5.7.1	Índice de estado trófico Carlson 1977 modificado por Toledo 1983	57
5.7.2	Índice de estado trófico de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004):.	58

5.7.3	ÍCOTRO	59
6.	RESULTADOS	61
6.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS	61
6.1.1	Análisis de componentes principales para los periodos de alta y baja precipitación 71	
6.1.2	Test de Shapiro Will	73
6.1.3	Test de ANOVA	74
6.1.4	Test de Kruskal Wallis	76
6.2	RESULTADOS DE VARIABLES BIOLÓGICAS	77
6.2.1	Densidad Fitoplanctónica	77
6.2.2	Índices de diversidad equidad, dominancia y riqueza fitoplanctónica	81
6.2.3	Densidad Zooplanctónicas.....	82
6.2.4	Índices de diversidad equidad, dominancia y riqueza Zooplanctónica	84
6.2.1	Coeficientes de correlación (Sperman).....	86
6.3	ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO	88
6.3.1	Índice de estado trófico Carlson 1977 modificado por Toledo 1983	89
6.3.2	Índice de estado trófico Carlson 1977 modificado por Lamparelli 2004	90
6.3.1	ICOTRO	91
7.	BATIMETRÍA-METODOLOGIA IDW	93
8.	PROPUESTA DE DISEÑO METODOLOGICO	94
9.	CONCLUSIONES.....	101
10.	RECOMENDACIONES	101
11.	BIBLIOGRAFÍA	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Indicadores de calidad para la clasificación del estado ecológico	23
Tabla 2 Definiciones normativas de las clasificaciones del estado ecológico	25
Tabla 3 Características principales de las comunidades zooplanctónicas	27
Tabla 4 Marco legal	32
Tabla 5 Cronograma de muestreos	37
Tabla 6 Coordinadas puntos de muestreo cuerpo de agua #1 Humedal Jaime Duque	38
Tabla 7 Métodos para la medición de Parámetros fisicoquímicos y biológicos de acuerdo con el escenario	39
Tabla 8 Concentración final de cada nutriente para los estándares de las curvas de calibración	46
Tabla 9 Recolección de datos grupos biológicos.....	48
Tabla 10 Clasificación del grado de trofismo según los valores obtenidos en IET, modificado por Toledo, 1983	57
Tabla 11 Clasificación de estado trófico propuesto por Lamparelli (2004).	58
Tabla 12 Valores límite de la OCDE, 1982 para la clasificación trófica	59
Tabla 13 Clasificación de estado trófico - ICOTRO	59
Tabla 14 Matriz resumen de valores promedio y desviación estándar de cada parámetro fisicoquímico medido en diferentes épocas de muestreo	61
Tabla 15 Coeficiente de extinción de la luz para los dos periodos climáticos	63
Tabla 16 Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO5/DQO	69
Tabla 17 Valores propios y porcentaje de varianza de los 5 primeros componentes de los PCA para los dos contrastes climáticos.....	71
Tabla 18 Resultados de la prueba de Shapiro Will para determinar la distribución de los parámetros: Clorofila-a, Conductividad, TDS, OD%, DQO.....	74

Tabla 19 Resultados de la prueba ANOVA (análisis of variance) para los parámetros de OD% y DQO	74
Tabla 20 Resultados del test Kruskal Wallis para los parámetros de Clorofila-a, Conductividad y TDS.....	76
Tabla 21 Correlación de Spearman entre variables fisicoquímicos y biológicos.....	86
Tabla 22 Resultados mensuales de los factores incluidos en el IET	88
Tabla 23 Resultados de los Índices de Estado Trófico de Carlson 1977 modificado por Toledo, 1983	89
Tabla 24 Resultados de los Índices de Estado Trófico de Carlson 1977 modificado por Lamparelli 2004.....	90
Tabla 25 Valores promedio de las variables medidas mensualmente en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque.....	90
Tabla 26 Variables para la determinación de puntos de muestreo	110
Tabla 27 Soluciones patrón y absorbancias para análisis de fosfatos por espectrofotometría.	111
Tabla 28 Soluciones patrón y absorbancias para análisis de Nitritos por espectrofotometría.	112
Tabla 29 Soluciones patrón y absorbancias para análisis de nitrógeno amoniacal	113
Tabla 30 Soluciones patrón y absorbancias para análisis de Nitratos por espectrofotometría.	114
Tabla 31 Soluciones patrón para análisis de DQO	115
Tabla 32 Resultados Variables Fisicoquímicas réplica 1 medidos en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque.....	116
Tabla 33 Resultados Variables Fisicoquímicas réplica 2 medidos en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque.....	118
Tabla 34 Resultados prueba estadística f -Fisher	120
Tabla 35 Resultados prueba estadística t-student	121

Tabla 36 Intervalos de confianza variables fisicoquímicas replica 1	122
Tabla 37 Intervalos de confianza variables fisicoquímicas replica 2	123
Tabla 38 Desviación estándar variables fisicoquímicas replica 1	124
Tabla 39 Desviación estándar variables fisicoquímicas réplica	125
Tabla 40 Densidad fitoplanctónica del cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque.	126
Tabla 41 Densidad zooplanctónica del cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque.	127
Tabla 42 Índices de Biodiversidad para el fitoplancton	127
Tabla 43 Índices de Biodiversidad para el Zooplancton	128

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Delimitación Área de estudio, Cuerpo #1 Humedal Jaime Duque.....	17
Ilustración 2 Puntos de muestreo, Cuerpo de Agua #1, Humedal Jaime Duque.....	38
Ilustración 3 Recorrido en S en la cámara de sedimentación de Utermöl.....	49
Ilustración 4 Recorrido Cámara de Bogorov	50
Ilustración 5 Plano toma de puntos batimétricos.....	51
Ilustración 6 Ribera1 Humedal Jaime Duque.....	67
Ilustración 7 Ribera 2 Humedal Jaime Duque.....	67
Ilustración 8 Algunas especies Fitoplanctónica presentes en el cuerpo #1 del humedal Jaime Duque.	80
Ilustración 9 Algunas especies Zooplanctónicas presentes en el cuerpo #1 del humedal Jaime Duque.	84
Ilustración 10 Batimetría cuerpo de agua #1 Humedal Jaime Duque	93
Ilustración 11 Formato de etiqueta o rotulo para las muestras de laboratorio.....	95
Ilustración 12 Formato ficha de campo	96
Ilustración 13 Punto 1, cuerpo de agua #1 Humedal Jaime Duque.....	129
Ilustración 14 Punto 3, cuerpo de agua #1 Humedal Jaime Duque.....	129

Ilustración 15 Recolección de variables fisicoquímicas.....	129
Ilustración 16 Recolección de variables Biológicas	129
Ilustración 17 Espejo de agua, Cuerpo de Agua #1 HJD	130
Ilustración 18 Laboratorio determinación de clorofila-a.....	130
Ilustración 19 Laboratorio determinación de DBO5	130

LISTA DE GRAFICOS

Grafica 1 Temperatura y precipitación del municipio de Tocancipá	37
Grafica 2 Variación mensual de la Conductividad Eléctrica y TDS en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque.....	64
Grafica 3 Variación mensual de las formas de Nitrógeno en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque	66
Grafica 4 Variación mensual de los Fosfatos en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque	68
Grafica 5 Variación mensual de DBO5, DQO y OD en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque	70
Grafica 6 Análisis de componentes principales de los parámetros fisicoquímicos correspondientes a los muestreos realizados en temporada de baja precipitación, los círculos corresponden al punto 1 de muestreo, los signos de más al punto 2 y los diamantes al punto 3	72
Grafica 7 Análisis de componentes principales de los parámetros fisicoquímicos correspondiente a los muestreos realizados en temporada de alta precipitación, los círculos corresponden al punto 1 de muestreo, los signos de más al punto 2 y los diamantes al punto 3	73
Gráfica 8 Box plot de los parámetros OD% y DQO en épocas contraste como resultado grafico del test ANOVA	75
Gráfica 9 Box plot de los parámetros de clorofila-a, Conductividad y TDS en épocas contraste como resultado grafico de la prueba Kruskall Wallis.....	77

Gráfica 10 Abundancia promedio (ind ml-1) de las clases de algas del fitoplancton encontrado en el cuerpo de agua #1 del humedal Jaime Duque en los dos periodos climáticos. A) porcentaje B) Escala logarítmica.....	79
Gráfica 11 Índices de diversidad, dominancia, equidad y riqueza fitoplanctónica. A) Índice de Shannon Wiener. B) Índice de Simpson. C) Índice de Margalef.	81
Gráfica 12 Abundancia promedio (ind / l-1) de las clases de algas del Zooplancton encontrado en el cuerpo de agua #1 del humedal Jaime Duque en los dos periodos climáticos	83
Gráfica 13 Índices de diversidad, dominancia, equidad y riqueza Zooplanctonica. A) Índice de Shannon Wiener. B) Índice de Simpson. C) Índice de Margalef.	85
Grafica 14 Clasificación de la contaminación trófica ICOTRO de acuerdo con la concentración de Fosfatos en g/m3 medidos en el cuerpo de agua #1 de Humedal Jaime Duque	91
Grafica 15 Curva de calibración Fosfatos (mg P043 –/ L).....	111
Gráfica 16 Curva de calibración Nitritos.....	112
Gráfica 17 Curva de calibración Nitrógeno amoniacal	113
Gráfica 18 Curva de calibración Nitratos	114
Gráfica 19 Curva de calibración DQO	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Medición de parámetros In-Situ con equipo multiparámetro	40
Figura 2 Medición transparencia con Disco de Secchi.....	41
Figura 3 Procedimiento determinación de fosfatos	41
Figura 4 Procedimiento determinación de Nitritos.....	42
Figura 5 Procedimiento determinación de Nitratos	43
Figura 6 Procedimiento determinación de Nitrógeno Amoniacal	43
Figura 7 Procedimiento determinación DBO5	45
Figura 8 Procedimiento determinación de la DQO	46
Figura 9 Esquema componente fisicoquímico y biológico	98

Figura 10 Esquema del análisis estadístico para los componentes fisicoquímico y biológico 100

RESUMEN

En las instalaciones del Ecoparque sabana, perteneciente al Parque Jaime Duque se llevó a cabo un estudio de caracterización fisicoquímica y biológica a lo largo del año 2019, esto, abarco un periodo equivalente a 6 meses donde se tuvo en cuenta el contraste climático bimodal del municipio de Tocancipá, la metodología de baso en un diseño experimental de toma de muestras y laboratorios guiados en el libro de Pinilla, (2017) Practicas de limnología, guías de laboratorio y campo.

El trabajo se dividió en dos componentes: fisicoquímico donde las variables que tuvieron mayor influencia fueron la Conductividad Eléctrica, TDS, DQO y clorofila y componente biológico presento grupos fitoplanctónicos como la Euglenophyta y la Chlorophyta con mayor porcentaje de representación en los diferentes contrastes climáticos, a nivel de zooplancton los grupos de copépodos, cladóceros y Sarcodinos estuvieron presentes con cambios significativos en las dinámicas poblacionales.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los parámetros mencionados anteriormente se aplicaron índices de estado trófico para regiones tropicales, estos, se categorizaron como mesotróficos y eutróficos dependiendo de la variabilidad temporal.

Finalmente, por medio de la herramienta de sistemas de información geográfica ArcGIS se procesaron los resultados de la batimetría tomada en campo, los resultados obtenidos muestran un cuerpo de agua somero de pocas profundidades.

Palabras clave

Estado trófico, Fitoplancton, Zooplancton, Batimetría, Humedal Jaime Duque

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los humedales son zonas de transición acuática-terrestre con características de inundación permanente o intermitente, lo cual señala que el agua es el principal agente controlador del medio animal y vegetal.

De acuerdo con el Artículo 1.1 de la Convención de Ramsar (1971, citado por Ramsar, 2006) los humedales se definen 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. (p. 7)

En ellos habitan diferentes tipos de especies, ya sean endémicas o migratorias, de acuerdo con la temporada del año.

Teniendo en cuenta que el recurso hídrico, los sustratos y las comunidades biológicas son elementos fundamentales de los humedales (Mitsch, W.J. & Gosselink 2000) a partir de los cuales se genera una interacción para brindar diferentes servicios ecosistémicos vitales para la calidad de vida como el control de inundaciones, reciclado de desechos, regulación climática y alta biodiversidad. De acuerdo con la CAR en la sabana de Bogotá la degradación de los ecosistemas de humedal ha aumentado debido a diferentes factores como el crecimiento poblacional acelerado y las malas prácticas en la utilización de los servicios ambientales, siendo utilizados como receptores de amplias cargas de contaminación por origen antropogénico.

Teniendo en cuenta lo anterior, la Reserva Natural de la Sociedad Civil “ECOPARQUE SABANA” cuenta con cuatro (4) ecosistemas de humedal pertenecientes al altiplano Cundiboyacense y debido a que estos ecosistemas no han sido objeto de ningún tipo de investigación, dicha organización manifestó su interés para trabajar en la recuperación y conservación del espacio, reconociendo que la información de sus características físicas, químicas y biológicas y de su estado trófico es muy limitada, por lo tanto, se desconoce por completo su grado de contaminación y estado ecológico actual. Sin embargo, contar con esta

información es relevante toda vez que es un punto clave en el diseño e implementación de planes de manejo y conservación.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las herramientas que permiten la formulación del desarrollo de una línea base sobre el estado limnológico y de calidad del agua a partir del estudio del humedal Jaime Duque, Cuerpo de Agua #1, que podrían facilitar la comprensión de los resultados obtenidos y la toma de decisiones sobre conservación de los ecosistemas de humedal del Parque?

2. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con Roldán (2009), Colombia cuenta con una ubicación estratégica y una variedad de pisos térmicos que producen grandes reservas de agua, dentro de los cuales las lagunas, pantanos, lagos artificiales, ríos y arroyos aún están siendo objeto de estudio para conocer sus características físicas, químicas y biológicas.

Los ecosistemas de humedal figuran entre los medios más productivos, brindando múltiples beneficios ambientales por su alta importancia biológica, definida por la riqueza y diversidad de especies (Corporación Autónoma Regional 2011).

La presente investigación se enfoca en la caracterización limnológica y evaluación de calidad del agua, con el fin de generar una línea base de conocimiento en los cuales se identifiquen los procesos biológicos y parámetros físicos y químicos que determinan los comportamientos del humedal, para así determinar el estado trófico y la situación actual, proporcionando medidas de manejo para la conservación y preservación del ecosistema.

Por otro lado, plantear un diseño metodológico con el fin de estudiar estos ecosistemas e integrar las variables de calidad del agua y limnológica, brindarán estrategias para la recuperación y conservación de la biodiversidad de ecosistemas de bosque andino y matorral de pantano, aportando a la conectividad del Parque Nacional Natural Chingaza y la cuenca del Río Bogotá (Parque Jaime Duque 2017).

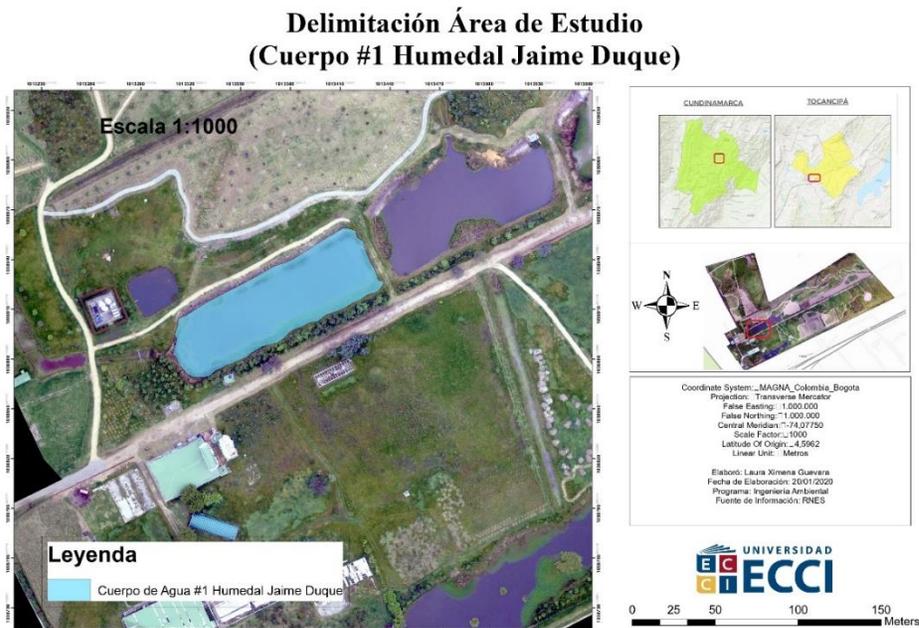
2.1 DELIMITACIÓN

Este proyecto se llevó a cabo en La Reserva Natural de la Sociedad Civil “ECOPARQUE SABANA” la cual fue establecida por la resolución 066 de 2017 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, siendo propiedad de la Fundación Jaime Duque.

El humedal Jaime Duque se encuentra en el lote B del predio Llano Grande, de la vereda Tocancipá del municipio de Tocancipá, en el departamento de Cundinamarca, a una altura de 2590 msnm, ubicado en las coordenadas geográficas (4°56'52'' N, 73°57'26.8''W) como se muestra en la Ilustración 1.

Los muestreos comprendieron temporadas de precipitación alta y baja en un período de 6 meses; estos se realizaron mensualmente en 3 puntos diferentes y se distribuyeron estratégicamente en las zonas litorales y limnética, con el fin de obtener un muestreo representativo y equidistante del humedal. en la sección 5, Ilustración 2 se van a encontrar la distribución de los tres puntos de muestreo.

Ilustración 1 Delimitación Área de estudio, Cuerpo #1 Humedal Jaime Duque



Fuente: Autora, ArcGIS 10.8

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio limnológico y de la calidad del agua del humedal Jaime Duque N°1, ubicado en la Reserva de la sociedad civil Ecoparque Sabana propiedad del Parque Jaime Duque en el municipio de Tocancipá.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los aspectos físicos, químicos y biológicos del Humedal Jaime Duque N°1, para conocer sus características limnológicas y el estado actual de la calidad del agua.
- Determinar el estado trófico del cuerpo #1 del humedal Jaime Duque, mediante el uso y comparación de diferentes índices.
- Formular una propuesta metodológica para la evaluación de las condiciones limnológicas y de calidad del agua de los humedales en el Ecoparque Sabana, a partir del estudio de caso del Humedal Jaime Duque cuerpo #1.

4. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 MARCO TEÓRICO

En la siguiente sección encontrara la definición de los Ecosistemas de Humedal de acuerdo con la convención Ramsar, 1971, adicionalmente, su importancia en el mundo y los tipos de humedal.

4.1.1 ¿Qué es un humedal?

Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se forman donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas (S. de la C. de Ramsar 2006).

El Artículo 1.1 y 2 de la Convención de Ramsar, Irán, 1971 abarca diferentes hábitats, clasificándolos en 3 categorías: humedales continentales, humedales costeros y marinos y humedales artificiales, además de señalar los lagos y los ríos en su totalidad parte de la definición sin importar la profundidad. Este tipo de ecosistemas han tomado valor e importancia en el desarrollo socioeconómico por sus abundantes usos y diversos servicios ecosistémicos que estos pueden brindar.

4.1.2 Humedales en el mundo

De acuerdo con el informe de la perspectiva mundial sobre los humedales, 2018, existen cerca de 2.300 sitios Ramsar en la actualidad, abarcan más de 2.5 millones de kilómetros cuadrados alrededor del mundo entre el 13 y el 18% de superficie terrestre y costera (Gardner and Finlayson 2018).

Un análisis realizado por La convención Ramsar entre los años 1975 y 2015 concluye que la disminución de estos ecosistemas ha sido progresiva. Aproximadamente el 35% de las áreas de humedales naturales a nivel mundial han desaparecido, debido a diferentes factores como: cambios de uso de la tierra, agricultura a mayor escala y desarrollo urbano. Por otra parte, han aumentado en un 30% las áreas de humedales artificiales, entre ellas se encuentran los arrozales y embalses siendo las principales áreas creadas por acción humana.

4.1.3 Tipos de Humedal

Humedales continentales

Las áreas húmedas hacen referencia a los diferentes tipos de zonas inundables, pantanos y terrenos anegadizos en los cuales el nivel freático está a nivel del suelo en forma temporal o permanente. De acuerdo con (Lasso, Gutiérrez, and Morales-B 2014) son considerados unidades funcionales en donde es necesaria la conectividad longitudinal y lateral, que permite la conexión entre hábitats en función de la pendiente natural y altitud (cuenca aguas arriba y abajo), hacia los ecosistemas adyacentes terrestres (lateral) y dentro del cuerpo de agua (entre las zonas someras y profundas). Estas conexiones varían naturalmente en una escala temporal debido a los cambios climáticos (lluvia - sequía o aguas altas - bajas).

Humedales costeros y marinos

Son las zonas húmedas que se localizan en el litoral, manteniendo una comunicación permanente o temporal con el mar y pueden o no estar conectados a sistemas dulceacuícolas, con salinidades desde salobres hasta marinas (Lasso et al. 2014). De acuerdo con el INIMA, (1995) citado por (Borja, Camacho, and Florin 2012), el litoral constituye un ámbito de transición entre el continente y el océano, entre lo terrestre y lo acuático, siendo este contacto el que determina la aparición de un determinado conjunto de acciones que responden a lo que se denomina morfogénesis litoral.

Humedales artificiales

Los humedales artificiales son aquellos sistemas construidos por el ser humano manipulando los componentes que generan la diversidad de interacciones de los humedales naturales. Consisten en el diseño correcto de un canal que contiene agua, substrato, medio de soporte y por lo general plantas emergentes, otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microbios y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente (Sanabria 2013), adicionalmente y como menciona Mitsch, W.J. et al , (2012) citado por (Luna and Aburto 2014) el diseño permite mantener e incrementar la estética del paisaje y proporcionar condiciones para el desarrollo y la preservación de vida silvestre, ya que proveen de un hábitat para diversos tipos de organismos.

4.1.4 Importancia y servicios ecosistémicos de los humedales

Los humedales son indispensables por los innumerables beneficios o "servicios ecosistémicos" que brindan a la humanidad, desde suministro de agua dulce, alimentos y materiales de construcción, y biodiversidad, hasta el control de crecidas y recarga de aguas subterráneas (Chacón 2017). A continuación, se describe cada uno de estos servicios ecosistémicos teniendo en cuenta los conceptos de la convención de Ramsar, (2001)

Control de inundaciones

Es un proceso mediante el cual, por medio de los humedales, se retiene y almacena el agua proveniente de fuertes precipitaciones en el suelo; evitando posibles inundaciones aguas abajo. (Ramsar 2001a).

Reposición de aguas subterráneas

Algunos humedales tienen procesos de filtración a través del suelo y las rocas cumpliendo un papel fundamental en la recarga de acuíferos aumentando el nivel freático, lo cual sigue estando a disposición de otros ecosistemas y del consumo humano. Por otro lado, existen unos humedales que nacen a partir de las aguas subterráneas que vuelven a la superficie a través de manantiales u otras zonas de filtración. (Ramsar 2001g)

Retención y exportación de sedimentos y nutrientes

Los humedales tienden a reducir la fuerza del agua estimulando la deposición de sedimentos transportados, en ellos se puede encontrar nutrientes importantes como el nitrógeno y el fósforo de diferentes fuentes industriales o agropecuarias, además de posibles desechos humanos, estos sedimentos ingresan y son transformados por procesos químicos y biológicos del humedal. (Ramsar 2001d)

Depuración de aguas

Las plantas y los suelos de los humedales desempeñan una función apreciable en la depuración de aguas, a partir de procesos químicos y biológicos eliminan eficazmente las altas concentraciones de nutrientes evitando la eutrofización del cuerpo de agua y la afecta a otras especies. (Ramsar 2001f)

Reservorio de biodiversidad

Estas zonas se caracterizan por una gran biodiversidad de especies, más del 40% de las especies del mundo y el 12% de todas las especies animales se hallan en los humedales de agua dulce. Además, son de gran importancia de genética con potencial económico. (Ramsar 2001c)

Productos de los humedales

La lista de productos de los humedales explotados por los seres humanos es muy larga. La explotación se lleva a cabo a todos los niveles: comercial, artesanal y de subsistencia. Los humedales reportan a los seres humanos diversos otros beneficios que revisten la forma de productos susceptibles de explotarse para uso por el hombre. (Ramsar 2006)

Valores culturales

Alrededor de estos cuerpos de agua, muchas comunidades se han establecido un importante valor cultural ya que hacia su entorno pueden existir actividades tradicionales sociales y culturales que forman parte de la memoria histórica del pueblo o de tipo religioso, además, en algunos casos forman parte del patrimonio nacional. (Ramsar 2001e)

Recreación y turismo

La belleza natural y la diversidad de la vida animal y vegetal de muchos humedales hace de ellos parajes ideales para las actividades recreativas y el (eco)turismo en los lugares más conocidos, además de generar ingresos apreciables a partir del turismo y la gama de actividades que ofrecen. (Ramsar 2001b)

4.2 MARCO CONCEPTUAL

Siguiendo la definición de Wetzel en 1983 “la *limnología* es el estudio de las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades de agua dulce y la manera en cómo estas son afectadas por el ambiente físico químico y biológico”. En la siguiente sección se describen los conceptos relevantes para el desarrollo de estudios de limnología y calidad del agua en cuerpos de agua superficial, esta se divide componentes principales tales como: componente ecosistémico, componente biológico, métodos de medición de la diversidad, y componente fisicoquímico y estado eutrófico.

4.2.1 Componente ecosistémico

En este componente se define el estado ecológico, los indicadores de evaluación y la clasificación general que se puede obtener.

Estado ecológico

De acuerdo con la Directiva del Marco del Agua de la Unión Europea el estado ecológico (EE) es “una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales” (DOCE 2000) y se evalúa en función de una serie de indicadores biológicos, fisicoquímicos e hidromorfológicos teniendo en cuenta el tipo de masas de agua superficial.

Tabla 1 Indicadores de calidad para la clasificación del estado ecológico

Componente	Indicadores	Ríos	Lagos	Aguas de transición	Aguas costeras
Biológicos	Composición y abundancia de la flora acuática	x	x	x	X
	Composición, abundancia y biomasa del fitoplancton		x	x	X
	Composición y abundancia de la fauna bentónica de invertebrados	x	x	x	X
	Composición, abundancia y estructura de edades de la fauna ictiológica	x	x	x	
Fisicoquímicos	Transparencia		x	x	X
	Condiciones térmicas	x	x	x	X
	Condiciones de oxigenación	x	x	x	X

	Salinidad		x	x	x	X
	Estado de acidificación		x	x		
	Condiciones en cuanto a nutrientes		x	x	x	X
Hidromorfológicos	Régimen caudales e hidrológico hidrodinámica del flujo de las aguas		x	x		
	Tipo de permanencia			x		
	conexión con masas de agua subterránea		x	x		
	Condiciones morfológicas variación de la profundidad y anchura		x	x	x	X
	estructura y sustrato del lecho		x	x	x	X
	estructura de la zona ribereña		x	x		X
	estructura de la zona de oscilación de la marea				x	
Régimen de mareas	flujo de agua dulce				x	
	exposición al oleaje				x	X

X

dirección de las
corrientes
dominantes

Fuente: tomado de DOCE 2000, Directiva 2000/60/CE. Norma del parlamento europeo y del consejo de la Unión Europea. Por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas ANEXO V, pp, 45-48, Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

Para las masas de agua superficial artificial o modificadas, la aplicación de los indicadores se realiza a partir de las semejanzas con los cuerpos de agua mencionados en la tabla anterior.

La clasificación general que se puede obtener sobre el estado ecológico se representa en la tabla 2

Tabla 2 Definiciones normativas de las clasificaciones del estado ecológico

Indicador	Muy buen estado	Buen estado	Estado aceptable	Malo o deficiente
General	-No existen alteraciones antropogénicas. -Indicadores de calidad fisicoquímicas e hidromorfológicos correspondientes al tipo de masa de agua superficial. -Alteraciones de muy escasa importancia.	Los valores de los indicadores biológicos corresponden al tipo de masa de agua superficial y muestran valores bajos por la distorsión derivada de la actividad humana.	-Desviaciones moderadas para los valores de los indicadores biológicos. -Distorsiones causadas por la actividad humana. -Significativamente más perturbados que en las condiciones correspondientes al buen estado.	-Alteraciones importantes de los valores en los indicadores biológicos. -Desviaciones considerables de las comunidades normalmente asociadas.

Fuente: tomado de DOCE 2000, Directiva 2000/60/CE. Norma del parlamento europeo y del consejo de la Unión Europea. Por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas ANEXO V, pp, 49, Diario Oficial de las Comunidades Europeas

4.2.2 Componente biológico

El componente biológico describe los tipos de comunidades a nivel planctónico que se pueden encontrar en ecosistemas de humedal.

Plancton.

Comunidad acuática constituida por organismos vegetales fotosintéticos (fitoplancton) y organismos animales invertebrados (zooplancton). La mayoría vive sin movimiento, en la zona fótica y suspendidos a merced de los movimientos verticales y horizontales del agua, su característica distintiva es el tamaño (Samanez et al. 2014).

Fitoplancton.

Grupo de microorganismos polifiléticos fotosintéticos procariontes y eucariotas adaptados a vivir parcial o continuamente en los primeros metros de la columna de agua de la zona limnética, son conocidos principalmente por ser el primer eslabón en la cadena trófica al ser los “productores primarios fotótrofos, es decir, captan a través de sus pigmentos fotosintéticos (clorofilas, ficobilinas, xantofilas y carotenoides) la energía de la radiación solar, y obtienen del agua dióxido de carbono y nutrientes inorgánicos” (Red de Información Ambiental de Andalucía 2013).

Zooplancton.

De acuerdo con el boletín INFOZOA, son un grupo de animales que divagan en la columna de agua y que no tienen la capacidad de natación suficiente para contrarrestar las corrientes. Aunque su movimiento está principalmente determinado por las corrientes, muchos de ellos tienen cilios, flagelos, pseudópodos u otras estructuras anatómicas que les brindan una pequeña capacidad de locomoción (Lagos et al. 2014).

Tradicionalmente se destaca el rol de estos organismos en el flujo de energía del ecosistema acuático, especialmente por participar activamente en la transferencia de los recursos provenientes de la producción primaria por algas a niveles tróficos superiores, en los que se incluyen los peces (Lasso et al. 2014). Las comunidades zooplanctónicas son constituidas esencialmente por rotíferos y crustáceos:

- Los rotíferos juegan un papel fundamental en las cadenas tróficas pelágicas. Son un eslabón entre el fitoplancton y los consumidores secundarios (Conde, Ramos, and Morales 2004)
- Los crustáceos planctónicos se dividen en braquiópodos (cladóceros) y copépodos.

A continuación, se describen las características principales de las comunidades zooplanctónicas.

Tabla 3 Características principales de las comunidades zooplanctónicas

	Tamaño aprox. (mm)	Reproducción	Fuentes principales de alimento	Sistemas acuáticos donde predominan
Rotíferos	0.05-1.5	Partenogenética	-Algas -Detritos -Bacterias -Otros rotíferos	-Eutróficos -Sistemas no limitados en P -Sistemas con peces planctívoros
Cladóceros	0.5-3.0	Partenogenética	-Algas -Bacterias	-Oligotróficos -Sistemas sin peces planctívoros
Copépodos	0.5-2.0	Sexual	-Algas -Rotíferos -Ciliados	-Eutróficos -Salinos

Fuente: Tomado de Conde, Ramos, and Morales 2004, *El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos*, página 24, por la Revista Ecosistemas.

4.2.3 Métodos de medición de la Biodiversidad

En este apartado se abordan diferentes indicadores para medir de la diversidad al nivel local teniendo en cuenta la riqueza específica y estructura de la comunidad.

