

CARACTERIZACIÓN HIDROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DEL HUMEDAL
EMBALSE MANCILLA, FACATATIVÁ

DOMINIQUE MORA CUELLAR

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA
2018

CARACTERIZACIÓN HIDROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DEL HUMEDAL
EMBALSE MANCILLA, FACATATIVÁ

DOMINIQUE MORA CUELLAR

Trabajo de grado para optar para el título de Ingeniera ambiental

DIRECTOR
WILLIAM ANDRÉS CASTAÑEDA CELEITA
ING. RECURSOS HÍDRICOS Y GESTIÓN AMBIENTAL
Msc CIENCIAS AMBIENTALES

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA
2018

AGRADECIMIENTOS

A William Castañeda, director de tesis, por su guía, conocimiento, apoyo y tiempo brindado en la realización de este proyecto.

A Wolfgang Rodríguez, por su contribución, apoyo, tiempo y conocimiento brindado para la realización de este proyecto.

A Orlando Castro, Gerente de empresa aguas de Facatativá EAF SAS ESP, por su gestión para el ingreso al embalse Mancilla.

A mis padres y familia, por su apoyo y colaboración permanente durante todos mis estudios y la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUCCIÓN	9
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
3 JUSTIFICACIÓN	11
4 OBJETIVOS	12
4.1 OBJETIVO GENERAL:.....	12
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	12
5 MARCO TEÓRICO	13
5.1 AMBIENTE ACUÁTICO	13
5.1.1 <i>El agua</i>	13
5.1.2 <i>Humedal</i>	13
5.2 PROPIEDADES FÍSICAS	14
5.2.1 <i>Densidad</i>	14
5.2.2 <i>Conductividad eléctrica</i>	14
5.2.3 <i>Viscosidad</i>	15
5.2.4 <i>Punto de fusión y punto de ebullición</i>	15
5.2.5 <i>Polaridad</i>	15
5.2.6 <i>Turbidez</i>	16
5.2.7 <i>Temperatura</i>	16
5.3 PROPIEDADES QUÍMICAS	16
5.3.1 <i>pH</i>	16
5.3.2 <i>Alcalinidad</i>	17
5.3.3 <i>Oxígeno disuelto (OD)</i>	17
5.3.4 <i>Dureza</i>	17
5.3.5 <i>Cloruros</i>	18
5.3.6 <i>Acidez</i>	18
5.4 FACTORES ABIÓTICOS	18
5.4.1 <i>Penetración de la luz solar</i>	18

5.4.2	<i>Gases disueltos en el agua</i>	18
5.4.3	<i>Sólidos disueltos en el agua</i>	19
5.5	FACTORES BIÓTICOS	19
5.5.1	<i>Calidad del Agua</i>	20
6	ÁREA DE ESTUDIO	21
7	METODOLOGIA	23
7.1	DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO	23
7.2	METODOLOGÍA INSTRUMENTAL	24
7.3	METODOLOGÍA VOLUMÉTRICA	25
7.4	METODOLOGÍA BIOINDICADORES	26
8	CÁLCULOS	27
8.1	ESTACIÓN 1 – SUPERFICIAL (TEMPORADA ALTA)	27
8.2	ESTACIÓN 1 – SUPERFICIAL (TEMPORADA BAJA)	28
8.3	ESTACIÓN 1 – A PROFUNDIDAD (TEMPORADA ALTA)	28
8.4	ESTACIÓN 2 – SUPERFICIAL (TEMPORADA ALTA)	29
8.5	ESTACIÓN 2 – SUPERFICIAL (TEMPORADA BAJA)	30
8.6	ESTACIÓN 2 – A PROFUNDIDAD (TEMPORADA ALTA)	30
8.7	ESTACIÓN 2 – A PROFUNDIDAD (TEMPORADA BAJA)	31
9	RESULTADOS	32
9.1	DATOS FÍSICOQUÍMICOS	32
9.2	PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXIGENO (SAT)	34
9.3	FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON	34
10	ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
11	CONCLUSIONES	43
12	BIBLIOGRAFÍA	44
13	ANEXO 1	48

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1. Ubicación del embalse Mancilla.....	21
Imagen 2. Imágenes actuales del embalse Mancilla.....	21
Imagen 3. Imágenes del embalse Mancilla durante los muestreos.	22

TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de metodología instrumental para cada característica.....	24
Tabla 2. Descripción de metodología volumétrica para cada característica.	25
Tabla 3. Clasificación del agua de su calidad y microorganismos presentes según Liebmann.	27
Tabla 4. Datos muestreo humedal embalse Mancilla a nivel superficial.	32
Tabla 5. Datos muestreo humedal embalse Mancilla a profundidad.....	33
Tabla 6. Plancton encontrado en el embalse Mancilla. *.....	35

TABLA DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Variación del oxígeno disuelto y la temperatura a profundidad.....	39
Gráfica 2. Variación de CO₂ libre a profundidad en las dos estaciones de muestreo..	40
Gráfica 3. Clasificación del agua según Liebmann.	43

CARACTERIZACIÓN HIDROBIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA DEL HUMEDAL EMBALSE MANCILLA, FACATATIVÁ

RESUMEN

El proyecto de grado “Caracterización hidrobiológica y físico-química del humedal embalse Mancilla, Facatativá” se inicia con la identificación de dos estaciones en el embalse Mancilla y consiguiente a ello, la toma de muestras puntuales de agua a nivel superficial y a profundidad en temporada de altas y bajas precipitaciones; para analizar in situ por parte del autor once características; la conductividad, el pH, la temperatura, la turbidez, la profundidad de la zona fótica, la transparencia, la alcalinidad, la dureza cálcica y total, los cloruros, el oxígeno disuelto, la acidez carbonácea. Además de esto, también se realiza un análisis hidrobiológico, en el que se observa presencia-ausencia de especies de fitoplancton y zooplancton y la relación que estas tienen con las características fisicoquímicas del agua mediante la clasificación de cuerpos de agua según Liebmann. Se encuentra que el agua del embalse Mancilla presenta poca variación en cuanto a cada una de las características analizadas, dando a conocer que este cuerpo de agua presenta un perfil de oxígeno ortógrado, presenta un nivel oligotrófico, baja productividad primaria, bajos contenidos de nutrientes y en general se considera que el agua del embalse Mancilla es agua apta para procesos de potabilización. Igualmente, se identificaron 18 especies de microorganismos (fitoplancton y zooplancton); siendo los más abundantes *Ceratium sp.*, *Bosmina sp.*, *Mycrocyclops sp.* Y *Tabellaria flocculosa*, de todas las especies encontradas se logró relacionar su ecología con las características fisicoquímicas del embalse y se considera que los bioindicadores principales del embalse Mancilla son *Daphnia sp.*, *Pinnularia viridis*, *Staurastrum sp.*, y *Spirogyra sp.*

Para el presente trabajo se tuvo en cuenta normatividad como el Decreto 1076 de 2015, el Plan de desarrollo “Recuperemos a Facatativá 2016-2019” y los Objetivos de la calidad del agua de la cuenca del río Bogotá para el 2020.

Palabras clave: análisis fisicoquímico, bioindicadores, limnología, fitoplancton, zooplancton.

ABSTRACT

The degree project “Hydrobiological and physico-chemical characterization of the Mancilla reservoir and wetland, Facatativá” begins with the identification of two stations in the Mancilla reservoir and, consequently, the sampling of water in situ by the author at surface and depth in the season of high and low rainfall; to analyse eleven characteristics; the conductivity, the pH, the temperature, the turbidity, the depth of the photic zone, the transparency, the alkalinity, the calcic and total hardness, the chlorides, the dissolved oxygen and the carbonaceous acidity. In addition to this, a hydrobiological analysis is also carried out, in which the presence-absence of phytoplankton and zooplankton species is observed and the relation they have with the physicochemical characteristics of the water by the classification of bodies of water according to Liebmann. It is found that the water from the Mancilla reservoir shows little variation in each of the characteristics analysed, revealing that this body of water has an orthograde oxygen profile, has an oligotrophic level, low primary productivity, low nutrient contents and in general It is considered that the water from the Mancilla reservoir is water suitable for purification processes. Likewise, 18 species of microorganisms (phytoplankton and zooplankton) were identifies; being the most abundant *Ceratium sp.*, *Bosmina sp.*, *Mycrocyclops sp.* And *Tabellaria flocculosa*, all of the species found, was able to relate its ecology with the physicochemical characteristics of the reservoir and it is considered that the bioindicators found in the body of water are *Daphnia sp.*, *Pinnularia viridis*, *Staurastrum sp.*, and *Spirogyra sp.*

For the present work, regulations such as Decree 1076 of 2015, the Development plan “Recuperemos a Facatativá 2016-2019” and the objectives of water quality in the Bogotá river basin for 2020 were taken into account.

Key words: physical and chemical analysis of water, bioindicators, limnology, phytoplankton, zooplankton.

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es el resultado de la aplicación de metodologías encaminadas a la caracterización hidrobiológica y fisicoquímica del embalse Mancilla ubicado en el Municipio de Facatativá, el cual se encarga de abastecer al municipio con agua de consumo humano a partir de un almacenamiento de unos 320.000 m³ de agua (E.A.O.C, 2008). Al estudiar los aspectos hidrológicos, biológicos, litológicos y químicos, se está evaluando la calidad del ecosistema acuático y la influencia que tienen los factores físicos y químicos sobre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema (Ortega, Martinez, & Padilla, 2005).

El estudio tiene como finalidad describir y conocer la calidad del agua del embalse Mancilla por medio de metodologías instrumentales, volumétricas e hidrobiológicas. Dado que no se ha realizado ningún estudio acerca de este tema y teniendo en cuenta que es la mayor área de almacenamiento de agua con la que cuenta el Municipio de Facatativá; es de gran importancia realizar una investigación rigurosa sobre elementos orgánicos, inorgánicos y organismos que puedan estar presentes en el agua.

El trabajo se inicia con la recopilación de información referente a la temática central, partiendo de la hipótesis de que en el área de influencia del embalse Mancilla se presentan actividades económicas (agroindustriales) que pueden de alguna manera estar afectando factores bióticos y abióticos que conforman el ecosistema. Adjunto a ello, se establece una metodología que se fundamenta en la toma de muestras y respectivo análisis para la determinación específica de conductividad, pH, temperatura, turbidez, profundidad de la zona fótica, transparencia, alcalinidad, dureza cálcica, dureza total, cloruros, oxígeno disuelto, acidez total y acidez carbonácea y unos muestreos que permiten hacer la identificación de fitoplancton y zooplancton.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudios limnológicos en Colombia empezaron a realizarse a partir de la década de los 70, estos comprendían mediciones fisicoquímicas del agua y observaciones de plancton y solo hasta la década de los ochenta se realiza un estudio hidrobiológico en el río Bogotá, haciendo uso de bioindicadores para conocer sus condiciones ecológicas (Ramirez & Roldán, 2008). Los principales estudios hidrobiológicos y fisicoquímicos se han realizado en cuerpos acuáticos principales como el río Magdalena, el río Bogotá y la laguna de Tota, pero muy pocos se han realizado en embalses (Ramirez & Roldán, 2008).

