

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Caracterización hidrobiológica y fisicoquímica del humedal embalse mancilla, Facatativá, Colombia

Hydrobiological and physicochemical characterization of the Mancilla reservoir wetland, Facatativá, Colombia

William Andrés Castañeda Celeita ;
Dominique Mora Cuellar ;
Dionne Paola Ballesteros Pintor 

¹Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca. Facatativá, Cundinamarca, Colombia

RESUMEN. El agua es un recurso de gran importancia para el desarrollo de las diferentes actividades humanas. En Facatativá, el Embalse Mancilla almacena 300.000 m³ de agua cruda para el abastecimiento del municipio. El objeto de la presente investigación fue determinar el estado hidrobiológico y fisicoquímico del humedal Embalse Mancilla. Se identificaron dos estaciones en el embalse para la toma de muestras puntuales de agua a nivel superficial y a profundidad en temporada de altas y bajas precipitaciones. Se midieron in situ once características: la conductividad, el pH, la temperatura, la turbidez, la profundidad de la zona fótica, la transparencia, la alcalinidad, la dureza cárquica y total, los cloruros, el oxígeno disuelto y la acidez carbonácea. También se definió la presencia-ausencia de especies de fitoplancton y zooplancton y su relación con las características fisicoquímicas. El agua del Embalse Mancilla presenta poca variación en cuanto a cada una de las características analizadas, lo que indica que este cuerpo de agua presenta un perfil de oxígeno ortógrado, se clasifica como oligotrófico, con baja productividad primaria, bajos contenidos de nutrientes y en general se considera que el agua del Embalse Mancilla es apta para procesos de potabilización. Se identificaron 18 especies de microorganismos del plancton, los más abundantes fueron *Ceratium* sp., *Bosmina* sp., *Mycrocyclops* sp. y *Tabellaria flocculosa*. Se considera que los bioindicadores principales del Embalse Mancilla son *Daphnia* sp., *Pinnularia viridis*, *Staurastrum* sp., y *Spirogyra* sp.

PALABRAS CLAVE: bioindicadores, *Ceratium* sp., *Daphnia* sp., oligotrófico, oxígeno disuelto.

ABSTRACT. Water is a resource of great importance for the development of different human activities. In Facatativá, the Mancilla Reservoir stores 300,000 m³ of raw water for the supply of the municipality. The purpose of this research was to determine the hydrobiological and physicochemical status of the Mancilla Reservoir wetland. Two stations were identified in the reservoir for the collection of water samples at surface level and at depth in the season of high and low rainfall. Eleven characteristics were measured in situ: conductivity, pH, temperature, turbidity, photic zone depth, transparency, alkalinity, calcium and total hardness, chlorides, dissolved oxygen, and carbonaceous acidity. The presence-absence of phytoplankton and zooplankton species and their relationship with physicochemical characteristics were also defined. The water of the Mancilla Reservoir presents little variation in terms of each of the characteristics analyzed, indicating that this body of water has an orthograde oxygen profile, is classified as oligotrophic, with low primary productivity, low nutrient content and in general it is considered that the water of the Mancilla Reservoir is suitable for purification processes. 18 species of plankton microorganisms were identified, the most abundant were *Ceratium* sp., *Bosmina* sp., *Mycrocyclops* sp. and *Tabellaria flocculosa*. The main bioindicators of the Mancilla Reservoir are considered to be *Daphnia* sp., *Pinnularia viridis*, *Staurastrum* sp., and *Spirogyra* sp.

KEYWORDS: bioindicators, *Ceratium* sp., *Daphnia* sp., dissolved oxygen, oligotrophic.

Para citar este artículo: Castañeda Celeita, W. A., Mora Cuellar, D., & Ballesteros Pintor, D. P. (2023). Caracterización hidrobiológica y fisicoquímica del humedal embalse mancilla, Facatativá, Colombia. *Ciencias Agropecuarias* 9(2), 15-31. <https://doi.org/10.36436/24223484.711>



Recibido: 10/01/2023 Aceptado: 20/05/2023 Publicado en línea: 30/07/2023

Contacto: William A. Castañeda Celeita - wacastaneda@ucundinamarca.edu.co

Introducción

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 (1). 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 (2). Además, brindan bienes y servicios ambientales como la provisión de agua, la protección contra inundaciones, la filtración de sedimentos, el almacenamiento de carbono, recarga de acuíferos, estabilización del microclima, fomentan el ecoturismo y la recreación y sirven de hábitat para la vida silvestre (3).