Biodiversidad alfa

Es la riqueza de especies de una comunidad determinada y que se considera homogénea, por lo tanto, es a un nivel local (Villareal H. et al. 2004). Para su medición existen varios índices que están ligados al tipo de información que se quiere analizar (riqueza específica y estructura de la comunidad).

Riqueza específica (S)

La riqueza específica (S) se define como el número de especies presentes en un área determinada; es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de estas (Moreno 2001).

- **Índice de Margalef (D_{Mg}):** Supone una relación entre el número de especies y el número total de individuos (Villareal H. et al. 2004) Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra.

Estructura de la comunidad

Comprende toda la información de un atributo poblacional como la abundancia (densidad o frecuencia de aparición), para ello se puede identificar a partir del índice de equidad o índice de dominancia.

Índice de equidad

Tiene en cuenta la abundancia de cada especie y que tan uniforme se encuentra distribuida (Villareal H. et al. 2004).

- **Índice de Shannon-Wiener (H'):** Indica la estructura de la comunidad, que tan uniforme están construidas las especies en una comunidad. Asume que todas las especies están representadas en las muestras y que todos los individuos fueron muestreados al azar (Villareal H. et al. 2004).

Índice de dominancia

Tiene en cuenta las especies que están mejor representadas (dominan) sin tener en cuenta las demás (Villareal H. et al. 2004).

- **Índice de Simpson:** Muestra la probabilidad de que los individuos tomados al azar de una misma muestra sean de la misma especie (Villareal H. et al. 2004).

4.2.4 Componente fisicoquímico

En el componente fisicoquímico se describen los conceptos de calidad del agua, contaminación hídrica y eutroficación, así como los parámetros que se tiene en cuenta para realizar estudios de calidad del agua.

Calidad del agua

Los conceptos de la calidad del agua han cambiado a través del tiempo se debe tener en cuenta el uso que tiene destinado el sistema hídrico y así analizar e interpretar sus características. De acuerdo con Sierra, (2011).

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua. (p, 47).

Algunas de las propiedades fisicoquímicas que se emplean para evaluar la calidad del agua son:

Oxígeno disuelto (OD): Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas (CAR 2018).

Sólidos suspendidos totales (STT): La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. Dicha presencia puede estar relacionada con procesos erosivos, vertimientos industriales, extracción de materiales y disposición de escombros. Tiene una relación directa con la turbiedad (CAR 2018).

Demanda química de oxígeno (DQO): Refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica (CAR 2018).

pH: Se define como el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno. La escala de pH se extiende desde el 0 (muy ácido) al 14 (muy alcalino), siendo 7 la neutralidad exacta a 25°C.

Nitrógeno total/ Fosforo total (NT/PT): Mide la degradación por intervención antrópica, es una forma de aplicar el concepto de saprobiedad empleado para cuerpos de agua lénticos (ciénagas, lagos, etc.) como la posibilidad de la fuente de asimilar carga orgánica (CAR 2018).

Contaminación del recurso hídrico

La contaminación puede presentarse de forma natural por algunas sustancias o por elementos químicos en estado libre, también puede estar asociada a las actividades humanas que incluyen sales, residuos de hidrocarburos derivados del petróleo, solventes provenientes de la industria y la agricultura, así como lixiviados de depósitos de basura, letrinas y cloacas.

Conforme a lo afirmado por Sierra, (2011).

La contaminación de un ambiente acuático significa la introducción por el hombre directa o indirectamente de sustancias o energía lo cual resulta en problemas como: daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades recreativas o interferencia sobre actividades económicas como el riego, el abastecimiento de agua para la industria. (p. 47)

Eutrofización

En los sistemas acuáticos como ríos, lagunas, embalses y demás se pueden presentar procesos de eutrofización, el cual, consiste en una excesiva carga de nutrientes como el nitrógeno y los fosfatos, produciendo un incremento biológico de microorganismos consumidores de oxígeno y grandes aportes de sedimentación en los cuerpos de agua, dando como consecuencia condiciones de hipoxia, reducción de la zona fótica y solubilidad de los gases. El grado de eutrofia en ecosistemas de agua dulce puede medirse a partir de la respuesta dada de las variables físicas, químicas y biológicas (Roldán and Ramírez 2008)

4.2.5 Estado trófico del agua

Teniendo en cuenta las variables y los índices de los componentes descritos anteriormente, en esta sección se describe los diferentes índices de estado trófico para su medición

complementando las partes relevantes de una investigación del estado limnológico y de calidad del agua de un cuerpo de agua.

El estado trófico se define como el deterioro de la calidad del recurso, se origina por el incremento de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, condicionando la utilización de estos y ejerciendo grandes impactos ecológicos (Ledesma et al. 2013). Por otra parte, las concentraciones bajas de nutrientes determinan ambientes oligotróficos normalmente denominados agua de buena calidad que se caracterizan por ser poco productivos.

Para evaluar la carga de nutrientes en un cuerpo de agua se utilizarán los diferentes indicadores biológicos y fisicoquímicos, que se nombran a continuación:

- **Índice de estado trófico de Carlson (1977) modificado por Toledo 1983.:** el índice de Carlson es uno de los más utilizados, se obtiene a partir de una transformación de la transparencia del disco de Secchi (DS) y la concentración de clorofila y fósforo total en superficie (Moreo et al., 2010), Toledo et al., (1983) estima una nueva constante (Ks), en la cual implica un aumento en 1.7 veces la velocidad de sedimentación del fósforo considerada en la expresión original, adicional a esto se propone nuevas categorías para el estado trófico.
- **Índice de estado trófico de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004).:** Lamparelli (2004) hace una modificación del índice de estado trófico de Carlson para regiones tropicales, propuesto a partir de la información del Banco de datos de la Red de Monitoreo de Calidad del agua del Estado de São Paulo y elaborado por el CETESB. Se estima a partir de los valores de clorofila “a”, disco de Secchi (DS) y la concentración del fósforo total.
- **ICOTRO:** Hace parte de una técnica estadística aplicada al programa de monitoreo de implementación de la industria del petróleo (Oleoducto de Colombia - Ecopetrol ICP., 1993, Ocesa - Ecotest, 1997, BP Exploration - Ecotest, 1998), en el cual, se identificaron correlaciones frecuentes y reiteradas entre múltiples variables físicas y químicas, las cuales dieron origen a la formulación de índices de contaminación (Ramírez, Restrepo, and Cardeñosa 1999) como el ICOTRO este se fundamenta en la concentración del fósforo total (mg/L) y se determina con un valor particular entre 0 y 1, la concentración del fósforo total define por sí misma una categoría.

4.3 MARCO LEGAL

A continuación, en la Tabla 4 se muestra el marco legal que está relacionado con este proyecto de investigación

Tabla 4 Marco legal

Normatividad	Descripción
Constitución política de Colombia de (1991)	Como referente ambiental la constitución política de Colombia acoge artículos importantes como Art.79 Art.80 Art.366, en ellos se expresa el derecho a gozar de un ambiente sano garantizando la participación de las comunidades, es deber del estado en la protección de la diversidad y áreas de conservación, la planificación y el manejo de los recursos naturales en pro de un desarrollo sostenible mejorando el bienestar general y mejorando la calidad de vida de la población.
Código de los recursos Naturales Decreto Ley 2811 de 1974	Esta norma es un instrumento jurídico que reglamenta la conservación y el manejo de los recursos naturales renovables esenciales para asegurar la calidad de vida de las personas, en los artículos 8, 78, 80 y 86 se describen los factores que deterioran el ambiente, las limitaciones y restricciones de los cuerpos de agua no marítimos además del dominio de las aguas y sus cauces con el fin de proteger los recursos naturales y satisfacer las necesidades de la población.
Convenio RAMSAR 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 y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo” aprobado e.n Colombia por la Ley 357 de 1997
Decreto 1541 de 1978	Tiene como finalidad reglamentar la parte III del libro II de la Ley 2811 de 1974 “De las agua no marítimas” , dominio, ocupación, restricciones, limitaciones, conservación, cargas pecuniarias de agua, cauces y riberas con el fin

	<p>asegurar el desarrollo sostenible de las comunidades (Min. Agricultura)</p>
Resolución 157 de 2004 MAVDT	<p>Se desarrollan aspectos referentes a la aplicación del convenio de RAMSAR y se reglamenta el uso sostenible, la conservación y el manejo de los humedales.</p>
Convenio sobre la Diversidad Biológica 1992	<p>Es un tratado internacional jurídicamente vinculante con tres objetivos principales: la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Su objetivo general es promover medidas que conduzcan a un futuro sostenible (Naciones Unidas) adoptado en Colombia por la Ley 165 de 1994</p>
Acuerdo 2 de 1993, del concejo de Bogotá	<p>Por medio de la cual se prohíbe la desecación o el relleno de lagunas y pantanos existentes en Bogotá (Concejo de Bogotá)</p>
Resolución 066 de 2017	<p>Por medio de la cual se registra la reserva natural de la sociedad civil "Ecoparque sabana" RNCV 106-16</p> <p>El principal objetivo es asegurar la continuidad de los procesos ecológicos evolutivos para preservar y conservar la diversidad biológica de la RNSC "Ecoparque Sabana", garantizando la conectividad de la muestra ecosistémica representativa de Humedales del Altiplano Cundiboyacense.</p>
Resolución 196 de 2006	<p>Por la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia.</p>

Fuente: Autora

4.4 MARCO HISTÓRICO

Por medio de la ley 357 de 1997, Colombia se ratifica como parte contratante de la Convención de Ramsar, que tiene como objetivo principal garantizar la conservación y el manejo racional de los humedales en todo el territorio nacional. En el año 2001 se expide la Política Nacional para Humedales del Interior y de las Zonas Costeras.

De acuerdo a la Fundación Humedales Bogotá, Colombia cuenta con 1.871.802 hectáreas protegidas, en 12 sitios Ramsar, designados como humedales de importancia internacional; sin embargo, los esfuerzos realizados en otros sectores no han sido suficientes para detener la transformación de estos ecosistemas y la pérdida de fauna y flora ha aumentado (Senhadji, Ruiz, and Rodríguez 2017). Los factores son mayoritariamente antrópicos, además de las actividades agrícolas y la deforestación que resultan ser críticos para los ecosistemas de humedal estudios limnológico en Colombia (Junk et al. 2013).

El primer reporte de limnología en Colombia fue encabezado por el profesor Joaquín Molano Campuzano a través de un contrato con el Ministerio de Agricultura, en el, se realizan observaciones y estudios en varias lagunas y ríos, encaminados a mediciones fisicoquímicas del agua y observación del plancton. (Roldán 2009), luego Roberto Galán, profesor de la universidad de los Andes y sucesor del profesor Molano sigue con investigaciones encaminadas al tratamiento biológico del agua y el conocimiento del fitoplancton en lagunas y ríos en los alrededores de Bogotá. (Roldán 2009).

A partir de esto se inician estudios en ciénagas, estuarios, embalses, lagos y ríos en cuanto a mediciones fisicoquímicas y biológicas entre ellas, la caracterización de macroinvertebrados, estudios ictiológicos, caracterizaciones de plantas acuáticas. Algunos de estos estudios fueron impulsados por la Universidad de Antioquia y autores resaltan en la literatura como: Fitkau (1964) y Sioli (1964, 1984) los que marcan el inicio de una copiosa información acerca de la limnología amazónica, Álvarez y Roldán (1983) por trabajos como los tricópteros neotropicales, Roldán (1992) en su primera edición del libro Fundamentos de Limnología Neotropical, Schmidt-Mumm y Posada (2000) en el cual se ha podido conocer un poco acerca de su diversidad y distribución en el país.

En la ciudad de Bogotá se encuentran estudios realizados por (Pinilla and Guillot 2017) en los humedales de Guaymaral, Tibanica, y Santa María del Lago, estos, están recopilados en el libro

de Estudios Ecológicos en Humedales de Bogotá, adicionalmente, se han presentado estudios de valoración ecológica en el Complejo de Humedales el Tunjo ubicado al sur de Bogotá por Steven Mora en el año 2017, por otra parte El Parque Jaime Duque cuenta con una tesis de estudio realizada por (Moreno and Suares 2021) en la cual se Determina Del Estado Trófico y de Calidad del Agua del Humedal Arrieros.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

Para dar cumplimiento a los tres objetivos del proyecto, el presente análisis se enfoca en tres componentes principales; Componente fisicoquímico, biológico y sistemas de información geográfica adicionalmente se aplican índices de biodiversidad, estado trófico y aplicación estadística. La metodología del presente trabajo estuvo basado en procedimientos planteados en estudios previos (Pinilla and Guillot 2017) y (Pinilla 2017) y se siguieron los protocolos de recolección y laboratorio establecidos para las condiciones propias del cuerpo #1 del HJD.

5.1 PERIODO DE MUESTREO

El objetivo principal de cualquier muestreo es recolectar muestras representativas del medio que se está investigando (Volke, Velasco, and De la Rosa 2015), a partir de un muestreo selectivo o a juicio de expertos se definen los puntos de muestreo en el cuerpo de agua teniendo en cuenta la variabilidad espacial y temporal; la variabilidad espacial identifica los hábitats presentes y la variabilidad temporal se identificaron la condiciones climáticas época seca y época lluvia y el análisis se hizo contrastando estos dos periodos para ver los cambios en el ecosistema (Correa 2017), adicionalmente se tuvo en cuenta que el muestreo abarcara las zona litorales y limnética del espejo de agua. Se tomó réplicas de las muestras para el componente biológico y fisicoquímico, con el fin de obtener una veracidad estadística de los datos.

El estudio abarcó un periodo de 6 meses con variabilidad temporal; a partir del programa Meteoblue desarrollado por la universidad de Basilea, Suiza, se obtuvieron los datos de la distribución de precipitación para el municipio de Tocancipá, a lo largo del año fue de tipo bimodal, es decir periodos secos y húmedos se presentó un período húmedo entre los meses de marzo a junio, siendo mayo el mes más húmedo en el primer semestre del año, con un valor cercano a los 200 mm y en el segundo semestre se observa a octubre como el mes más húmedo del año, con un registro de 160 mm aproximadamente ver Grafica 1.

De acuerdo con lo anterior se seleccionaron los meses de julio, agosto y septiembre como época de baja precipitación y los meses de octubre, noviembre y diciembre como época de alta precipitación. A partir de esto se estableció un cronograma de actividades de campo con las fechas específicas para los 6 meses de muestreo (ver

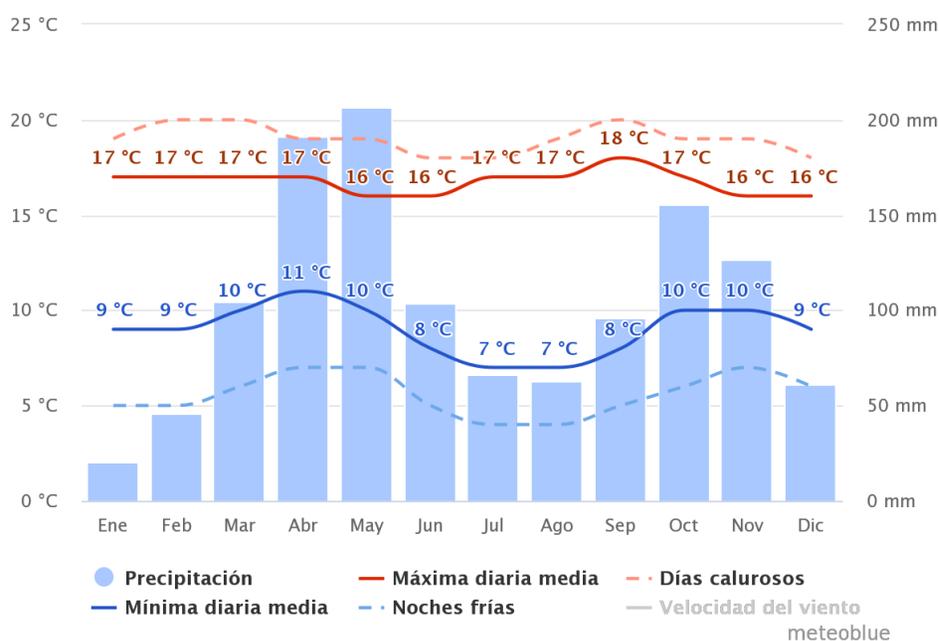
Tabla 5).

Tabla 5 Cronograma de muestreos

	Fecha	Muestreo
Precipitación	29 de julio	1
Baja	13 de agosto	2
	10 de septiembre	3
Precipitación	8 de octubre	4
Alta	12 de noviembre	5
	10 de diciembre	6

Fuente: Autora

Grafica 1 Temperatura y precipitación del municipio de Tocancipá



Fuente: Los diagramas climáticos de MeteoBlue, se basan en 30 años de simulaciones de modelos meteorológicos, Programa MeteoBlue, 2019

Puntos de muestreo: Se tomaron 3 puntos de muestreo (enumerados 1-2-3) como se muestra en la Ilustración 2. Estos se ubicaron teniendo en cuenta las diferencias entre las coberturas vegetales a lo largo del cuerpo de agua, 2 puntos extremos en las zonas litoral y uno en la zona limnética de manera equidistante, en ellos se esperaba encontrar las diferentes

dinámicas y comportamientos del plancton y de los parámetros fisicoquímicos, adicionalmente los puntos fueron referenciados por medio de un GPS Garmin MAP (ver Tabla 6).

Ilustración 2 Puntos de muestreo, Cuerpo de Agua #1, Humedal Jaime Duque

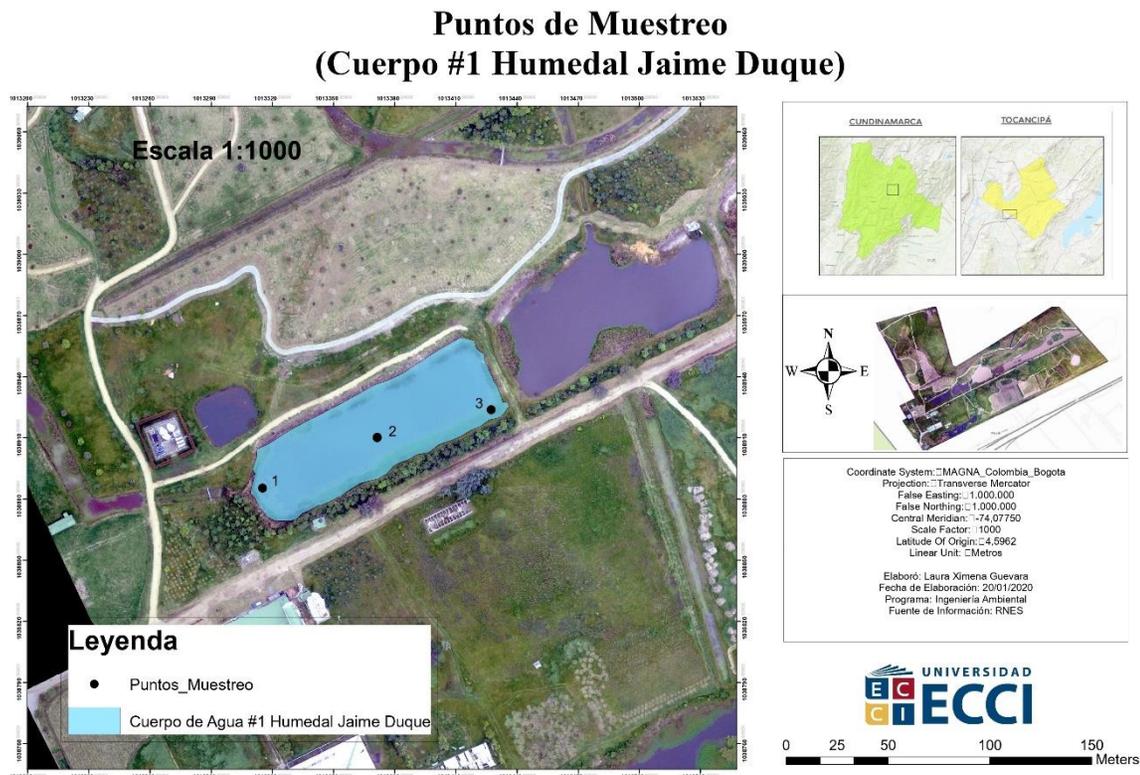


Tabla 6 Coordenadas puntos de muestreo cuerpo de agua #1 Humedal Jaime Duque

	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Latitud	4°56'52'' N	4°56'52.9'' N	4°56'52,4'' N
Longitud	73°57'26.8'' W	73°57'24,8'' W	73°57'25,6'' W

Fuente: Autora

5.2 RECOLECCIÓN DE DATOS FISICOQUÍMICOS

Para determinar las condiciones del humedal, los parámetros fisicoquímicos se dividieron en : pruebas In situ y Ex situ como lo muestra la Tabla 7, Las muestras ex situ se transportaron bajo

cadena de custodia y se procesaron dentro de los tiempos recomendados para el análisis de acuerdo con cada método como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 7 Métodos para la medición de Parámetros fisicoquímicos y biológicos de acuerdo con el escenario

Escenario	Parámetros	Tiempo estimado	Método de Medición
In situ (sección 1)	Temperatura	En campo	Multiparámetro (HANNA)
	Conductividad eléctrica		
	Sólidos disueltos		
	pH		
	Oxígeno disuelto		
	Transparencia		Disco de Secchi
Ex situ (sección 2)	Fosfatos	48 horas.	Fosforo Soluble En Agua Por El método Del Ácido ascórbico. TP0094 (IDEAM 2007c)
	Nitritos	48 horas	Determinación De Nitrito En Agua Por Espectrofotometría TP0093 (IDEAM 2009).
	Nitratos	24 horas.	Determinación De Nitratos En Aguas Por Espectrofotometría UV TP0092 (IDEAM 2007b)
	Amonio	24 horas.	Método Nessler por Espectrofotometría, Manual de Análisis de Agua Giraldo, (1995).
	DBO_5 total	24 horas.	Demanda Bioquímica De Oxígeno 5 días, Incubación Y Electrometría TP0087IDEAM

DQO total	28 días	Demanda Química De Oxígeno Por Reflujo Cerrado y volumetría TP0086 (IDEAM 2007a)
Clorofila- “a”	24 horas.	Clorofila- “a” por medio de espectrofotometría. (APHA et al., 1998).

Fuente: Autora

In-Situ

Los parámetros mencionados en la sección 1 de la Tabla 7, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se tomaron a través de equipos llevados a campo (Multiparámetro HANNA referencia 98195), para esto se empleó una sonda previamente calibrada y lavada con agua destilada, la cual se introdujo en el cuerpo de agua en cada punto de muestreo, hasta que se obtuvo un valor estable para ser anotados en la bitácora de campo (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

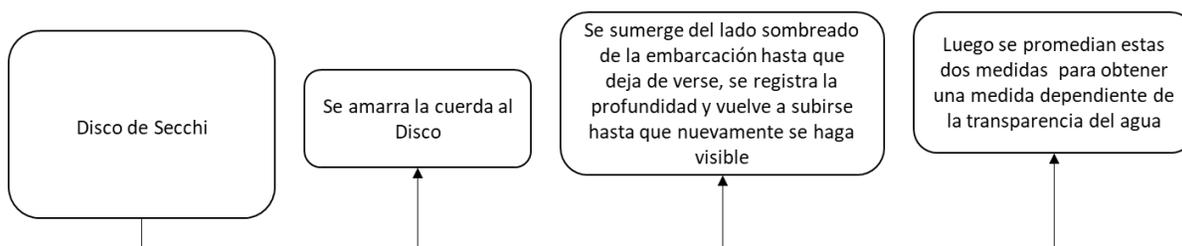
Figura 1 Medición de parámetros In-Situ con equipo multiparámetro



Fuente: Autora

De igual manera se midió la transparencia del agua con el Disco de Secchi, el cual tiene 20 cm de diámetro está dividido en cuadrantes alternados de negro y blanco y atado a una cuerda (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El disco se sumergió hasta que no fue posible su observación y se registró la primera profundidad; luego se subió el disco hasta ser nuevamente visualizado y se tomó esa segunda profundidad, para los cálculos se utilizó el promedio aritmético de las dos lecturas tomadas, adicionalmente, se calculó el coeficiente de extinción de la luz con base en la profundidad (Ecuación 1) a partir de los valores promedio obtenidos en los muestreos por cada época climática, dicho valor se toma como el límite de visibilidad en la columna de agua o zona fótica.

Figura 2 Medición transparencia con Disco de Secchi



Fuente: Autora

$$Ke = \frac{2.6}{Ds + 2.5} - 0.048$$

Ecuación 1

Ex-Situ

Las muestras de los parámetros mencionados en la sección 2 de la Tabla 7, fueron transportadas bajo refrigeración y en botellas ámbar de 500ml. Todas las muestras se filtraron a través de un filtro de membrana 0.45um en material seco y limpio. Por otro lado, para las lecturas por espectrofotometría se encendía el equipo 45 min antes, todos los datos de absorbancias se llevan en la bitácora de campo.

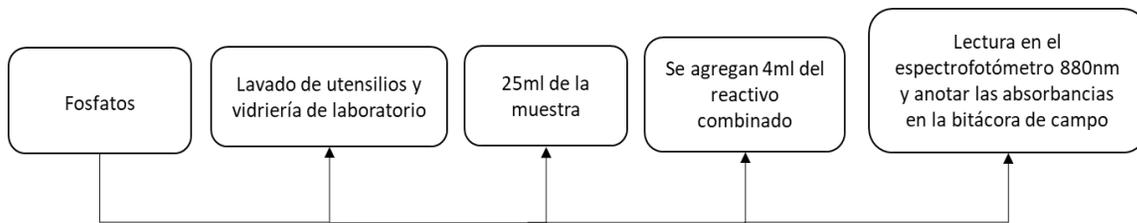
5.2.1 Determinación de Fosfatos en el agua (mg PO_4^{3-} /L)

Para determinar la concentración de este parámetro se aplicó el método estándar mencionado en la Tabla 7.

Procedimiento de laboratorio y análisis de la muestra

Para el procedimiento del laboratorio en la determinación de fosfatos se evitó el uso de detergentes comerciales ya que contienen fosfato y se utilizó jabón Neutro. Posteriormente se transfirió una alícuota de 25 ml de la muestra en un Beaker y se adicionaron 4 ml de reactivo combinado (solución Tartrato de Antimonio y Potasio, Ácido Sulfúrico 5N, solución de Molibdato de Amonio, solución de Ácido Ascórbico), se agito la muestra y se dejó reposar por un mínimo de 10 minutos, luego, se tomó la lectura en el espectrofotómetro a un rango de 880nm (ver Figura 3).

Figura 3 Procedimiento determinación de fosfatos



Fuente: Autora

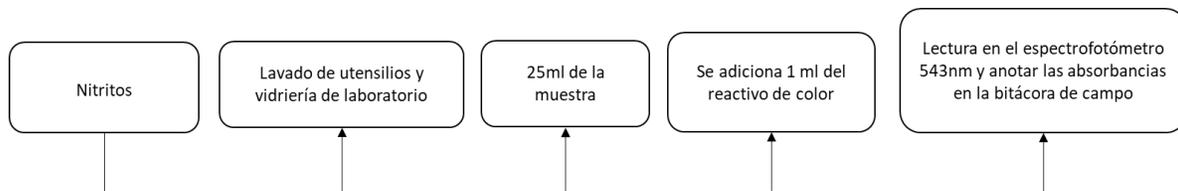
5.2.2 Determinación de Nitritos en el agua ($\text{mg NO}_2^-/\text{L}$)

La determinación de este parámetro se debe realizar en un tiempo no máximo de 48 horas, para prevenir la posible conversión bacteriana de NO_2^- a NO_3^- o NH_3^- , para este procedimiento se aplicó el método mencionado en la Tabla 7.

Procedimiento de laboratorio y análisis de la muestra

En un Baker se toma una alícuota 25ml de la muestra y se adicionó 1 ml del reactivo de coloración (Ácido Fosfórico, sulfanilamida, Diclorhidrato de N- (1-naftil) etilendiamina). Se agito la muestra y se dejó reposar por un mínimo de 10 minutos; luego de esto, se tomó la lectura en el espectrofotómetro a un rango de 543nm, (ver Figura 4).

Figura 4 Procedimiento determinación de Nitritos



Fuente: Autora

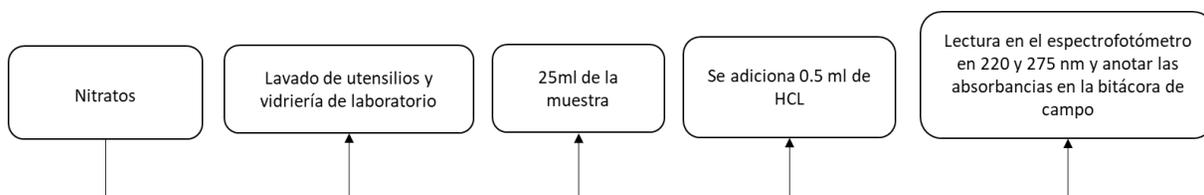
5.2.3 Determinación de Nitratos en el agua ($\text{mg NO}_3^-/\text{L}$)

Para la determinación de nitratos de la misma manera que los nitritos, tiene un tiempo estimado para el procesamiento de datos, si es necesario almacenarlos se debe preservar con 2ml/L de ácido sulfúrico a 4°C. Se utilizó el método mencionado en la Tabla 7.

Procedimiento de laboratorio y análisis de la muestra

Se tomó un alícuota 25 ml de la muestra en un Baker y se adicionaron 0.5 ml de HCL, se agitó la muestra hasta obtener una mezcla completa y se dejó reposar por un mínimo de 20 minutos. La lectura en el espectrofotómetro se hizo en un rango de 220 y 275nm.

Figura 5 Procedimiento determinación de Nitratos



Fuente: Autora

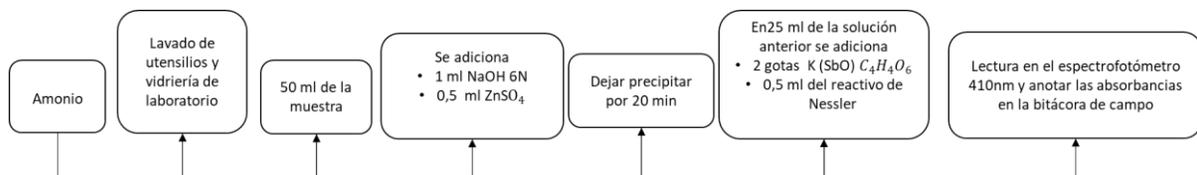
5.2.4 Determinación de Nitrógeno Amoniacal en el agua ($\text{mg NH}_4^+/\text{L}$)

Para la determinación de Nitrógeno Amoniacal se aplicó el método Nessler, (Giraldo 1995).

Procedimiento de laboratorio y análisis de la muestra

Se tomaron 50 ml de la muestra en un Erlenmeyer y se adicionaron 1 ml de NaOH 6N y 0.5 ml de ZnSO_4 para la precipitación de los sólidos suspendidos, se dejó reposar por 20 minutos. Se tomaron 25ml de esa solución y se adicionaron 2 gotas $\text{K (SbO) C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ y 0.5 del reactivo de Nessler, luego de esto se tomó la lectura en el espectrofotómetro a un rango de 410nm.

Figura 6 Procedimiento determinación de Nitrógeno Amoniacal



Fuente: Autora

5.2.5 Determinación de DBO_5

El método consiste en la incubación de las muestras en botellas herméticamente cerradas, para evitar la entrada de aire bajo condiciones específicas en un tiempo determinado. Se mide el OD inicial y después de la incubación. La DBO_5 se calcula como la diferencia entre el OD inicial y final. (Londoño, Giraldo, and Gutiérrez 2010)

Procedimiento de laboratorio y análisis de la muestra

Para la determinación de la Demanda Biológica de Oxígeno se efectuaron los análisis dentro de las 24 horas siguientes de haber tomado la muestra y se utilizó el método estándar del IDEAM. Este consiste en determinar la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos en condiciones controladas en un periodo de 5 días.