Se identifican problemas relacionados al humedal embalse Mancilla tales como; el desconocimiento del funcionamiento ecosistémico, la posible afectación de vertimientos no puntuales provenientes de actividades agrícolas y ganaderas de la zona perimetral del embalse y la incidencia de estas problemáticas sobre los organismos y condiciones del cuerpo de agua. Todo lo anterior teniendo en cuenta que el embalse fue inaugurado en el año 2014 y no se han desarrollado proyectos investigativos de ninguna índole, igualmente se tiene en cuenta que el embalse es operado por la empresa de aguas de Facatativá y que se utiliza para el abastecimiento de más de 100.000 habitantes (EL TIEMPO, 2014).

3 JUSTIFICACIÓN

Mediante la presente tesis, se realiza la primera caracterización hidrobiológica y físico – química del agua del humedal embalse Mancilla en Facatativá, Cundinamarca, debido a que es importante realizar la identificación de comunidades hidrobiológicas (ANA, 2014) y el análisis físico – químico (Jofre, Barradas, & Cervantes, 2015) de manera que se pueda conocer con certeza la calidad del agua, el estado actual del ecosistema y sus alternativas de intervención y de manejo.

Además, esta caracterización es trascendental para la comprensión de la relación que tienen las actividades antrópicas que inciden en el estado hídrico del humedal embalse Mancilla y los factores tanto bióticos como abióticos. De manera que la información y análisis realizados podrán ponerse al alcance de investigadores, instituciones y autoridades competentes en lo relacionado a la gestión del humedal, su manejo técnico y racional; permitiendo así la creación de nuevas investigaciones, planes, programas y proyectos que aseguren la sostenibilidad del ecosistema estratégico.

Finalmente, es válido resaltar que el presente estudio está evaluando un espacio ecosistémico que nunca ha sido estudiado, por lo que el producto de esta investigación permitirá generar conocimiento acerca del estado actual de ecosistema, comportamiento, evolución y dinámica en el tiempo. Es de suma importancia el hecho que la tendencia de los cuerpos de agua superficial y subterránea sea seriamente afectada en su calidad ambiental y servicios ecosistémicos a la población debido a las actividades antrópicas que en su entorno se llevan a cabo. Por todo lo anterior, se considera esencial el monitoreo periódico y análisis de los resultados no solamente de la calidad de agua sino también de los organismos presentes (fitoplancton y zooplancton) que permiten indicar biológicamente afectaciones que se estén suscitando.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General:

Caracterizar y analizar las condiciones hidrobiológicas y fisicoquímicas del humedal embalse Mancilla, Facatativá.

4.2 Objetivos específicos:

- Establecer puntos de muestreo y establecer características físicas, químicas y biológicas que representen el estado actual del humedal.
- Determinar la calidad de agua del humedal embalse Mancilla.
- Analizar y Evaluar las condiciones ambientales del ecosistema.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 Ambiente acuático

5.1.1 El agua

El agua es un elemento calificado como uno de los recursos fundamentales para el desarrollo de vida, claramente junto con el aire, la energía y la tierra; constituyendo así los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo de cualquier forma de vida en el planeta. Dadas sus características y propiedades tanto físicas como químicas, han permitido a lo largo de la historia del hombre, que este haga uso del recurso para realizar sus actividades vitales, tales como cocinar los alimentos, higiene y los usos domésticos, para riego, industria e incluso para generar energía (Santa Fe, 2009). De manera que siendo un recurso tan importante para la vida en el planeta y además para el desarrollo del hombre, es importante conocer muy bien las propiedades, las formas en las que está dispuesto el recurso y su cantidad en el planeta, así mismo las condiciones de calidad para determinar su uso, aprovechamiento y gestión eficiente.

5.1.2 Humedal

Se entiende por humedales “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean estas 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” (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006). Los humedales son de gran importancia ecológica debido a su gran variedad de flora y fauna, además porque actúan como filtradores naturales del agua, ayudan a prevenir inundaciones y a prevenir la erosión del suelo. (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2013). Estos también tienen una alta capacidad de absorción por lo que retienen el agua en periodos de lluvia para después liberarla en época de sequía (Roa, 2009). Además, brindan bienes y servicios ambientales, tales como; proveer agua, protección contra inundaciones, son sumideros de carbono, recargan acuíferos y estabilizan el microclima, filtran sedimentos, nutrientes y sustancias tóxicas, además, proveen productos naturales, fomentan el ecoturismo y la recreación y sirven de hábitat para la vida silvestre (CAR, 2011).

Los humedales y embalses se consideran ecosistemas lenticos, es decir, que son ecosistemas que no presentan corrientes continuas (Bonilla & Guillot, 2003). Dentro de

estos sistemas lenticos se encuentra una zonación típica, es decir, que se puede encontrar en estos cuerpos de agua un eje horizontal; en donde se encuentra la zona litoral y la zona limnética, y un eje vertical; donde se encuentra la zona fótica y la zona profunda o afótica (Gomez, 2016). La zona fótica es aquella que está en contacto con el aire y está iluminada y por lo tanto los factores como el sol y el viento tienen influencia directamente en ella, mientras que en la zona afótica no hay presencia de luz y la temperatura y la oxigenación es mucho menor que en la zona anterior (Moreno, 2012).

5.2 Propiedades físicas

Dadas las asociaciones moleculares del agua, estas permiten dar cuenta de varias de las características físicas que la diferencian de las sustancias de la tierra por los rangos anormales como temperatura de ebullición y congelación, considerándose de esta manera como una sustancia de transporte, estructural, termorreguladora y de gran potencial de solvencia (Santa Fe, 2009).

Los rasgos organolépticamente perceptibles del agua pura son, que es inodora, insípida e incolora, se dice que en grandes volúmenes adquiere una leve tonalidad azul debido a la refracción de la luz, puesto que el agua absorbe en mayor medida las longitudes de onda larga que las longitudes de onda corta.

A continuación, se explican algunas propiedades físicas del agua (Azcona & Fernandez, 2012).

5.2.1 Densidad

Esta propiedad es altamente estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión, es decir que, a presión normal de 1 atm, el agua líquida tiene una densidad mínima aproximada de 0,958 Kg/L, a 100 °C (Tanaka, 2001). Mientras tanto; cuando la temperatura disminuye, la densidad va aumentando constantemente hasta los 3,8 °C donde su densidad es de 1 Kg/L, a partir de allí, al disminuir la temperatura, disminuye la densidad, aunque muy lentamente y hasta que a los 0 °C se alcanza 0,99 Kg/L (punto de inflexión) (Santa Fe, 2009).

5.2.2 Conductividad eléctrica

La conductividad es una medida de la capacidad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica (IDEAM, 2006). Esta propiedad depende de la presencia de

iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición (IDEAM, 2006). Las moléculas orgánicas al no disociarse en el agua, conducen la corriente en muy baja escala. Los datos que se pueden obtener a partir de la determinación de conductividad eléctrica pueden utilizarse para calcular los coeficientes de actividad de los electrolitos y permite la estimación de sólidos disueltos totales; permitiendo así la determinación de la calidad del agua (IDEAM, 2006).

5.2.3 Viscosidad

La viscosidad es una medida de la resistencia a fluir, el movimiento irregular de las moléculas de un líquido o un gas, da lugar a que una parte de éste pueda desplazarse con respecto a otro, sin embargo las fuerzas de atracción entre las moléculas se oponen a este desplazamiento; dando lugar a una resistencia llamada viscosidad, de manera que al aumentar la temperatura y la presión; la viscosidad disminuye (Santa Fe, 2009). La viscosidad del agua a temperatura ambiente es cercana a 1 centipoise (cP) (Jaramillo, 2007).

5.2.4 Punto de fusión y punto de ebullición

Cuando se calienta un líquido, este alcanza eventualmente una temperatura en la cual la presión del vapor es lo bastante grande que se forman burbujas dentro del cuerpo de dicho líquido. Esta temperatura se llama punto de ebullición. Una vez que el líquido comience a hervir, la temperatura permanece constante hasta que todo el líquido se ha convertido a gas (Jaramillo, 2007). El agua pura tiene un punto de ebullición de 100 °C (1 atm) y un punto de fusión de 0 °C. Cabe resaltar que el agua tiene una combinación de isótopos de hidrógeno y oxígeno, lo que hace, unido a su polaridad, que todas sus constantes físicas sean anormales, por ello presenta estos niveles de temperaturas (Jaramillo, 2007).

5.2.5 Polaridad

Las moléculas de agua poseen dos polos, por este hecho, los núcleos de oxígeno son muchos más electronegativos (atraen más los electrones) que los de hidrógeno, lo que dota a los dos enlaces de una fuerte polaridad eléctrica, con un exceso de carga negativa del lado del oxígeno, y de carga positiva por parte de los hidrógenos. Es decir, que se establecen enlaces por puentes de hidrógeno debido a la formación de dipolos electrostáticos que se originan al situarse un átomo de hidrógeno entre dos átomos más electronegativos. Los

enlaces por puentes de hidrógeno son enlaces por fuerzas de van der Waals de gran magnitud, aunque son unas 20 veces más débiles que los enlaces covalentes (Santa Fe, 2009).

5.2.6 Turbidez

La turbidez es la falta de transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, es decir, que cuantos más sólidos suspendidos haya en el agua, el valor de turbidez es más alto y por lo tanto interfieren en el paso de los rayos de luz por el cuerpo de agua. La turbidez se mide en UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez), que lo que realmente estima es la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) que son los que obstruyen la luz (APHA, 1998).

5.2.7 Temperatura

La temperatura del agua va a estar relacionada con la radiación solar que entra al cuerpo de agua, este factor físico es de gran importancia debido a que su variabilidad puede causar grandes daños a la flora y fauna del medio acuático, además se afecta el oxígeno disuelto en el agua, siendo este inversamente proporcional a la temperatura (CORPOICA, 2008). La temperatura de un cuerpo de agua puede ser registrada utilizando los siguientes instrumentos o sistemas: termómetros mercuriales (termómetros de columna simple, termómetro máximo/mínimo, termómetros reversibles, termógrafos, termistores eléctricos, el batitermógrafo y el sistema de sondeo remoto Wetzel y Likens (1991); Kevern (1989); Horne y Goldman (1992). La temperatura influye notablemente en la calidad del agua porque afecta a la cantidad de oxígeno disuelto en la misma, a la solubilidad de gases y sales, y al desplazamiento de los equilibrios químicos. La temperatura desempeña un papel importante en los procesos físicos, químicos y biológicos.