Dentro de los sistemas naturales podemos encontrar especies bioindicadoras, las cuales poseen requerimientos particulares relacionados con factores físicos y/o químicos, de tal manera que los cambios de presencia-ausencia, abundancia y morfología de la especie, pueden indicar que dichos factores fisicoquímicos se encuentran cerca de sus límites de tolerancia (4). 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 (5). 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 (6).

El plancton corresponde a microorganismos que se encuentran flotando en aguas marinas y dulces muy cerca de la superficie; este se subdivide en bacteriplancton, fitoplancton y zooplancton (7). En cuanto al zooplancton, este está conformado por cuatro grupos: protozoos, rotíferos, cladóceros y copépodos (8). Estos microorganismos son bastante sensibles a factores como la temperatura, la velocidad y el nivel del agua, la turbidez y la luz solar (9). El zooplancton permite conocer cambios del ecosistema a largo plazo debido al enriquecimiento de nutrientes y son un gran indicador de eutrofización (10). Por otro lado, el fitoplancton está relacionado con los niveles de pH, existiendo abundancia de estos cuando el medio es ácido (11).

Las familias de fitoplancton y zooplancton que se encuentran comúnmente en los humedales de Colombia son Brachionidae, Synchaetidae, Testudinellidae, Cyclopidae, Daphniidae, Bosminidae, Melosiraceae, Zygnemaceae, Hydrodictyaceae, Volvocaceae, Desmidiaceae, Scenedesmaceae, Euglenaceae, Ceratiaceae, Closteriaceae, Oocystaceae, Spirulinaceae, Chroococcaceae, Microcystaceas (12).

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 con la normatividad o las clasificaciones ya establecidas (13). 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. 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 (14).

El Embalse Mancilla ubicado en el Municipio de Facatativá, contribuye al abastecimiento del municipio con agua de consumo humano a partir de un almacenamiento de aproximadamente 320.000 m³. 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 (15). El presente estudio tuvo como finalidad describir y conocer la calidad del agua del Embalse Mancilla por medio de metodologías instrumentales, volumétricas e hidrobiológicas. Dado que a la fecha se desconoce el estado hidrobiológico y fisicoquímico de este embalse, 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.

Materiales y métodos

Dentro del embalse se definieron dos estaciones en las que se realizaron dos muestreos puntuales. Estos análisis se efectuaron *in situ* y las características a analizar se midieron a superficie y a 1 m y 5 m de profundidad de la columna de agua. La primera estación se ubicó en una zona de poca profundidad ($4^{\circ}50'42,88709''$ N, $74^{\circ}20'57,95163''$ W) y la segunda estación en una zona de mayor profundidad ($4^{\circ}50'36,40771''$ N, $74^{\circ}21'0,48046''$ W). Los primeros muestreos se realizaron durante la época de altas precipitaciones y los segundos durante bajas precipitaciones del año 2018.

Se tomaron muestras de agua para los análisis de los parámetros fisicoquímicos (Tablas 1 y 2) *in situ* y otras para la obtención de información hidrobiológica. Para ello se recolectaron muestras de fitoplancton y zooplancton, empleando una red surber de 32 micras para fitoplancton y una de 45 micras para zooplancton. Con estas redes se realizaron arrastres horizontales en contracorriente 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.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos medidos en campo a través de equipos e instrumentos

Característica	Equipo	Unidad
Conductividad eléctrica	Conductímetro portátil Hanna combo pH & EC.	Ms/cm
pH	pHmetro portátil Handy lab pH 11	-
Temperatura	Conductímetro portátil Hanna combo pH & EC.	°C
Turbidez	Turbidímetro Hanna modelo HI98703-01	UNT
Profundidad	Ecosonda	m
Transparencia	Disco de Secchi	m
Oxígeno disuelto	Oxímetro Lutron modelo DO-5510	mg/L OD

Fuente: Autores

Metodología volumétrica

Se definieron los procedimientos para la determinación de las características que se relacionan en la tabla 2, según métodos planteados por Giraldo (16).

