

**ANÁLISIS DE LA COMUNIDAD PLANCTÓNICA EN UNA PISCÍCOLA DEL
HUILA, SISTEMA IPRS VS TRADICIONAL.**



LAURA SOFIA RODRIGUEZ GUERRERO

CÓDIGO: 8020121771

ESTEFANIA BONILLA RUIZ

CÓDIGO: 8020121854

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA – CORHUILA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

NEIVA- HUILA

2024

**ANÁLISIS DE LA COMUNIDAD PLANCTÓNICA EN UNA PISCÍCOLA DEL
HUILA, SISTEMA IPRS VS TRADICIONAL.**



LAURA SOFIA RODRIGUEZ GUERRERO

CÓDIGO:8020121773

ESTEFANIA BONILLA RUIZ

CÓDIGO:8020121854

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL MODALIDAD PRESENCIAL**

Directora

Paula Martínez Silva

Bióloga MSc Universidad Nacional de Colombia

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA – CORHUILA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

NEIVA- HUILA

2024

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Agradecimientos

Laura:

En primer lugar quiero darle gracias a Dios por permitirme finalizar una etapa más de mi vida , además quiero expresar mis más profundo agradecimiento a mi familia, a mi mamá Claudia Guerrero que día y noche me acompañaba en esta aventura, cuando me escuchaba y me consolaba en mis peores días, demostrándome su amor incondicional, gracias a ella me considero la mujer fuerte, honrada y solidaria que soy hoy en día; Mi papá Richard Rodriguez por su apoyo incondicional y palabras de aliento que me hacían querer superarme en los momentos difíciles, que el esfuerzo de su trabajo y lo duro que ha luchado se ve reflejados hoy en mí, también quiero agradecer a mi hermano Juan Esteban Rodriguez por ser mi compañero de vida, por sacarme sonrisas, por creer en mi y ser una de las personas más bonitas que tengo en mi vida, a mi abuela Esther Garzón por acompañarme en todo el trayecto de mi vida y enseñarme que la familia es lo mas importante, gracias por ser el pilar de ella y por ultimo me gustaría agradecer a mi tía Diana Guerrero, porque sé la mujer fuerte y valiente que es, me enseña que puedo vivir con todas las adversidades que me ponga el mundo y sobre todo que puedo superarlas.

Agradezco también a mi profesora Paula Martínez Silva, por su paciencia y orientación que fueron fundamentales durante todo el desarrollo de esta tesis. Sus valiosos comentarios y conocimiento fueron clave para alcanzar este objetivo. Además, su amor en cada detalle y palabras hacían que no nos perdiéramos del camino, a mi compañera de tesis y amiga Estefanía Bonilla Ruiz, por ser parte fundamental de este proyecto, por su dedicación, sus consejos y su bonita forma de ser, por acompañarme durante toda la carrera y ser tan especial, a mis amigos Juliana Calderón y Santiago Pimentel por recorrer este camino junto a nosotras, somos el grupo de 4 que siempre

se apoyan unos a otros. Este logro no es solo mío es de cada una de las personas que hicieron parte de mi vida.

Estefania:

Quiero agradecerle primero a Dios porque sin él no hubiese podido lograr nada. Gracias a Dios porque me dio una familia maravillosa, ellos son lo más importante y valioso de mi vida, el cual amo con todo mi corazón. Gracias a mi papá Yesid Bonilla Gutiérrez, mi hermana Daniela Melisa Bonilla Ruiz y por último la mujer que más admiro, mi hermosa mamá Nidia Judith Ruiz Charry. Cada uno me apoyó durante este proceso con sus oraciones, amor, cuidado, palabras afirmativas, me escucharon, me reprendieron, me sacaron risas, ellos lo son todo para mí y nunca me cansaré de agradecerles todo lo que ha hecho por mí. Gracias a mi mejor amigo y novio Emmanuel Guzmán Vitola, quien me animó y apoyó mucho desde que inicié el proyecto de grado, me enseñó muchas cosas en este proceso.

Gracias a Dios por la vida de la profesora Paula Martínez Silva y por colocarla en nuestro camino de aprendizaje, gracias a la profesora Paula por el apoyo, amor y por cultivar en nosotras su entusiasmo y dedicación por aprender, admiramos mucho su labor de enseñar con el corazón. Gracias a Laura Sofía Rodríguez Guerrero, mi amiga y compañera de tesis, quien me animó y trabajó, es alguien muy importante para mí. Gracias a Juliana Andrea Calderón Ramírez y Santiago Pimenten Correa, quienes estuvieron con nosotras acompañándonos, gracias a ellos este proceso fue lindo y lo recordaré siempre.