5.3 Propiedades químicas

5.3.1 pH

El pH es una medida de la acidez y alcalinidad de cualquier sustancia, estas se miden en una escala de 0 a 14; en donde un pH de 0 significa que la solución es muy ácida, un pH de 7 quiere decir que la solución es neutra y un pH de 14 que es muy básica (Lawn & Prichard, 2003). Definiendo el pH analíticamente se puede decir que éste es igual al logaritmo negativo de los iones hidrógeno (H^+). El pH está conformado por ácidos, que son

todas las sustancias que ceden H^+ a la solución y por las bases; que son los que reciben los iones hidrógeno (Universidad Nacional del Nordeste). Las aguas naturales tienen un cierto carácter básico con un pH que oscila entre 6,5 y 8,5. La presencia de CO_2 , ácidos orgánicos, vertidos ácidos, aumenta la acidez del agua. La elevada acidez del agua podría acarrear problemas de destrucción de la vida acuática a $pH < 4$; problemas de corrosión a $pH < 6$; daños en las cosechas a $pH < 4,5$ y provocar la disolución de sales metálicas insolubles.

5.3.2 Alcalinidad

La alcalinidad se puede definir como la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos, se expresa en mg/L de $CaCO_3$ (Ojeda, 2012). La alcalinidad en aguas superficiales está en función de los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos que se encuentran allí y es un indicador de las concentraciones de estos compuestos (Pohland & Bloodgood, 1963).

5.3.3 Oxígeno disuelto (OD)

Se define como la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en el agua o solución acuosa y es inversamente proporcional a la temperatura, altitud y salinidad. Este se obtiene por re-aireación y por la fotosíntesis realizada por las plantas acuáticas (California Environmental Protection Agency). El oxígeno disuelto es un indicador de calidad de agua, además, ayuda a determinar la productividad primaria y el estado de eutrofización. Se debe tener en cuenta que un valor normal de OD se encuentra en un rango entre 7 y 8 mg/L (Roldán, 2003).

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (SAT), es el porcentaje máximo de oxígeno que puede disolverse en el agua a una presión y temperatura determinada, un valor de % SAT O_2 entre 80 y 120 se considera excelente, mientras que los valores menores al 60% o sobre 120% se consideran malos (CORTOLIMA, 2008).

5.3.4 Dureza

La dureza del agua se identifica por la presencia de iones calcio y magnesio en forma de bicarbonatos y carbonatos disueltos en el agua y se expresa en mg/L de $CaCO_3$ (Universidad de las Americas Puebla, 2005). La dureza se puede clasificar en tres tipos; dureza total, de calcio o de magnesio y su determinación va a depender del tipo de ion que se presente en el agua (SENA, 1999).

5.3.5 Cloruros

Los cloruros en el agua hacen referencia a todos los compuestos que presentan un átomo de cloro y se expresan en mg/L de Cl⁻ (García, 2013). En aguas naturales, se pueden encontrar debido a depósitos de sal mineral, contaminación agrícola, doméstica o industrial (UPC, 2001).

5.3.6 Acidez

La acidez del agua se entiende como la capacidad de esta para reaccionar frente a una base y puede estar influenciada por gases disueltos como el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco (Instituto Nacional de Salud, 2011).

5.4 Factores abióticos

5.4.1 Penetración de la luz solar

Uno de los factores que actúa en la productividad y producción primaria de los ecosistemas acuáticos es la luz solar; así mismo como su calidad e intensidad lumínica. Ésta es la fuente principal de calor de los cuerpos de agua y uno de los más importantes factores en la fotosíntesis, ya que la luz solar absorbida por el agua aporta la energía necesaria para poder realizar este proceso. La intensidad de la luz en el agua va a cambiar a medida que aumenta la profundidad y también va a estar en función de la cantidad de materia suspendida y materia disuelta en el medio (Universidad de Puerto Rico, 2002).

5.4.2 Gases disueltos en el agua

En los cuerpos de agua se puede encontrar gases disueltos como el nitrógeno (N₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), metano (CH₄), amoníaco (NH₃), los más relevantes y abundantes son el oxígeno (O₂) y el dióxido de carbono (CO₂), estos gases provienen de la atmósfera y algunos son producto de procesos que se realizan en el agua (Universidad de Puerto Rico, 2002).

Dentro de los gases más importantes para el ecosistema acuático se encuentra el O₂, el cual proviene de la fotosíntesis, este gas está disuelto en el agua entre 7.0 y 9.0 mg/L y va a estar determinado por la temperatura y salinidad del agua. El otro gas relevante; es el CO₂ que se genera a partir de la respiración y la oxidación de la materia orgánica (Ramírez & Roldán, 2008).

5.4.3 Sólidos disueltos en el agua

Los sólidos disueltos en el agua hacen referencia a los iones que están presentes en ella, entre los más importantes se encuentran los cloruros, sulfatos, bicarbonatos, nitratos, fosfatos y sílice. Algunos de estos iones son fundamentales en los procesos de producción primaria y hacen parte de las propiedades físicas y químicas del agua, por lo que si hay variaciones de estos se puede generar un cambio en la calidad del agua y en la ecología del ecosistema (Ramirez & Roldán, 2008).

5.5 Factores bióticos

La productividad y el estado ecológico del ecosistema acuático van a depender de los organismos que se encuentren allí. Todos los organismos presentes en el agua van a estar en función de plancton y de sus procesos biológicos, ya que estos son los responsables de la producción primaria y ayudan a que la energía siga su flujo en el ecosistema por medio de la fotosíntesis. Luego de estos, sigue el zooplancton, el cual va a iniciar la cadena trófica y la producción secundaria en el cuerpo de agua. También se encuentran microorganismos como bacterias, hongos y algas que se van a encontrar en la superficie del agua y organismos de gran tamaño que son capaces de nadar por sí mismos (Ramirez & Roldán, 2008).

Se entiende como bioindicador “la especie o especies que poseen requerimientos particulares relacionados con factores físicos y/o químicos, tal que los cambios de presencia-ausencia, número, morfología de esa especie, indiquen que dichas variables o factores se encuentren cerca de sus límites de tolerancia” (Doughty, 1994). El bioindicador debe ser fácil de identificar, de muestrear y cuantificar, debe tener una distribución amplia, debe ser abundante y estar asociado a datos biológicos y ecológicos (Viteri, Chalen, & Cevallos, 2017). La utilización de comunidades biológicas como indicadores es una alternativa para estimar la calidad del agua y generalmente se utilizan organismos como algas, zooplancton y peces para realizar la evaluación de la calidad del ecosistema acuático (Velázquez & Vega, 2004).

Se propone como alternativa de determinación de la calidad de los ecosistemas acuáticos, el reconocimiento y la caracterización de indicadores biológicos, el fitoplancton y zooplancton. Se realizarán dos monitoreos tanto de fitoplancton como de zooplancton, cada una con un tiempo estimado de 10 minutos, por medio de un recorrido por el humedal a

superficie y a diferentes profundidades dependiendo de la estratificación del cuerpo de agua.

El plancton son microorganismos que se encuentran flotando en aguas marina y dulces muy cerca de la superficie, éste se subdivide en bacterioplancton, fitoplancton y zooplancton (Institut de Ciencies del Mar, 2012). En cuanto al zooplancton, este está conformado por cuatro grupos; protozoos, rotíferos, cladóceros y copépodos (Armengol, 1982). Estos microorganismos son bastante sensibles a factores como la temperatura, velocidad y nivel del agua, turbidez y luz solar (Univeristy of Illinois, 1934). El zooplancton permite conocer cambios del ecosistema a largo plazo debido al enriquecimiento de nutrientes y son un gran indicador de eutrofización (Pino, y otros, 2003). Por otro lado, el fitoplancton está relacionado con los niveles de pH, existiendo abundancia de estos cuando el medio es ácido (Sprules, 2007).

Las familias de fitoplancton y zooplancton que se encuentran comúnmente en los humedales de Colombia son *Brachionidae*, *Synchaetidae*, *Testudinellidae*, *Cyclopidae*, *Daphniidae*, *Bosminidae*, *Melosiraceae*, *Zygnemaceae*, *Hydrodictyceae*, *Volvocaceae*, *Desmidiaceae*, *Scenedesmaceae*, *Euglenaceae*, *Ceratiaceae*, *Closteriaceae*, *Oocystaceae*, *Spirulinaceae*, *Chroococcaceae*, *Microcistaceas* (Gonzalez, Narvaez, Rodriguez, & Castañeda, 2017).

5.5.1 Calidad del Agua

La calidad del agua hace referencia a la composición física, química y biológica que representa dicho medio acuático y se establece una clasificación aceptable o buena de calidad de agua cuando los parámetros que la representan muestran valores de acuerdo a la normatividad o las clasificaciones ya establecidas (Fierro & Caballero, 2015).

La calidad del agua está estrechamente relacionada con el uso o finalidad del recurso, es decir que la calidad de un tipo de agua que califique para un propósito particular; debe especificarse en función del uso que se le va a dar.

Se puede decir que, una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria (Tocto, 2013).

6 ÁREA DE ESTUDIO

El embalse Mancilla se encuentra ubicado en el norte del Municipio de Facatativá (4,843350, -74,349842), vía Ecopetrol y cuenta con un almacenamiento de agua de aproximadamente 320.000 m³. (Castillo y Rincon, 2015). Cuenta con una temperatura de entre 12°C a 18°C, presenta dos periodos de lluvias (marzo-mayo y octubre-noviembre) y su precipitación anual se encuentra en un rango de entre 600 y 1200 mm, siendo Mancilla una de las zonas en las que más se presentan precipitaciones. El embalse se alimenta del río Botello, el cual hace parte de la subcuenca del mismo nombre (Lobaton & Marin, 2011).

Imagen 1. Ubicación del embalse Mancilla.



Fuente: Google earth.

Imagen 2. Imágenes actuales del embalse Mancilla.



Fuente: Autor.

Imagen 3. Imágenes del embalse Mancilla durante los muestreos.



Fuente: Autor.

7 METODOLOGIA

7.1 Descripción del muestreo



Dentro del embalse se definieron dos estaciones en las que se realizaron dos muestreos puntuales, estos análisis se efectuaron in situ por parte del autor y las características a analizar se midieron a superficie y a diferentes profundidades de la columna de agua. La primera estación se encuentra en una zona de poca profundidad y se encuentra ubicada a 4°50'42,88709" N, 74°20'57,95163" W, mientras que la segunda estación se encuentra en una zona de gran profundidad y está ubicada a 4°50'36,40771" N, 74°21'0,48046" W. Los primeros muestreos se realizaron durante la época de altas precipitaciones y los segundos durante bajas precipitaciones.