Para ello se utilizó agua de dilución preparada previamente al muestreo, preparación estándar de control y una cepa de salmonella. Además, se emplean 4 lecturas diferentes:

Blanco: Se rotularon las botellas como “Blanco” y la fecha de preparación. Se adiciono agua de dilución hasta la mitad del cuello de la botella Winkler y se leyó el oxígeno inicial por medio de un oxímetro, se llenó totalmente la botella dejando el sello hidráulico.

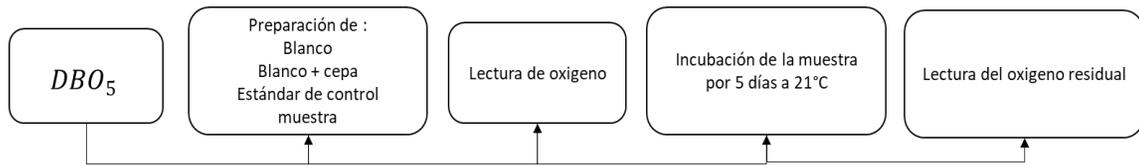
Blanco más cepa: Se rotularon las botellas como “Blanco + cepa” y la fecha de preparación. Se adicionaron 2ml de cepa y agua de dilución hasta la mitad del cuello de la botella Winkler, se leyó el oxígeno inicial por medio de un oxímetro, se llenó totalmente la botella dejando el sello hidráulico.

Estándar: Se rotularon las botellas como “Estándar” y la fecha de preparación. Se adicionaron 2ml de cepa, 6ml del estándar correspondiente y se adiciono agua de dilución hasta la mitad del cuello de la botella Winkler, se leyó el oxígeno inicial por medio de un oxímetro y se llenó totalmente la botella dejando el sello hidráulico.

Muestras: Se rotularon las botellas como “Muestra o Replica” y la fecha de preparación. Se adicionaron 2ml de cepa, se adiciono agua de dilución hasta la mitad del cuello de la botella Winkler y se leyó el oxígeno inicial por medio de un oxímetro, se llenó totalmente la botella dejando el sello hidráulico.

Luego de transcurrir 5 días y estar a temperatura ambiente de 21°C, se hizo la lectura del Oxígeno disuelto residual por medio del oxímetro utilizado anteriormente y los datos obtenidos se anotaron en la bitácora de campo (ver Figura 7).

Figura 7 Procedimiento determinación DBO5



Fuente: Autora

Y se aplicó la siguiente Ecuación 2 para el procesamiento de datos y cálculo de resultados:

$$DBO_5 \text{ mgO}_2 / L = \frac{OD_{\text{consumido}} - OD_{\text{consumo cepa}}}{Vm} * V$$

Ecuación 2

Donde:

OD consumido: $OD_i - OD_r$

OD consumo cepa: $OD_i(\text{agua de dilución} + \text{cepa}) - OD_r(\text{agua de dilución} + \text{cepa})$.

V= Volumen de la botella Winkler promediado en 293ml.

V_m= Volumen de alícuota de la muestra afectado por el factor de dilución.

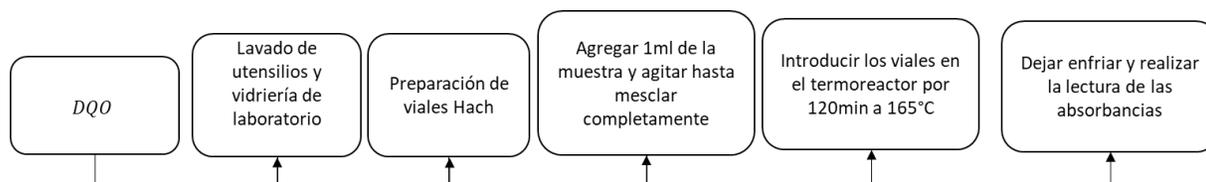
5.2.6 Determinación de DQO en el agua

Para determinar la demanda química de oxígeno se empleó el método estándar mencionado en la Tabla 7.

Procedimiento de laboratorio y análisis de la muestra

Una vez preparados los viales Hach con el agente catalizador (0.7 ml de agua, 0.8 ml de Dicromato 0.25 N, 2.5 de Ácido Sulfúrico al 98%), se agregó 1 ml de la muestra y se agitó hasta obtener una mezcla completa; luego, se introdujeron los viales por 120 min en el termo-reactor a una temperatura de 165°C y se dejaron enfriar por un periodo de 20min en una gradilla y se tomaron las lecturas en el espectrofotómetro en un rango de 605nm (ver Figura 8), las absorbancias obtenidas se anotan en la bitácora de campo.

Figura 8 Procedimiento determinación de la DQO



Fuente: Autora

5.2.7 Curvas de calibración para Fosfatos, Nitritos, Nitratos, Amonio y DQO

Se realizó la curva de calibración para cada uno de los nutrientes teniendo en cuenta los métodos de medición mencionados anteriormente en cada procedimiento de laboratorio. Así mismo, la solución patrón para cada una de las concentraciones fue establecida por su correspondiente método como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8 Concentración final de cada nutriente para los estándares de las curvas de calibración

Macronutriente	Solución Patrón	Concentración final
Fosfatos	KH_2PO_4 anhidro	50 mg/l
Amonio	NH_4CL	20 mg/l
Nitritos	$NaNO_2$	100 mg/l
Nitratos	KNO_3	100 mg/l
	DQO	560 mg/l

Fuente: Autora

A partir de las concentraciones de la Tabla 8, se emplea la Ecuación 3 para la preparación de los estándares de cada uno de los nutrientes.

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

Ecuación 3

5.2.8 Determinación de la Clorofila-a

Para la determinación de concentración de Clorofila-a, se emplearon métodos de espectrofotometría, utilizando la fórmula tricromática de Jeffrey y Humphrey (APHA et al., 1998), este procedimiento consta de tres pasos y se debe llevar a cabo en completa oscuridad, con el fin de evitar la activación de la clorofila.

- Paso 1: se filtraron 300ml de la muestra transportada en botellas ámbar a través de papel filtro Whatman GF/F de fibra de vidrio 0.7µm con una bomba de vacío. Luego se guardó el papel filtro doblado en 4 partes y se protegieron en papel aluminio, rotulado correctamente para ser refrigerado por 24 horas.
- Paso 2: En la siguiente sesión de laboratorio el papel filtro se recortó en varios trozos para ser sumergidos en 8 ml de acetona al 90%, contenidos en tubos de ensayo protegidos de la luz con papel aluminio.
- Paso 3: Tras pasar un tiempo mínimo de 12 horas las muestras fueron centrifugadas y se realizó una doble lectura por espectrofotometría en rangos de 665 y 750nm.

Cálculo de Clorofila-a

La concentración de Clorofila-a en µg/L se determinó por medio de las siguientes expresiones:

$$[Feofitina - \alpha] = (Abs @ 665 \text{ nm} - Abs @ 750\text{nm}) \times F \times K$$

Ecuación 4

En la Ecuación 4 se restan las absorbancias obtenidas en las longitudes de onda de 750nm y 665nm para corregir la turbidez en el extracto; luego, utilizando el valor corregido ($\lambda_{665} - \lambda_{750}$) se calculo la concentración de Clorofila-a por medio de la Ecuación 5

$$[Clorofila] = [Feofitina - \alpha] \times \frac{v}{V}$$

Ecuación 5

Donde:

$[Feofitina - \alpha]$ y $[Clorofila]$ = La concentración de feofitina y clorofila está dada en µg/L

$(Abs @ 665 \text{ nm} - Abs @ 750\text{nm})$: Valores de absorbancia en las diferentes longitudes de onda

F: Factor de corrección por la acidificación de la acetona (2.43)

K: Coeficiente de absorbancia de la clorofila-a en 665nm (10.48)

v: volumen del extracto en ml (8ml)

V: Volumen filtrado en L

5.3 RECOLECCIÓN DE DATOS BIOLÓGICOS

Se siguieron los planteamientos metodológicos del libro de **Prácticas de limnología, guías de laboratorio y campo** (Pinilla 2017). Se filtraron 30 L de agua en cada equipo filtrador para cada grupo biológico, las muestras fueron conservadas en botellas ámbar de 300ml bajo refrigeración con su respectivo reactivo (ver Tabla 9).

Tabla 9 Recolección de datos grupos biológicos

Grupo biológico	Equipo filtrador	Reactivo
Fitoplancton	Red fitoplancton 20 μ	Lugol
Zooplancton	Red de zooplancton $\geq 50\mu$	Formol 4%

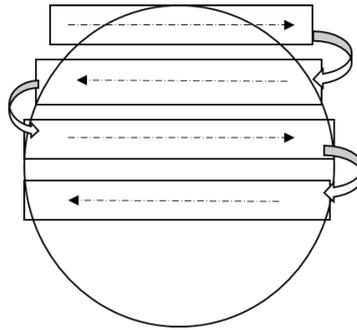
Fuente: Autora

5.2.9 Fitoplancton

Cuantificación en cámaras de Utermöl

Para estimar la densidad fitoplanctónica se utilizó el método de Lund (1958) propuesto por (Pinilla 2017) utilizando cámaras de Utermöl, se tomaron 10 ml de cada una de las muestras de los puntos preservados con Lugol, con periodos de sedimentación de 2 horas. Luego se inició el conteo de individuos o colonias en un microscopio invertido en un aumento de 10X haciendo recorridos en S (ver Ilustración 3) registrando la cantidad de individuos en la bitácora de campo hasta llegar a 200 individuos de la especie más abundante.

Ilustración 3 Recorrido en S en la cámara de sedimentación de Utermöhl



Fuente: Prácticas de limnología: guías de laboratorio y campo (Pinilla 2017)

Cálculo de densidad del fitoplancton

Para determinar el número de individuos por ml ($indvs. mL^{-1}$) de cada especie o taxón, se empleó la siguiente Ecuación 6

$$indvs. mL^{-1} = \frac{N \times At}{Af \times F \times V}$$

Ecuación 6

Donde:

- **N:** número de individuos contados
- **At:** área de la base de la cámara de sedimentación en mm^2
- **Af:** área de un campo de observación en el aumento de 10X en mm^2
- **F:** número de campos contados
- **V:** volumen de la muestra sedimentada en ml

Análisis cualitativo

Para la identificación de los organismos del fitoplancton, se hicieron observaciones en un microscopio óptico en aumento de 40X y se emplearon claves taxonómicas hasta la categoría de clase (Claparède & Lachmann (1859), F.Stein (1878), Chodat (1894), Ehrenberg ex Ralfs (1848), Dumortier (1822), Dujardin (1841), Dujardin (1841)).

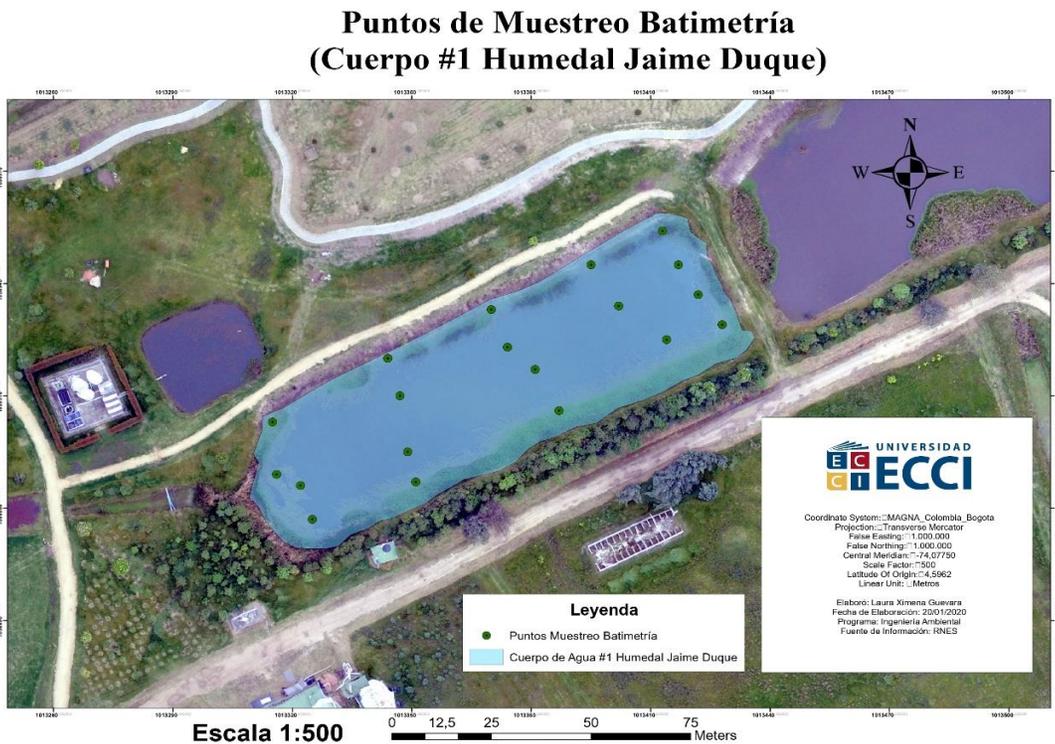
Análisis cualitativo

Para identificar los organismos del zooplancton colectados, se empleó un microscopio óptico en aumento de 40X y se utilizaron claves taxonómicas apoyándonos también en el registro de organismos del Atlas de los Microorganismos de agua dulce, la vida en una gota de agua (Streble and Krauter 1987).

5.4 BATIMETRÍA

Para medir las profundidades del cuerpo de agua del humedal Jaime Duque N°1, en un plano se ubicaron 19 puntos transversales y longitudinales, distribuidos de manera equivalente en todo el cuerpo de agua. Con ayuda de un GPS se localizaron las coordenadas X, Y y Z y se midieron las profundidades a través de miras topográficas como lo indica la Ilustración 5, finalmente los datos fueron procesados por software de Sistemas de Información Geográfica ArcGIS 10.8 aplicando la metodología IDW.

Ilustración 5 Plano toma de puntos batimétricos



Fuente: Autora, ArcGIS 10.8

5.5 APLICACIÓN ESTADÍSTICA

5.5.1 Análisis Estadístico De Variables Físicoquímicas

A continuación, se describen las aplicaciones estadísticas de los datos físicoquímicos, con el fin de identificar la representatividad y similitud de los datos en los diferentes periodos de tiempo.

Prueba f

En esta prueba se hizo la comparación de varianzas a partir de un contraste de hipótesis el cual indica si dos muestras independientes provienen de poblaciones con varianzas homogéneas o heterogéneas, este proceso se realizó a partir de las funciones de Microsoft Excel, estas están basadas en la razón de los cuadrados medios (Solano, 2017).

El contraste de hipótesis se representa en la siguiente ecuación:

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2$$

$$H_1: \sigma_1 \neq \sigma_2$$

Ecuación 8

Donde

H_0 = Hipótesis Nula; Es la afirmación que consiste en negar toda diferencia entre dos poblaciones, (homogéneas).

H_1 = Hipótesis Alternativa; Es el complemento de la Hipótesis Nula, representa la conclusión cuando H_0 es rechazada. (heterogéneas).

σ_1 = Parámetro poblacional 1

σ_2 = Parámetro poblacional 2

Para su ejecución se utiliza la siguiente ecuación:

Prueba t de Student para varianzas desiguales

Una vez aplicada la *prueba f* de las varianzas poblacionales se realizó el cálculo estadístico de *t* de *Student* para conocer los valores de la media poblacional, en ella se aplicó nuevamente el contraste de hipótesis indicando la significancia de la varianza de las medias muestrales, ver

Ecuación 8, este proceso se realizó a partir de la herramienta análisis de datos de Microsoft Excel.

Análisis por componentes principales (PCA)

El análisis de componentes principales (PCA) es una de las técnicas estadísticas multivariantes más populares y antiguas en el análisis de datos. Esta técnica fue desarrollada por Karl Pearson en 1901 (González 2018). Se utilizó para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos de las variables fisicoquímicas y simplificar su complejidad muestral en el tiempo, de esta manera se identificó las variables más representativas, su distribución y la similitud de ellas en cada periodo de tiempo climático.

Para ello se recopilaron los resultados obtenidos In-Situ y Ex-Situ de los parámetros de interés y se creó una matriz resumen, definiendo las variables e introduciendo los valores en el Software de acceso libre “Past 3.0”.

Test de Shapiro Will

Luego de identificar los parámetros más representativos por medio de PCA, se aplicó el test de Shapiro Will, este consiste en identificar la distribución normal de los datos. Si ($p > 0.05$) indica que se tiene una distribución normal y si, ($p < 0.05$) indica que se tiene una distribución que no es normal.

ANOVA

De acuerdo con el Test de Shapiro Will si los datos son normales o paramétricos, se aplicó el test ANOVA, este comparó las diferencias significativas de las medias de los datos, teniendo en cuenta las variables paramétricas seleccionadas en el PCA, en función de la variabilidad climática o periodos de muestreo.

Kruskal Wallis

Para los datos no paramétricos se aplicó la prueba de Kruskal Wallis a diferencia del ANOVA, en este se compararon las diferencias significativas de las medianas de los datos y contrasta si las diferentes muestras están equidistribuidas y por lo tanto pertenecen a una misma población

5.5.2 Análisis Estadístico De Variables Físicoquímicas Y Biológicas.

En la siguiente sección se describe la aplicación de métodos estadísticos para los componentes físicoquímicos y biológicos con el fin de identificar las posibles relaciones inferenciales presentes.

Intervalos de confianza

Teniendo en cuenta el tamaño de la muestra se seleccionó el modelo de distribución T-student, para obtener el cálculo de la desviación estándar y determinar el grado de incertidumbre de los datos analíticos. Para los grados de libertad, el valor de **t** se determinó en la tabla de distribución para un intervalo de confianza del 75% y el error alfa del 25%, estos porcentajes se tomaron del “**Plan de monitoreo de calidad del agua de los humedales de la Reserva Natural Ecoparque Sabana**”, la metodología se expone a través del *ANEXO I* “Determinación intervalos de confianza para los puntos de muestreo del Humedal Jaime Duque, cuerpo de agua 1”

La desviación estándar (S) se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$S \text{ ponderada} = \sqrt{\sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Ecuación 9

Donde:

X_i: Valor medido

X: Promedio de los valores medidos

N: Numero de medidas

El límite de confianza para μ se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Limite de confianza (t - student)} = X \pm \frac{t \times S}{\sqrt{N}}$$

Ecuación 10

Donde:

t: se toma a partir de la tabla de distribución t-student y los grados de libertad (N-1) de cada muestra, teniendo en cuenta el intervalo de confianza del 75% y el error alfa del 25%

S: desviación estándar de las muestras

5.5.3 Correlación De Spearman

La correlación de Spearman o también conocida como rho de Spearman es el análogo no paramétrico de la correlación de Pearson (Roy-García et al. 2019). Es un indicador usado para describir cuantitativamente la fuerza y dirección de la relación entre dos variables cuantitativas, en este caso se aplicó a través del Software PAST. Su interpretación se realizó por medio de una matriz de correlación donde la diagonal inferior toma valores entre -1 y 1. Entre más cercano a 1 sea el coeficiente de correlación, mayor la fuerza de asociación. Ahora, si tiene un signo positivo implica que al aumentar la variable X también aumenta la variable Y, mientras que un signo negativo implica que al aumentar la variable X disminuye la variable Y (Roy-García et al. 2019) .

5.6 ÍNDICES DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA.

Para evaluar la diversidad biológica de los organismos presentes del fitoplancton y zooplancton, se aplicaron dos índices de diversidad alfa; número de especies (riqueza específica) y datos estructurales (equidad), estos índices unifican las cantidades o resumen la información en valores únicos para realizar una comparación poblacional en función de los puntos de muestreo.

Los datos obtenidos en la cuantificación biológica (Fitoplancton y Zooplancton) fueron reemplazados en las siguientes ecuaciones para la determinación de los índices de biodiversidad.

Índice De Margalef (S)- (riqueza específica)

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Ecuación 11

Donde:

S= número total de especies

N= número total de individuos

Índice Shannon-Wiener (H') - (Equidad)

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$
$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

Ecuación 12

Donde

n_i = numero de individuos por especie.

N= número total de individuos de todas las especies.

Índice Simpson. - (Dominancia)

$$D = \sum_i \left(\frac{n_i}{n} \right)^2$$

Ecuación 13

Donde

n_i = numero de individuos por especie.

n= número total de individuos de todas las especies.

5.7 ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO

Para clasificar los humedales de acuerdo con el estado trófico se emplearon los siguientes índices, propuestos por diferentes autores y basados en las distintas características de estos ecosistemas.

5.7.1 Índice de estado trófico Carlson 1977 modificado por Toledo 1983

A partir de la concentración de Fósforo Total (P_{tot}) como nutriente limitante, la transparencia de Secchi (Ds) y la concentración de Clorofila-a (Chl-a) se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$IET(P_{tot}) = 10 \left[6 - \left[\frac{\ln (80.32 * P_{tot})}{\ln 2} \right] \right]$$

Ecuación 14

$$IET(Chl - a) = 10 \left[6 - \left[\frac{2.04 - 0.695 \ln (Chl - a)}{\ln 2} \right] \right]$$

Ecuación 15

$$IET(Ds) = 10 \left[6 - \left[\frac{0.64 + \ln Ds}{\ln 2} \right] \right]$$

Ecuación 16

$$EIT_{Promedio} = \frac{IET(Ds) + IET(Chl - a) + IET(Ds)}{3}$$

Ecuación 17

los valores obtenidos por los índices de estado trófico se compararon en la siguiente Tabla 10, la cual clasifica y relaciona los valores límites con el grado de nutrientes presentes en el agua.

Tabla 10 Clasificación del grado de trofismo según los valores obtenidos en IET, modificado por Toledo, 1983

Categoría trófica	Valor del índice
Ultraoligotrófico	$IET \leq 24$
Oligotrófico	$24 \leq IET \leq 44$
Mesotrófico	$44 \leq IET \leq 54$
Eutrófico	$54 \leq IET \leq 74$
Hipertrófico	$IET > 74$

Fuente: Prácticas de limnología: guías de laboratorio y campo (Pinilla 2017)

5.7.2 Índice de estado trófico de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004).:

Se reemplazaron los valores obtenidos en el muestreo realizado: concentración de Fósforo Total (P_{tot}), transparencia de Secchi (Ds) y la concentración de Clorofila-a (Chl-a) en las siguientes ecuaciones:

$$IET(PT) = 10 \left[6 - \left[\frac{1.77 - 0.42 \ln(PT)}{\ln 2} \right] \right]$$

Ecuación 18

$$IET(Ds) = 10 \left[6 - \left[\frac{\ln Ds}{\ln 2} \right] \right]$$

Ecuación 19

$$IET(Chl - a) = 10 \left[6 - \left[\frac{0.92 - 0.034 \ln(Chl - a)}{\ln 2} \right] \right]$$

Ecuación 20

$$EIT_{Promedio} = \frac{IET(Ds) + IET(Chl - a) + IET(Ds)}{3}$$

Ecuación 21

Los resultados se compararon con la Tabla 11, la cual tiene la clasificación propuesta por lamparelli, (2004)

Tabla 11 Clasificación de estado trófico propuesto por Lamparelli (2004).

Estado Trófico ($\mu\text{g/L}$)	Fosforo total ($\mu\text{g/L}$)	Clorofila ($\mu\text{g/L}$)	"a" (TSI)	Criterio (TSI)
Ultraoligotrófico	$PT \leq 8$	$Chl \leq 1,17$		≤ 47
Oligotrófico	$8 < PT \leq 19$	$1,17 < Chl \leq 3,24$		$47 < TSI \leq 52$
Mesotrófico	$19 < PT \leq 52$	$3,24 < Chl \leq 11,03$		$52 < TSI \leq 59$
Eutrófico	$52 < PT \leq 120$	$11,03 < Chl \leq 30,55$		$59 < TSI \leq 63$
Supereutrófico	$120 < PT \leq 233$	$30,55 < Chl \leq 69,05$		$63 < TSI \leq 67$

Hipereutrófico	PT>233	Chl>69,05	>67
----------------	--------	-----------	-----

Fuente: tomado de Toro, 2019. Aplicación De Metodologías Para La Estimación De La Eutrofización En Embalses Tropicales Y Selección Del Índice De Estado Trófico Más Adecuado Para El Embalse Peñol - Guatapé, Colombia, pagina 17, por la Universidad de Antioquia

De igual formar y con el fin de hacer un análisis comparativo, se ubicaron los datos de fósforo total, clorofila-a y transparencia en la Tabla 12 de acuerdo con la clasificación de la OCDE, 1982

Tabla 12 Valores límite de la OCDE, 1982 para la clasificación trófica

Categoría trófica	Fósforo total (μgL^{-1})	Clorofila-a (μgL^{-1})		Transparencia de Secchi (m)	
		Media	Máxima	Media	Máxima
Ultraoligotrófico	<40	<1.0	<2.5	>12.0	>6.0
Oligotrófico	<10.0	<2.5	<8.0	>6.0	>3.0
Mesotrófico	10-35	2.5-8	8.0-25	6.0-3.0	3.0-1.5
Eutrófico	35-100	25-75	25-75	3.0-1.5	1.5-0.7
Hipertrófico	>100	>75	>75	<1.5	<0.7

Fuente: Prácticas de limnología: guías de laboratorio y campo (Pinilla 2017)

5.7.3 ÍCOTRO

El índice de contaminación trófico se basa en la concentración del fósforo total en mg/L, se calculó a partir de los valores obtenidos en los laboratorios teniendo en cuenta la siguiente Tabla 13

Tabla 13 Clasificación de estado trófico - ICOTRO

Estado	Concentración
Oligotrofia	<0.01
Mesotrofia	0.01-0.02
Eutrofia	0.02-1.00

Hipereutrofia >1.00

Fuente: tomado de Parada & Solano, (2007), índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial, pagina 108, por la Universidad de Pamplona

6. RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS

A continuación, se presentan los resultados del análisis estadístico de acuerdo con la metodología establecida anteriormente y teniendo en cuenta los objetivos de la investigación; se recopilaron los datos obtenidos In-Situ y Ex-Situ de los parámetros fisicoquímicos, se aplicó la prueba *f* de Fisher y la *t* de Student con el fin de identificar si hay varianzas significativas entre los datos fisicoquímicos evaluados en el cuerpo de agua y si las medias tienen varianzas significativas.

Los resultados de la *prueba f* indicaron que la hipótesis Nula fue rechazada (ver Tabla 34) lo que infiere es que sí hay varianzas significativas entre los valores de los datos fisicoquímicos entre los puntos de captura del dato, por lo tanto se aplicó la *t-Student* para varianzas desiguales, en ella se acepta la Hipótesis Nula (ver Tabla 35) lo que indica que las medias muestrales no tienen diferencias significativas y los valores promedio son similares

En el **ANEXO 3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO** se presentan los datos generales de los parámetros fisicoquímicos, prueba *f*, prueba *t*, intervalos de confianza y desviaciones estándar; estos, se presentan en las tablas y gráficas mencionadas a continuación. Teniendo en cuenta los resultados se realizó una matriz de promedios (Tabla 14) y a partir de esto, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) tomando los dos periodos de variación climática (precipitación baja y precipitación alta) con el fin de identificar los parámetros más representativos y su distribución.

Tabla 14 Matriz resumen de valores promedio y desviación estándar de cada parámetro fisicoquímico medido en diferentes épocas de muestreo

Variables	Baja Precipitación			Alta precipitación		
	15/07/2019	13/08/2019	10/09/2019	8/10/2019	12/11/2019	10/12/2019
Temperatura	17,16 ± 0,262	16,74 ± 0,123	17,93 ± 1,892	16,623± 0,091	17,79 ± 0,591	18,23 ± 0,205
OD (mg/L)	3,093 ± 1,516	1,163 ± 0,820	2,867 ± 0,262	2,907 ± 0,471	2,513 ± 0,103	2,713 ± 0,098

Transparencia Secchi	0,686 ± 0,255	0,745 ± 0,188	0,782 ± 0,045	1,05 ± 0,139	1,063 ± 0,164	0,897 ± 0,106
Ph	7,403 ± 0,146	7,337 ± 0,205	5,250 ± 0,687	6,723 ± 0,225	7,080 ± 0,242	6,837 ± 0,585
Conductividad μ S/cm	277,33 ± 1,700	242,66 ± 47,148	226,66 ± 2,357	199,33 ± 0,471	170,66 ± 0,943	160,66 ± 0,471
TDS mg/L	187,66 ± 70,244	138,33 ± 0,471	138,33 ± 0,471	88,20 ± 1,071	99,66 ± 0,471	82,66 ± 2,055
Fosfatos mg/L	1,807 ± 1,766	1,351 ± 0,885	0,139 ± 0,020	0,168 ± 0,040	0,239 ± 0,070	0,410 ± 0,251
Nitritos mg/L	-	-	-	-	-	-
Nitratos mg/L	0,888 ± 0,000	0,911 ± 0,011	0,940 ± 0,008	0,914 ± 0,019	0,904 ± 0,006	0,921 ± 0,026
Amonio mg/L	0,033 ± 0,019	0,037 ± 0,020	0,057 ± 0,015	0,055 ± 0,015	0,054 ± 0,011	0,046 ± 0,008
Nitrógeno total	0,921 ± 0,019	0,948 ± 0,031	0,997 ± 0,018	0,969 ± 0,023	0,959 ± 0,006	0,968 ± 0,033
Clorofila-a μ g/L	29,65 ± 13,68	9,960 ± 1,782	48,21 ± 20,66	86,47 ± 77,81	63,38 ± 28,51	36,89 ± 10,46
OD %	32 ± 17.3	9.7 ± 11.6	51.33 ± 24.851	40.7 ± 6.7	37.1 ± 0.24	28.4 ± 0.09
DQO	15,00 ± 0,00	75,66 ± 20,513	64,75 ± 5,443	94,21 ± 10,246	95,66 ± 10,273	43,30 ± 1,543
DBO5	4,030 ± 0,151	4,623 ± 0,314	3,967 ± 0,236	3,350 ± 0,361	3,413 ± 0,234	2,573 ± 0,291
Euglenophyta Ind/ml	1461	1736	1258	1394	1058	954
Chlorophyta Ind/ml	517	1049	639	1003	826	1691
Dinophyta Ind/ml	38	68	21	73	23	47
Zygnematophyta Ind/ml	165	3	43	63	0	16
Chrysophyta Ind/ml	0	15	419	0	0	0

Fuente: Autora

La temperatura se mantuvo relativamente constante durante el periodo de muestreo, fluctuó entre valores de 16 y 18°C. El valor máximo mensual se presentó en el mes de diciembre con un registro de 18.23°C y en los meses de agosto y octubre se obtuvieron valores mínimos de 16.62°C y 16.74°C. Estos valores son comunes ya que en zonas tropicales la temperatura se mantiene más o menos constante (Roldán and Ramírez 2008).

La **transparencia** mostró variaciones entre 0.68 y 1.063m; siendo los meses octubre y noviembre de mayor valor de transparencia, Según Henao (1987), estos valores muestran un estado mesotrófico – eutrófico y la presencia de la biomasa en el cuerpo de agua. En la Tabla 15 se muestran los resultados del coeficiente de extinción de la luz, lo que indica la profundidad eufótica o el nivel eufótico donde se reduce la intensidad de la luz a 1% y se desarrollan procesos de productividad primaria o fotosíntesis, para el periodo de baja precipitación se obtuvieron valores de 0.76m y para el periodo de alta precipitación se reduce a 0.69m, de acuerdo con Roldan, 1992, los cuerpos de agua que están sometidos regularmente a contrastes climáticos las transparencias varían de pocos centímetros a 2 o 3 metros, puesto que en altas precipitaciones hay procesos de arrastre de material y sedimentos que disminuyen la transparencia y en época de sequía aumenta.