A todas estas bellas personas las llevaré por siempre en mi corazón.

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	12
2	Planteamiento del problema	14
3	Justificación	16
4	Estado del arte.....	18
	4.1 <i>Antecedentes a nivel internacional</i>	18
	4.2 Antecedentes a nivel nacional.....	19
	4.3 Antecedentes a nivel regional	21
5	Objetivos	23
	5.1 General.....	23
	5.2 Específicos	23
6	Metodología	24
	6.1 <i>Área de estudio.....</i>	24
	6.2 <i>Fase de campo: Recolección de muestras</i>	25
	6.3 <i>Fase del laboratorio: Análisis de muestras</i>	26
	6.4 <i>Fase de análisis de estructura de comunidades y diversidad:</i>	27
	6.5 <i>Análisis estadístico de los datos</i>	29
	6.6 <i>Fase de circulación de conocimiento.....</i>	29
7	Resultados.....	31
	7.1 Resultados de los análisis estadísticos	40
8	Análisis de los resultados.....	52
9	Conclusiones	56
10	Referencias.....	58

INDICE DE TABLA

TABLA 1. NÚMERO TOTAL DE INDIVIDUOS DE GÉNEROS DE FITOPLANCTON PRESENTES EN LOS DOS LAGOS, EN CADA MUESTREO.....	31
TABLA 2. NÚMERO TOTAL DE INDIVIDUOS DE GÉNEROS DE ZOOPLANCTON PRESENTES EN LOS DOS LAGOS, EN CADA MUESTREO.....	32
TABLA 3. ÍNDICES DE DIVERSIDAD PARA LOS REGISTROS DE FITOPLANCTON.....	37
TABLA 4. ÍNDICES DE DIVERSIDAD PARA LOS REGISTROS DE ZOOPLANCTON.	38
TABLA 5. ÍNDICE DE SORENSEN DE FITOPLANCTON.	39
TABLA 6. ÍNDICE DE SORENSEN DE ZOOPLANCTON.	39
TABLA 7. PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA DE LA COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD DEL ZOOPLANCTON – FITOPLANCTON.....	40

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA 1. ABUNDANCIA RELATIVA DE GÉNEROS DE FITOPLANCTON MÁS PREDOMINANTES EN EL LAGO 4.....	33
FIGURA 2. ABUNDANCIA RELATIVA DE GÉNEROS DE FITOPLANCTON MÁS PREDOMINANTES EN EL LAGO 5.....	34
FIGURA 3. ABUNDANCIA RELATIVA DE GÉNEROS DE ZOOPLANCTON PREDOMINANTES EN EL LAGO 4.	35
FIGURA 4. ABUNDANCIA RELATIVA DE GÉNEROS DE FITOPLANCTON MÁS PREDOMINANTES EN EL LAGO 5.....	36
FIGURA 5. VARIABILIDAD DE LA ABUNDANCIA DE GÉNEROS DE FITOPLANCTON EN EL LAGO 4.	42
FIGURA 6. VARIABILIDAD DE LA ABUNDANCIA DE GÉNEROS DE FITOPLANCTON EN EL LAGO 5.....	42
FIGURA 7. VARIABILIDAD DE LA ABUNDANCIA DE GÉNEROS DE ZOOPLANCTON EN EL LAGO 4.....	44
FIGURA 8. VARIABILIDAD DE LA ABUNDANCIA DE GÉNEROS DE ZOOPLANCTON EN EL LAGO 5.....	45
FIGURA 9. VARIACIÓN DEL PH EN LOS 5 MESES DEL MUESTREO	45
FIGURA 10. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LOS 5 MESES DE MUESTREO	46
FIGURA 11. VARIACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO EN LOS 5 MESES DE MUESTREO	47
FIGURA 12. VARIACIÓN DEL FOSFORO TOTAL EN LOS 5 MESES DE MUESTREO	47
FIGURA 13. VARIACIÓN DEL NITROGENO TOTAL EN LOS 5 MESES DE MUESTREO	48
FIGURA 14. VARIACIÓN DE CLOROFILA - A EN LOS 5 MESES DE MUESTREO.....	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