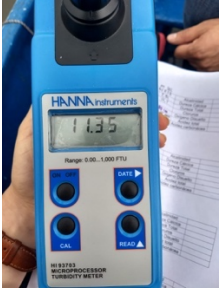

Para la toma de muestras; se realizó un muestreo manual; ya que se cuenta con un fácil acceso al lugar de estudio y porque mediante este tipo de muestreo se puede observar si hay algún cambio en las características del agua (Instituto Nacional de Salud, 2011).

Igualmente, se realiza un muestreo hidrobiológico con el fin de recolectar muestras de fitoplancton y zooplancton, para dicho muestreo se utilizó una malla/red surber de 32 micras para fitoplancton y una malla de 45 micras para zooplancton, con estas mallas se realizaron arrastres horizontales en contra corriente durante 3 minutos en la zona fótica y las muestras recolectadas se preservaron con 7 gotas de lugol hasta la posterior identificación taxonómica en el laboratorio.

7.2 Metodología instrumental

Tabla 1. Descripción de metodología instrumental para cada característica.

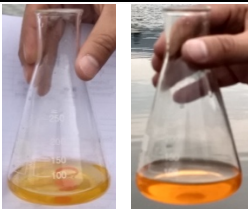
Característica	Equipo	Unidad	Toma de muestra	Fotografía
Conductividad eléctrica	Conductímetro portátil Hanna combo pH & EC.	Ms/cm	50 ml	
pH	pH metro portátil Handy lab pH 11	-	50 ml	
Temperatura	Conductímetro portátil Hanna combo pH & EC.	°C	50 ml	N.R

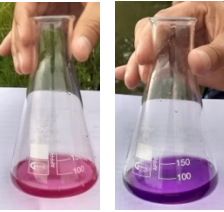
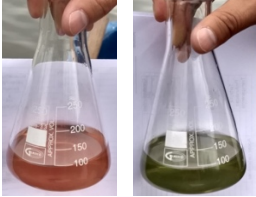
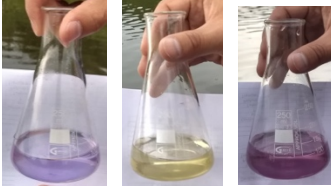

Característica	Equipo	Unidad	Toma de muestra	Fotografía
Turbidez	Turbidímetro Hanna modelo HI98703-01	UNT	10 ml	
Profundidad	Ecosonda	m	El equipo se colocó dentro del cuerpo de agua	N.R
Transparencia	Disco de Secchi	m	El equipo se colocó dentro del cuerpo de agua	
Oxígeno disuelto	Oxímetro Lutron modelo DO-5510	mg/L OD	50 ml	N. R

Fuente: Autor.

7.3 Metodología volumétrica

Tabla 2. Descripción de metodología volumétrica para cada característica.

Característica	Unidades	Formula	Viraje
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	$\text{mg/L de CaCO}_3 = \frac{\text{Vol A} \times \text{N} \times 50000}{W}$	

Característica	Unidades	Formula	Viraje
Dureza cálcica	mg/L Ca	$\frac{mg}{L} Ca^{++}$ $= \frac{Vol A \times N \times 20000}{W}$	
Dureza total	mg/L CaCO ₃	$\frac{mg}{L} CaCO_3$ $= \frac{Vol A \times N \times 50000}{W}$	
Cloruros	mg/L Cl ⁻	$\frac{mg}{L} Cl = \frac{Vol A \times N \times 35000}{W}$	
Acidez carbonácea	mg/L CO ₂	$\frac{mg}{L} CO_2 = \frac{Vol A \times N \times 44000}{W}$	

Fuente: Autor.

7.4 Metodología bioindicadores

Para realizar una correlación de los datos fisicoquímicos del agua del embalse Mancilla y el fitoplancton y zooplancton encontrado, se toma como referencia la clasificación de aguas saprobias de Liebmann, esta consta de cuatro categorías (ver **Tabla 3**) ; zona polisaprobia, zona alfa – mesosaprobia, zona beta – mesosaprobia y zona oligosaprobia, en cada categoría se da una descripción del agua y de los microorganismos que son predominantes en cada tipo de agua (Heinz & Dieter, 1987).

Tabla 3. Clasificación del agua de su calidad y microorganismos presentes según Liebmann.

Clasificación	Descripción general
Clase IV (Zona polisaprobia)	Agua muy contaminada, con poco oxígeno, mal olor, muy baja biodiversidad.
Clase III (Zona alfa-mesosaprobia)	Agua con alto oxígeno, baja biodiversidad.
Clase II (Zona beta-mesosaprobia)	Agua con alto oxígeno, con turbiedad de media a baja, alta biodiversidad, presenta organismos sensibles a características fisicoquímicas.
Clase I (Zona oligosaprobia)	Agua bastante pura, con alto oxígeno, presenta pocos individuos y especies.

Fuente: (Heinz & Dieter, 1987).

8 Cálculos

8.1 Estación 1 – Superficial (Temporada alta)

- Alcalinidad:

$$A.T = \frac{0.8 \text{ ml} * 0.02N * 50000}{50\text{ml}} = 16 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

- Cloruros:

$$Cl^- = \frac{6.4 \text{ ml} * 0.014N * 35000}{100 \text{ ml}} = 31.36 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CO}_2$$

- Acidez carbonácea:

$$\text{CO}_2 = \frac{0.3 \text{ ml} * 0.02N * 44000}{50\text{ml}} = 5.28 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CO}_2$$

8.2 Estación 1 – Superficial (Temporada baja)

- Alcalinidad:

$$A.T = \frac{1 \text{ ml} * 0.02N * 50000}{50\text{ml}} = 20 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

- Dureza cálcica:

$$Ca = \frac{1.5 \text{ ml} * 0.02N * 20000}{50\text{ml}} = 12 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Ca}$$

- Dureza total:

$$\text{CaCO}_3 = \frac{1.5 \text{ ml} * 0.02N * 50000}{100\text{ml}} = 15 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

- Cloruros:

$$\text{Cl}^- = \frac{4,8 \text{ ml} * 0.014N * 35000}{100 \text{ ml}} = 23,52 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Cl}^-$$

- Acidez carbonácea:

$$\text{CO}_2 = \frac{0.3 \text{ ml} * 0.02N * 44000}{50\text{ml}} = 5.28 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CO}_2$$

8.3 Estación 1 – A profundidad (Temporada alta)

- Alcalinidad:

$$A.T = \frac{0.7 \text{ ml} * 0.02N * 50000}{50\text{ml}} = 14 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

- Dureza cálcica:

$$Ca = \frac{0.5 \text{ ml} * 0.02N * 20000}{50\text{ml}} = 4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Ca}$$

- Dureza total:

$$CaCO_3 = \frac{1.2 \text{ ml} * 0.02N * 50000}{100\text{ml}} = 12 \frac{\text{mg}}{\text{L}} CaCO_3$$

- Acidez carbonácea:

$$CO_2 = \frac{0.5 \text{ ml} * 0.02N * 44000}{50\text{ml}} = 8.8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} CO_2$$

8.4 Estación 2 – Superficial (Temporada alta)

- Alcalinidad:

$$A.T = \frac{0.6 \text{ ml} * 0.02N * 50000}{50\text{ml}} = 12 \frac{\text{mg}}{\text{L}} CaCO_3$$

- Dureza cálcica:

$$Ca = \frac{0.6 \text{ ml} * 0.02N * 20000}{50\text{ml}} = 4.8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} Ca$$

- Dureza total:

$$CaCO_3 = \frac{1.1 \text{ ml} * 0.02N * 50000}{100\text{ml}} = 11 \frac{\text{mg}}{\text{L}} CaCO_3$$

- Cloruros:

$$Cl^- = \frac{3.7 \text{ ml} * 0.014N * 35000}{100\text{ml}} = 18.13 \frac{\text{mg}}{\text{L}} Cl^-$$

- Acidez carbonácea:

$$CO_2 = \frac{0.2 \text{ ml} * 0.02N * 44000}{50\text{ml}} = 3.52 \frac{\text{mg}}{\text{L}} CO_2$$

8.5 Estación 2 – Superficial (Temporada baja)

- Alcalinidad:

$$A.T = \frac{1,2 \text{ ml} * 0.02N * 50000}{50\text{ml}} = 24 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

- Dureza cálcica:

$$Ca = \frac{1,7 \text{ ml} * 0.02N * 20000}{50\text{ml}} = 13,6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Ca}$$

- Dureza total:

$$\text{CaCO}_3 = \frac{1.8 \text{ ml} * 0.02N * 50000}{100\text{ml}} = 18 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

- Cloruros:

$$\text{Cl}^- = \frac{1,9 \text{ ml} * 0.014N * 35000}{100\text{ml}} = 9,31 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Cl}^-$$

- Acidez carbonácea:

$$\text{CO}_2 = \frac{0.3 \text{ ml} * 0.02N * 44000}{50\text{ml}} = 5.28 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CO}_2$$

8.6 Estación 2 – A profundidad (Temporada alta)

- Dureza cálcica:

$$Ca = \frac{0.5 \text{ ml} * 0.02N * 20000}{50\text{ml}} = 4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Ca}$$

- Cloruros:

$$\text{Cl}^- = \frac{3.8 \text{ ml} * 0.014N * 35000}{100\text{ml}} = 18.62 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Cl}^-$$

- Acidez carbonácea:

$$\text{CO}_2 = \frac{0.3 \text{ ml} * 0.02N * 44000}{50\text{ml}} = 5.28 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CO}_2$$

8.7 Estación 2 – A profundidad (Temporada baja)

- Alcalinidad:

$$A.T = \frac{0,9 \text{ ml} * 0.02N * 50000}{50\text{ml}} = 18 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

- Dureza cálcica:

$$Ca = \frac{1,8 \text{ ml} * 0.02N * 20000}{50\text{ml}} = 14,4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Ca}$$

- Dureza total:

$$\text{CaCO}_3 = \frac{1.2 \text{ ml} * 0.02N * 50000}{100\text{ml}} = 12 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

- Cloruros:

$$\text{Cl}^- = \frac{2,7 \text{ ml} * 0.014N * 35000}{100\text{ml}} = 13,23 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Cl}^-$$

- Acidez carbonácea:

$$\text{CO}_2 = \frac{0.3\text{ml} * 0.02N * 44000}{50\text{ml}} = 5.28 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CO}_2$$

9 Resultados

9.1 Datos fisicoquímicos

Tabla 4. Datos muestreo humedal embalse Mancilla a nivel superficial.