Tabla 15 Coeficiente de extinción de la luz para los dos periodos climáticos

	Promedio Ds (m)	Zona fótica
Precipitación baja	0.74	0.76
Precipitación alta	1.00	0.69

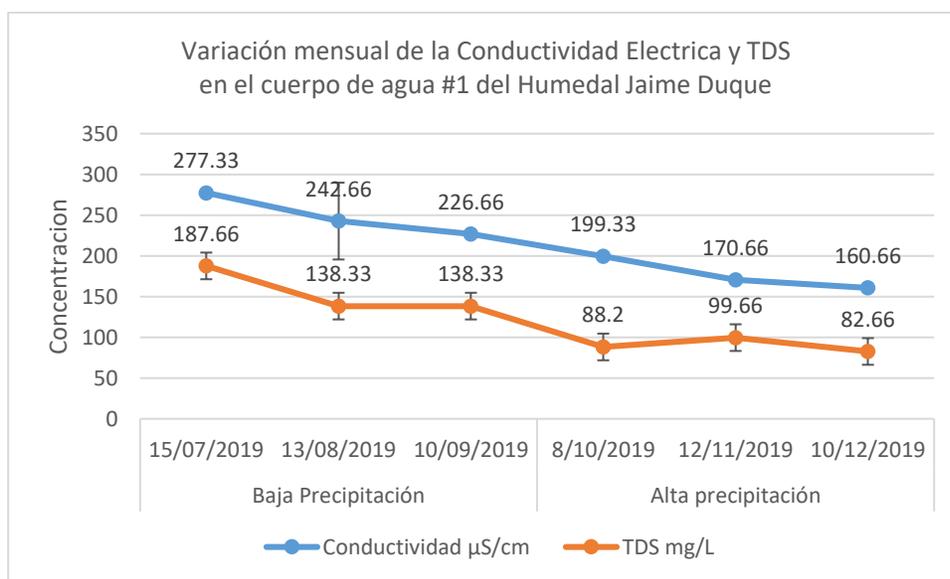
Fuente: Autora

El **pH** se mantuvo en la neutralidad con valores que oscilaron entre 5.25 y 7.4, el valor más bajo se presentó en el mes de septiembre, conforme a esto se puede deducir que la alcalinidad en los periodos de variación climática está representada mayormente por bicarbonatos (HCO_3), de acuerdo con Roldan (1992), el agua (H_2O) en presencia Dióxido de carbono (CO_2) forma Acido carbónico (H_2CO_3) y que a su vez reaccionan con los Iones de Hidrogeno (H^+) generando Bicarbonatos (HCO_3). (la alcalinidad como parámetro no fue evaluado en los periodos climáticos, por lo tanto, es una hipótesis no verificada).

La **Conductividad Eléctrica (CE)** y los **TDS** mostraron una fuerte tendencia de disminución en la variación climática (seca a lluvia) de julio a diciembre, presentando valores entre 277 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 187,66 y 88.62 mg/L. en aguas neotropicales la concentración varía principalmente con las épocas de lluvia y sequía y con su estado trófico (Roldán & Ramírez 2008), este comportamiento también se presentó en el humedal Arrieros (Moreno & Suares 2021) con altas concentraciones y tendencia a la disminución.

Las altas concentraciones pueden presentarse por la posible escorrentía local y la presencia de materia orgánica que puede aportar grandes cantidades de dichos iones (Pinilla, 2010); cabe resaltar la relación de la **conductividad** y los **TDS** ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la cual se basa en la capacidad que tiene una solución de conducir una corriente eléctrica en función de la concentración de iones en ella presentes, por lo tanto se espera que las soluciones con mayor concentración iónica posean mayores conductividades y viceversa (Roldán & Ramírez 2008).

Grafica 2 Variación mensual de la Conductividad Eléctrica y TDS en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque



Fuente: Autora

En cuanto a la concentración de nutrientes medida en el ciclo de muestreo se evidencio que los nutrientes correspondientes a las diferentes formas de nitrógeno no tienen diferencias significativas entre los dos periodos de variabilidad climática en los tres puntos de muestreo teniendo en cuenta los resultados de la **prueba f** (ver Tabla 34) y **t-Student** (ver Tabla 35)

adicionalmente se representa por medio de la Grafica 3. Los nitratos (NO_3^-) tuvieron concentraciones superiores a 0.88mg/L y el Amonio (NH_4^+) 0.01 mg/L , de acuerdo con Roldan, 1992, estas dos formas de nitrógeno son las más importantes para los ecosistemas acuáticos, ya que constituyen parte fundamental del metabolismo de los organismos que residen en el cuerpo de agua como parte del ciclo biogeoquímico, sin embargo durante los dos últimos siglos el aporte de nitrógeno derivado de las actividades antropogénicas de tipo agrícola en el uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados se ha constituido como una de las fuentes más importantes aporte de nitrógeno inorgánico (NO_3^-) y (NH_4^+) (Claros 2012). por lo tanto esto puede ser una de las razones de las altas concentraciones debido a la escorrentía de fertilizantes y plaguicidas de las tierras agrícolas de su alrededor y sobrecarga ganadera (Barros 2020).

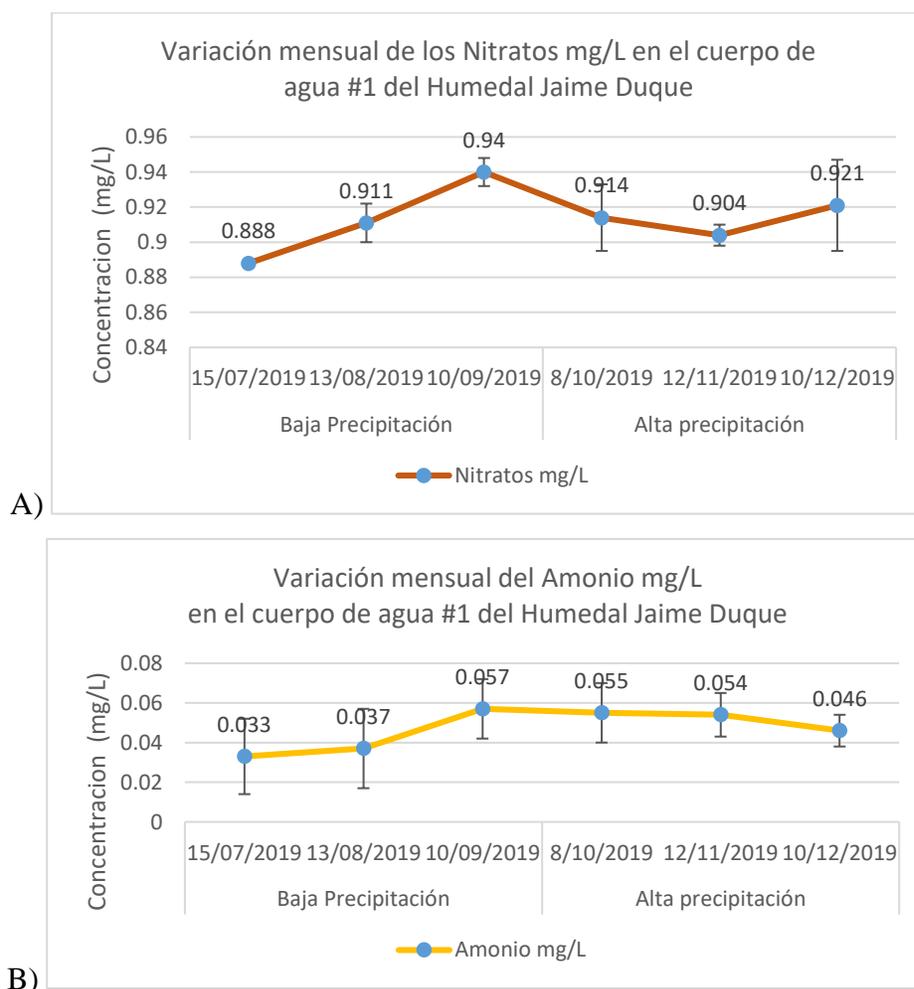
Teniendo en cuenta lo anterior el Humedal Jaime Duque es un posible receptor de compuestos nitrogenados y puede experimentar una reducción de la concentración del oxígeno disuelto del medio como consecuencia de la oxidación biológica de microorganismos nitrificantes, puesto que, las concentraciones de nitritos (NO_2^-) se encontraron bajo el límite de detección, y puede ser debido a la rápida transformación de los compuestos por medio de la oxidación biológica de bacterias, donde el ion Amonio (NH_4^+) se oxida a ion nitrito (NO_2^-) o ion nitrato (NO_3^-) siendo la ultima la forma más oxidada, a este proceso se le denomina nitrificación (Claros 2012).

De acuerdo con la Resolución 066 del 30 de mayo de 2017 y el informe técnico 278 del 20 de julio de 2015 de la CAR, en su en la actualidad el Humedal Jaime Duque (HJD) es descrito como humedal de origen artificial o natural artificiado y regula sus niveles de agua a partir de las aguas lluvias y por medio de un canal que lo comunica con el humedal de Los Arrieros. Teniendo en cuenta este ultimo aporte, el Humedal Arrieros también presenta bajas concentraciones de las diferentes formas de nitrógeno (Amonio 0.6 mg/L Nitritos 0.01 mg/L Nitratos 3.41 mg/L) (Moreno & Suares 2021). Por otra parte, estudios realizados por Muñoz & Beltrán (2010) citados por (Moreno & Suares 2021), en la subcuenca del rio Teusaca reporta valores similares a los presentados en los humedales del Ecoparque Sabana.

Otra de las razones de las concentraciones de las diferentes formas de nitrógeno en el cuerpo de agua, es la presencia del helecho semiacuático Azolla, que constituye un sistema simbiótico mutualista Azolla-Anabaena, para la fijación del nitrógeno atmosférico (Cabezas 2011), la cianofícea Anabaena Azollae se aloja en las cavidades de las hojas del helecho, obteniendo

protección física, química, aporte de nutrientes y compuestos energéticos, a partir de la actividad nitrogenásica; la enzima dinitrogenasa (N_2asa) cataliza el nitrógeno atmosférico (N_2) y lo reduce a Amoniac (NH_3) que posteriormente se convierten en Nitritos o nitratos (Sevillano, Subramaniam, & Rodríguez 1986). (aunque se encuentra presencia de estas especies en el cuerpo de agua estas hipótesis no fueron evaluada, por lo tanto, es una hipótesis no verificada).

Grafica 3 Variación mensual de las formas de Nitrógeno en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque



Fuente: Autora

Como se muestra en la Grafica 4 la concentraciones de fosfatos PO_4 en el cuerpo de agua fueron altas; presentaron mayor concentración en época seca con valores de 1.8 mg/L y en época de lluvia 0.4 mg/L de acuerdo con Henao de uribe (1987) citado por (Guillot & Pinilla 2017) concentraciones mayores a 0.2 mg/L indican estados eutróficos, esto puede ser debido a las

condiciones que antrópicas del lugar, cabe resaltar que alrededor del humedal está en remodelación y el arrastre de material es evidente al verse la alteración de la escorrentía en la zona litoral del costado norte del humedal, (ver Ilustración 6 y 7) Esto, se puede relacionar con la cantidad de solidos totales que ingresan al cuerpo de gua que generan deterioro en la calidad del agua (Rodriguez & Pinilla 2017).

Ilustración 6 Ribera1 Humedal Jaime Duque



Fuente: Autora

Ilustración 7 Ribera 2 Humedal Jaime Duque



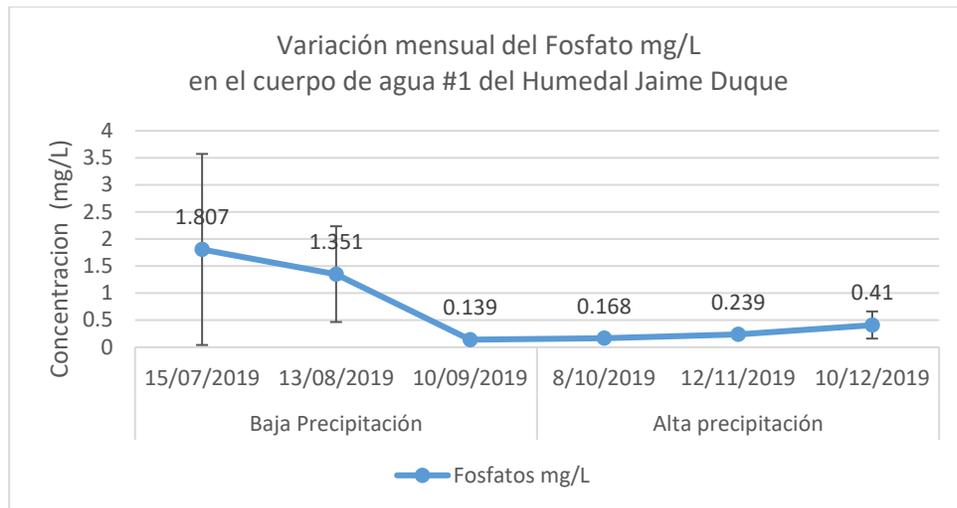
Fuente: Autora

No obstante, los Humedales Jaime Duque y Arrieros se caracterizaron por presentar un gran impacto ambiental por exceso de cultivos, aplicación de químicos, fertilizantes y la sobrecarga ganadera hasta tal punto que su espejo de agua no existía (Barros, 2020). Lo que deriva a una disminución del Oxígeno y a un aumento de nutrientes, acelerando su producción de biomasa y disminuyendo su calidad.

Adicionalmente es importante mencionar la infiltración de aguas residuales que contienen detergentes, los cuales generan un aumento en la concentración de los mismos ya que poseen entre 12 y 13% de Fósforo dentro de su composición (Illana, 2014), (Franco, Manzano & Cuevas, 2010), (Espejo,2017) citados por (Moreno & Suares 2021).

Por otra parte el Humedal Arrieros presento concentraciones similares reportando valores de 0.4 mg/L en temporada de seca y 1.8 mg/L en temporada de lluvia (Moreno & Suares 2021). Se debe considerar que, en sistemas palustres como los humedales de la Sabana de Bogotá, las condiciones de eutrofia son normales, como lo señalan (Horner et al. 2001).

Grafica 4 Variación mensual de los Fosfatos en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque



Fuente: Autora

La producción de biomasa **clorofila-a** muestra la actividad fotosintética llevada a cabo por los grupos algales del fitoplanctón, estos valores fluctuaron entre 9.96 y 86,47 $\mu\text{g/L}$, siendo el valor más bajo el mes de agosto y el valor más alto en octubre, al realizar la comparación con humedales de características similares se puede decir que el humedal tiene bajas concentraciones de clorofila con promedios de 29.3 $\mu\text{g/L}$ en época seca y 62.2 $\mu\text{g/L}$ en época de lluvia, como el Humedal Meridor en los Guillot y Pinilla, 2017 registraron valores de 23.08 $\mu\text{g/L}$ y 45.4 $\mu\text{g/L}$. En ambos periodos climáticos se encontraron grupos algales que se caracterizan por ser poseer clorofila a y b (carotenos y xantofilas) (Roldán and Ramírez 2008), en el periodo de alta precipitación muestra valores más altos en la densidad fitoplanctónica, teniendo en cuenta que el arrastre de material puede llevar nutrientes al cuerpo de agua favoreciendo el crecimiento algal y así mismo los valores de clorofila; en la siguiente sección se describen los grupos presentes como pigmentos de la clorofila-a.

Las tasas más altas de descomposición de sustancias orgánicas se obtuvieron en los meses de julio y agosto, representado en valores de **DBO5** superiores a 4mg/L presentando una tendencia de disminución al mes de diciembre con un valor de 2.57 mg/l como se muestra en la Grafica 5 Grafica 5 Variación mensual de DBO5, DQO y OD en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque, al realizar la comparación con humedales en condiciones similares se encuentra que los valores **DBO5** se encuentran por debajo de los límites normalmente detectados, el humedal Arrieros, presento valores por encima de 8.55 mg/l, en este mismo periodo de tiempo, así

mismo, se realizó una revisión bibliográfica de estudios presentados en humedales con características similares como Salitre, Juan Amarillo y Meridor, al realizar este contraste también se evidencio que los valores presentados pueden tener un error experimental ya sea en la manipulación de el trasporte de muestras o en la toma del dato desde el laboratorio, teniendo en cuenta lo anterior se decidió correr nuevamente los datos estadísticos sin tener en cuenta el parámetro de **DBO5** en el análisis de componentes principales.

En cuento a la **demanda química de oxígeno (DQO)**, sus valores oscilaron entre 15 y 95mgO₂/L, con valores más altos en época de alta precipitación; los valores de **DQO** probablemente proveniente de múltiples los aportes como restos de vegetales, sólidos, heces de animales como ganado vacuno y equino o liberación extracelular de múltiples compuestos de fertilizantes o productos agrologicos utilizados en la zona, entre otros (Vidal-Abarca 2011).

La relación DBO5/DQO permite determinar qué cantidad de la DQO (materia orgánica e inorgánica contenida en una muestra) de un cuerpo de agua es susceptible de ser depurada por los microorganismos en 5 días (DBO5) (Ardila et al. 2012), el Humedal Jaime Duque presento una relación de 0.06 de acuerdo con la Tabla 16 y la bibliografía este valor puede afirmar que el contenido de materia orgánica e inorgánica del humedal no es biodegradable lo cual infiere que no se puede oxidar bioquímicamente.

Se debe tener en cuenta que el parámetro de la DBO5 puede tiene un error experimental, en el cuerpo de agua el contenido de materia orgánica a partir de los datos de clorofila y muestreo biológico reflejan que si existe una actividad fotosintética a partir de diferentes organismos Fitoplanctónicos expuestos en la siguiente sección.

Tabla 16 Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO5/DQO

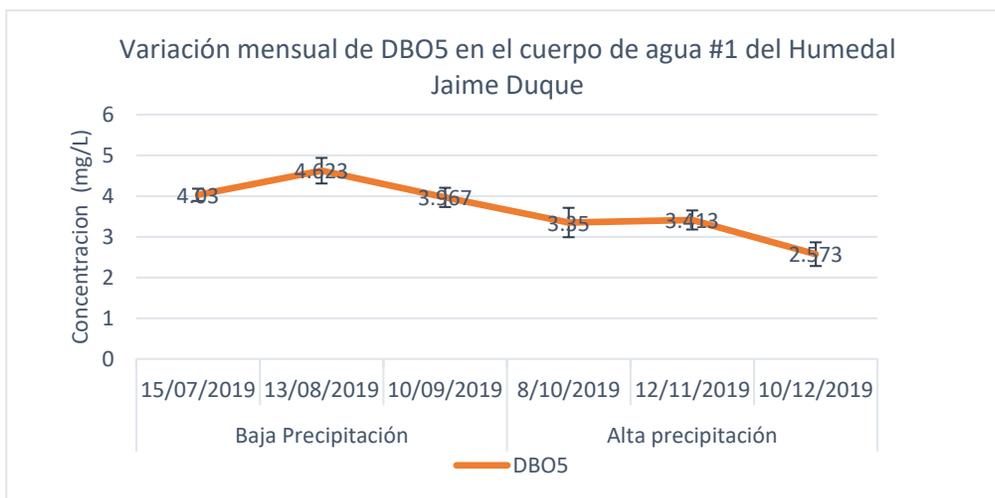
DBO5/DQO	Carácter
>0.8	Muy Biodegradable
0.7-0.8	Biodegradable
0.3-0.7	Poco Biodegradable
<0.3	No Biodegradable

Fuente: Tomado de Hong, Jin, Chow, Seint, Recent Developments in Photocatalytic Water Treatment Technology: A Review, Water Research, 2010

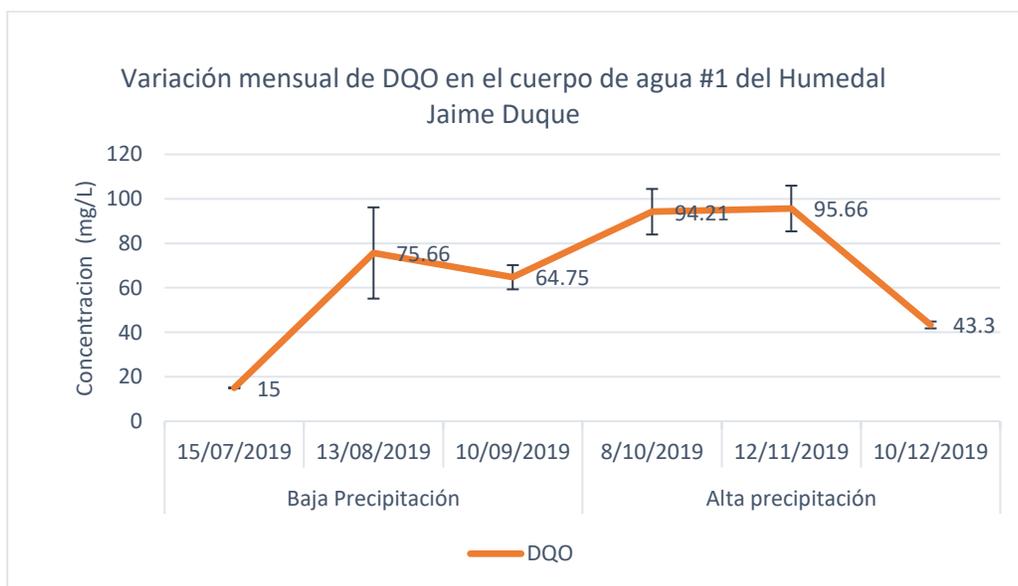
Por otra parte, las concentraciones de Oxígeno disuelto (OD) varía entre de 1 y 3 mg/L siendo bajas y sin presentar diferencias significativas en los periodos de muestreo, de acuerdo con,

Sierra, (2011) citado por (Espejo 2017) en concentraciones elevada de materia orgánica los niveles de oxígeno tienden a la disminución llegando a condiciones anóxicas limitando la vida acuática.

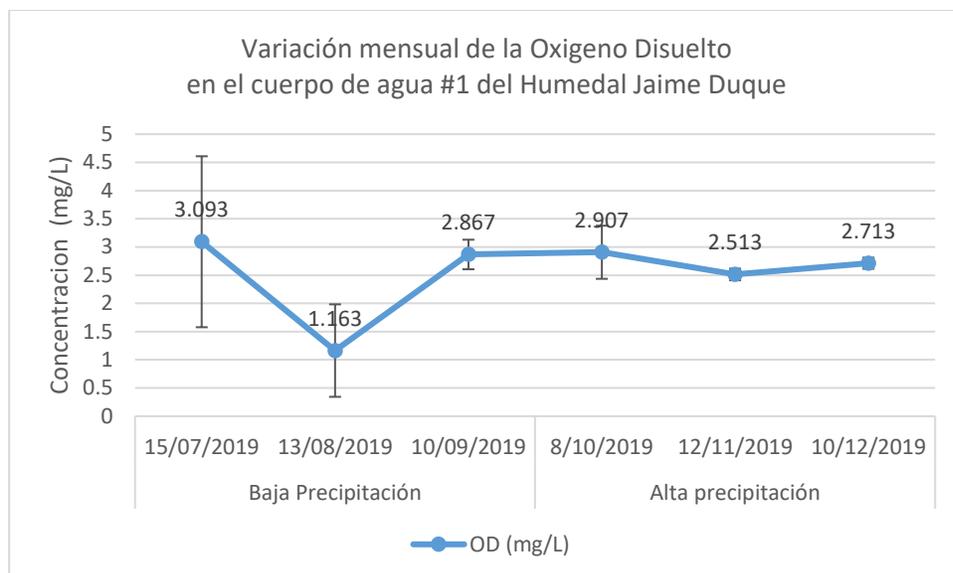
Grafica 5 Variación mensual de DBO5, DQO y OD en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque



Fuente: Autora



Fuente: Autora



Fuente: Autora

6.1.1 Análisis de componentes principales para los periodos de alta y baja precipitación

Los resultados del análisis de componentes principales (PCA) están basados en los dos periodos climáticos y en las variables físicas y químicas cuyos coeficientes de variación fueron altos entre los tres puntos de muestreo, dichas variables son Fosfatos (F), Nitratos (N), Clorofila (Chl), Conductividad eléctrica (CE), Solitos Totales disueltos (TDS), porcentaje de Oxígeno Disuelto (OD%) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) la variación de los dos primeros componentes representan el 77.7% y 95.2% para época seca y húmeda respectivamente (Tabla 17).

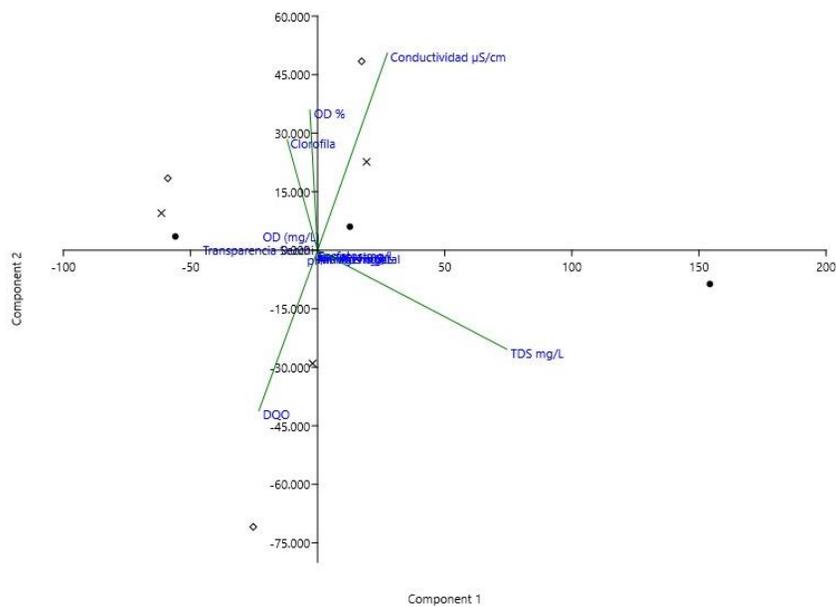
Tabla 17 Valores propios y porcentaje de varianza de los 5 primeros componentes de los PCA para los dos contrastes climáticos.

Componente	Precipitación Baja		Componente	Precipitación Alta	
	Valor Propio	Porcentaje de Varianza		Valor Propio	Porcentaje de Varianza
1	4457.64	61.665	1	3334.03	78.424
2	1160.38	16.052	2	716.493	16.853
3	864.178	11.955	3	176.495	4.1515
4	459.173	6.352	4	23.3787	0.54992
5	285.795	3.9536	5	0.822091	0.019337

Fuente: Autora, Software Past 3.0

Para el periodo climático de baja precipitación las variables con mayor influencia son la Conductividad Eléctrica de forma positiva con el componente 1 y 2 y los TDS siendo positiva para el componente 1 y negativa para el componente 2, por otra parte, la Conductividad Eléctrica y la DQO están correlacionadas negativamente al encontrarse en lados opuestos del origen, durante este periodo climático la conductividad obtuvo las mayores concentraciones con una tendencia a la disminución a través de los cambios estacionales (sequia-lluvia) ver Grafica 1, los valores de DQO presentaron diferentes variaciones en la concentraciones a través del contraste climático como se muestra en la Grafica 5, se puede decir que esta correlación es atípica ya que al presentar valores de CE alta, también se deben ver representados en valores de DQO al ser aquel parámetro que indica el contenido de materia orgánica en una muestra mediante la oxidación, por otra parte, implica que exista una mayor disponibilidad de OD lo cual puede favorecer la presencia de microorganismos planctónicos representados en valores de clorofila-a, estos dos últimos parámetros tienen una correlación positiva entre ellas y muestran una influencia positiva en el componente 2 pero menos influyente, como se muestra en la Grafica 6.

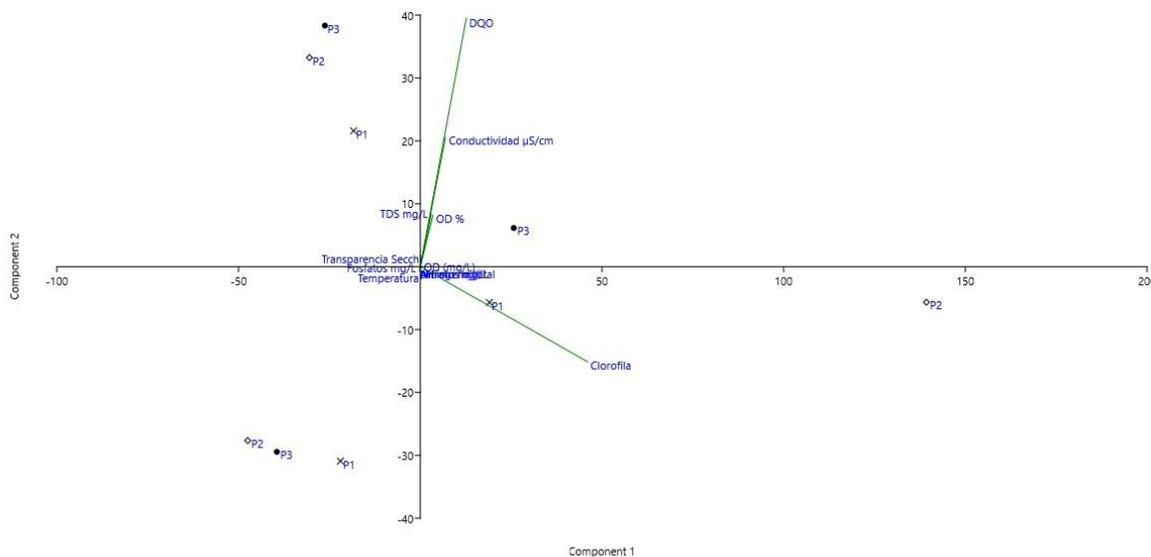
Grafica 6 Análisis de componentes principales de los parámetros fisicoquímicos correspondientes a los muestreos realizados en temporada de baja precipitación, los círculos corresponden al punto 1 de muestreo, los signos de más al punto 2 y los diamantes al punto 3



Fuente: Autora, Software Past 3.0

En el análisis de componentes principales (PCA) para el periodo de alta precipitación, Grafica 7, las variables con mayor influencia fueron la DQO y la Conductividad eléctrica siendo positivas para el componente 1 y 2, así mismo presentan una correlación positiva entre ellas, la DQO en periodos de alta precipitación paso a ser uno de los parámetros más influyentes en el cuerpo de agua, por otra parte la Clorofila presenta influencia positiva para el componente 1 y negativa para el componente 2. Las variables de TDS y OD se encuentran agrupadas con baja influencia para los componentes, estos últimos parámetros son pueden reafirmar la mala calidad del agua en sus valores de concentración.

Grafica 7 Análisis de componentes principales de los parámetros fisicoquímicos correspondiente a los muestreos realizados en temporada de alta precipitación, los círculos corresponden al punto 1 de muestreo, los signos de más al punto 2 y los diamantes al punto 3



Fuente: Autora, Software Past 3.0

6.1.2 Test de Shapiro Will

Para las variables representativas obtenidas en el PCA correspondiente a los periodos de alta y baja precipitación, se aplica la prueba de Shapiro Will para los siguientes parámetros: Clorofila-a, Conductividad, TDS, OD%, DQO y así determinar el tipo de distribución, los resultados se presentan a continuación:

Tabla 18 Resultados de la prueba de Shapiro Will para determinar la distribución de los parámetros: Clorofila-a, Conductividad, TDS, OD%, DQO.

	Clorofila-a	Conductividad μS/cm	TDS mg/L	OD %	DQO
N	18	18	18	18	18
p(normal)	0,0001419	0,008576	1,29E-05	0,05685	0,1998

Fuente: Autora, Software Past 3.0

De acuerdo con la Tabla 18 los parámetros de OD% y DQO presentan valores de $p > 0.05$ representando una distribución normal o paramétrica por lo cual se aplica el test de ANOVA (Análisis of Variance), por otra parte, los parámetros de Clorofila-a Conductividad y TDS presentan valores de $p < 0.05$ lo que representa una distribución no normal o no paramétrica, para ello se aplica el test de Kruskal Wallis.