Tabla 2. Parámetros químicos medidos en campo a través de metodología volumétrica

Característica	Unidades	Formula
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	$\text{mg/L de CaCO}_3 = \frac{\text{Vol A} \times \text{N} \times 50000}{W}$
Dureza cárquica	mg/L Ca	$\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Ca}^{++} = \frac{\text{Vol A} \times \text{N} \times 20000}{W}$
Dureza total	mg/L CaCO ₃	$\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 = \frac{\text{Vol A} \times \text{N} \times 50000}{W}$
Cloruros	mg/L Cl	$\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Cl} = \frac{\text{Vol A} \times \text{N} \times 35000}{W}$
Acidez carbonácea	mg/L CO ₂	$\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CO}_2 = \frac{\text{Vol A} \times \text{N} \times 44000}{W}$

Fuente: Autores

Para realizar la correlación de los datos fisicoquímicos del agua del embalse Mancilla y el fitoplancton y zooplancton encontrado, se tomó como referencia la clasificación de aguas saprobias de Liebmamn, que establece cuatro categorías: zona polisaprobia, zona alfa-mesosaprobia, zona beta-mesosaprobia y zona oligosaprobia. En cada categoría se da una descripción general de algunos aspectos y de los microorganismos que son predominantes en cada tipo de agua (16).

Resultados y discusión

El pH en las estaciones se mantuvo en un rango de 5,7 a 7,6 (Tablas 3 y 4) y no presentó gran variación; además, esta característica permaneció 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 altoandinos, es decir, pH de 6 a 9 (17). Los valores de pH encontrados tienden a la acidez, por lo que se consideran valores medios-bajos. Esto indica que el proceso de respiración de los organismos acuáticos tendió 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.

Tabla 3. Resultado de los valores de características fisicoquímicas del agua a nivel superficial

Característica	Estación 1		Estación 2	
	Altas precipitaciones	Bajas precipitaciones	Altas precipitaciones	Bajas precipitaciones
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: Autores

En la tabla 3 se aprecia 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, lo que 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.

Tabla 4. Resultado de los valores de características fisicoquímicas del agua a profundidad

Característica	Estación 1 Profundidad 1m		Estación 2 Profundidad 5m	
	Altas precipitaciones	Bajas precipitaciones	Altas precipitaciones	Bajas precipitaciones
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 cárccica 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 mg/L OD	10	7,1	17,4	7,52
Acidez carbonácea mg/L CO ₂	8,8	N.R	5,28	N.R

*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: Autores

En cuanto a la alcalinidad, se observó que tuvo un comportamiento inversamente 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 (17). En las dos estaciones, tanto en temporada de lluvias como en la de bajas precipitaciones, se encontraron valores menores a 75 mg/L de CaCO₃, lo que indica 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 cárccico.

La conductividad en el embalse varió en las dos estaciones, teniendo valores más altos en la estación 1 (Tablas 3 y 4). Esto se debe a que dicha zona se encuentra cercana al

afluentes 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 encontraron por encima del valor promedio para embalses en Colombia (17); esto indica que dentro del cuerpo de agua hubo una cantidad media de concentración iónica y una 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 (Tablas 3 y 4) se evidenciaron 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. Estas lluvias de alta intensidad lograron influenciar la turbidez en la estación 2, la cual está alejada de la zona en la que ingresa el agua de la quebrada Mancilla. En general, se obtuvo un rango medio de turbidez, debido a la presencia de microorganismos como fitoplancton y de partículas coloidales.

La dureza cárlica y total no varió mucho y presentó valores muy bajos, por lo que se puede decir que el Embalse Mancilla tiene 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 encuentra una cantidad media de iones, concordando así con los valores de conductividad eléctrica. Al ser agua blanda, es más fácil de utilizar para consumo humano, ya que el proceso de ablandamiento sería mucho menor.

Los valores encontrados para cloruros en las dos estaciones se encontraron sobre el promedio (6 mg/L Cl-) para embalses (17) 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 fueron mucho más altos que los de la estación 2, debido a que en esta zona entran materiales alóctonos provenientes de la microcuenca Mancilla. Además, cerca de esta zona hay 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 (18), se tiene que la concentración de oxígeno disuelto encontrada fue 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, que se cuenta con 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 observó un valor de más del 120% en la estación 2, indicando 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 cerca de los 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 debió con buena probabilidad a 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.

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)

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

- %SAT (Estación 2 – Superficial)

$$\%SAT\ O_2 = \frac{14*100}{9.87*0.91} = 155\%$$

$$\%SAT\ O_2 = \frac{8.4*100}{9.87*0.91} = 93,52\%$$

En la estación 2 se realizó un muestreo de oxígeno disuelto a diferentes niveles de profundidad, siendo la máxima medida a 5 metros. Los valores obtenidos se observan en la figura 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 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. 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 (19).