Muestreo superficial				
	Estación 1 4°50'42,88709" N 74°20'57,95163" W		Estación 2 4°50'36,46771" N 74°21'0,48046" W	
Característica	Temporada alta	Temporada baja	Temporada alta	Temporada baja
Conductividad ms/cm	0,17	0,51	0,1	0,8
pH	5,8	7,1	5,76	7,5
Temperatura °C	16,4	20,6	15,9	20,6
Turbidez UNT	8,65	3,34	9,07	2,55
Transparencia m	0,75	0,75	0,75	0,75
Alcalinidad mg/L CaCO ₃	16	20	12	24
Dureza cálcica mg/L Ca	N. R	12	4,8	13,6
Dureza total mg/L CaCO ₃	N. R	15	11	18
Cloruros mg/L Cl ⁻	31,36	23,52	18,13	9,31
Oxígeno disuelto mg/L OD	N. R	7,9	14	8,4

Acidez carbonácea mg/L CO ₂	5,28	5,28	3,52	5,28
---	------	------	------	------

Fuente: Autor.

Tabla 5. Datos muestreo humedal embalse Mancilla a profundidad.

Muestreo profundidad estación 1 (1 m) y estación 2 (5 m)				
	Estación 1 4°50'42,88709" N 74°20'57,95163" W		Estación 2 4°50'36,46771" N 74°21'0,48046" W	
Característica	Temporada alta	Temporada baja	Temporada alta	Temporada baja
Conductividad Ms/cm	0,58	N. R	0,23	0,15
pH	5,82	N. R	5,7	7,6
Temperatura °C	17,1	N. R	15,7	20,6
Turbidez UNT	11,35	N. R	9,18	2,47
Transparencia m	0,75	0,75	0,75	0,75
Alcalinidad mg/L CaCO ₃	14	N. R	N. R	18
Dureza cálcica mg/L Ca	4	N. R	4	14,4
Dureza total mg/L CaCO ₃	12	N. R	N. R	12
Cloruros mg/L Cl ⁻	N. R	N. R	18,62	13,2
Oxígeno disuelto	10	7,1	17,4	7,52

mg/L OD				
Acidez carbonácea	8,8	N. R	5,28	N. R
mg/L CO ₂				

***N. R: No reporta. La profundidad máxima en la estación 1 es de 1 metro por lo que en esta estación no se reportan datos a profundidad.**

Fuente: Autor.

9.2 Porcentaje de saturación de Oxígeno (SAT)

- Interpolación:

$$\frac{2630 - 2300}{0.909 - 0.920} = \frac{2586 - 2300}{x - 1.09}$$

$$f = x = 0.91$$

$$S = 9.87$$

- %SAT (Estación 1 – Superficial)

$$\%SAT O_2 = \frac{7,9 \cdot 100}{9,87 \cdot 0,91} = 87,95\%$$

- %SAT (Estación 2 – Superficial)

$$\%SAT O_2 = \frac{14 \cdot 100}{9,87 \cdot 0,91} = 155\%$$

$$\%SAT O_2 = \frac{8,4 \cdot 100}{9,87 \cdot 0,91} = 93,52\%$$

9.3 Fitoplancton y zooplancton

Al hacer el muestreo hidrobiológico y al hacer la identificación taxonómica del plancton encontrado, se encontraron las especies planctónicas plasmadas en la **Tabla 6**; igualmente, cada especie se clasifico según Liebmann en un tipo de agua para conocer la calidad del agua del embalse, además de esto; para cada una de las especies se realizó una ficha (

ANEXO 1) en donde se puede observar su característica ecológica, taxonomía, su foto real y su foto de referencia.

Tabla 6. Plancton encontrado en el embalse Mancilla. *

Fitoplancton	Clasificación según Liebmann	Zooplancton	Clasificación según Liebmann
<i>Ceratium sp.</i>	<i>Clase III</i>	<i>Daphnia sp.</i>	<i>Clase I</i>
<i>Dinobryon</i>	<i>Clase III</i>	<i>Bosmina sp.</i>	<i>Clase II</i>
<i>Oocystis</i>	<i>Clase I</i>	<i>Mycrocyclops sp.</i>	<i>Clase II</i>
<i>Navicula sp.</i>	<i>Clase III</i>		
<i>Pinnularia viridis</i>	<i>Clase I</i>		
<i>Staurastrum sp.</i>	<i>Clase I</i>		
<i>Pandorina sp.</i>	<i>Clase III</i>		
<i>Tabellaria flocculosa</i>	<i>Clase I</i>		
<i>Melosira sp.</i>	<i>Clase II</i>		
<i>Trachelomonas sp.</i>	<i>Clase I</i>		
<i>Pediastrum sp.</i>	<i>Clase I</i>		
<i>Spirogyra sp.</i>	<i>Clase I</i>		

*Ver Anexo 1.

Fuente: Autor.

10 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El pH en cada una de las estaciones se mantiene en un rango de 5.7 a 7.6 (ver **Tabla 4** y **Tabla 5**) y no presenta gran variación, además este parámetro permanece en equilibrio dentro del perfil del agua, los valores encontrados de pH se encuentran muy cerca de los valores normales establecidos para lagunas y embalses en ecosistemas alto andinos, es decir, pH de 6 a 9 (Roldán & Ramírez, 2008). Los valores de pH encontrados tienden a la acidez, por lo que estos se consideran valores medios-bajos, esto indica que el proceso de respiración de los organismos acuáticos tiende a ser medio-bajo, en esto también influye la profundidad en la que penetra la luz del sol; lo que ayuda en la producción de fotosíntesis. En la tabla **Tabla 4** se logra evidenciar una variación del pH respecto a la temporada de precipitaciones; siendo más ácida en temporada alta; esto va muy ligado a la turbidez y se debe al arrastre de material particulado dentro del cuerpo de agua por el aumento de las lluvias; este hace que el pH del agua disminuya, además hay que tener en cuenta que cuando hay mayor turbiedad hay menor oxígeno disuelto, y por consiguiente hay mayor producción de dióxido de carbono libre en el agua y por lo que el pH del agua aumenta.

En cuanto a la alcalinidad se observa que esta es indirectamente proporcional a la profundidad, encontrando valores menores a mayor profundidad en las dos estaciones, la alcalinidad se puede relacionar con el pH; ya que al tener un pH menor a 8.3 se infiere que se tiene una alcalinidad solamente de bicarbonato (Ramírez & Roldán, 2008). En las dos estaciones, tanto en temporada de lluvias como en la de bajas precipitaciones; se tienen valores menores a 75 mg/L de CaO₃, lo que indica, según Kevern, una alcalinidad baja en el embalse; mostrando así que el agua tiene una baja capacidad de neutralizar ácidos y que no hay gran presencia de rocas con material cálcico.

La conductividad en el embalse varía en las dos estaciones, teniendo valores más altos en la estación 1 (ver **Tabla 4** y **Tabla 5**); esto debido a que dicha zona se encuentra cercana al afluente del embalse y por lo tanto es la entrada de sólidos disueltos y en suspensión alóctonos, en general los valores encontrados de conductividad eléctrica se encuentran por encima del valor promedio para embalses en Colombia (Roldán & Ramírez, 2008); esto indica que dentro del cuerpo de agua hay una cantidad media de concentración iónica y resistencia eléctrica media. Es de gran importancia tener en cuenta los valores de

conductividad, ya que si estos cambian drásticamente; el ecosistema puede estar sufriendo cambios ya sea por contaminación del hombre o por procesos naturales como inundaciones o altos niveles de evaporación.

Con respecto a la turbidez, durante la temporada de altas precipitaciones en ambas estaciones (ver **Tabla 4** y **Tabla 5**) se evidencia valores altos (con respecto a los valores obtenidos durante la temporada de bajas precipitaciones) debido al aumento de la descarga de sólidos suspendidos y sedimentos, además, siendo estas lluvias de alta intensidad; estas lograron influenciar la turbidez en la estación 2; la cual está alejada de la zona en la que ingresa el agua del río Botello. En general, se tiene un rango medio de turbidez, esto debido a la presencia de microorganismos como fitoplancton y de partículas coloidales.

La dureza cálcica y total no varía mucho y presenta valores muy bajos, por lo que se puede decir que son aguas blandas con una profundidad media y con muy baja presencia de bicarbonatos, (correlacionándose con la alcalinidad, ya que los bicarbonatos son la principal forma de alcalinidad en aguas naturales), así mismo se deduce que en el agua del embalse se encuentran una cantidad media de iones, concordando así con los valores de conductividad eléctrica. Al ser un agua blanda, se es más fácil utilizarla para consumo humano, ya que el proceso de ablandamiento sería mucho menor.

En cuanto a los cloruros, los valores encontrados en las dos estaciones se encuentran sobre el promedio (6 mg/L Cl⁻) para embalses según Roldán & Ramírez y pese a esto; dichos valores siguen siendo bajos por lo que la presencia de rocas compuestas por minerales es mínima al igual que la escorrentía de residuos fertilizantes y agroquímicos, cabe resaltar que los valores de cloruros en la estación 1 son mucho más altos que los de la estación 2, esto debido a que en esta zona entran materiales alóctonos provenientes del río Botello, además cerca a esta zona se da la presencia de cultivos y por lo tanto dichos valores pueden estar influenciados por la escorrentía de agroquímicos, pero en general se deduce que la incidencia de los factores alóctonos en el agua del embalse Mancilla es baja.

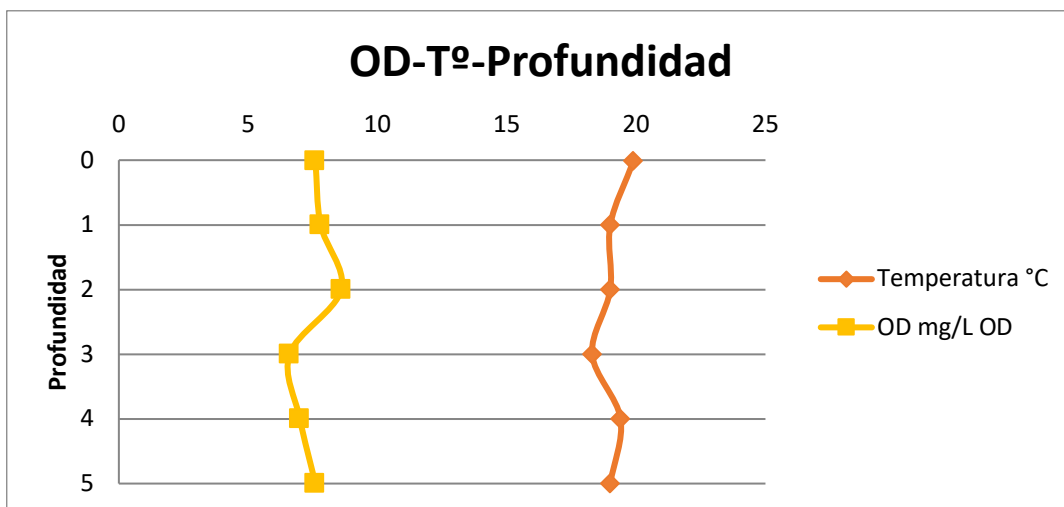
Al analizar los valores de oxígeno disuelto y al tener en cuenta los datos establecidos por Bain y Stevenson (1999), se tiene que la concentración de oxígeno disuelto encontrado; es

mucho mayor que lo establecido para aguas dulces, esto se confirma al observar los datos del porcentaje de saturación de oxígeno, ya que dos de estos se encuentran entre el 80 y 120 por ciento; indicando así que el agua es de buena calidad, se logra gran biodiversidad de organismos y que el alto contenido de O₂ se da ya sea por la acción del aire al chocar contra el agua, por la alta tasa de precipitaciones o por los procesos de fotosíntesis, igualmente se observa un valor de más del 120% en la estación 2, indicando así que hay un exceso de oxígeno; lo cual puede llegar a ser un factor limitante para el desarrollo de los organismos del ecosistema. A nivel superficial se obtuvieron datos elevados, que en su mayoría están sobre 12 mg/L OD, por lo que se considera que el agua está en condición sobresaturada en esta zona y que por lo tanto los sistemas están en plena producción fotosintética, además este incremento en la superficie se debe en igual medida por la velocidad con la que se mueve el agua en el embalse. Igualmente, a profundidad se encuentran valores entre 6 y 10 mg/L de OD, los cuales son valores adecuados para la vida de organismos y microorganismos acuáticos.