6.1.3 Test de ANOVA

En la Tabla 19 se presentan los resultados de la prueba de ANOVA; los parámetros OD% y DQO presentan valores de $p(\text{normal}) > 0.05$, esto se debe a que las medias son semejantes o iguales, lo que indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las muestras correspondientes a los periodos de precipitación baja y alta, los resultados se representan gráficamente por medio de Box plot a partir del contraste de los periodos de precipitación, de acuerdo con Rosse, calvo y otros, (2019), citado por (Moreno and Suares 2021) corroboran que la implementación de box plot en un análisis descriptivo estacional y temporal de las variables permiten relacionar las observaciones con el comportamiento del cuerpo de agua bajo los diferentes periodos climáticos.

Tabla 19 Resultados de la prueba ANOVA (análisis of variance) para los parámetros de OD% y DQO

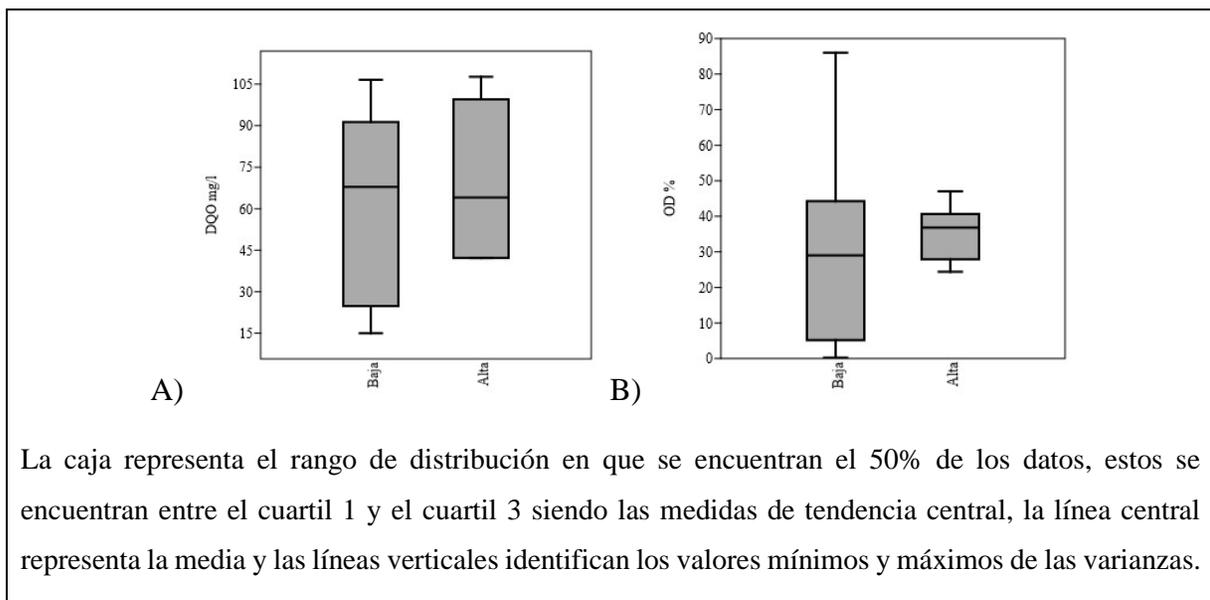
Parámetro	p(normal)
OD%	0.6413
DQO	0.6645

Fuente: Autora, Software Past 3.0

En la Gráfica 8 se observa que en el **sub-cuadro A** la DQO presenta un rango mayor en la distribución de los datos en Baja precipitación con valores entre 15 y 103mg/l, en Alta precipitación obtuvo mayores concentraciones, pero a su vez los valores en la mediana son similares en sus varianzas, lo que puede afirmar que los valores fueron constantes a través de la variación climática, sin embargo las concentraciones aumentaron en periodo de alta precipitación, esto puede ser debido a fenómenos de escorrentía y arreste de material además se detuvieron los procesos con dragas como mantenimiento y limpieza, cabe resaltar que este territorio estuvo expuesto al exceso de cultivos, aplicación de químicos y fertilizantes y la sobrecarga ganadera (Barros 2020), los altos niveles de DQO pueden provocar problemas de Eutrofización en el cuerpo de agua.

En el **sub-cuadro B** la variabilidad de los datos del OD fue inferior en la temporada de precipitación alta, con valores entre 24 y 47% a diferencia de la temporada de precipitación baja con valores máximos de 86%, teniendo en cuenta el incremento de las concentraciones de DQO en el periodo de alta precipitación, se puede afirmar que las concentraciones de oxígeno se redujeron por procesos de oxidación bioquímica.

Gráfica 8 Box plot de los parámetros OD% y DQO en épocas contraste como resultado grafico del test ANOVA



La caja representa el rango de distribución en que se encuentran el 50% de los datos, estos se encuentran entre el cuartil 1 y el cuartil 3 siendo las medidas de tendencia central, la línea central representa la media y las líneas verticales identifican los valores mínimos y máximos de las varianzas.

Fuente: Autora, Software Past 3.0

6.1.4 Test de Kruskal Wallis

Se aplicó el test de Kruskal Wallis para los parámetros que presentaron una distribución no paramétrica como: Clorofila-a, Conductividad y TDS (ver Tabla 20); La clorofila no presenta diferencias estadísticamente significativas ya que el valor de p(normal) es > 0.05 y acepta la hipótesis, en cuanto a los parámetros de conductividad y TDS rechazan la hipótesis ya que sus valores de p(normal) son < 0.05 e indican que sí hay una diferencia estadísticamente significativa. Los resultados gráficos del test de Kruskal Wallis se presentan en la Gráfica 9 a partir de Box plot.

Tabla 20 Resultados del test Kruskal Wallis para los parámetros de Clorofila-a, Conductividad y TDS.

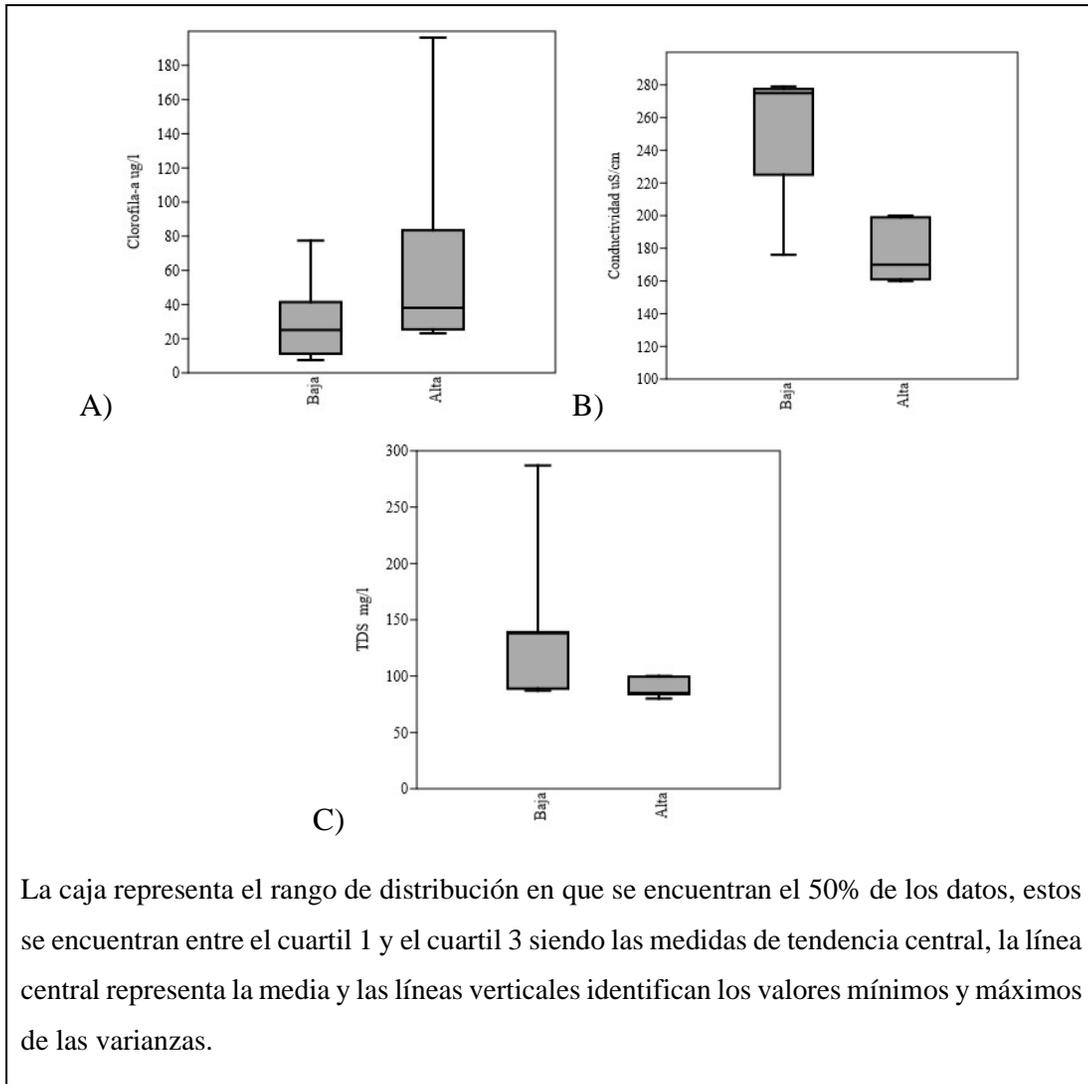
Parámetro	p(normal)
Clorofila-a	0.06355
Conductividad	0.0009
TDS	0.005244

Fuente: Autora, Software Past 3.0

En la siguiente Gráfica 9 en el **sub-cuadro A** se observa que la clorofila-a tuvo una distribución y variabilidad intercuartil mayor en la época de alta precipitación; su valor máximo fue superior a $180 \mu\text{g/l}$ y su media fue similar para los dos periodos climáticos, La clorofila-a también es un indicador del grado de contaminación de los ecosistemas acuáticos y un importante índice del estado fisiológico del fitoplancton (Pinto et al., 2001).

La conductividad representada en el **sub-cuadro B**, presenta una disminución representativa en el periodo de alta precipitación, así mismo, el valor de la media está sesgada a valores más bajos en contraste con la temporada de baja precipitación donde la media se ubica entre los valores cercanos a su máximo. En cuanto a los TDS la temporada de baja precipitación presenta una mayor distribución, en contraste a la temporada de alta precipitación, puesto que la variabilidad intercuartil fue notoriamente inferior y la dispersión de los datos es baja como se muestra en el **sub cuadro C**. la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad.

Gráfica 9 Box plot de los parámetros de clorofila-a, Conductividad y TDS en épocas contraste como resultado grafico de la prueba Kruskal Wallis.



Fuente: Autora, Software Past 3.0

6.2 RESULTADOS DE VARIABLES BIOLÓGICAS

6.2.1 Densidad Fitoplanctónica

De acuerdo con la Directiva Marco del Agua (DMA), las comunidades fitoplanctónicas son consideradas indicadores biológicos, dicho parámetro constituye un excelente indicador del grado de eutrofia en lagunas, humedales interiores y en aguas de transición, tanto por la fisionomía de la comunidad como por la ecología de la especie (Red de Información Ambiental de Andalucía 2013). Durante la investigación se identificaron 14 morfoespecies de algas del

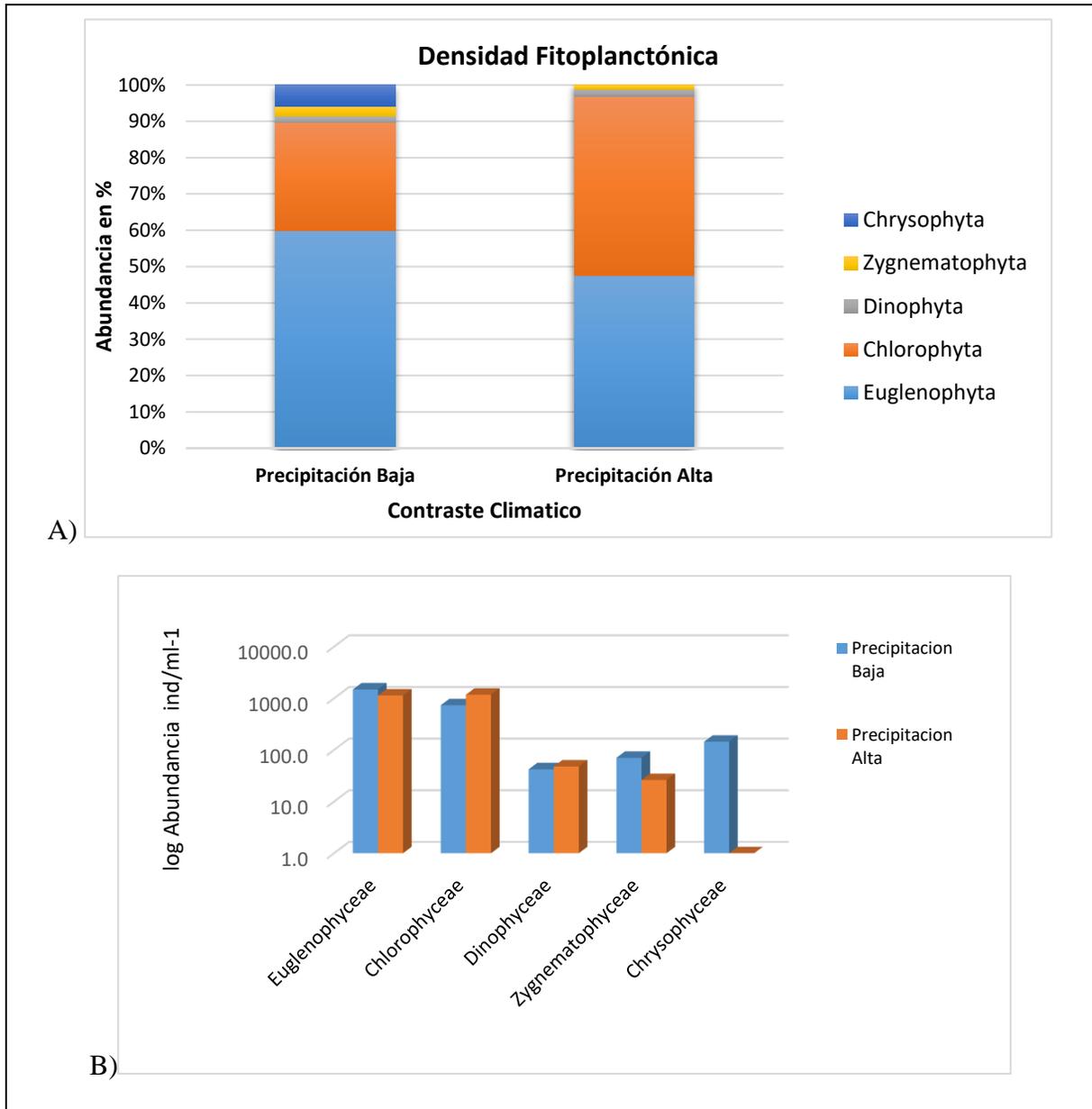
fitoplancton, distribuidas en 5 grupos algales: Chrysophyta, Zygnematophyta, Dinophyta, Chlorophyta y Euglenophyta, como se observa en la Grafica 10 sub cuadro A, las familias con mayor densidad de individuos por mililitro en ambos periodos climáticos fueron: la Euglenophyta con una representación del 59% de todas las especies en el periodo de baja precipitación y la Chlorophyta representada en un 54% en el periodo de alta precipitación.

De acuerdo con (Sarmiento 2017) Las poblaciones fitoplánctonicas sufren fluctuaciones cualitativas y cuantitativas a lo largo del año y se hacen evidentes en diferentes escalas espacio temporales asociadas a cambios en los factores ambientales y estacionales, de acuerdo con lo anterior se puede evidenciar los cambios de densidad en los grupos poblacionales debido a los cambios de factores ambientales ocurridos en las por la variación climática, Ahora, estos grupos con mayor representatividad en los dos periodos climáticos se caracterizan por ser indicadores de eutrofia y contaminación, poseen clorofila a y b (carotenos y xantofilas) (Roldán and Ramírez 2008).

El grupo algal Euglenophyta estuvo conformada en su mayoría por géneros de Trachelomonas y Phacus, varios autores (Pinilla, 2010; Ramirez, 2020; Vasquez et al., 2006) concuerdan que este grupo es muy frecuente en sistemas con alta carga de materia orgánica debido a su capacidad mixotrofica, además, es considerada como indicador de alto grado de trofismo. En cuanto el grupo Chlorophyta su presencia está asociada a sistemas oligotróficos por sus altas concentraciones de oxígeno debido a su alta actividad fotosintética, no obstante, varias especies pueden ser indicadoras de ecosistemas hipereutrófico (Pinilla 1998) como el género Golenkinia el cual se encontró en mayor proporción.

Por otra parte, autores como (Moreno and Suares 2021), (Mora 2017), (Pinilla and Guillot 2017) y (Pulido 2015) realizaron investigaciones en diferentes humedales de la sabana de Bogotá registrando similitudes con la presencia y abundancia de estos taxones, así mismo, su clasificación de trofismo se describen entre meso y eutrófico para los cuerpos de agua de estudio.

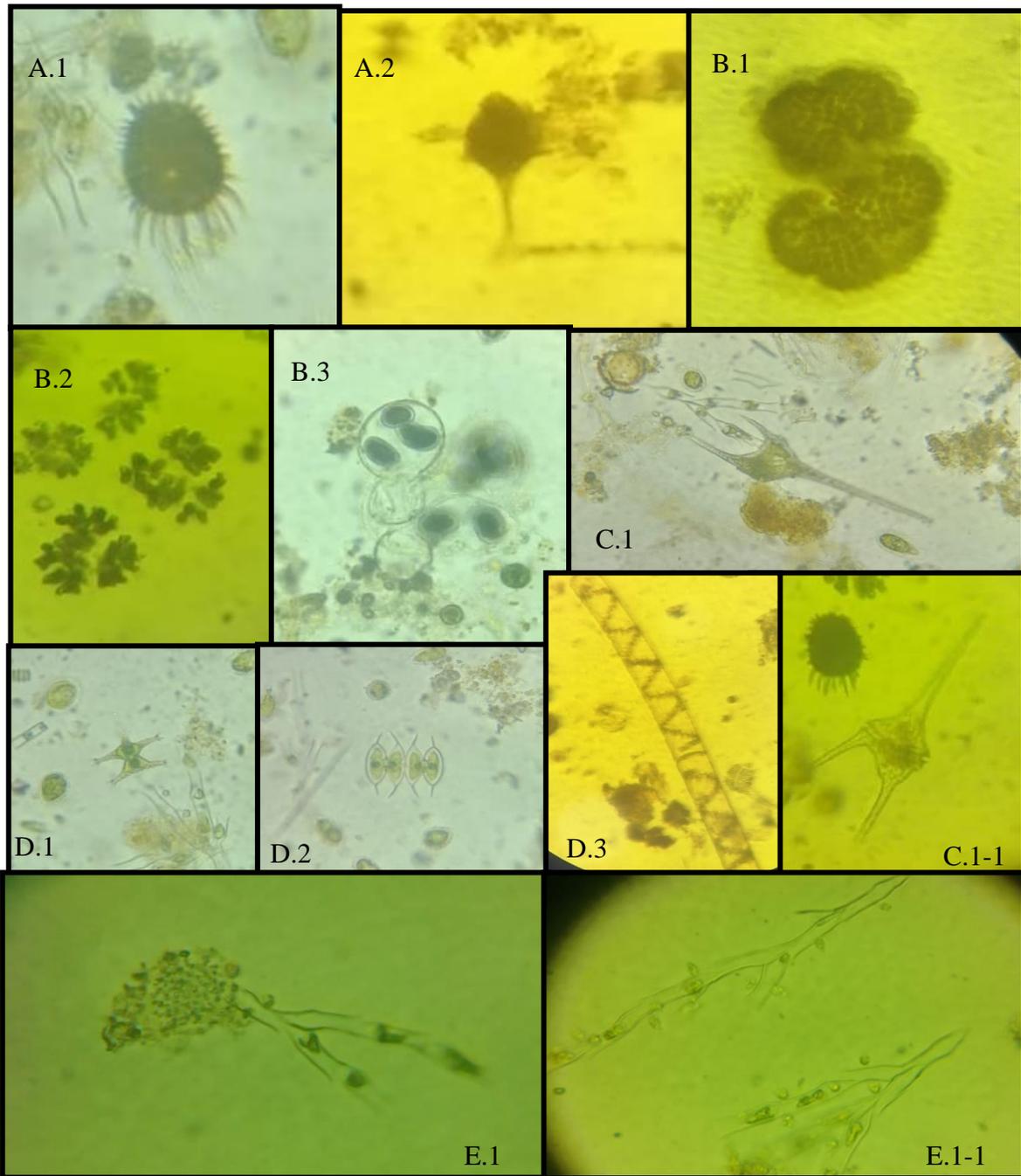
Gráfica 10 Abundancia promedio (ind ml-1) de las clases de algas del fitoplancton encontrado en el cuerpo de agua #1 del humedal Jaime Duque en los dos periodos climáticos. A) porcentaje B) Escala logarítmica.



Fuente: Autora

A continuación, se presentan imágenes de algunas especies fitoplanctónica encontradas en el cuerpo de agua #1 del humedal Jaime Duque.

Ilustración 8 Algunas especies Fitoplanctónica presentes en el cuerpo #1 del humedal Jaime Duque.



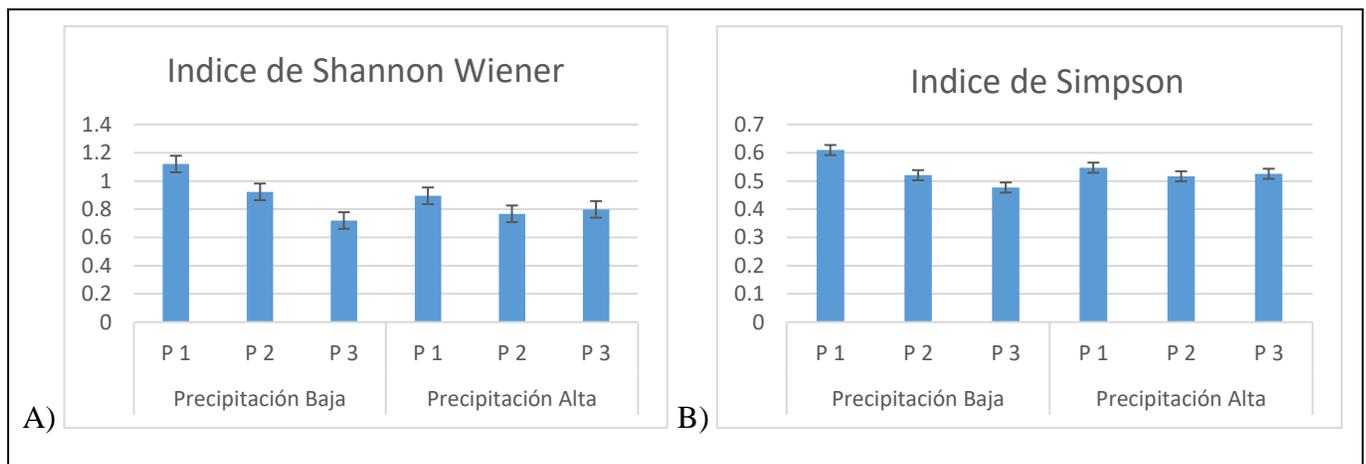
**Euglenophyta: A.1) Trachelomonas A.2) Phacus; Chlorophyta: B.1) Botryococcus B.2) Dimorphococcus
B.3) Oocystis; Dinophyta: C.1) Ceratium; Zygnematophyta: D.1) Staurastrum D.2) Arthrodesmus
D.3) Spirogyra; Chrysophyta, E.1) Dinobryon. Fuente: Autora**

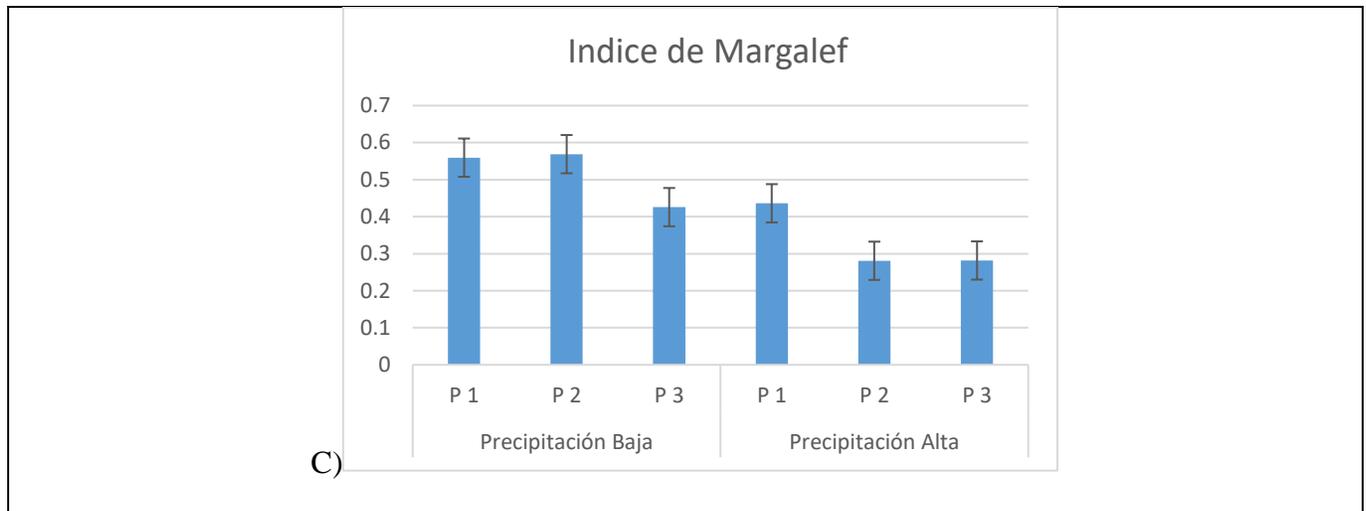
6.2.2 Índices de diversidad equidad, dominancia y riqueza fitoplanctónica

En la Gráfica 11 se presentan los índices de Shannon, Wiener y Simpson, estos mostraron que, la diversidad en el cuerpo de agua #1 del humedal Jaime Duque no tuvo cambios significativos en cuanto a las épocas climáticas de contraste en los tres puntos de muestreo.

De acuerdo con los resultados el índice de equidad de Shannon Wiener (sub-cuadro A) obtuvo valores >2 lo que indica que la diversidad es baja teniendo una mayor uniformidad de la comunidad y que puede estar representada en dos divisiones importantes como la Euglenophyta y Chlorophyta, así mismo, el índice de Simpson (sub-cuadro B) obtuvo valores >1 indicando que la abundancia está representada en pocas morfoespecies y que posiblemente sea la división Euglenophyta ya que tiene la mayor cantidad de individuos en el HJD seguido por la división Chlorophyta, en cuanto a la riqueza específica representada por el índice de Margalef (sub-cuadro C) presenta mayor diversidad en época de baja precipitación, sin embargo este índice presenta valores >2 lo cual indica baja diversidad en el cuerpo de agua.

Gráfica 11 Índices de diversidad, dominancia, equidad y riqueza fitoplanctónica. A) Índice de Shannon Wiener. B) Índice de Simpson. C) Índice de Margalef.





Fuente: Autora, Software Past 3.0a

6.2.3 Densidad Zooplanctónicas

La composición zooplanctónica presente en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque, se encontraron 3 morfoespecies distribuidas en las tres clases: Cladóceros, Copépodos y Rotífero. Durante la época de precipitación baja la densidad zooplanctónica es equitativa con casi un 50% para las clases de cladóceros y copépodos sin la presencia de rotíferos como se observa en la Gráfica 12, Roldan, (1992) afirma que los copépodos pueden representar entre el 35% y el 50 % de la biomasa del zooplancton, sin embargo, su participación en la producción secundaria es inferior teniendo en cuenta su largo ciclo de vida.

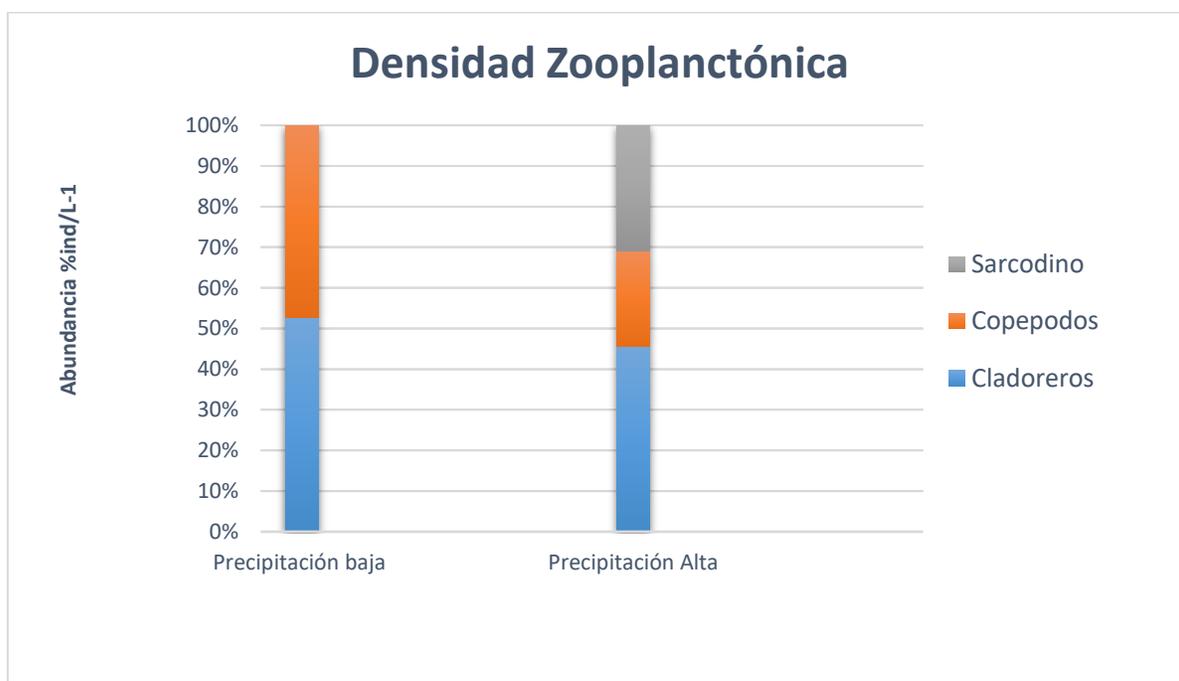
Por otra parte, en la época de precipitación alta se encontró que los rotíferos representan el 31% de la densidad zooplanctónica, sin embargo, la presencia de rotíferos no indica niveles de estado trófico de acuerdo con Esteves (1988), en los lagos tropicales no se ha hallado una relación precisa entre los rotíferos planctónicos y el nivel trófico, ya que estas especies pueden encontrarse en cualquier ambiente independiente a su estado de eutrofia. Por otra parte, la presencia de copépodos disminuye a un 23%, y los cladóceros se mantienen con mayor abundancia representada en un 46%. Esta disminución de copépodos puede atribuirse a que algunas especies de cladóceros atacan a poblaciones de copépodos jóvenes (Roldan, 1992).

Adicionalmente, se observó la presencia de especies de protozoario del grupo de los Sarcodinos como se muestra en la Ilustración 9 C-2. Estas formas se caracterizan por emitir pseudópodos como forma de locomoción simple, son generalmente los más frecuentes en el

zooplancton, toleran bajas concentraciones de oxígeno, por lo que pueden vivir en aguas contaminadas y ricas en materia orgánica, (Gonzales, 1988) citado por Roldan, 1992.