Al observar los valores de oxígeno disuelto en el perfil del agua (Figura 1), se puede decir que el embalse presentó un perfil ortógrado, ya que el oxígeno que se consume es bajo. Al comparar esto con el perfil del CO₂ libre en el agua, se observa que las curvas de OD y CO₂ son inversas a lo largo del perfil del embalse, determinando así al embalse como oligotrófico. Es decir, el cuerpo de agua presenta baja productividad primaria, bajos contenidos de nutrientes y, en general, agua apta para procesos de potabilización.

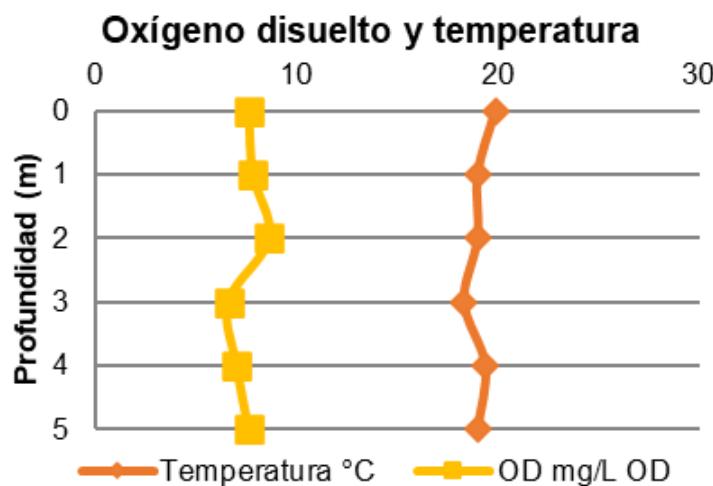


Figura 1. Variación del oxígeno disuelto y la temperatura a profundidad

Fuente: Autores

Al realizar el procedimiento de acidez carbonácea, se obtuvo que el pH se encontró en un rango entre 5,7 y 7,6, demostrando que el agua tiende a ser de neutra a ácida y, como se dijo anteriormente, que la acidez del agua se debe solamente al CO₂. Por otro lado, se observó un incremento de CO₂ a medida que aumentó la profundidad (Fig. 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.

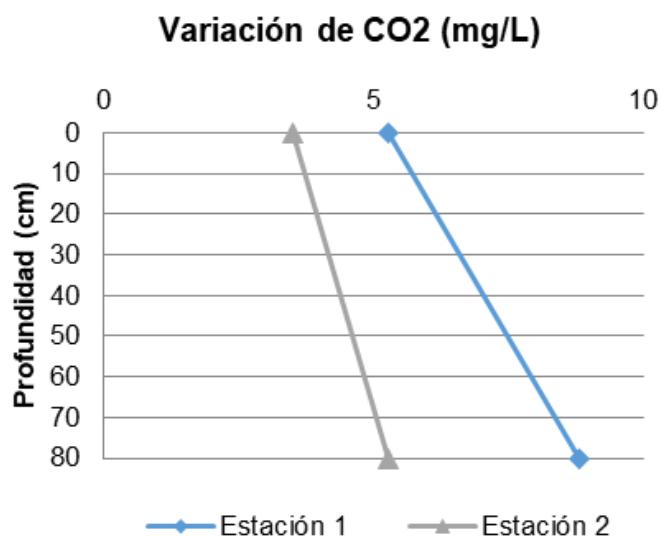


Figura 2. Variación de CO₂ libre a profundidad en las dos estaciones de muestreo
Fuente: Autores

Resultados hidrobiológicos

Al realizar el muestreo hidrobiológico y la identificación taxonómica del plancton capturado, se encontraron especies de fitoplancton en su mayoría características de zonas Alfa-mesosaprobía y oligosaprobía (Tabla 5), mientras que las especies de zooplancton fueron escasas, con organismos típicos de zonas beta-mesosaprobía y oligosaprobía.

Se encontraron 15 especies de microorganismos entre fitoplancton y zooplancton (Tabla 5), siendo la más abundante Ceratium sp., la cual 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.