En la estación 2 se realizó un muestreo de oxígeno disuelto a diferentes niveles de profundidad; siendo la máxima medida de 5 metros, y cuyos valores obtenidos se observan en la **Gráfica 1** junto con la relación de la temperatura y profundidad, el oxígeno disuelto a medida que aumenta la profundidad no presenta una alta variación; excepto a los 2 metros de profundidad en donde éste aumenta a 8,6 mg/L OD con una temperatura de 19 ° C; este incremento se debe al proceso productivo que está realizando el fitoplancton y cabe resaltar que el muestreo se realizó unas horas después del mediodía, por lo que el movimiento de microorganismos como fitoplancton aumenta y por consiguiente la fotosíntesis (Rodríguez, 2018). La baja variación y el poco aumento de la temperatura hacen que los procesos en el agua no se aceleren y por consiguiente no se evidencien cambios drásticos en las características del embalse (Montoya & Aguirre, 2010).

Al observar y tener en cuenta los valores de oxígeno disuelto en el perfil del agua en la **Gráfica 1**, se puede decir que el embalse presenta un perfil ortógrado ya que el oxígeno que se consume es bajo y al comparar lo anteriormente mencionado con el perfil del CO₂ libre en el agua, se tiene que las curvas de OD y CO₂ no se encuentran a lo largo del perfil del embalse; determinando así al embalse como oligotrófico, es decir, que el cuerpo de agua presenta aguas con baja productividad primaria, bajos contenidos de nutrientes y en general presenta agua apta para procesos de potabilización.

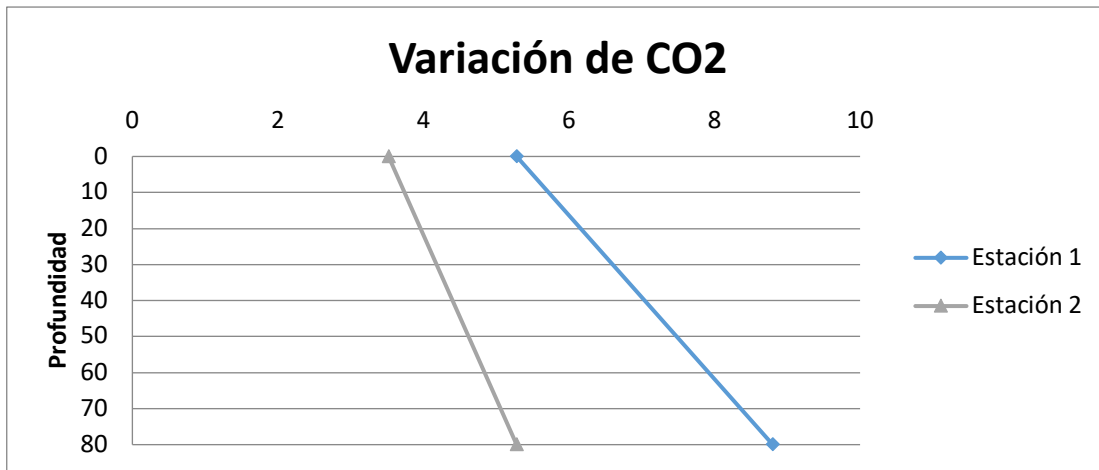
Gráfica 1. Variación del oxígeno disuelto y la temperatura a profundidad.



Fuente: Autor.

Al realizar el procedimiento de acidez carbonácea se puede determinar si la muestra de agua tiene un pH menor o mayor a 4,5 o mayor a 8,2 y al ejecutar dicho procedimiento con las muestras de agua; se obtiene que el pH se encuentra en un rango entre 5,7 y 7,6; demostrando que el agua tiende a ser de neutra a acida y como se dijo anteriormente; que la acidez del agua es debido solamente al CO₂. Por otro lado, se observa un incremento de CO₂ a medida que aumenta la profundidad; tal como se observa en la **Gráfica 2**; esto se debe a los procesos de respiración, los cuales disminuyen el O₂, incrementan el CO₂ libre en el agua y provocan que el pH del agua tienda a la acidez.

Gráfica 2. Variación de CO₂ libre a profundidad en las dos estaciones de muestreo.



Fuente: Autor.

Fitoplancton y zooplancton (Gonzalez, Narvaez, Rodriguez, & Castañeda, 2017):

En el agua del embalse Mancilla se encontraron 16 especies de microorganismos entre fitoplancton y zooplancton; siendo las más abundantes; *Ceratium sp.*: Que se caracteriza por ser una especie cosmopolita que se desarrolla en gran medida en niveles tróficos de moderados a altos y se encuentra generalmente en agua dulce como lagunas y embalses y en zonas con alta cantidad de luz, además, logra tolerar altas concentraciones de salinidad y bajos contenidos de oxígeno.

Otra especie que se encontró en abundancia fue *Bosmina sp.*: Esta especie es cosmopolita y se encuentra en diversos cuerpos de agua, como aquellos que presentan características someras y eutróficas, este microorganismo se ve influenciado por los cambios al medio ambiente y su presencia y diversidad está directamente relacionada con la temperatura y pH del agua, además esta especie indica que el ecosistema en el que se encuentra es de elevada productividad y su abundancia va a significar aguas bien oxigenadas.

Igualmente se dio alta presencia de *Mycrocyclops sp.*: Se encuentran generalmente en aguas dulces ya sea de ríos o embalses y son afectados por la toxicidad que generan algunas sustancias químicas.

Y, por último, se observó en abundancia *Tabellaria flocculosa*: Esta se encuentra en zonas oligosaprobias, es decir, aguas limpias y en aguas estancadas. Esta agua presenta baja presencia de nutrientes.

Por otro lado, se observaron los siguientes microorganismos, los cuales se encontraron en una tasa media: ***Dinobryon***: Es una especie cosmopolita y se presenta en aguas eutróficas con bajo contenido en sales.

Oocystis: Se presenta principalmente en aguas dulces como embalses y humedales con alcalinidad alta.

Navicula sp.: Esta especie crece en solitario o en cadena, se encuentran en aguas dulces con conductividad alta y en aguas oligotróficas.

Y para finalizar, se encontraron los siguientes microorganismos pero en muy bajas cantidades: ***Daphnia sp.***: Se encuentra en lagos y ríos, se alimenta de fitoplancton y materia orgánica particulada y disuelta, este microorganismo generalmente se encuentra en aguas de baja turbidez, con poca mineralización y transparencia moderada; además, si se encuentra en aguas oligotróficas; esta especie presenta poco color, siendo casi transparente.

Pinnularia viridis: Es una especie cosmopolita cuya presencia se da en cuerpos de agua en buen estado ya sea estancado o no y es sensible al nivel trófico, por lo que solo se presenta en aguas con nivel trófico bajo o medio con ninguna contaminación orgánica y se presenta en aguas con pH de neutro a ácido.

Staurastrum sp.: Este microorganismo se presenta generalmente en aguas de tipo oligotrófico, crecen en solitario y solo se encuentran a nivel continental.

Pandorina sp.: Se presenta en cuerpos de agua dulce con poca corriente, con pH neutro y en aguas con un nivel trófico medio-alto.

Melosira sp.: Se encuentra en zonas con acumulación de materia orgánica y principalmente en ecosistemas costeros, aunque se puede presentar en aguas dulces si estas se encuentran estancadas.

Trachelomonas sp.: Característico de aguas con bajo movimiento, con baja presencia de minerales, baja contaminación orgánica, alto contenido de materia orgánica y salinidad media, pH de neutro a ácido. Se presenta en aguas con baja o nula contaminación y un nivel trófico bajo o medio.

Pediastrum sp.: Se pueden presentar en aguas tanto duras como blandas, por lo que se considera una especie cosmopolita y se encuentra principalmente en embalses, humedales y lagos, además, se presenta en aguas oxigenadas con bajo contenido en nutrientes, en salinidad y en cuerpos de agua con características tróficas de medias a altas.

Brachionus sp. (Rotifera): Esta especie es cosmopolita y es sensible a cambios drásticos de temperatura, alcalinidad, salinidad y estado trófico del agua.

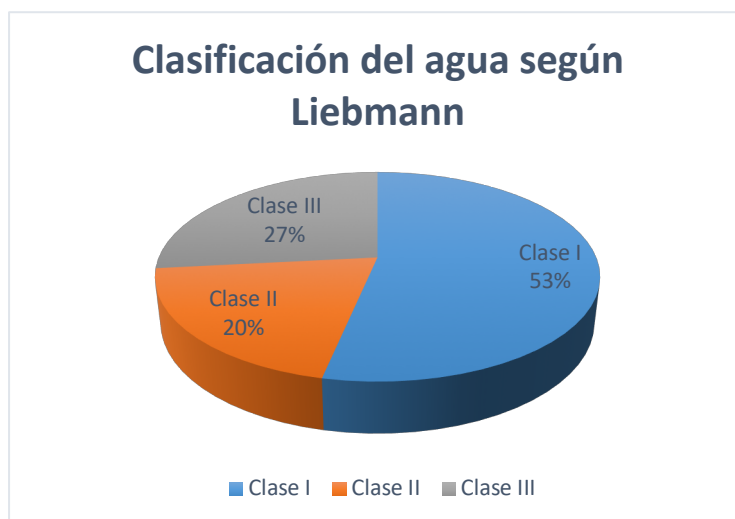
Spirogyra sp.: Se encuentra en cuerpos de agua con movimiento constante y estancado, si el ecosistema en el que se encuentra presenta altos contenidos de nutrientes; esta especie aumenta su reproducción. Esta especie se puede encontrar en aguas con eutrofización y con conductividad alta y en aguas oxigenadas, con algunos aportes de materia orgánica.