En relación con el humedal Arrieros se encontraron datos similares en cuanto a la densidad zooplanctonica y la presencia de especies como rotíferos, cladóceros y copépodos (Moreno and Suacres 2021), así mismo el grupo cladóceros se presenta con mayor representación a través de todo el periodo de muestreo.

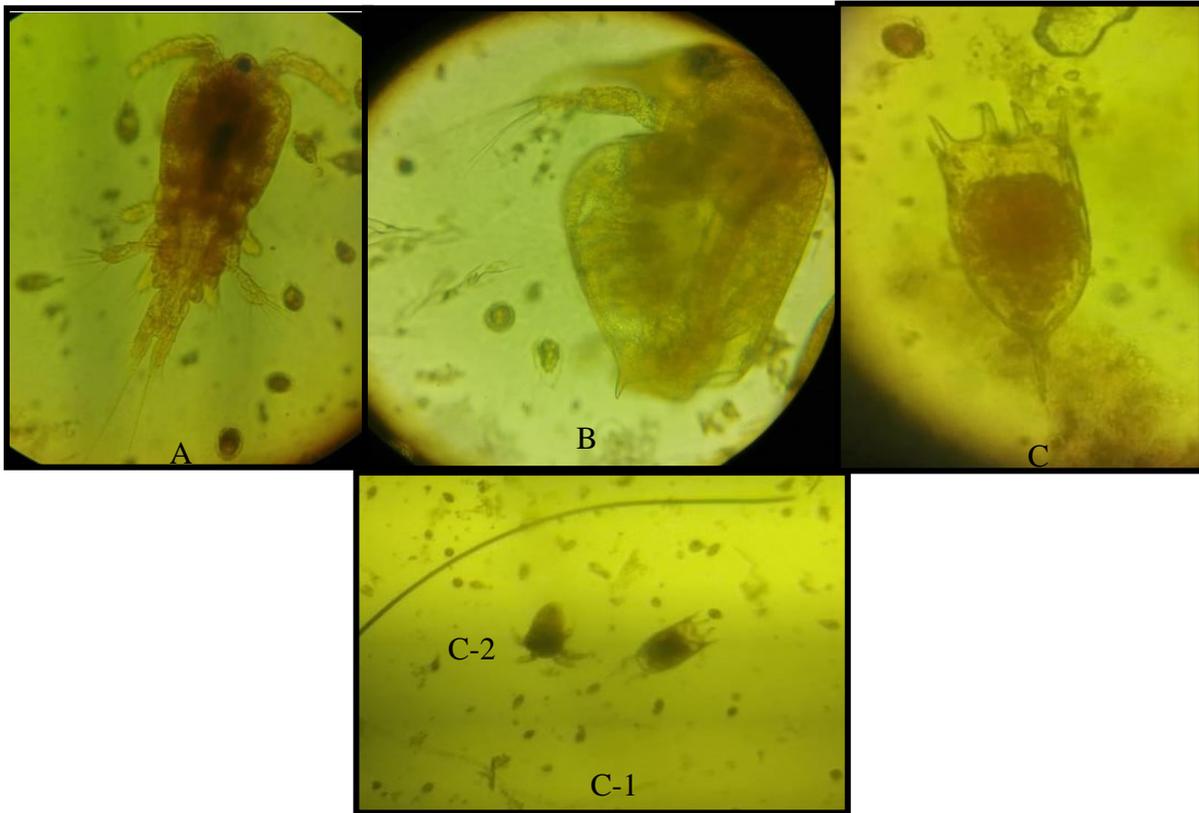
Gráfica 12 Abundancia promedio (ind / l-1) de las clases de algas del Zooplancton encontrado en el cuerpo de agua #1 del humedal Jaime Duque en los dos periodos climáticos



Fuente: Autora

A continuación, se presentan algunas especies zooplanctónicas encontradas en el cuerpo de agua #1 del humedal Jaime Duque observadas en 10X.

Ilustración 9 Algunas especies Zooplanctónicas presentes en el cuerpo #1 del humedal Jaime Duque.



A) Copépoda. B) Cladóceras C, C-1-2) Sarcodino. Fuente: Autores, 2020

6.2.4 Índices de diversidad equidad, dominancia y riqueza Zooplanctónica

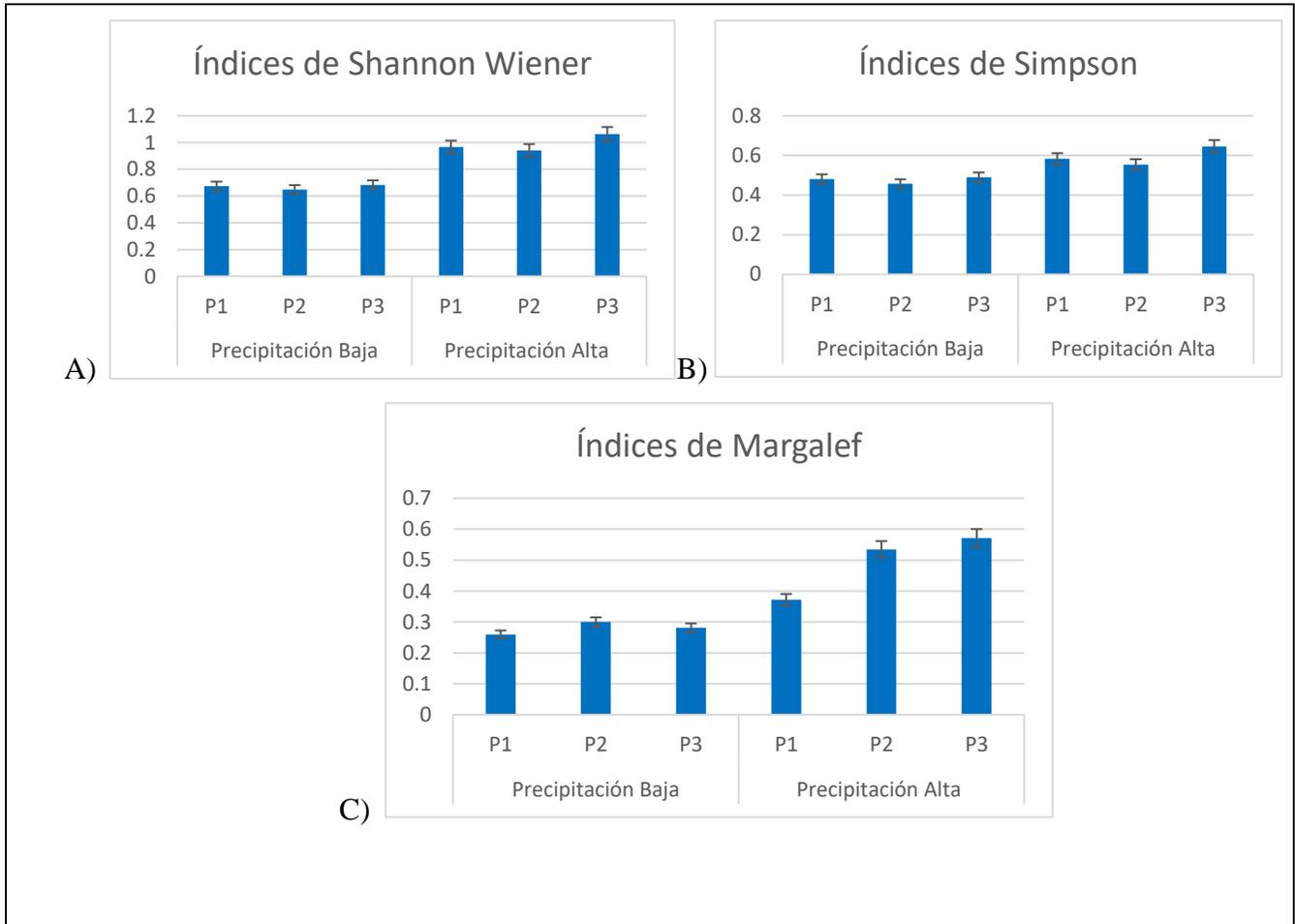
De acuerdo con los índices de Shannon Wiener, Simpson y Margalef, se observa que para los tres puntos de muestreo la diversidad de especies fue mayor en época de precipitación alta, como se muestra en la Gráfica 13. Así mismo el punto 3 de muestreo en los dos periodos de contraste climático presento valores altos en los índices de biodiversidad, pero no superaron los valores establecidos por cada índice, lo cual indica que la diversidad general del cuerpo de agua es baja.

Por otra parte, en la comunidad zooplanctónica se observan cambios en las épocas contraste; en la época de baja precipitación se hacen presentes cladóceros y copépodos y en la época de alta precipitación aumentan los grupos zooplanctónicos a cladóceros, copépodos y sarcodinos.

Aunque aumenten los grupos taxonómicos de zooplankton, los resultados de los índices de equidad Shannon-Wiener estuvieron por debajo de 2, lo que indica que su estructura es uniforme, siendo los cladóceros la especie mejor representada. Así mismo, los cladóceros tienen

la mayor dominancia y riqueza de individuos en el cuerpo de agua de acuerdo con el índice de dominancia de Simpson y Margalef que obtuvieron valores inferiores a 1.

Gráfica 13 Índices de diversidad, dominancia, equidad y riqueza Zooplanctonica. A) Índice de Shannon Wiener. B) Índice de Simpson. C) Índice de Margalef.



Fuente: Autora, Software Past 3.0

6.2.1 Coeficientes de correlación (Sperman)

De acuerdo con la metodología propuesta, para los datos no paramétricos se aplicó el coeficiente de correlación Sperman, con el propósito de identificar las relaciones de dos variables y no suponer la casualidad entre ellas. En la siguiente tabla los valores de la diagonal inferior corresponden a los datos de los coeficientes de correlación y los valores de la diagonal superior indican la probabilidad de dichas correlaciones; adicionalmente, como ya se había mencionado, los valores próximos a 1 o -1 indican una correlación fuerte (positiva o negativa) y valores próximos a cero indican que no hay correlación. Dicho esto, en la Tabla 21 se presentan los resultados derivados del procesamiento de los datos a partir del software PAST.

Tabla 21 Correlación de Spearman entre variables fisicoquímicas y biológicas

	Fosf.	Nitrat.	Amon.	Clor.	pH	Cond	Tem.	TDS	OD	Trans	DQO	DBO5	Eugle.	Chloro.	Dino.	Zygnemato.	Chryso.	Clado.	Copep	Rot
Fosfatos		0,00	0,00	0,14	0,00	0,20	0,56	0,05	0,27	0,82	0,16	0,06	0,14	0,6	0,2	0,4	0,5	0,3	0,8	0,2
Nitratos	-0,65		0,06	0,44	0,01	0,34	0,75	0,14	0,50	0,4	0,4	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,8	0,0	0,7	0,8
Amonio	-0,67	0,44		0,20	0,07	0,80	0,31	0,47	0,62	0,8	0,2	0,3	0,1	0,7	0,1	0,9	0,5	0,3	0,5	0,2
Clorofila	-0,36	0,20	0,32		0,07	0,20	0,37	0,06	0,18	0,6	0,5	0,0	0,0	0,7	0,1	0,6	0,4	0,9	0,8	0,2
pH	0,63	-0,60	-0,44	-0,43		0,30	0,92	0,07	0,34	0,3	0,3	0,5	0,1	0,9	0,1	0,4	0,5	0,0	1,0	0,1
Conductividad	0,32	-0,24	-0,06	-0,32	0,26		0,18	0,00	0,81	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,5	0,3	0,1	0,2
Temperatura	-0,15	-0,08	0,25	0,22	0,03	-0,33		0,05	0,92	0,9	0,5	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	0,9	0,7	0,0	0,6
TDS	0,47	-0,36	-0,18	-0,44	0,44	0,87	-0,47		0,86	0,3	0,5	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,3
OD	-0,28	0,17	0,13	0,33	-0,24	0,06	-0,03	-0,04		0,6	0,3	0,3	0,2	0,9	0,2	1,0	0,1	0,4	0,3	0,9
transparencia	-0,06	-0,22	-0,07	0,14	0,27	-0,31	-0,04	-0,25	-0,12		0,0	0,2	0,5	0,5	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1
DQO	-0,34	0,20	0,30	0,17	-0,27	-0,27	-0,17	-0,19	-0,24	0,53		0,85	0,51	0,8	0,4	0,2	0,4	0,8	0,7	0,0
DBO5	0,45	-0,08	-0,26	-0,59	0,18	0,69	-0,48	0,71	-0,26	-0,32	-0,05		0,00	0,1	0,5	0,5	0,1	0,6	0,5	0,1
Euglenophyta	0,36	-0,17	-0,37	-0,66	0,37	0,58	-0,72	0,70	-0,32	-0,16	-0,17	0,70		0,2	0,0	0,7	0,5	0,5	0,1	0,2

Chlorophyta	-0,12	0,20	0,08	-0,09	-0,05	-0,63	0,13	-0,42	-0,04	0,19	0,08	-0,41	-0,30		0,6	0,0	0,6	0,2	1,0	0,2
Dinophyta	0,30	-0,26	-0,36	-0,41	0,41	0,04	-0,55	0,24	-0,29	0,53	0,23	0,18	0,57	0,1		0,4	1,0	0,7	0,0	0,6
Zygnematophyta	0,20	-0,25	0,03	0,15	-0,21	0,47	0,12	0,27	-0,01	-0,42	-0,32	0,16	0,09	-0,6	-0,2		0,5	0,7	0,9	0,9
Chrysophyta	0,15	0,07	-0,16	-0,20	-0,16	0,17	-0,02	0,26	-0,45	-0,31	0,23	0,43	0,17	-0,1	0,0	0,2		0,2	0,6	0,2
Cladóceros	-0,26	0,58	0,24	0,04	-0,54	-0,26	0,10	-0,44	-0,23	-0,24	0,07	-0,13	-0,16	0,3	-0,1	0,1	0,4		1,0	0,7
Copéodos	0,07	-0,10	-0,17	0,07	-0,01	-0,36	0,69	-0,44	-0,25	-0,20	-0,09	-0,16	-0,45	0,0	-0,6	0,0	0,1	0,0		0,5
Sarcodino	-0,31	-0,05	0,31	0,34	-0,39	-0,35	-0,13	-0,24	0,02	0,45	0,51	-0,40	-0,29	0,3	0,1	0,0	-0,3	-0,1	-0,2	

Interpretación de la correlación entre variables fisicoquímicas y biológicas

De acuerdo con la Tabla 21 los sólidos totales disueltos (TDS) presentan correlaciones significativas (positivas) con la DBO₅ (r:0.71) y la clase Fitoplanctónica Euglenophyta (r: 0.70); el incremento de TDS Y DBO son parámetros indicadores de la calidad de un cuerpo de agua por lo tanto tiene una relación directamente proporcional, en cuanto a la clase Fitoplanctónica Euglenophyta es de notable dominancia en el cuerpo de agua y puede estar promovida por sus altos valores de conductividad que a su vez indica abundancia de sales disueltas, (Pinilla and Guillot 2017) lo cual estaría relacionado con la siguiente correlación positiva fuerte entre la Conductividad y los TDS (r:0.87), estos organismos fitoplanctónicos tiene adaptaciones flageladas, cilíndricas o envolturas para contrarrestar la poca disponibilidad de luz y favorecer la flotabilidad en el cuerpo de agua, como en este caso es las *Trachelomonas* y *Phacus* (Ilustración 8; A1-A2).

La temperatura obtuvo una correlación negativa con la clase Fitoplanctónica Euglenophyta (r: -0.72) cabe resaltar que esta variable influye en la tasa de producción primaria y en las reacciones metabólicas de la reproducción y el crecimiento de las especies (Roldan 1992) y que algunos niveles de tolerancia de las especies frente a diferentes temperaturas son diversos (Wetzel 1981), de esta manera se infiere que los organismos del fitoplancton elevan su tasa de crecimiento cuando aumenta la temperatura hasta algún valor óptimo, después del cual disminuye, con frecuencia drásticamente, hasta cero (Marshall 1991).

6.3 ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO

En la Tabla 22 se presentan los resultados obtenidos en los muestreos mensuales de los parámetros que se tienen en cuenta para valorar el Índice de Estado Trófico (IET), en el **ANEXO 3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO** se encuentra los valores promedio, desviación estándar e intervalos de confianza obtenidos a partir de las tablas de resultado y réplicas de estas.

Tabla 22 Resultados mensuales de los factores incluidos en el IET

Fecha	mg PT/L	Clorofila-a (µg/L)	transparencia (m)
-------	---------	-----------------------	-------------------

15/07/2019	1,807	29,654	0,687
13/08/2019	1,351	9,960	0,745
10/09/2019	0,139	48,216	0,782
8/10/2019	0,168	86,473	1,050
12/11/2019	0,239	63,383	1,063
10/12/2019	0,410	36,898	0,897

Fuente: Autora

6.3.1 Índice de estado trófico Carlson 1977 modificado por Toledo 1983

A continuación se muestra la Tabla 23, que expone los cálculos del índice del fósforo ($IET P_{Tot}$), índice de clorofila-a ($IET Chl - a$), e índice de transparencia ($IET Ds$) basados en la Ecuación 14, Ecuación 15 y Ecuación 16. Propuestas por Carlson 1977 y modificadas por Toledo, 1983, para climas subtropicales y tropicales y se comparan los resultados con la Tabla 10 Clasificación del grado de trofismo según los valores obtenidos en IET, modificado por Toledo, 1983, en los dos primeros meses del segundo semestre del año en época seca el cuerpo de agua en general presenta características de Hipereutrófia con valores superiores a $IET > 74$, luego en el mes de octubre, transición a época de alta precipitación, se reduce la categoría a eutrófico con valores entre 54 y 74, aunque estos valores siempre se mantuvieron por encima de 70 muy cercanos a la Hipereutrófia.

Tabla 23 Resultados de los Índices de Estado Trófico de Carlson 1977 modificado por Toledo, 1983

	Fecha Muestreo	IET Ptol	IET Chl-a	IET Ds	EIT Promedio	Categoría trófica
Época seca	15/07/2019	123.820	64.556	56.190	81.522	Hipereutrófico
	13/08/2019	119.623	53.616	55.014	76.084	Hipereutrófico
	10/09/2019	86.852	69.430	54.320	70.201	Eutrófico
Época de	8/10/2019	89.537	75.287	50.063	71.629	Eutrófico

12/11/2019	94.643	72.172	49.881	72.232	Eutrófico
10/12/2019	102.427	66.747	52.340	73.838	Eutrófico

Fuente: Autora

6.3.2 Índice de estado trófico Carlson 1977 modificado por Lamparelli 2004

Este índice fue una modificación de Lamparelli para Regiones tropicales, en la Tabla 24 se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las ecuaciones Ecuación 18, Ecuación 19, Ecuación 20 y Ecuación 21 los cuales fueron contrastados con la Tabla 11 Clasificación de estado trófico propuesto por Lamparelli (2004). El criterio TSI para el periodo de baja precipitación presenta con categorías de Hipereutrófia adicionalmente se encuentra los mayores valores para el IET del fosforo total del contraste climático, ahora, con el aumento de las precipitaciones disminuye sus valores criterio de TSI y IET de fosforo indicando una Supereutrófia.

Tabla 24 Resultados de los Índices de Estado Trófico de Carlson 1977 modificado por Lamparelli 2004

	Fecha	IET Ptol	IET Chl-a	IET Ds	Criterio TSI	Categoría trófica
Época seca	15/07/2019	38.051	48.390	65.423	75.93	Hipereutrófico
	13/08/2019	36.288	47.855	64.247	74.19	Hipereutrófico
	10/09/2019	22.524	48.628	63.554	67.35	Hipereutrófico
Época de lluvia	8/10/2019	23.652	48.915	59.296	65.93	Supereutrófico
	12/11/2019	25.796	48.762	59.114	66.84	Supereutrófico
	10/12/2019	29.065	48.497	61.574	69.57	Supereutrófico

Fuente: Autora

Teniendo en cuenta la Tabla 12 Valores límite de la OCDE, 1982 para la clasificación trófica, se realiza la comparación de los datos de la Tabla 25 de acuerdo a los promedio de los muestreos mensuales a partir de la Tabla 22, se puede decir que el sistema es hipereutrófico para fosfatos y eutrófico para la clorofila y transparencia Secchi.

Tabla 25 Valores promedio de las variables medidas mensualmente en el cuerpo de agua #1 del Humedal

Jaime Duque

Variables	Promedio	Categoría trófica
-----------	----------	-------------------

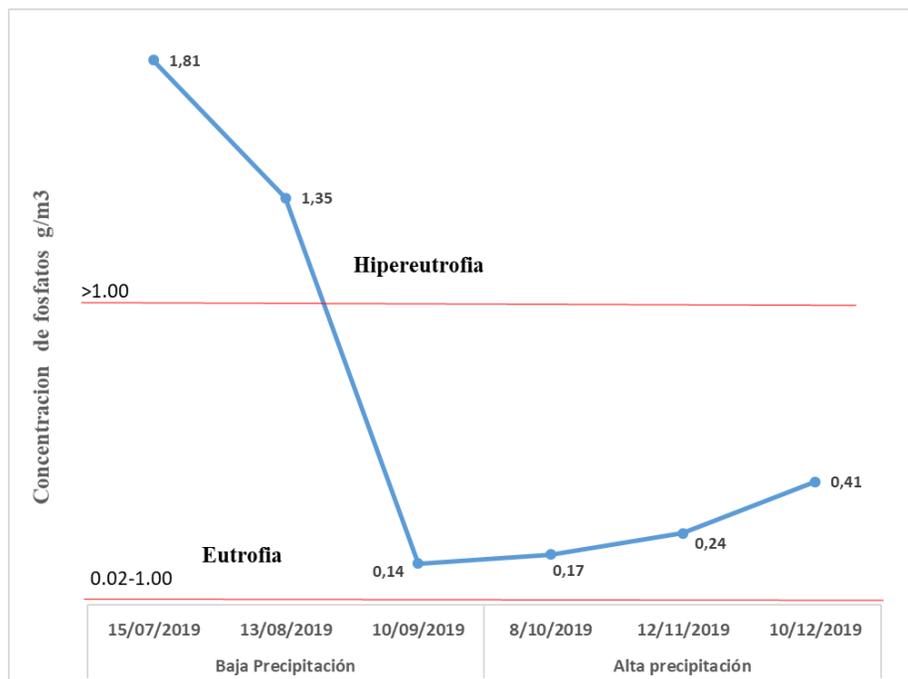
Fosfatos ($\mu\text{g/L}$)	686	Hipereutrífico
Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)	45,764	Eutrífico
Transparencia Secchi	0,871	Eutrífico

Fuente: Autora

6.3.1 ICOTRO

Se realiza la comparación de las concentraciones de fosfatos (Tabla 22) con clasificación de la contaminación trófica (Tabla 13) en la cual se observa que el cuerpo de agua del Humedal Jaime Duque N°1 presenta categorías de Hipereutrífico en los meses de julio y agosto, correspondiente a la temporada de baja precipitación, pasando a un estado de eutrofia en el mes de septiembre el cual se mantiene durante la temporada de lluvia, como se muestra en la Grafica 14.

Grafica 14 Clasificación de la contaminación trófica ICOTRO de acuerdo con la concentración de Fosfatos en g/m^3 medidos en el cuerpo de agua #1 de Humedal Jaime Duque



Fuente: Autora

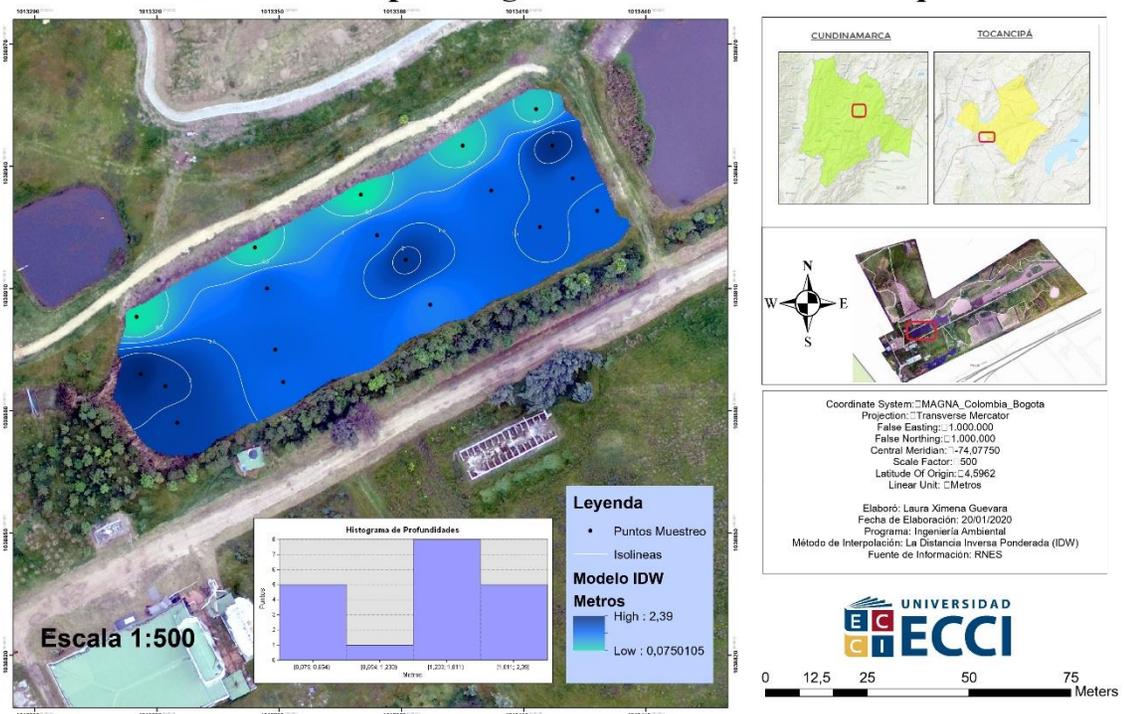
Partiendo del marco conceptual, la transparencia y la presencia de nutrientes como los fosfatos son sinónimos del estado trófico del cuerpo de agua. La disponibilidad de fosfatos en el agua acelera el metabolismo de macrofitas y algas fitoplanctónicas, eutrofizando el agua y reduciendo la transparencia; esto implica que el paso de poca luz afecte los procesos fotosintéticos en la asimilación de nutrientes. El Humedal Jaime Duque N°1 de acuerdo con los resultados de los índices de Carlson 1977 modificado por Toledo 1983, en las mediciones de las variables críticas, transparencia, clorofila-a y P nutriente (limitante), presentan una clasificación Hipereutrófico en época seca y Eutróficas en época de lluvia, así mismo el índice de Carlson 1977 modificado por Lamperelli, 2004 muestra esta misma tendencia de Hipereutrófia en época seca a Supereutrófia en época de lluvia, en cuanto a comparación con la clasificación de la OCDE, el sistema en general también tiene a ser Eutrófico e Hipereutrófico, ahora al emplear el otro índice de estudio, ICOTRO, el cual se basa en las concentraciones de fosfatos, se obtuvo categorías de Hipertrofia y eutrofia como se indicó anteriormente.

7. BATIMETRÍA-METODOLOGIA IDW

Teniendo en cuenta la información que se tomó con la mira topográfica en el cuerpo de agua con respecto a los 19 puntos se toman las profundidades y con ayuda del con el programa ArcGIS se aplica la metodología IDW, la cual consiste en la interpolación de una superficie de ráster a partir de puntos, utilizando una técnica de distancia inversa ponderada como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 10 Batimetría cuerpo de agua #1 Humedal Jaime Duque

Batimetría Cuerpo de Agua #1- Humedal Jaime Duque



Fuente: Autora, ArcGIS 10.8

En la anterior ilustración, las isolíneas representan los puntos en que la función tiene un mismo valor constante, la profundidad presento valores máximos de 2.39m hacia la parte central. Las zonas poco profundas del cuerpo de agua están ubicadas en el costado norte con profundidades mínimas de 0.075m y en general presenta una media de 1.2m. En el histograma presentado en la ilustración se puede observar que los puntos de muestreo se clasificaron en 4 rangos de profundidad, el rango de 1.2m a 1.8m obtuvo mayor frecuencia en los puntos de muestreo.

De acuerdo con lo anterior el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque puede clasificarse como somero ya que su lámina de agua es inferior a 3 metros, lo cual le otorga un potencial para ser colonizado, a veces en su totalidad por plantas acuáticas (Moss 1998). Este tipo de sistemas acuáticos son vulnerables a la eutrofización debido a la fuerte interacción entre los sedimentos y la columna de agua (Oliver 2017). a diferencia de los cuerpos profundos y estratificados, la liberación de nutrientes desde los sedimentos afecta toda la columna de agua tiene mayor perturbación del viento, alta actividad fotosintética y los déficits de oxígeno disuelto en la interfase agua sedimento puede generar ambientes eutróficos.

8. PROPUESTA DE DISEÑO METODOLOGICO

De acuerdo con el objetivo N° 3 planteado para la investigación, a continuación, se presentan los esquemas de la propuesta metodológica aplicada en el cuerpo #1 del HJD, la cual estuvo basada en el libro *Prácticas de limnología, guías de laboratorio y campo*, Pinilla (2017). y clasificada en dos componentes: fisicoquímico y biológico, en cada uno de ellos se estudian parámetros con toma de muestras In-situ y Ex-situ, para ampliar los conceptos teóricos y los paso a paso en los procedimientos de laboratorio se sugiere remitirse al título **5. DISEÑO METODOLÓGICO** subtítulos **5.2** y **5.3**, adicionalmente en la en la Figura 10 se presenta el esquema para el análisis estadístico de resultados correspondiente a cada componente, para el desarrollo adecuado del esquema remitirse al numeral **5.5**, finalmente los índices aplicados para identificar la biodiversidad biológica y el estado eutrófico del cuerpo de agua se encuentran en los numerales **5.6** y **5.7**.

El objetivo principal de cualquier muestreo es recolectar muestras representativas del medio que se está investigando (Volke et al., 2015). En el **ANEXO 1 el Ecoparque Sabana** estableció el programa de monitoreo para los humedales presentes en la reserva, en él se determinó la cantidad de puntos de muestreo para los cuerpos de agua correspondientes al Humedal Jaime duque, este, tiene en cuenta variables de área y los intervalos de confianza y error, posteriormente a juicio de expertos se define la localización de las unidades muestrales teniendo en cuenta la variabilidad espacial y temporal; la variabilidad espacial identifica los hábitats presentes y la variabilidad temporal identifica la condiciones climáticas época seca y época lluvia, estos, pueden derivar importantes cambios en el ecosistema (Correa, 2017).

Recomendaciones del muestreo

- Selección de la variabilidad temporal del muestreo, los contrastes climáticos influyen notablemente en la composición y riqueza taxonómica de diferentes grupos biológicos.
- La cobertura del muestreo debe ser equidistante, cubriendo la zona litorales y limnetica del espejo de agua.
- Preferiblemente estandarizar el horario para las jornadas de campo, algunas de las variables fisicoquímicas como la temperatura, el pH y Oxígeno pueden ser afectadas por el momento el día en que se realice la medición adicionalmente.
- Las variables del componente fisicoquímico deben ser las primeras actividades de medición, con el fin de evitar alteraciones relacionadas con el componente biológico
- De acuerdo con el objetivo y el alcance de la investigación, se deben tomar una réplica dentro de cada hábitat para las muestras de población biológica.
- La periodicidad de los muestreos biológicos más recomendable es semanal o quincenal, teniendo en cuenta que los grupos algales poseen tiempos de renovación de horas, días y condiciones de luz y nutrientes, a fin de detectar episodios de floración de ciertas poblaciones (Pinilla & Guillot, 2017).

Etiquetado de muestras

Todas las muestras deben contar con una etiqueta o rotulo de identificación, con el fin de evitar errores en campo o laboratorio, a continuación, se muestra el prototipo de etiqueta utilizada en el muestreo del Humedal Jaime Duque N°1 con la información básica.