ILUSTRACIÓN 1. UBICACIÓN DE LA PISCÍCOLA” UNIMARPEZ”	24
ILUSTRACIÓN 2. FOTOGRAFÍAS DEL FITOPLANCTON OBSERVADO EN EL MICROSCOPIO ÓPTIMO	
OLYMPUS	50
ILUSTRACIÓN 3. FOTOGRAFÍAS DEL ZOOPLANCTON OBSERVADAS EN EL MICROSCOPIO ÓPTICO	
OLYMPUS	51

Resumen

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la estructura taxonómica y la variación temporal de las comunidades de zooplancton y fitoplancton en una piscícola con dos sistemas de cultivo de tilapia (sistemas IPRS y tradicional) con el fin de establecer como los sistemas influyen en la diversidad y abundancia de esta comunidad y utilizar estos resultados como un método de bioindicación de calidad de agua para dichos sistemas. El estudio se realiza en la finca “Casa balcón” ubicada en el Juncal-Huila, donde se tomaron muestras en dos lagos, uno de ellos con un sistema tradicional (lago 5) y uno con sistema IPRS (lago 4) en los cuales se cultiva tilapia roja *Oreochromis mossambicus*. Estas muestras se recolectaron entre los meses de abril y octubre del 2023 en horas de la mañana, realizando arrastres desde una lancha de motor con redes de fitoplancton. Para cada muestra se contaron e identificaron los individuos de la comunidad planctónica a nivel de género, con el fin de realizar análisis de diversidad y estadísticos para poder establecer las comparaciones.

Palabras claves: Plancton, sistema IPRS, sistema tradicional, diversidad, Bioindicación.

Abstract

The main objective of this work is to evaluate the taxonomic structure and temporal variation of the zooplankton and phytoplankton communities in a fish farm with two tilapia culture systems (IPRS and traditional systems) to establish how the systems influence the diversity. An abundance of this community and use these results as a method of bio indication of water quality for said systems. The study was carried out on the “Casa balcony” farm located in Juncal-Huila, where samples were taken in two lakes, one of them with a traditional system (lake 5) and one with an IPRS system (lake 4) in which red tilapia *Oreochromis mossambicus* is cultivated. These samples were collected between the months of April and October 2023 in the morning, trawling from a motor boat with phytoplankton nets. For each sample, the individuals of the planktonic community were counted and identified at the genus level to perform diversity and statistical analyses to establish comparisons.

Keywords: Plankton, IPRS system, traditional system, diversity, Bio indication

1 Introducción

En Colombia el desarrollo de la piscicultura se ha intensificado lo que ha llevado a avances tecnológicos, dando un incremento en la producción en los últimos treinta años. (Gallardo, 2018) su principal cultivo es la tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) y la tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) en jaulas y en estanques, la gran aceptación en los mercados nacional tanto internacional, denota que es un producto de alto potencial, y su consumo a nivel local va en incremento. Según la UPRA (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria), hay más de 18 millones de hectáreas que tienen la capacidad para desarrollar esta actividad y hasta la fecha hay registro de 2.200 hectáreas en producción siendo el 0,01%(Fedecua, 2018). Aunque este desarrollo supera el crecimiento de las otras actividades agropecuarias, no se ha llevado a cabo de una forma ordenada y la mayoría de sus producciones no cuentan con herramientas necesarias para una mayor eficiencia y un mejor provecho de su predio. Los diferentes tipos de producción se clasifican según su magnitud, intensidad y utilización, están los sistemas tradicionales, sistemas biofloc y los sistemas IPRS, estos dos últimos tienen una ventaja frente a los sistemas tradicionales ya que traen una opción de cultivos más sustentables y una capacidad de carga en los estanques (Ayala, 2022), además les permite a los acuicultores tener mucho más control sobre sus lagos. Cabe recalcar que la buena calidad del agua es un punto crítico para que una producción intensiva tenga éxito en esa misma línea depende de parámetros abióticos como cambios de flujos de energía, corrientes, turbidez, concentración de oxígeno disuelto (Mindiola, 2019);

El plancton es un grupo de organismos que viven en suspensión y que por su tamaño están sujetos a ser transportados por los movimientos del agua, esta comunidad desempeña un papel importante en un ecosistema acuático, especialmente en la cadena alimentaria ya que contribuye

al total de nutrientes primarios en la producción del agua, esta sección cubre tanto el fitoplancton como el zooplancton (Wulandari et al.,2019).