Al observar la clasificación en la que predomina cada especie en la **Tabla 6** y al observar la frecuencia con la que se da cada una de las clases en la **Gráfica 3**, se evidencia que el agua del embalse Mancilla tiende a ser de clase I, es decir, que el cuerpo de agua es una zona oligosaprobia; ya que es rica en oxígeno, presenta baja salinidad, en esta casi no se presentan sustancias contaminantes, su turbidez es baja y se encuentra con un porcentaje de saturación de O₂ de más del 70%, pese a esto también se encontraron especies de fitoplancton y zooplancton que habitan en aguas de clase II y III; por lo que se entiende que el agua puede tender a presentar características de aguas mesotróficas. Por otro lado, al conocer las características ecológicas de estas especies, se conoce que estas son cosmopolitas y pueden habitar cuerpos de agua con rangos muy amplios, es decir, que pueden habitar tanto en aguas duras como blandas o con conductividad alta o baja. Además de estas especies cosmopolitas, se encontraron especies que son muy sensibles a los cambios del ambiente, de temperatura, pH y a niveles de contaminación; por lo que estas especies solo se encuentran en ecosistemas muy específicos, debido a esto; a estas especies se les considera buenos bioindicadores, por lo tanto, se considera que los bioindicadores encontrados en el embalse Mancilla son ***Daphnia sp.***, ***Pinnularia viridis***, ***Staurastrum sp.***, y ***Spirogyra sp.***

Igualmente, al conocer cada una de las características ecológicas del fitoplancton y zooplancton encontrado en el agua del embalse, se deduce que el agua se encuentra en un estado trófico muy bueno debido a que si este tuviera alguna condición extrema o un alto grado de contaminación muchos de los microorganismos encontrados no habitarían dicho ecosistema, además las características de hábitat de cada especie tienen correlación con los parámetros fisicoquímicos analizados en el embalse. También, se encontró que algunos microorganismos pueden habitar en aguas mesotróficas y eutróficas de bajo nivel por lo

que el cuerpo de agua de este estudio puede llegar presentar niveles tróficos de medios a altos si no se tiene un control de materia orgánica y nutrientes.

Gráfica 3. Clasificación del agua según Liebmann.



Fuente: Autor

11 CONCLUSIONES

- Al caracterizar las condiciones hidrobiológicas y fisicoquímicas del humedal embalse Mancilla se encontró que el agua presenta poca variación en cuanto a cada una de las características analizadas, dando a conocer que este cuerpo de agua presenta un perfil de oxígeno ortógrado, presenta un nivel oligotrófico, baja productividad primaria, bajos contenidos de nutrientes y en general se considera que el agua del embalse Mancilla es agua apta para procesos de potabilización.
- Mediante el uso de bioindicadores se logra realizar un análisis general del estado actual del ecosistema, por lo que dicha metodología es efectiva si se requiere hacer un estudio inmediato, pero se recomienda realizar a su vez; un análisis físico y químico para tener más certeza y precisión en cuanto a la caracterización del ecosistema.
- Se identifica que las características analizadas son influenciadas por factores como la precipitación, la entrada de materiales alóctonos, la corriente y movimiento del cuerpo de agua, afluente (Río Botello) y las actividades antropogénicas que se realicen alrededor del ecosistema.
- Pese a que alrededor del embalse Mancilla hay presencia de cultivos, estos no están afectando en gran medida la calidad del agua y por consiguiente dicho cuerpo hídrico no presenta niveles de contaminación.

- Al conocer que el fitoplancton y el zooplancton presentes en el embalse Mancilla se encuentran en hábitats en buen estado, se puede decir que el cuerpo hídrico se encuentra igualmente en buen estado y por consiguiente se concluye que el agua del embalse Mancilla se encuentra actualmente en buen estado ecológico.
- Se recomienda hacer monitoreos sistemáticos y en diferentes épocas del año de nutrientes, DBO y DQO debido a que algunos de los microorganismos presentes en el embalse también se pueden encontrar en cuerpos de agua en estado mesotrófico y eutrófico. Además, si se quiere hacer un estudio complementario a esta investigación, se recomienda también hacer un análisis de macroinvertebrados y de plantas acuáticas.
- Las fichas realizadas de fitoplancton y zooplancton contienen imágenes e información de la ecología y taxonomía de los microorganismos encontrados por lo que pueden servir como referencia para futuras investigaciones no solo del embalse sino también de otros cuerpos de agua.
- Los muestreos realizados en temporada de alta y bajas precipitaciones se hacen con el fin de conocer el comportamiento del embalse y conocer la tendencia que pueden tener las características ecológicas durante el resto de año, además al hacer muestreos en ambas temporadas se logra evidenciar la influencia que tiene el ciclo hidrológico en el ecosistema.

12 BIBLIOGRAFÍA

- Alba Tercedor, J., Pardo, I., Prat, N., & Pujante, A. (2005). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la confederación hidrográfica del Ebro*.
- American Public Health Association, A. W. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- ANA. (2014). *Evaluación hidrobiológica de la cuenca del río Chira*. Autoridad Nacional del Agua.
- APHA. (1998). *Determinación de turbidez del agua*. Standard methods for the examination of water and waste water.
- Armengol, J. (1982). *Ecología del zooplancton de los embalses*. Mundo científico.
- Azcona, A., & Fernandez, M. (2012). *Propiedades y funciones biológicas del agua. Agua para la salud pasado, presente y futuro*. Madrid.
- Bojacá, R. (2005). *PSO determinación de alcalinidad por potenciometría*. IDEAM.
- Bonilla, & Guillot. (2003). *Prácticas de ecología*. Universidad Nacional de Colombia.
- California Environmental Protection Agency. (s.f.). *Folleto informativo: Oxígeno Disuelto (OD)*.
- CAR. (2009). *Adecuación hidráulica y recuperación ambiental río Bogotá*. Corporación Autónoma Regional.

- CAR. (2011). *Humedales del territorio CAR*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Bogotá D.C.
- Castillo y Rincon. (2015). *INFORME MONITOREO TOPOGRAFICO EMBALSE MANCILLA MUNICIPIO DE FACATATIVA*. Facatativá.
- CORPOICA. (2008). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrografica mayor del río Totare convenio Cortolima*.
- CORTOLIMA. (2008). *Calidad de aguas*.
- Doughty, R. (1994). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Conservation: Marine and freshwater ecosystems*. Rosenber and Resh aquatic.
- E.A.O.C. (2008). *Informe de gestión 2008-2010*. Aguas del Occidente Cundinamarqués E.A.O.C S.A.S E.S.P, Facatativá.
- EL TIEMPO. (15 de Diciembre de 2014). Inauguran embalse Mancilla en Facatativá. *EL TIEMPO*.
- Fierro Ortiz, E., & Caballero Rodriguez, L. E. (2015). *Evaluación de la calidad del agua del humedal de santa maria del lago mediante el uso de índices biológicos y fisicoquímicos para su implementación en otros humedales*. Universidad Santo Tomás, Bogotá.
- Garcia, M. (2013). *Protocolo para la determinación de cloruros*. Universidad de la Guajira.
- Gomez Cerezo, R. (2016). *Estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos continentales: un análisis comparativo. Escalas y procesos*. Universidad de Murcia.
- Gonzalez, M., Narvaez, F., Rodriguez, W., & Castañeda, W. (2017). *Caracterización fitoplanctonica y zooplanctonica de algunos humedales de colombia*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Goyenola, G. (2007). *Red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuaticos*.
- H. S., & D. K. (1987). *Atlas de los microorganismos de agua dulce. La vida en una gota de agua*. Barcelona.
- IDEAM. (2006). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>
- IDEAM. (2007). *Turbiedad por nefelometría (método B)*.
- IDEAM. (2009). *IDEAM*.
- IDEAM. (2013). *Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (s.f.). *IDEAM*. Recuperado el 19 de Abril de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>
- Institut de Ciències del Mar. (2012). *El mar a fondo*.

- Instituto Nacional de Salud. (2011). *Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio*. Bogotá.
- Instituto Nacional de Salud. (2011). *Manual de métodos fisicoquímicos básicos para el análisis de aguas para consumo humano*. Bogotá.
- Jaramillo, O. (2007). *Estados de la materia, líquido*. Morelos.
- Jofre Melendez, R., Cervantes Perez, J., & Barradas, V. (2015). *Calidad del agua de la niebla captada artificialmente en la microcuenca del río Pixqulac, veracruz Mexico: Resultados preliminares*. Universidad Veracruzana, Veracruz.
- Lawn, R., & Prichard, E. (2003). *Measurement of pH*. Reino Unido.
- Lobaton Rios, M. L., & Marin Alzate, Y. F. (2011). *Diagnostico base para el análisis ambiental territorial en el Municipio de Facatativa (Cundinamarca)*. Bogotá D.C, Colombia.
- lopez, d. l. (8890). 999. jkj.
- Moreno Veloza, F. R. (2012). *Diseño de un manual guía del docente para el estudio limnológico de ecosistemas acuáticos para el fortalecimiento de coneptos científicos en estudiantes de educación media*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Ojeda Cuadros, M. (2012). *Caracterización fisicoquímica y parámetros de calidad del agua de la planta de tratamiento de agua potable de Barrancabermeja*. Universidad industrial de Santander, Bucaramanga.
- Ortega, M., Martinez, F., & Padilla, F. (2005). *Aspectos metodológicos para evaluar la calidad ambiental de los humedales*. Universidad de Almería, Almería.
- Osorio Avila, F. J., Rodriguez Barrios, J., & Montoya Moreno, Y. (2014). *Sucesión de microalgas perifíticas en tributarios del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia*.
- Pohland, F., & Bloodgood, D. (1963). *Laboratory studies on mesophilic and thermophilic anaerobic sludge digestion*.
- Ramirez Restrepo, J., & Roldán Perez, G. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Segunda ed.). Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Roa Castro, D. (2009). *Desarrollo de un indice de diatomeas perifíticas para evaluar el estado de los humedals de Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Roldán Perez, G. (2003). Universidad de Antioquia.
- Rubio Arias, H., Ortiz, R., Quintana Martinez, R., Saucedo Terán, R., & Ochoa Burciaga, N. (2014). *Indice de calidad de agua (ICA) en la presa la boquilla en chihuahua*. México.
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). *Parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua*. Ingeniería e investigación.
- Sanabria Suarez, D. (2006). *Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas*. IDEAM.