Tabla 5. Plancton encontrado en el embalse Mancilla según la clasificación del agua de Liebmann

Clasificación	Descripción general	Fitoplancton	Zooplancton
Clase IV Zona polisaprobacia	Agua muy contaminada, con poco oxígeno, mal olor, muy baja biodiversidad.		
Clase III Zona alfa-mesosaprobacia	Agua con alto oxígeno, baja biodiversidad.	<i>Ceratium</i> sp. <i>Dinobryon</i> sp. <i>Padorina</i> sp. <i>Navicula</i> sp.	
Clase II Zona beta-mesosaprobacia	Agua con alto oxígeno, con turbiedad de media a baja, alta biodiversidad, presenta organismos sensibles a características fisicoquímicas.	<i>Melosira</i> sp.	<i>Bosmina</i> sp. <i>Mycrocyclops</i> sp.
Clase I Zona oligosaprobacia	Agua bastante pura, con alto oxígeno, presenta pocos individuos y especies.	<i>Oocystis</i> sp. <i>Pinnularia viridis</i> <i>Staurastrum</i> sp. <i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Trachelomonas</i> sp. <i>Pediastrum</i> sp. <i>Spirogyra</i> sp.	<i>Daphnia</i> sp.

Fuente: Autores

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 en el 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 significa aguas bien oxigenadas. Otros organismos abundantes correspondieron a *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. La última especie abundante fue *Tabellaria flocculosa*. 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 con una abundancia media: *Dinobryon* sp., especie cosmopolita que se presenta en aguas eutróficas con bajo contenido en sales; *Oocystis* sp., que se presenta principalmente en aguas dulces como

embalses y humedales con alcalinidad alta; y *Navicula* sp., especie que crece en solitario o en cadena, se encuentra en aguas dulces con conductividad alta y en aguas oligotróficas.

Finalmente se encontraron los siguientes microorganismos en muy bajas cantidades: *Daphnia* sp., quien se encuentra en lagos y ríos, generalmente en aguas de baja turbidez, con poca mineralización y transparencia moderada; se alimenta de fitoplancton y materia orgánica particulada y disuelta, y se ha reportado en aguas oligotróficas. *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 sin contaminación orgánica y en aguas con pH de neutro a ácido.

Staurastrum sp., este microorganismo se presenta generalmente en aguas de tipo oligotrófico, crece en solitario y solo se encuentra 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. suele encontrarse 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, en aguas con baja o nula contaminación y un nivel trófico bajo o medio. *Pediastrum* sp., quien se puede 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, salinidad y en cuerpos de agua con características tróficas de medias a altas.

Brachionus sp. (Rotifera), especie cosmopolita y sensible a cambios drásticos de temperatura, alcalinidad, salinidad y estado trófico del agua. Y *Spirogyra* sp., que suele encontrarse en cuerpos de agua con movimiento constante y estancado, abundante en ecosistemas con altos contenidos de nutrientes, 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 (Tabla 5) y la frecuencia de cada clase (Figura 3), se evidenció que el agua del embalse Mancilla tuvo la tendencia a ser de clase I, es decir, una zona oligosaprobía, ya que fue rica en oxígeno, de baja salinidad, con pocas sustancias contaminantes, su turbidez fue baja y se encontró 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.

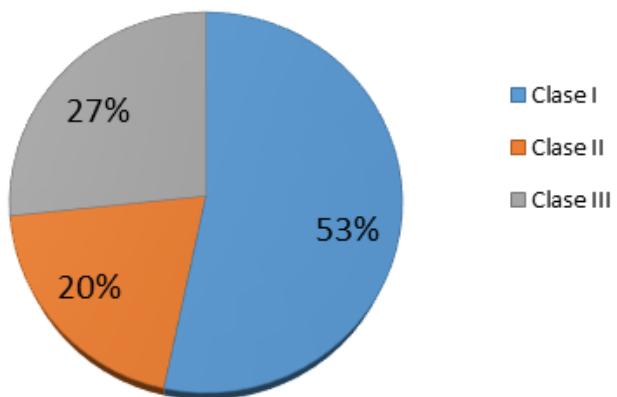


Figura 3. Clasificación del agua según Liebmamn, teniendo en cuenta las especies de organismos planctónicos encontrados

Fuente: Autores

Por otro lado, al conocer las características ecológicas de estas especies, se sabe que 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 solo se encuentran en ecosistemas muy específicos. Debido a esto, 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 las características ecológicas del plancton encontrado, se deduce que el agua se encontró en un estado trófico muy bueno, ya que si 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. 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 a presentar niveles tróficos de medios a altos si no se tiene un control de materia orgánica y nutrientes.