El fitoplancton, está compuesto por especies de organismos autótrofos que no están directamente relacionadas a un sustrato, cuya evolución ha conllevado a la aparición de estructuras que les permiten flotar o nadar en la columna de agua; constituyen el primer nivel trófico de la trama alimentaria en ecosistemas acuáticos. Son organismos microscópicos que se presentan en formas unicelulares, coloniales o filamentosas, viven suspendidos en la zona fótica de la columna de agua. (Graham et al., 2016). El zooplancton de agua dulce se compone de rotíferos, copépodos, cladóceros y protozoos, además es consumidor primario y constituye un vínculo importante entre los productores primarios y mayores consumidores en la cadena alimentaria acuática. Más del 75% de los peces de agua dulce se alimentan de plancton en una u otra etapa de su ciclo de vida (Yogesh, 2020).

Tanto el fitoplancton como el zooplancton son sensibles a los cambios en la calidad del agua (nutrientes y parámetros fisicoquímicos) en la determinación de la calidad del agua como bioindicadores de procesos de eutrofización y contaminación (Martínez et al., 2016).

En este documento se busca analizar la diversidad de especies de fitoplancton y zooplancton que habitan en las piscícolas “Unimarpez” ubicadas en la vereda del Juncal en el municipio de Palermo, Huila y establecer diferencias a nivel de diversidad y en términos estadísticos entre los lagos de piscícolas con sistema IPRS y sistema tradicional.

2 Planteamiento del problema

La piscicultura es un sector que ha crecido bastante en el departamento del Huila, de acuerdo con cifras del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en el año 2022 Colombia alcanzó una producción de 199.977 toneladas de pescado, de las cuales 78.527 fueron aportadas por el departamento del Huila, lo que representa el 39% de la producción nacional (Gobernación del Huila, 2023). La producción piscícola es el futuro del departamento del Huila, por lo tanto, se debe tener una buena producción, deben cumplir con estándares cada vez más altos de calidad y de inocuidad (Gossaín et al., 2014). El sistema IPRS el cual está constituido por tres partes básicas, las bombas de aire, las celdas o jaulas y la zona de sedimentación de sólidos. Es un tipo de sistema que fue creado para aumentar el rendimiento, tiene un sistema de jaulas dentro de un estanque que mantiene constantemente un movimiento controlado del agua para mejorar la calidad de está; Es un tipo de producción intensiva, donde los peces se confinan en altas densidades en jaulas (Ayala, 2022) mientras que el sistema tradicional retiene el agua en piscinas artificiales, en donde se desarrolla el cultivo y/o crianza de una o varias especies de peces (Spinetti et al., 2010). Algunos de los desafíos que enfrenta este sistema IPRS incluyen el potencial de brotes de enfermedades debido a densidades más altas en algunas especies y la necesidad de tener energía eléctrica de respaldo (Arana et al., 2018). En los sistemas tradicionales los animales de cultivo obtienen sus requerimientos nutricionales casi por completo a partir de alimentos manufacturados, pero al principio del período de cultivo, se benefician de los organismos alimenticios naturales (Boyd, 2018). Dicho lo anterior se cree que estos dos sistemas presentan distintas estructuras taxonómicas en la comunidad planctónica por lo tanto el proyecto plantea la siguiente pregunta

¿Cómo está conformada la comunidad planctónica en dos lagos de una piscícola (uno con sistema IPRS y uno tradicional) y cómo es la variación espacio temporal de la comunidad planctónica entre los dos sistemas y las cinco campañas de muestreo?

Nuestra hipótesis es que el sistema IPRS va a tener unos índices de diversidad más bajos que el sistema tradicional, puesto que la materia orgánica se extrae de forma continua y que por ende los valores de diversidad que indican el estado o calidad del agua deberían ser más favorables para el lago con sistema IPRS. Por otra parte, creemos que la variación espacio temporal de las comunidades planctónicas será menor en el lago con sistema IPRS que en el lago de sistema tradicional, que al no poseer sistemas de oxigenación y extracción de materia orgánica tenderán a acumular mayor cantidad de materia orgánica afectando los patrones de abundancia y diversidad de estas comunidades biológicas.