- Santa Fe, M. (2009). *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos.*
- Secretaria de la convención de Ramsar. (2006). *Manual de la convencion de Ramsar:Guía a la convención sobre los humedales.* Gland.
- SENA. (1999). *Calidad del agua .* SENA.
- Sepulveda, M. L. (2014). *Laboratorio: pH.*
- Tanaka, M. (2001). *Recommended table for the density of water between 0°C and 40°C based on recent experimental reports.*
- Tocto, A. (2013). *Evaluación de la calidad del agua en la parroquia San Pablo del Lago, cantón Otavalo, provincia de Imbabura, utilizando un cromatógrafo de intercambio iónico con supresión química, previamente validado por el método APHA4110.*
- Univeristy of Illinois. (1934). *Illinois Biological Monographs.*
- Universidad Autonoma de Ciudad Juarez. (2013). *Humedales.*
- Universidad de la Republica de Uruguay. (2007). *Determinación de la alcalinidad total.*
- Universidad de las Americas Puebla. (2005). *Dureza del agua.* Universidad de las Americas Puebla.
- Universidad de Pamplona. (2007). *Indicadores de la calidad el agua. Generalidades.* Universidad de Pamplona.
- Universidad de Puerto Rico. (2002). *Nutrientes y gases disueltos.*
- Universidad de Puerto Rico. (2002). *Parámetros físico-químicos.*
- Universidad Nacional del Nordeste. (s.f.). *Equilibrio, ácido, base, pH.*
- UPC. (2001). *Componentes aguas.* Universitat Politecnica de Catalunya.
- Velázquez, E., & Vega, M. (2004). *Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos.* Biodiversitas.
- Viteri Garces, M., Chalen Medina, J., & Cevallos Revelo, Z. (2017). *Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba.* Guayaquil.
- W pino, D., Mena Garcia, M., L Mosquera, K., P Caicedo, J., A Palacios, A., A Castro, J., & E Guerrero. (2003). *Diversidad de macro invertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada la Benición, Municipio de Quibdó (Chocó, Colombia).*
- W sprules. (2007). *Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad.* Colombia.

13 ANEXO 1

Fichas de fitoplancton y zooplancton

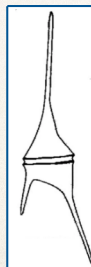
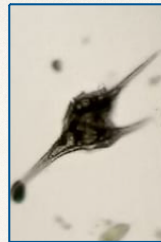
Ceratium sp.

Fitoplancton

Ecología

Se caracteriza por ser una especie cosmopolita que se desarrolla en gran medida en niveles tróficos de moderados a altos y se encuentra generalmente en agua dulce como lagunas y embalses, además se encuentra en zonas con alta cantidad de luz y logra tolerar altas concentraciones de salinidad y bajos contenidos de oxígeno.

Clasificación según Liebmann: Clase III



División: Dinoflagellata
Clase: Dynophyceae
Orden: Gonyaulacales
Familia: Ceratiaceae
Genero: *Ceratium*

Dinobryon

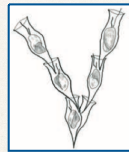
Fitoplancton



Ecología

Es una especie cosmopolita y se presenta en aguas eutróficas con bajo contenido en sales.

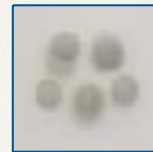
Clasificación según Liebmann: Clase III



División:
Heterokontophyta
Clase: Chrysophyceae
Orden: Chromulinales
Familia: Dinobryaceae
Genero: *Dinobryon*

Oocystis

Fitoplancton



Ecología

Se presenta principalmente en aguas dulces como embalses y humedales con alcalinidad alta.

Clasificación según Liebmann: Clase I



División: Chlorophyta
Clase: Chlorophyceae
Orden: Chlorellales
Familia: Oocystaceae
Genero: *Oocystis*

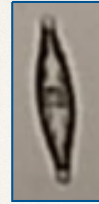
Navicula sp.

Fitoplancton

Ecología

Esta especie crece en solitario o en cadena, se encuentran en aguas dulces con conductividad alta y en aguas oligotróficas.

Clasificación según Liebmann: Clase III



División: Bacillariophyta
Clase: Bacillariophyceae
Orden: Naviculales
Familia: Naviculaceae
Genero: *Navicula*

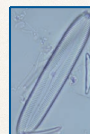
Pinnularia Viridis

Fitoplancton

Ecología

Es una especie cosmopolita cuya presencia se da en cuerpos de agua en buen estado ya sea estancado o no y es sensible al nivel trófico, por lo que solo se presenta en aguas con nivel trófico bajo o medio con ninguna contaminación orgánica y se presenta en aguas con pH de neutro a ácido.

Clasificación según Liebmann: Clase I



División:
Heterokontophyta
Clase: Bacillariophyceae
Orden: Naviculales
Familia: Naviculaceae
Genero: *Pinnularia*

Staurastrum sp.

Fitoplancton

Ecología

Este microorganismo se presenta generalmente en aguas de tipo oligotrófico, crecen en solitario y solo se encuentran a nivel continental.

Clasificación según Liebmann: Clase I



División: Chlorophyta
Clase:
Zygnematophyceae
Orden: Desmidiaceae
Familia: Desmidiaceae
Genero: *Staurastrum*

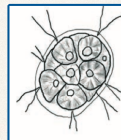
Pandorina sp

Fitoplancton

Ecología

Se presenta en cuerpos de agua dulce con poca corriente, con pH neutro y en aguas con un nivel trófico medio-alto.

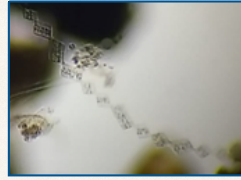
Clasificación según Liebmann: Clase III



División: Chlorophyta
Clase: Chlorophyceae
Orden: Volvocales
Familia: Volvocaceae
Genero: *Pandorina*

Tabellaria flocculosa

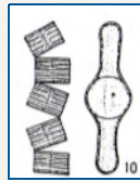
Fitoplancton



Ecología

Esta especie se encuentra en zonas oligosaprobias, es decir, aguas limpias y en aguas estancadas; estas aguas presentan baja presencia de nutrientes.

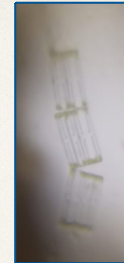
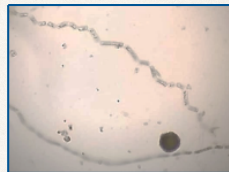
Clasificación según Liebmann: Clase I



Clase:
Fragilariophyceae
Orden: Tabellariales
Familia: Tabellariaceae
Genero: *Tabellaria*

Melosira sp.

Fitoplancton



Ecología

Se encuentra en zonas con acumulación de materia orgánica y principalmente en ecosistemas costeros, aunque se puede presentar en aguas dulces si estas se encuentran estancadas.

Clasificación según Liebmann: Clase II



División: Bacillariophyta
Clase:
Coscinodiscophyceae
Orden: Meloseirales
Familia: Melosiraceae
Genero: *Melosira*

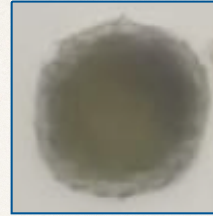
Trachelomonas sp.

Fitoplancton

Ecología

Característico de aguas con bajo movimiento, con baja presencia de minerales, baja contaminación orgánica, alto contenido de materia orgánica y salinidad media, pH de neutro a ácido. Se presenta en aguas con baja o nula contaminación y un nivel trófico bajo o medio.

Clasificación según Liebmann: Clase I



División: Euglenophyta
Clase: Euglenophyceae
Orden: Euglenales
Familia: Euglenaceae
Genero: *Trachelomonas*

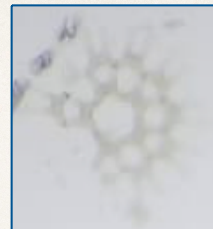
Pediastrum sp

Fitoplancton

Ecología

Se pueden presentar en aguas tanto duras como blandas, por lo que se considera una especie cosmopolita y se encuentra principalmente en embalses, humedales y lagos, además, se presenta en aguas oxigenadas con bajo contenido en nutrientes, en salinidad y en cuerpos de agua con características tróficas de medias a altas.

Clasificación según Liebmann: Clase I



División: Chlorophyta
Clase: Chlorophyceae
Orden: Chlorococcales
Familia:
Hydrodictyceae
Genero: *Pediastrum*

Spirogyra sp

Fitoplancton

Ecología

Se encuentra en cuerpos de agua con movimiento constante y estancadas, si el ecosistema en el que se encuentra presenta altos contenidos de nutrientes; esta especie aumenta su reproducción. Esta especie se puede encontrar en aguas con eutrofización y con conductividad alta y en aguas oxigenadas, con algunos aportes de materia orgánica.

Clasificación según Liebmann: Clase I



División: Chlorophyta
Clase:
Zygnematophyceae
Orden: Zygnematales
Familia: Zygnemaceae
Genero: *Spirogyra*

Daphnia sp.

Zooplancton

Ecología

Se encuentra en lagos y ríos, se alimenta de fitoplancton y materia orgánica particulada y disuelta. Este microorganismo generalmente se encuentra en aguas de baja turbidez, con poca mineralización y transparencia moderada; además, si se encuentra en aguas oligotróficas; esta especie presenta poco color, siendo casi transparente.

Clasificación según Liebmann: Clase I



Phylum: Arthropoda
Clase: Branchiopoda
Orden: Anomopoda
Familia: Daphniidae
Genero: *Daphnia*

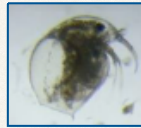
Bosmina sp.

Zooplankton

Ecología

Esta especie es cosmopolita y se encuentra en diversos cuerpos de agua, como aquellos que presentan características someras y eutróficas, este microorganismo se ve influenciado por los cambios al medio ambiente y su presencia y diversidad está directamente relacionada con la temperatura y pH del agua, además esta especie indica que el ecosistema en el que se encuentra es de elevada productividad y su abundancia va a significar aguas bien oxigenadas.

Clasificación según Liebmann: Clase II



Phylum: Arthropoda
Clase: Braquiopoda
Orden: Diplostraca
Familia: Bosminidae
Genero: *Bosmina*

Mycrocyclops sp

Zooplankton

Ecología

Se encuentran generalmente en aguas dulces ya sea de ríos o embalses y son afectados por la toxicidad que generan algunas sustancias químicas.

Clasificación según Liebmann: Clase II



Phylum: Arthropoda
Clase: Maxillopoda
Orden: Cyclopoida
Familia: Cyclopidae
Genero: *Mycrocyclops*

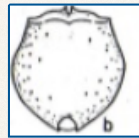
Brachionus sp.

Zooplankton



Ecología

Esta especie es cosmopolita y es sensible a cambios drásticos de temperatura, alcalinidad, salinidad y estado trófico del agua.



Phylum: Rotifera
Clase: Monogononta
Orden: Ploima
Familia: Brachionidae
Genero: *Brachionus*