Conclusiones

El embalse Mancilla presenta poca variación en las características fisicoquímicas del agua analizadas, con un perfil de oxígeno ortógrado, un nivel oligotrófico, baja productividad primaria, bajos contenidos de nutrientes y, en general, se considera que el agua del embalse Mancilla es apta para procesos de potabilización. Al conocer que el fitoplancton y el zooplancton presentes en el embalse Mancilla habitan en ecosistemas en buen estado, se puede afirmar que el cuerpo hídrico se encuentra igualmente en buen estado ecológico.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Empresa Aguas de Facatativá por facilitar el acceso al Embalse de Mancilla, y a la Universidad de Cundinamarca por el aporte de los equipos, laboratorios y reactivos para la obtención de datos fisicoquímicos y microbiológicos.

Financiamiento

Los autores no declaran fuente de financiamiento para la realización de este artículo.

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con el artículo.

Utilización de Inteligencia Artificial

Los autores declaran que no se emplearon herramientas de generación de contenido por Inteligencia Artificial para la elaboración del artículo.

Referencias

1. The Nature Conservancy. Manual de buenas prácticas medioambientales para vecinos de humedales. 1^a ed. Santiago de Chile, Chile; 2022.
2. Roa Castro D. Desarrollo de un índice de diatomeas perifíticas para evaluar el estado de los humedales de Bogotá [Tesis de maestría]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2009.
3. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. Humedales del territorio CAR, Consolidación del Sistema de Humedales de la Jurisdicción CAR. Bogotá D.C.: Sistema Regional de Áreas Protegidas; 2011.
4. Doughty RC. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Conservation: Marine and freshwater ecosystems. 1994;4(1).
5. Viteri Garcés M, Chalen Medina J, Cevallos Revelo Z. Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba. Dominio de las Ciencias. 2017;3(3):628-46.
6. Velázquez E, Vega ME. Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. Conabio. Biodiversitas. 2004;57:12-5.
7. Gili M, Vendrell B, Peral L, Ambroso S, Salazar J, Zapata-Guardiola R, et al. La conservación del medio marino - El mar a fondo. Instituto de Ciencias del Mar ICM; 2022.
8. Armengol J. Ecología del zooplancton de los embalses. Mundo Científico. 1982;2(11):168-78.
9. University of Illinois (Urbana-Champaign campus) y University of Illinois at Urbana-Champaign. Illinois biological monographs. Univ. of Illinois Press. 1934;13(1).
10. Pino D, Mena-Garcia M, Mosquera K, Caicedo J, Palacios A, Castro J, et al. Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada la Bendición, Municipio de Quibdó (Chocó, Colombia). Acta Biol Colomb. 2003;8(2).
11. Villarreal H, Álvarez M, Córdoba S, Escobar F, Fagua G, Gast F, et al. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. 2^a ed. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; 2006. 236 p.
12. Gonzalez M, Narvaez F, Rodríguez W, Castañeda W. Caracterización fitoplantónica y zooplantónica de algunos humedales de Colombia. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano; 2017. Documento no publicado.
13. Fierro-Ortiz E, Caballero-Rodríguez LE. Evaluación de la calidad del agua del humedal de santa maría del lago mediante el uso de índices biológicos y fisicoquímicos para su implementación en otros humedales [Trabajo de pregrado]. Bogotá: Universidad Santo Tomás; 2015.
14. Tocto A. 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 [Trabajo de pregrado]. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; 2013.
15. Ortega M, Martinez F, Padilla F. Aspectos metodológicos para evaluar la calidad ambiental de los humedales. Almería: Universidad de Almería, Instituto de Estudios Almerienses; 2005.
16. Giraldo-Gómez GI. Manual de análisis de aguas. Manizales: Universidad Nacional de Colombia; 1995.

17. Heinz S, Dieter K. Atlas de los microorganismos de agua dulce. La vida en una gota de agua. Barcelona: Omega; 1987.
18. Roldán G, Ramírez JJ. Fundamentos de limnología neotropical. 2^a ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia; 2008.
19. Bain M, Stevenson N. Aquatic habitat assessment: common methods. 1^a ed. Bethesda, Md.: American Fisheries Society; 1999.
20. Montoya-Moreno Y, Aguirre N. Dinámica del ensamblaje algal epifítico en el sistema de planos inundables de Ayapel a través del pulso de inundación. Rev U.D.C.A Act & Div Cient. 2013;16(2):491–500.