Ilustración 11 Formato de etiqueta o rotulo para las muestras de laboratorio

Humedal Jaime Duque	
Tipo de Muestra:	
Fecha:	Muestra N°:
Punto de Muestreo:	
Cuerpo de agua N°:	
Preservada con:	
Colector:	

Fuente: Autora

Como complemento en la recolección de datos se llevó una ficha de muestreo en el cual se capturaron datos *In-situ*, además de identificar las condiciones climáticas del lugar, coordenadas y observaciones relevantes de cada punto, se recomienda estandarizar la hora de muestreo.

Ilustración 12 Formato ficha de campo

Humedal Jaime Duque N°1	
Fecha:	Hora:
Temperatura:	Variabilidad temporal:
observaciones generales:	
Punto 1:	
CE:	DS:
OD:	pH
TDS:	Temp:
observaciones:	

Fuente: Autora

Transporte de muestras

Se recomienda que la colecta de muestras sea en botellas vidrio color ámbar de 500 ml, se deben transportar verticalmente y bajo refrigeración en cadena de custodia con el fin de conservar las propiedades y condiciones originales de la muestra.

Las muestras que requieren ser preservadas deben ser analizadas en laboratorio cumpliendo los tiempos establecidos por los métodos estándar relacionados en la Tabla 7.

Esquema de los componente fisicoquímicos y biológicos.

En el siguiente Figura 9 se representa la recolección y análisis de datos para los componentes fisicoquímicos y biológicos, teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores, se transportan las muestras a laboratorio, se recomienda seguir los protocolos del adaptados del IDEAM descritos en la metodología para muestras fisicoquímicas Ex -situ e In - situ, estos protocolos

están basados en los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de la American Public Health Association (APHA).

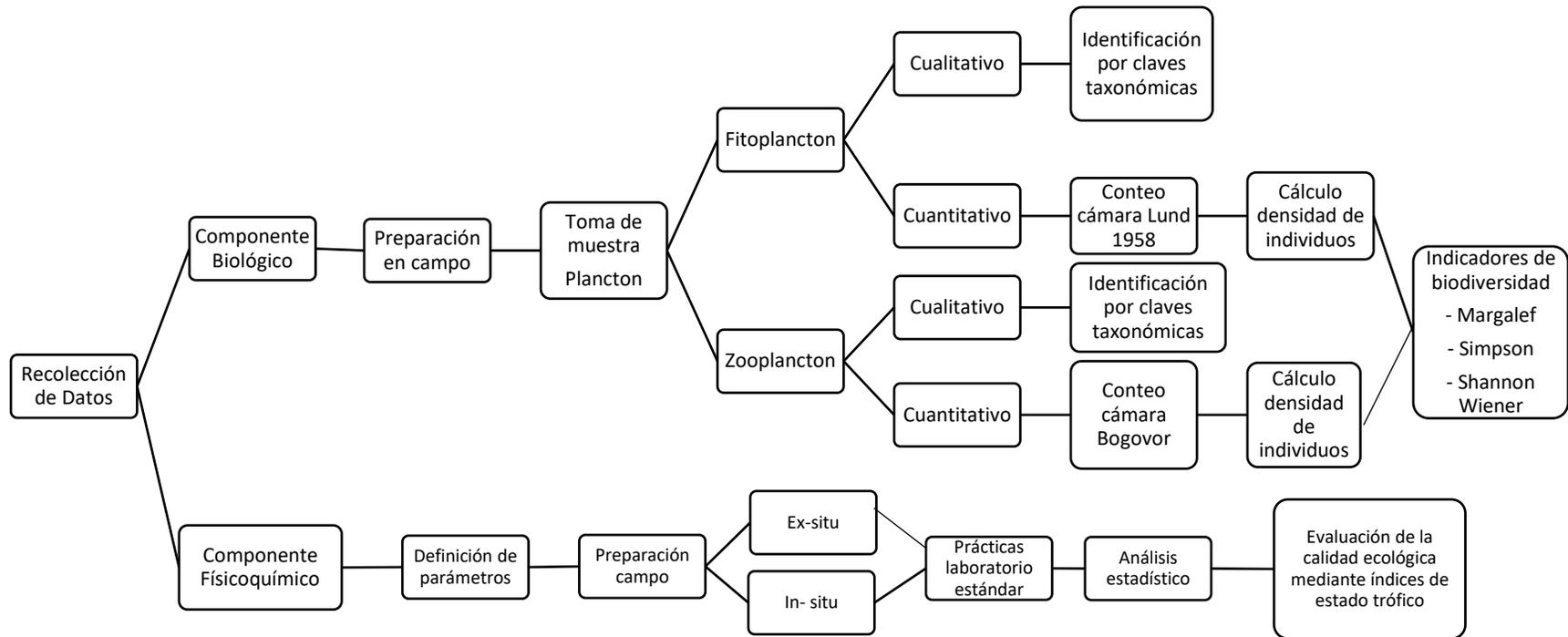
Por otra parte, los humedales albergan una gran variedad de microorganismos agrupados en comunidades, los cuales cumplen con funciones fundamentales como producción primaria y consumidores secundarios, en esta metodología de colecta de muestras fitoplanctónica y zooplanctónicas se siguieron los planteamientos basados en el libro *Prácticas de limnología, Guías de laboratorio y campo* (Pinilla, 2017), El muestreo con redes planctónicas permite, realizar en primer lugar estudios cualitativos e identificación, para estudios cuantitativos se requiere del volumen de agua filtrada (Pinilla, 2017).

Para la identificación de organismos fitoplanctónicos y zooplanctónicos se utilizaron claves taxonómicas apoyados en el registro de organismos del Atlas de los Microorganismos de agua dulce, la vida en una gota de agua (Streble & Krauter, 1987), como un primer acercamiento; para la cuantificación de individuos de se utilizaron cámaras abiertas (Bogorov) y de sedimentación (Utermöl) siguiendo el método de Lund et al. (1958).

Finalmente se aplicaron indicadores de biodiversidad relacionados con la riqueza específica y la estructura de la comunidad con el fin de identificar las dinámicas poblacionales.

Teniendo en cuenta las variables y los índices de los componentes descritos anteriormente, para evaluar la carga de nutrientes o el estado trófico en un cuerpo de agua se pueden utilizar diferentes indicadores biológicos y fisicoquímicos, para zonas tropicales se recomienda utilizar índice de Carlson (1977) modificado por Toledo (1983), Índice de estado trófico de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004) e ICOTRO.

Figura 9 Esquema componente fisicoquímico y biológico



Fuente: Autora

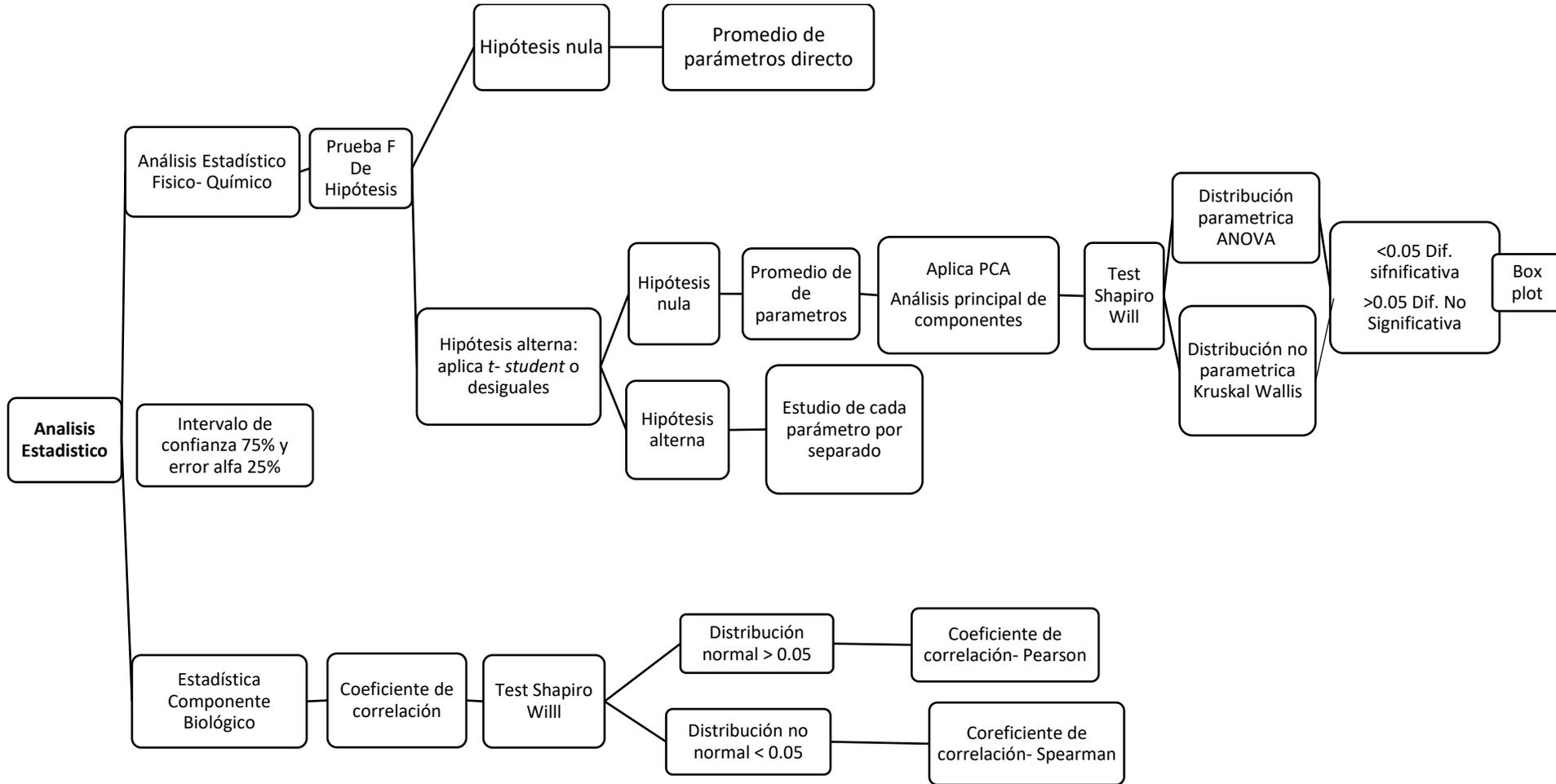
Esquema del análisis estadístico para los componentes fisicoquímico y biológico

Figura 10 se representa la metodología aplicada en el análisis estadístico para cada uno de los componentes, para los datos fisicoquímicos inicialmente se realiza la comparación de dos varianzas a través de la *prueba f*, seguido de esto y teniendo en cuenta los resultados se aplica la prueba *t-student* con el fin de suponer o no la igualdad de varianzas de las medias muestrales en las dos poblaciones, acorde a lo anterior se realiza una matriz de resumen donde se encuentran los promedios mensuales de las unidades de muestreo teniendo en cuenta el contraste climático.

Ahora, con el fin de identificar los parámetros más influyentes y reducir la dimensionalidad de los datos, se procesa la información por el Software Libre “PAST 3.0” donde se obtienen las gráficas del análisis principal por componentes (PCA), resaltando las variables más representativas del conjunto de datos, a estas, variables se aplica el test de Shapiro Will en el cual se identifica la distribución de los datos (paramétrica y no paramétrica), así mismo se aplican el test de ANOVA y Kruskal Wallis para comparar las medias de los datos en función de la variabilidad climática por medio de Cajas de bigotes o Box plot.

Para el componente biológico se aplica el coeficiente de correlación, este proceso identifica la distribución de los datos (paramétricos – no paramétricos) a través del test de Shapiro Will y dependiendo al resultado se selecciona el coeficiente adecuado para para el procesamiento de la información.

Figura 10 Esquema del análisis estadístico para los componentes fisicoquímico y biológico



Fuente: Autora

9. CONCLUSIONES

El Cuerpo de agua 1 del Humedal Jaime Duque presenta condiciones generales de eutrofia basados en los resultados de los índices de estado trófico aplicados y representados en los valores obtenidos de fosforo, transparencia y clorofila así mismo la comparación entre índices de estado ecológicos presentaron categorías similares desde mesotrofia hasta Hipereutrófia.

Las especies indicadoras de trofismo también tuvieron presencia en el cuerpo de agua como las Euglenophyta y Chlorophyta teniendo la mayor densidad de individuos por mililitro. Estas especies son muy abundantes en lagos con altos contenidos de materia orgánica y han sido utilizadas como indicadores de contaminación (Roldan, 1992). De acuerdo con (Reynolds, 2006) el pigmento fotosintético clorofila-a, también se usa ampliamente como un índice conveniente de la biomasa de fitoplancton. Esto hace que su contribución a la composición celular sea extremadamente importante para extrapolar a la abundancia de fitoplancton y su uso como base para estimar la productividad del fitoplancton

Los resultados obtenidos en la batimetría también afirman las condiciones del cuerpo de agua, siendo categorizado como somero con profundidades máximas de 2.93m, quedando expuesta a ser colonizado por plantas acuáticas flotantes cubriendo el espejo de agua y reduciendo las condiciones favorables de luz para los procesos de fotosíntesis de los microorganismos presentes.

La aplicación del modelo estadístico facilito la interpretación de datos por medio de la representación de PCA, se redujo la dimensionalidad de las variables e identifico las más representativas e influyentes en la determinación de la calidad de agua, las variables con mayor influencia y correlación fueron Conductividad Eléctrica, TDS, DQO y Clorofila-a.

10. RECOMENDACIONES

Tenido en cuenta los resultados obtenidos en la investigación se presentan algunas recomendaciones como complemento para la formulación de una línea base en el estudio de la caracterización de los Humedales Jaime Duque.

- Se recomienda aplicar la metodología propuesta en este proyecto de investigación para el estudio de los tres cuerpos de agua restantes que pertenecen al Humedal Jaime Duque

con el fin de complementar la valoración de la calidad fisicoquímica y biológica, además de ampliar la evaluación de parámetros como, Alcalinidad, turbidez, dióxido de carbono CO_2 , metales pesados y relación PPN.

- Realizar estudios para la identificación y caracterización de las especies macrófitas presentes en el cuerpo de agua ya que son uno de los componentes más importantes de los ecosistemas lacustres; responsables de la productividad primaria, de suministrar nichos para otros niveles tróficos, reciclar los nutrientes y estabilizar sedimentos con el fin de tener una mayor comprensión en el funcionamiento de este ecosistema.
- Teniendo en cuenta que el Humedal Jaime Duque este compuesto por 4 cuerpos de agua, se sugiere realizar un modelo hidrogeológico para identificar las condiciones básicas del estado hidroquímico y dinámica de las aguas subterráneas; sus relaciones con los cuerpos de agua superficial y los aportes atmosféricos.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Ardila, Arias Alba Nelly, Calle Juliana Reyes, Villaseñor Erasmo Arriola, and Hernández José Alfredo. 2012. "Remoción Fotocatalítica de Dqo, Dbo5 y Cot de Efluentes de La Industria Farmacéutica." 8(9):9-17.
- Barros, Jhon. 2020. "ESPECIAL: Miles de Aves Tienen Su Santuario En Mitad Del Río Bogotá." *Revista Semana*.
- Borja, Becerra Cesar., Antonio. Camacho, and Beltran Maximo Florin. 2012. "EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MILENIO DE ESPAÑA." Universidad de Sevilla.
- Cabezas, Ricardo José Monteros. 2011. "Relación Simbiótica (Azolla Caroliniana, A. Filiculoides, A. Mexicana)-Anabaena (Anabaena Azollae) Para La Producción de Nitrógeno En Ecosistemas Acuáticos de La Zona de Cayambe." *Tesis* 1-83.
- CAR. 2018. "Boletín Del Índice de Calidad de Agua En Corrientes Superficiales." (96):1-78.
- Chacón, Julieth Alexandra. 2017. "ANÁLISIS DEL IMPACTO ECOSISTÉMICO EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA MICROCUENCA LAME Y HUMEDAL UNIVERSIDAD DEL CAUCA, GENERADO EN EL PROCESO DE CONSTRUCCION DE LA CIUDELA LAS GUACAS, (MUNICIPIO DE POPAYAN, CAUCA)." Universidad de Manizales.
- Claros, Bedoya Javier Alfonso. 2012. "ESTUDIO DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN VÍA NITRITO PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE CORRIENTES DE AGUA RESIDUAL CON ALTA CARGA DE NITRÓGENO AMONACAL." Universidad Politecnica de Valencia.
- Conde, J., E. Ramos, and R. Morales. 2004. "El Zooplancton Como Integrante de La Estructura Trófica de Los Ecosistemas." *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente* 13(2):23-29.
- Corporacion Autonoma Regional. 2011. *Humedales Del Territorio CAR*.
- Correa, Francisco. 2017. "Diseño Muestreal y Métodos de Muestreo En Ríos , Lagunas y Humedales Para El Estudio de Bioindicadores de Calidad ..." *ResearchGate* 1(November 2016):9.

- DOCE. 2000. "Directiva 2000/60/CE. Norma Del Parlamento Europeo y Del Consejo de La Unión Europea. Por La Que Se Establece Un Marco Comunitario de Actuación En El Ámbito de La Política de Aguas." *Diario Oficial de Las Comunidades Europeas*, 327.
- Espejo, María Eliana. 2017. "DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA DEL HUMEDAL EL JUNCAL Y SU RECONOCIMIENTO COMO ECOSISTEMA ESTRATÉGICO DENTRO DE LA EDUCACIÓN BÁSICA PRIMARIA." Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Farhadian, Omidvar, and Mojtaba Pouladi. 2014. "Seasonal Changes in the Abundance and Biomass of Zooplankton from Shallow Mudflat River-Estuarine System in Persian Gulf." *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology* 18(2):19.
- Gardner, Royal C., and Max Finlayson. 2018. "Perspectiva Mundial Sobre Los Humedales." 86.
- Giraldo, Gloria. 1995. "Manual de Análisis de Aguas." *Universidad Nacional de Colombia* 166.
- González, Ana. 2018. "Determinación Estadística de La Influencia de Los Parámetros Del Control de Calidad Del Agua Potable de Los Municipios de Floridablanca, Girón y Bucaramanga." *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9):1689–99.
- Heno de uribe, A. 1987. "El Disco Secchi y El Estado Trófico." *Revista Ainsa* 12:67–79.
- Horner, Richard, Sarah Cooke, Lorin Reinelt, Kanneth Ludwa, and Nancy Chin. 2001. "Water Quality and Soils." *Wetlands and Urbanization: Implications for the Future*. 47–67.
- IDEAM. 2007a. *Demanda Química De Oxígeno Por Reflujo Cerrado Y Volumetria*.
- IDEAM. 2007b. *Determinación de Nitratos En Aguas Por Espectrofotometria UV*.
- IDEAM. 2007c. *Fósforo Total En Agua Por Digestion Acida, Método Del Acido Ascorbico*. Vol. 008.
- IDEAM. 2009. *Determinacion De Nitrito En Agua Por Espectrofotometria*.
- Junk, Wolfgang J., Shuqing An, C. M. Finlayson, Brij Gopal, Jan Květ, Stephen A. Mitchell, William J. Mitsch, and Richard D. Robarts. 2013. "Current State of Knowledge Regarding the World's Wetlands and Their Future under Global Climate Change: A Synthesis." *Aquatic Sciences* 75(1):151–67.

- Lagos, Ana M., Andrés Angulo, Anisbeth Daza, Daniela Toro, Jaime A. Gonzalez, Ma Victoria León, Mónica López, Oscar Naar, Paulín P. Polanco, Rosana Londoño, and Sigmer Quiroga. 2014. "INFOZOA, BOLETIN DE ZOOLOGIA."
- Lasso, C. A., F. de P. Gutiérrez, and D. Morales-B. 2014. *Humedales Interiores de Colombia: Identificación, Caracterización y Establecimiento de Límites Según Criterios Biológicos y Ecológicos*.
- Ledesma, Claudia, Matias Bonansea, Claudia Maria Rodriguez, and Angel Ramon Sánchez Delgado. 2013. "Determinación de Indicadores de Eutrofización En El Embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina)." *Revista Ciencia Agronomica* 44(3):419–25.
- Londoño, Adela, Gloria Giraldo, and Ádamo Gutiérrez. 2010. *Métodos Analíticos Para La Evaluación De La Calidad Fisicoquímica Del Agua*. Vol. 53.
- Luna, Pabello Víctor Manuel, and Castañeda Sergio Aburto. 2014. "Sistema de Humedales Artificiales Para El Control de La Eutrofización Del Lago Del Bosque de San Juan de Aragón." *TIP* 17(1):32–55.
- Marshall, D. W. 1991. *Biología de Las Algas. Enfoque Fisiológico*. edited by Limusa. México.
- Mitsch, W.J. & Gosselink, J. G. 2000. "Wetlands (Third Edition) by W.J. Mitsch and J.G. Gosselink. John Wiley & Sons, New York, 2000."
- Mora, González Ricardo Steven. 2017. "PROPUESTA DE VALORACIÓN ECOLÓGICA PARA EL COMPLEJO DE HUMEDALES EL TUNJO: BASADA EN CRITERIOS DE RESILIENCIA EN SISTEMAS ACUÁTICOS E INDICADORES DE ESTADO TRÓFICO (TROPIC STATE INDEX, TSI). EN LA VISIÓN DE UN VALOR TOTAL." UNIVERSIDAD ECCI.
- Moreno, Claudia E. 2001. *Métodos Para Medir La Biodiversidad*. Vol. 1. Programa I. Zaragoza, España.
- Moreno, Daniela, Jacqueline Quintero, and Armando Lopez. 2010. "Metodos Para Identificar , Diagnosticar y Evaluar El Grado de Eutrofia." *ContactoS* 78 25–33.
- Moreno, Natalia Reyes, and Lizeth Dayan Lopez Suares. 2021. "DETERMINACIÓN DEL ESTADO TROFICO Y DE CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL ARRIEROS -

PARQUE JAIME DUQUE, (TOCANCIPÁ, CUNDINAMARCA).” UNIVERSIDAD ECCI.

Moss, Brian. 1998. *Ecology of Fresh Water: Man and Medium, Past to Future*. 3rd ed. edited by Blackwell Science. Oxford.

Muñoz, Sandra Liliana Real, and Diana Carolina Carvajal Beltrán. 2010. “Perfil Ambiental de La Subcuenca Del Río Teusacá de La Cuenca Alta Del Rio Bogotá.” Universidad de la Salle.

Oliver, Nuria. 2017. *Estudio de Los Humedales Artificiales de Flujo Superficial Del Tancat de La Pipa Como Instrumentos Para La Restauración Ambiental Del Lago de l’Albufera de Valencia*.

Parada, Nelson Josue Fernandez, and Fredy Ortega Solano. 2007. *Capítulo III: Índices de Calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) Del Agua de Importancia Mundial*.

Parque Jaime Duque. 2017. “AUNAR ESFUERZOS PARA REALIZAR EL MANEJO INTEGRAL Y PARTICIPATIVO DE ECOPARQUE SABANA COMO ÁREA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE HUMEDAL, PROMOVRIENDO LA SOLIDARIDAD Y LA APROPIACIÓN TERRITORIAL DE LAS COMUNIDADES TOCANCIPENAS, A TRAVÉS DE PROCESOS Y ESTRATEGIAS.” *Ecoparque Sabana*.

Pinilla, G. 1998. “Indicadores Biológicos En Ecosistemas Acuáticos Continentales de Colombia: Compilación Bibliográfica.” (JANUARY 1998):67.

Pinilla, Gabriel Antonio. 2017. *Prácticas de Limnología: Guías de Laboratorio y Campo*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Pinilla, Gabriel Antonio, and Gabriel Hernando Guillot. 2017. *Estudios Ecológicos En Humedales de Bogotá : Aplicaciones Para Su Evaluación, Seguimiento y Manejo / Gabriel Hernando Guillot Monroy, Gabriel Antonio Pinilla Agudelo (Editores)*.

Pulido, Lopez Paulo Cesar. 2015. “EL FITOPLANCTON EN LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DEL HUMEDAL EL SALITRE (BOGOTÁ D.C., COLOMBIA) EN ÉPOCAS CLIMÁTICAS CONTRASTANTES.” UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO.

- Ramírez, P., R. Restrepo, and M. Cardeñoso. 1999. "Índices De Contaminación Para Caracterización De Aguas." *Ciencia, Tecnología y Futuroecnología y Futuro* 1(5):11.
- Ramsar. 2001a. "Valores y Funciones de Los Humedales- Control de Inundaciones." 1–12.
- Ramsar. 2001b. "Valores y Funciones de Los Humedales- Recreacion y Turismo." 1–12.
- Ramsar. 2001c. "Valores y Funciones de Los Humedales- Reservorio de Biodiversidad." *Ramsar* 1–12.
- Ramsar. 2001d. "Valores y Funciones de Los Humedales- Retención y 'Exportación' de Sedimentos y Nutrientes." 1–12.
- Ramsar. 2001e. "Valores y Funciones de Los Humedales- Valor Cultural." 1–12.
- Ramsar. 2001f. "Valores y Funciones de Los Humedales-Depuración de Aguas." *Ramsar* 1–12.
- Ramsar. 2001g. "Valores y Funciones de Los Humedales - Reposición de Aguas Subterráneas." 1–12.
- Ramsar. 2006. "Valores y Funciones de Los Humedales-Productos de Los Humedales."
- Ramsar, Secretaría de la Convención de. 2006. "Manual de La Convención De." *Secretaría de La Convención de Ramsar, Gland (Suiza)*. 4a. ed.:124.
- Red de Información Ambiental de Andalucía. 2013. *Atlas de Microorganismos Planctónicos Presentes En Los Humedales Andaluces*.
- Reynolds, Collin. 2006. *The Ecology of Phytoplankton*. New York: Cambridge University Press.
- Rodriguez, Laura Garzon, and Gabriel Antonio Pinilla. 2017. "El Fitoplancton y El Grado de Trofismo de Los Humedales Santa Maria Del Lago y Juan Amarillo y Del Embalse San Rafael." Universidad Militar, Bogotá, Colombia.
- Roldan, Gabriel. 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Roldán, Gabriel. 2009. "Desarrollo de La Limnología En Colombia: Cuatro Decadas de Avances Progresivos." *Actualidades Biologicas* 31(91):227–37.
- Roldán, Gabriel, and John Jairo Ramírez. 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Vol. 2.

- Roy-García, Ivonne, Rodolfo Rivas-Ruiz, Marcela Pérez-Rodríguez, and Lino Palacios-Cruz. 2019. "Correlation: Not All Correlation Entails Causality." *Revista Alergia Mexico* 66(3):354–60.
- Samanez, I., V. Rimarachín, C. Palma, and J. Arana. 2014. *Métodos de Colecta, Identificación y Análisis de Comunidades Biológicas: Plancton, Perifiton, Bentos (Macroinvertebrados) y Necton (Peces) En Aguas Continentales Del Perú* Universidad. Vol. 49. Lima:
- Sanabria, Otoniel. 2013. "Humedar I: Alternativa Innovadora De Bajo Costo Para Depurar Aguas Residuales En Paises En Via De Desarrollo." *Revista Ambiental Agua, Aire Y Suelo* 84–91.
- Sarmiento, Morles Matilde. 2017. "MICROALGAS COMO INDICADORES BIOLÓGICOS DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS CIÉNAGAS DE MALAMBO Y SANTO TOMÁS, EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO." UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO.
- Senhadji, Karim, Mauricio Andrés Ruiz, and Juan Pablo Rodríguez. 2017. "Ecological Status of Some Colombian Wetlands in the Last 15 Years: A Prospective Evaluation." *Colombia Forestal* 20(2):181–91.
- Sevillano, F. ..., P. ... Subramaniam, and Claudino. Rodríguez. 1986. "La Asociación Simbiótica Fijadora de Nitrógeno Atmosférico Azolla-Anabaena." *Centro de Edafología y Biología Aplicada Del CSIC* 11:P. 233-252.
- Sierra, Carlos Alberto. 2011. *Calidad Del Agua. Evaluación y Diagnóstico*. Vol. 53.
- Streble, Heinz., and D. Krauter. 1987. "Atlas de Los Microorganismos de Agua Dulce" edited by Omega. 367.
- Vidal-Abarca, María Rosario. 2011. "Lección 9. La Materia Orgánica y Su Procesado En Los Ecosistemas de Aguas Continentales." P. 23 in.
- Villareal H., M., F. Álvarez, S. Córdova, G. Escobar, H. Fagua, F. Gast, M. Mendoza, and Umaña. M. 2004. "Métodos Para El Análisis de Datos: Una Aplicación Para Resultados Provenientes de Caracterizaciones de Biodiversidad." *Manual de Métodos Para El Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt* 188–225.

Volke, Sepulveda Tania., Trejo Juan. Velasco, and Perez david De la Rosa. 2015. *Suelos Contaminados Por Metales y Metaloides: Muestreo y Alternativas Para Su Remediación*.
Ilustrada. edited by I. N. de Ecología.

Wetzel, R. G. 1981. *Limnología*. Barcelona.

ANEXO 1 DETERMINACIÓN INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LOS PUNTOS DE MUESTREO DEL HUMEDAL JAIME DUQUE, CUERPO DE AGUA 1

Con el fin de optimizar los puntos de muestreo con respecto al área del cuerpo #1 del HJD se determinan los intervalos de confianza, los valores de p y q corresponden a la probabilidad de éxito y probabilidad de error como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 26 Variables para la determinación de puntos de muestreo

Variables		
t (área)	0.8	Ha
Error	25	%
Confianza	75	%
p	0,5	
q	0,5	
e (ERROR/100)	0,25	

Fuente: Reserva Natural Ecoparque Sabana

$$\text{Número de muestras} = \frac{p \times q \times t^2}{e^2}$$

Ecuación 22

Reemplazando

$$\text{Número de muestras} = \frac{0.5 \times 0.5 \times 0.66^2}{0.25^2}$$

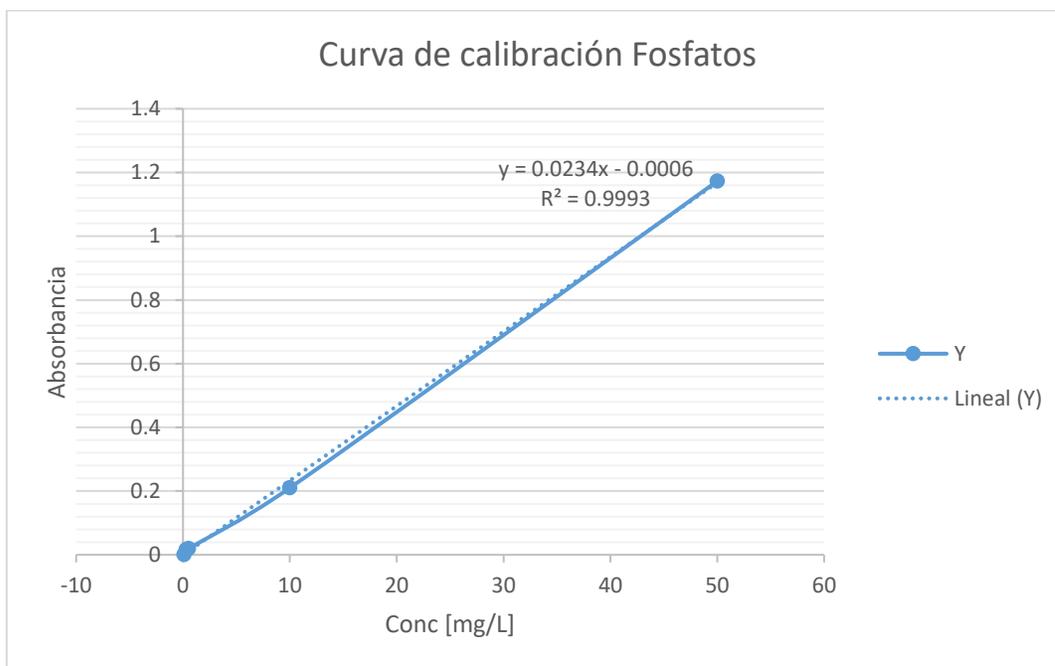
$$\text{Número de muestras} = \frac{0.1089}{0.0625}$$

$$\text{Número de muestras} = 2$$

De acuerdo con los cálculos anteriores, la Reserva Ecoparque Sabana establece que como mínimo debe contar con 2 puntos de muestreo para el cuerpo de agua #1 del HJD, cabe resaltar que si se modifica los intervalos de confianza y error alfa interfiere con el número de puntos de muestreo.

ANEXO 2 CURVAS DE CALIBRACIÓN PARA VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS

Grafica 15 Curva de calibración Fosfatos ($\text{mg PO}_4^{3-} / \text{L}$)



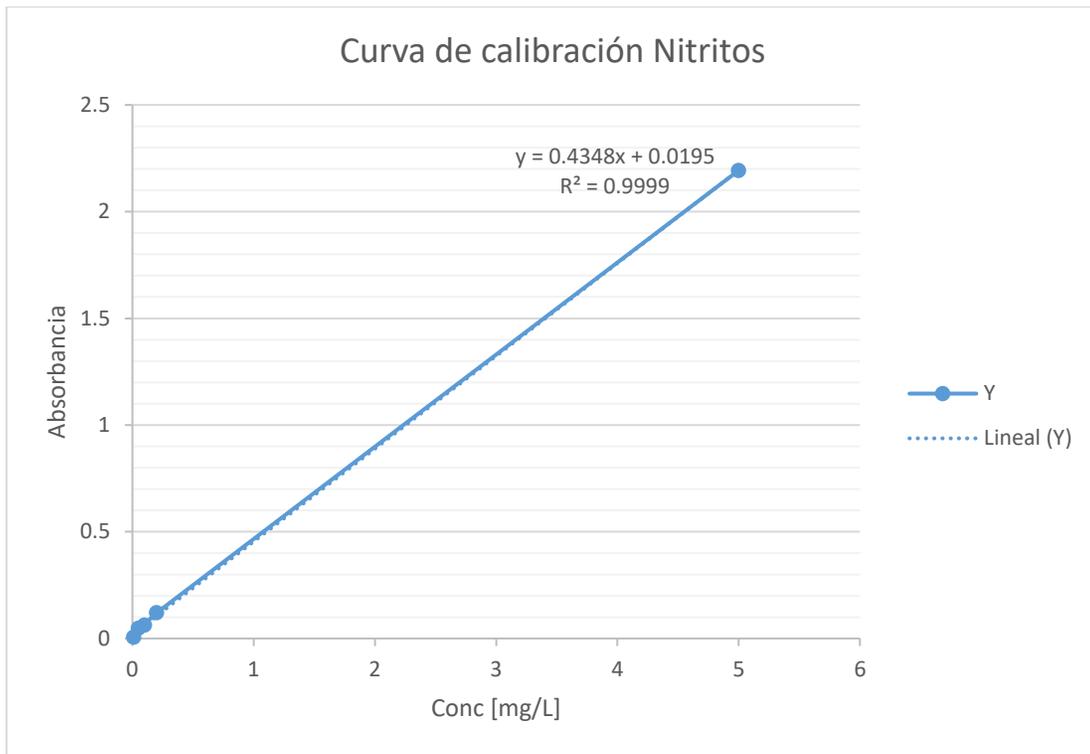
Fuente: Autora

Tabla 27 Soluciones patrón y absorbancias para análisis de fosfatos por espectrofotometría.

Patrón	Concentración de fosfato mg/L	Absorbancias
1	0,1	0,001
2	0,3	0,017
3	0,5	0,02
4	10	0,21
5	50	1,173

Fuente: Autora

Gráfica 16 Curva de calibración Nitritos



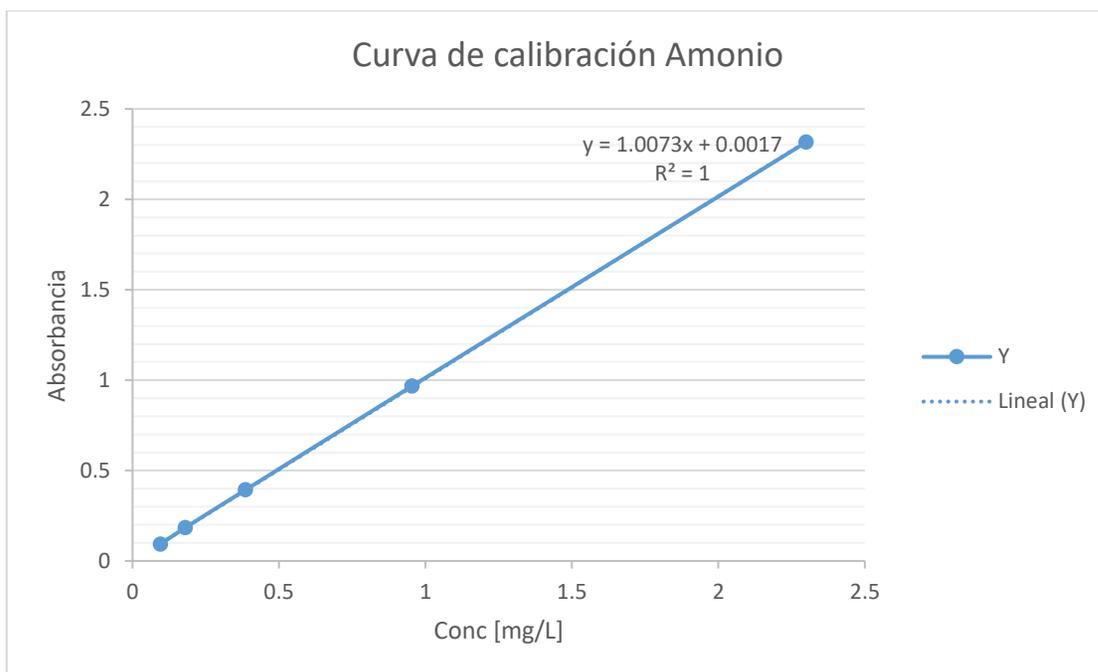
Fuente: Autora

Tabla 28 Soluciones patrón y absorbancias para análisis de Nitritos por espectrofotometría.

Patrón	Concentración de Nitritos mg/L	Absorbancias
1	0.010	0.0006
2	0.05	0.047
3	0.10	0.062
4	0.2	0.12
5	5	2.193

Fuente: Autora

Gráfica 17 Curva de calibración Nitrógeno amoniacal



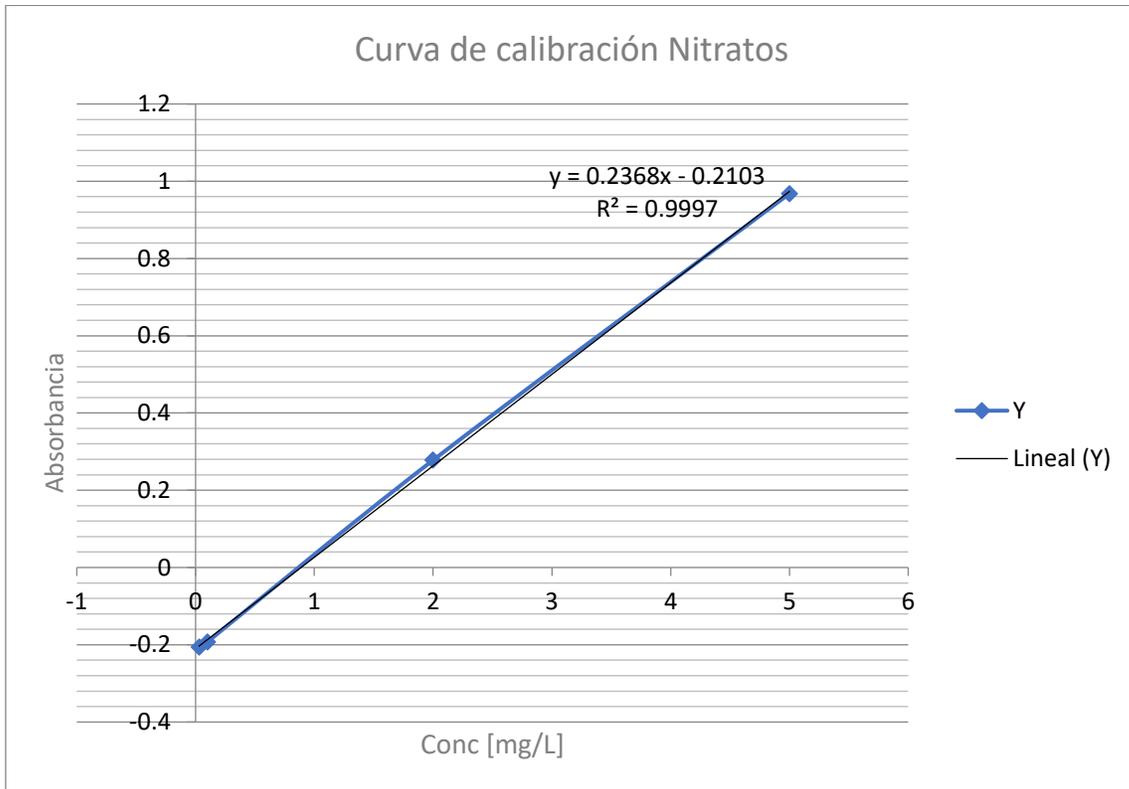
Fuente: Autora

Tabla 29 Soluciones patrón y absorbancias para análisis de nitrógeno amoniacal

Patrón	Concentración de Nitratos mg/L	Absorbancias
1	0.095	0.0919
2	0.18	0.184
3	0.386	0.393
4	0.954	0.9666
5	2.3	2.3165

Fuente: Autora

Gráfica 18 Curva de calibración Nitratos



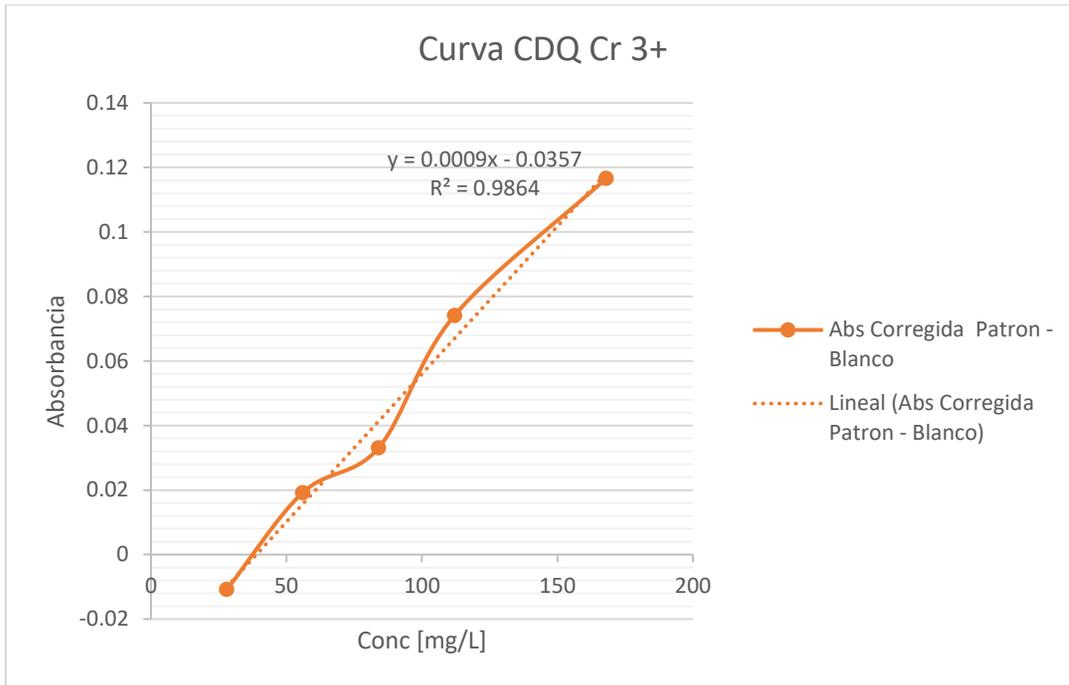
Fuente: Autora

Tabla 30 Soluciones patrón y absorbancias para análisis de Nitratos por espectrofotometría.

Patrón	Concentración de Nitratos mg/L	Absorbancias
1		
2	0.03	-0.262
3	0.10	-0.1925
4	2.00	0.2780
5	5.00	0.9679

Fuente: Autora

Gráfica 19 Curva de calibración DQO



Fuente: Autora

Tabla 31 Soluciones patrón para análisis de DQO

Patrón	Concentración de DQO mg/L	Absorbancias	Absorbancias Corregida
1	Blanco	0.0956	Patrón-blanco
2	28	0.0848	-0.0108
3	56	0.1148	0.0192
4	84	0.1287	0.0331
5	112	0.1697	0.0741
6	168	0.2122	0.1166

Fuente: Autora

ANEXO 3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A continuación, se presentan los resultados de 11 parámetros fisicoquímicos medidos en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque, correspondientes a los muestreos realizados en el año 2019 a partir del mes de julio hasta el mes de diciembre, comprendiendo el contraste climático de temporadas de baja y alta precipitación con sus respectivas muestras.

Tabla 32 Resultados Variables Fisicoquímicas réplica 1 medidos en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque

Punto	Fecha	Fosfatos mg/L	Nitritos mg/L	Nitratos mg/L	Amonio mg/L	Clorofila	pH	Conduc μ S/cm	Tem. °c	TDS mg/L	OD %	OD mg/L	Disco Secchi	DQO	DBO5
P1	15/07/2019	0,667	–	0,888	0,013	25,127	7,6	275	16,95	137	7,5	0,96	0,915	15	4,17
P2	15/07/2019	4,302	–	0,888	0,028	48,216	7,3	278	17,00	139	46,2	4,34	0,33	15	3,82
P3	15/07/2019	0,453	–	0,888	0,058	15,619	7,3	279	17,53	287	42,3	3,98	0,815	15	4,10
P1	13/08/2019	2,591	–	0,899	0,018	10,866	7,3	275	16,72	138	0,2	0,01	0,89	103,3	4,62
P2	13/08/2019	0,881	–	0,909	0,028	11,545	7,1	176	16,6	138	2,8	1,63	0,48	69,48	5,01

P3	13/08/2019	0,581	–	0,926	0,064	7,470	7,6	277	16,9	139	26,1	1,85	0,865	54,21	4,24
P1	10/09/2019	0,111	–	0,930	0,067	77,418	4,6	230	20,6	89,6	29	2,5	0,785	70,57	3,80
P2	10/09/2019	0,154	–	0,951	0,068	32,597	5,0	225	16,8	88	86	3	0,725	66,21	4,30
P3	10/09/2019	0,154	–	0,939	0,036	34,634	6,2	225	16,4	87	39	3,1	0,835	57,48	3,80
P1	8/10/2019	0,196	–	0,888	0,063	38,030	6,7	200	16,65	100	31,3	2,26	0,885	81,48	3,12
P2	8/10/2019	0,111	–	0,934	0,068	196,261	7,0	199	16,72	100	43,9	3,09	1,04	106,57	3,07
P3	8/10/2019	0,196	–	0,922	0,033	25,127	6,5	199	16,5	99	47	3,37	1,225	94,57	3,86
P1	12/11/2019	0,239	–	0,905	0,061	82,172	6,7	170	17,58	85	36,8	2,4	0,875	82,57	3,73
P2	12/11/2019	0,154	–	0,896	0,063	23,090	7,2	170	18,6	85	37,1	2,49	1,04	107,67	3,17

P3	12/11/2019	0,325	-	0,913	0,038	84,888	7,3	172	17,2	86	37,4	2,65	1,275	96,76	3,34
P1	10/12/2019	0,496	-	0,926	0,053	50,933	6,1	161	18,5	80	36,5	2,6	0,865	45,48	2,97
P2	10/12/2019	0,068	-	0,951	0,051	25,806	7,0	160	18,2	83	24,5	2,7	0,785	42,21	2,28
P3	10/12/2019	0,667	-	0,888	0,035	33,955	7,5	161	18	85	24,4	2,84	1,04	42,21	2,47

Fuente: Autora

Tabla 33 Resultados Variables Físicoquímicas réplica 2 medidos en el cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque

Punto	Fecha	Fosfatos mg/L	Nitritos mg/L	Nitritos mg/L	Amonio mg/L	pH	Conduc. μS/cm	Tem. °c	TDS mg/L	OD %	OD mg/L	DQO	DBO
P1	15/07/2019	0,068	-	0,988	0,018	7,3	280	16,82	140	3,3	0,34	21	3,6
P2	15/07/2019	6,868	-	0,899	0,023	7,1	278	16,75	139,00	2,4	0,22	15	3,63
P3	15/07/2019	0,325	-	0,989	0,063	7,0	283	16,94	142	25,8	2,52	15	3,85
P1	13/08/2019	1,736	-	0,899	0,025	7,1	277	16,43	138	7,6	0,5	60,756	3,7

P2	13/08/2019	0,624	-	0,808	0,028	6,9	276	16,3	138	15,3	1,1	56,392	3,53
P3	13/08/2019	2,164	-	0,826	0,058	6,4	196	16,6	138	22,3	1,59	50,938	4,4
P1	10/09/2019	0,196	-	0,932	0,054	4,7	236	20,8	73,4	30	2,5	60,756	3,8
P2	10/09/2019	0,111	-	0,951	0,076	5,0	220	16,3	81,7	3	0,4	58,574	4,4
P3	10/09/2019	0,154	-	0,939	0,042	6,1	220	16,1	19,3	36	2,8	50,938	3,7
P1	8/10/2019	0,154	-	0,888	0,058	5,8	206	15,91	103	0	0	64,029	3,37
P2	8/10/2019	0,325	-	0,834	0,073	6,9	200	16,3	100	40	3,04	69,483	3,36
P3	8/10/2019	0,154	-	0,922	0,038	5,9	206	16,26	103	2,3	0,15	84,756	3,88
P1	12/11/2019	0,196	-	0,805	0,050	5,7	270	17,08	95	35,8	2,5	66,21	3,28
P2	12/11/2019	0,111	-	0,886	0,064	6,2	170	18,6	85	36,1	2,69	71,665	3,27
P3	12/11/2019	0,196	-	0,993	0,036	6,3	192	16,2	96	30,4	2,55	86,938	3,44
P1	10/12/2019	0,496	-	0,826	0,056	7,1	201	17,5	80	33,5	2,7	50,938	2,31
P2	10/12/2019	0,239	-	0,921	0,058	6,0	192	18,2	93	25,5	2,6	41,119	2,28
P3	10/12/2019	0,282	-	0,888	0,038	7,1	261	16,1	85	24,4	2,94	42,21	2,36

Fuente: Autora

Prueba F

Los resultados de la prueba f se muestran en la Tabla 34 en ella se realizó la comparación entre los 3 puntos de muestreo para cada uno de los parámetros evaluados; el contraste de Hipótesis se basa en la Ecuación 8, donde sí el valor de $f > V$. Crítico se acepta la Hipótesis Nula y las varianzas son cercanas, sí, el V . crítico $< f$ se acepta la Hipótesis Alterna donde las varianzas son desiguales.

Tabla 34 Resultados prueba estadística f -Fisher

Prueba F parámetros	Punto 1-Punto2		Punto 1- Punto 3		Punto 2- Punto 3		P1-P2	P1-P3	P2-P3
	f	V. Critico	f	V. Critico	f	V. Critico			
Fosfatos	9.50235479	6.38823291	21.0173611	6.38823291	2.21180556	6.38823291	ALTERNA	ALTERNA	NULA
Nitratos	0.43765432	0.1980069	0.78234483	0.1980069	1.78758621	5.05032906	ALTERNA	ALTERNA	NULA
Aminio	1.6161985	5.05032906	3.20360059	5.05032906	1.98218263	5.05032906	NULA	NULA	NULA
Nitrogeno total	0.78819005	0.1980069	2.49155804	5.05032906	2.49155804	5.05032906	ALTERNA	NULA	NULA
Clorofila	0.1666355	0.1980069	1.08943039	5.05032906	6.53780485	5.05032906	NULA	NULA	ALTERNA
pH	1.44244874	5.05032906	3.51734423	5.05032906	2.43845353	5.05032906	NULA	NULA	NULA
Conductividad	1.28051899	5.05032906	0.96490101	0.1980069	0.75352339	0.1980069	NULA	ALTERNA	ALTERNA
Temperatura	3.16133552	5.05032906	6.11542963	5.05032906	1.93444498	5.05032906	NULA	ALTERNA	NULA
TDS	0.98798005	0.1980069	0.10794245	0.1980069	0.1092557	0.1980069	ALTERNA	NULA	NULA
OD	0.00147562	0.1980069	2.18260035	5.05032906	1.53155939	5.05032906	NULA	NULA	NULA
Transparencia Secchi	0.02375205	0.1980069	0.04792191	0.1980069	2.01759082	5.05032906	NULA	NULA	NULA
DQO	0.75645211	0.1980069	1.00406344	5.05032906	1.32733246	5.05032906	ALTERNA	NULA	NULA
DBO5	0.40980859	0.1980069	0.92197115	0.1980069	2.24976042	5.05032906	ALTERNA	ALTERNA	NULA

Prueba t de Student para varianzas desiguales

Teniendo en cuenta que las varianzas presentaron desigualdades se aplicó la herramienta t- student para varianzas desiguales, el valor de alfa calculado corresponde a 0.05 y fue determinado por Excel, en los resultados de la Tabla 35 se evidencia que la Hipótesis Nula es aceptada teniendo en cuenta que el valor de p fue mayor al valor alfa., esto, indico que las medias no tienen varianzas significativas.

Tabla 35 Resultados prueba estadística t-student

ALFA (P)				P1-P2	P1-P3	P2-P3
0.05	Punto 1-Punto2	Punto 1- Punto 3	Punto 2- Punto 3			
Fosfatos mg/L	0.7784031	0.45209758	0.46129176	NULA	NULA	NULA
Nitratos mg/L	0.27574521	0.57169173	0.57169173	NULA	NULA	NULA
Amonio mg/L	0.68807747	0.57169173	0.47764467	NULA	NULA	NULA
Clorofila	0.78207391	0.41041759	0.48640487	NULA	NULA	NULA
pH	0.65513763	0.30446434	0.53080238	NULA	NULA	NULA
Conductividad μS/cm	0.54298184	0.99110099	0.53936284	NULA	NULA	NULA
Temperatura	0.49198949	0.30305802	0.60347748	NULA	NULA	NULA
TDS mg/L	0.97080578	0.4818467	0.49145124	NULA	NULA	NULA
OD %	0.23780961	0.12982218	0.74399029	NULA	NULA	NULA
Transparencia Secchi	0.3067903	0.16061357	0.08825205	NULA	NULA	NULA
DQO	0.94221393	0.73305549	0.6976597	NULA	NULA	NULA
DBO5	0.7943346	0.79089333	0.95667938	NULA	NULA	NULA

Intervalos de confianza

En la Tabla 36 se presentan los resultados obtenidos de los intervalos de confianza; los valores fueron tomados de la Tabla 32 y procesados por medio de la T de Student para determinar la distribución de probabilidad. Con un intervalo de confianza del 75% y un error alfa del 25%. Adicionalmente se calcula el error estándar de la media EEM, el límite inferior de confianza LCI y el límite superior de confianza LSC.

Tabla 36 Intervalos de confianza variables fisicoquímicas replica 1

	Fosfatos mg/l	Nitritos mg/l	Amonio mg/l	Clorofila	pH	Conduc. μS/cm	Tem. ° c	TDS mg/l	OD %	OD mg/l	Disco Secchi	DQO	DBO5	
Media Muestral	0,69	0,91	0,05	45,76	6,7717	212,9	17,41	113,6	33,2	2,54278	0,87	64,77	3,66	
S ponderada	1,07	0,02	0,02	44,43	0,8528	46,3	1,054	49,0	19,3	1,00776	0,23	31,27	0,72	
n	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Error alfa	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3	0,25	0,3	0,3	0,25	0,25	0,25	0,25	
t	1,19	1,19	1,19	1,19	1,1937	1,2	1,194	1,2	1,2	1,19369	1,19	1,19	1,19	
EEM	0,26	0,01	0,00	10,78	0,2068	11,2	0,256	11,9	4,7	0,24442	0,05	7,58	0,17	
IC (75%)	LIC	0,38	0,91	0,04	32,90	6,5248	199,5	17,11	99,4	27,6	2,25102	0,81	55,71	3,45
	LSC	1,00	0,92	0,05	58,63	7,0186	226,3	17,72	127,8	38,8	2,83454	0,94	73,82	3,87

Fuente: Autora

Tabla 37 Intervalos de confianza variables fisicoquímicas replica 2

	Fosfatos mg/l	Nitrito s mg/l	Amini o mg/l	DQO	DBO5	TDS mg/l	OD %	OD mg/l	pH	Conduc.µS/c m	Tem.° c	
Media Muestral	0,800	0,900	0,048	53,706	3,453	102,74	20,76	1,73	6,36	231,33	16,96	
S ponderada	1,619	0,061	0,017	20,882	0,613	32,17	14,14	1,16	0,75	38,53	1,21	
n	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Error alfa	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
t	1,194	1,194	1,194	1,194	1,194	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	
EEM	0,393	0,015	0,004	5,065	0,149	7,80	3,43	0,28	0,18	9,35	0,29	
IC (75%)	LIC	0,331	0,882	0,043	47,660	3,276	93,43	16,67	1,39	6,14	220,18	16,61
	LSC	1,269	0,917	0,053	59,751	3,631	112,06	24,86	2,07	6,58	242,49	17,30

Fuente: Autora

Desviación estándar

A continuación, se presenta la desviación estándar de las variables fisicoquímicas medidas en el cuerpo de agua # 1 del Humedal Jaime Duque, los valores fueron tomados de la Tabla 32.

Tabla 38 Desviación estándar variables fisicoquímicas replica 1

Fecha	Fosfatos mg/l	Nitratos mg/l	Amonio mg/l	Clorofila	pH	Conductividad μS/cm	Tem. °c	TDS mg/l	OD %	OD mg/l	Disco Secchi	DQO	DBO5
15/07/2019	1,766	0,000	0,019	13,687	0,146	1,700	0,262	70,244	17,397	1,516	0,255	0,000	0,151
13/08/2019	0,885	0,011	0,020	1,782	0,205	47,148	0,123	0,471	11,645	0,820	0,188	20,513	0,314
10/09/2019	0,020	0,009	0,015	20,665	0,687	2,357	1,893	1,071	24,851	0,262	0,045	5,443	0,236
8/10/2019	0,040	0,020	0,015	77,811	0,225	0,471	0,092	0,471	6,789	0,471	0,139	10,247	0,361
12/11/2019	0,070	0,007	0,011	28,513	0,242	0,943	0,591	0,471	0,245	0,103	0,164	10,273	0,234
10/12/2019	0,252	0,026	0,008	10,467	0,585	0,471	0,205	2,055	5,681	0,098	0,106	1,543	0,291

Fuente: Autora

Tabla 39 Desviación estándar variables fisicoquímicas réplica

Fecha	Fosfatos mg/l	Nitratos mg/l	Amonio mg/l	pH	Conductividad μS/cm	Tem. °c	TDS mg/l	OD %	OD mg/l	DQO	DBO
15/07/2019	3,147	0,042	0,020	0,107	2,055	0,078	1,247	10,825	1,057	2,828	0,111
13/08/2019	0,649	0,039	0,015	0,280	37,950	0,123	0,000	6,004	0,446	4,017	0,377
10/09/2019	0,035	0,008	0,014	0,611	7,542	2,170	27,668	14,353	1,068	4,209	0,309
8/10/2019	0,081	0,036	0,014	0,474	2,828	0,175	1,414	18,338	1,399	8,773	0,243
12/11/2019	0,040	0,077	0,011	0,242	42,906	0,991	4,967	2,619	0,080	8,773	0,078
10/12/2019	0,112	0,040	0,009	0,490	30,627	0,873	5,354	4,055	0,143	4,394	0,033

Fuente: Autora

ANEXO 4 VARIABLES BIOLÓGICAS

A continuación, se presentan las tablas correspondientes a los resultados obtenidos de la densidad e índices de biodiversidad de los grupos taxonómicos de fitoplanctónica y zooplanctónica encontrados en el cuerpo de agua de acuerdo con los puntos de muestreo y su mes de muestreo.

Tabla 40 Densidad fitoplanctónica del cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque.

	PRECIPITACIÓN BAJA									PRECIPITACIÓN ALTA								
	JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Euglenophyta	1787,6	1272,3	1322,6	1743,6	1743,6	1721,6	838,8	1454,6	1479,7	1599,1	1266,1	1316,3	659,7	1256,6	1256,6	339,3	1266,1	1256,6
Chlorophyta	471,2	311,0	769,7	995,9	1068,1	1083,9	587,5	596,9	732,0	634,6	1244,1	1131,0	1266,1	867,1	345,6	1256,6	1724,7	2092,3
Dinophyta	81,7	25,1	6,3	110,0	44,0	50,3	0,0	31,4	31,4	69,1	66,0	84,8	3,1	37,7	28,3	22,0	25,1	94,2
Zygnematophyta	15,7	474,4	6,3	9,4	0,0	0,0	81,7	47,1	0,0	188,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,1	0,0	0,0
Chrysophyta	0,0	0,0	0,0	15,7	28,3	0,0	1256,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Autora

Tabla 41 Densidad zooplanctónica del cuerpo de agua #1 del Humedal Jaime Duque.

	PRECIPITACIÓN BAJA									PRECIPITACIÓN ALTA								
	JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
Cladóceros	1,1	0,0	1,1	8,9	2,2	3,9	18,9	7,8	15,0	2,8	1,7	1,7	2,2	1,7	1,7	113,3	5,6	3,9
copéodos	6,7	6,7	6,1	6,1	6,7	3,9	6,7	5,0	5,0	1,7	0,6	1,7	17,8	18,3	6,7	10,0	7,8	5,0
Sarcodino	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,7	7,8	13,3	7,2	0,6	0,0	5,6	0,0	0,0

Fuente: Autora

Tabla 42 Índices de Biodiversidad para el fitoplancton

índice	Precipitación Baja			Precipitación Alta		
	P 1	P 2	P 3	P 1	P 2	P 3
Simpson	0,6095	0,5205	0,4768	0,5472	0,5165	0,5255
Shannon	1,12	0,9232	0,72	0,8953	0,7675	0,7987
Margalef	0,5594	0,5689	0,4258	0,4362	0,2809	0,2817

Fuente: Autora

Tabla 43 Índices de Biodiversidad para el Zooplancton

índice	Precipitación Baja			Precipitación Alta		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Simpson	0,4807	0,457	0,4898	0,5825	0,5532	0,645
Shannon	0,6737	0,6495	0,6829	0,9662	0,9409	1,063
Margalef	0,2597	0,3001	0,2813	0,3721	0,5351	0,572

Fuente: Autora

ANEXO 5 EVIDENCIA FOTOGRAFICA

Ilustración 13 Punto 1, cuerpo de agua #1 Humedal Jaime Duque



Fuente: Autora

Ilustración 14 Punto 3, cuerpo de agua #1 Humedal Jaime Duque



Fuente: Autora

Ilustración 15 Recolección de variables fisicoquímicas



Fuente: Autora

Ilustración 16 Recolección de variables Biológicas



Fuente: Autora

Ilustración 17 Espejo de agua, Cuerpo de Agua #1 HJD



Fuente: Autora

Ilustración 18 Laboratorio determinación de clorofila-a



Fuente: Autora

Ilustración 19 Laboratorio determinación de DBO5



Fuente: Autora