3 Justificación

El fitoplancton se define como un grupo de organismos unicelulares acuáticos que se encuentran suspendidos en el agua, que mediante las corrientes se pueden transportar de formas pasiva; Estos microorganismos son responsables de transformar la materia inorgánica en componentes orgánicos empleando la energía lumínica mejor conocida como la fotosíntesis, haciendo parte de la base de la red trófica por lo que son fundamental para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos (Torres et al, 2021). En Colombia dentro del sector agropecuario la piscicultura se ha consolidado como una de las actividades más importantes esto ha permitido un mayor desarrollo económico y generación de empleo. El departamento del Huila se ha consolidado como la principal potencia piscícola del país, siendo en el 2020, el principal productor de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) con el 39% de la producción nacional (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 2021).

Los sistemas de producción piscícola se constituyen en tradicional e IPRS. Los sistemas tradicionales consisten en piscinas artificiales, en donde se desarrolla el cultivo y/o crianza de una o varias especies de peces, a las cuales se les cambia el agua y se desocupan por completo cada cierto tiempo. Dentro de estos ecosistemas intervienen numerosos organismos que a su vez dependen de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos presentes en las aguas (Spinetti et al., 2010). El sistema IPRS “In pond raceway system” es un tipo de producción intensiva, en los que los peces se confinan dentro de celdas rectangulares alargadas en altas densidades, en las cuales el agua se mueve de manera constante; cada estanque con este sistema cuenta con un sistema de extracción de materia orgánica, lo que permite que los lagos duren mucho más tiempo antes de que sea necesario desocuparlos para cambiar el agua y drenar los sedimentos, aumentando así la productividad y duración de los lagos (Ayala, 2022).

Evidentemente, la calidad del agua en la producción de peces juega un papel fundamental en el éxito de la productividad, por ello, las piscícolas deben contar con sistemas de monitoreo y seguimiento de calidad de agua (Zanolo, 2022). El uso del fitoplancton se reconoce desde hace algunas décadas como un importante grupo de bioindicadores a través de métodos ecológicos (Santillán et al, 2018), que se basan más que todo en el cálculo de índices de diversidad y algunas comparaciones estadísticas básicas. Además el fitoplancton se puede potenciar con el zooplancton, puesto que permitirá entender mejor las dinámicas entre ambas comunidades y sus respuestas a los que ocurre con el agua. El propósito de esta investigación es evaluar la calidad del agua en dos lagos de una de las piscícolas más productivas del sector del juncal, para establecer si existen diferencias entre las composiciones de estas comunidades entre los dos tipos de lagos (IPRS y tradicional) en varios meses de muestreo.

4 Estado del arte

4.1 *Antecedentes a nivel internacional*

En 2019, se realizó un estudio en Ecuador publicado en la Revista Arbitrada de Ciencias en la Salud. El objetivo principal de este estudio fue evaluar la composición y diversidad fitoplancton en dos sectores de la bahía Manta, sometidos a diferentes niveles de impactos ambientales. Estos sectores fueron identificados como Murciélago (M) y Esteros (E). Los resultados obtenidos revelaron diferencias significativas en ambos sectores. En el caso del sector M observaron que estaba expuesto más expuesto a corrientes marinas predominantes y presentaba mayor variabilidad térmica. En cambio, el sector E recibió la descarga de dos ríos y se consideró más contaminado a comparación que el sector M; en términos de la abundancia y diversidad del fitoplancton, se encontraron resultados interesantes, en el sector M, se registró una mayor abundancia (con un promedio $610,7 \pm 780,1$ cel ml⁻¹) y una diversidad (con un índice $H'=3,27$) en comparación con el sector E, donde se encontró una menor abundancia promedio ($13,6 \pm 4,8$ cel ml⁻¹) y diversidad ($H'=3,1$), estas diferencias atribuyeron al mayor deterioro ambiental presente en el sector E; además se identificaron 32 familias de fitoplancton. Se destaca que algunas que algunas familias, diatomeas Chaetocerotaceae, Lithodesmiaceae, Rhopalodiaceae, Melosiraceae y los dinoflagelados Ceratiaceae podrían servir como indicador de contaminación ambiental, en especial al sector E (Quijije L et al., 2020).

En el año 2018, se ejecutó un estudio de investigación en el arroyo Calimayo, ubicado en el Noroeste Argentino, el objetivo fue analizar el fitoplancton y la calidad del agua de dicho arroyo. Se realizaron muestreos estacionales desde invierno/2012 hasta otoño/2013 en tres sitios (S1: tramo alto, S2: sector medio y S3: bajo, respectivamente). Los resultados obtenidos arrojaron

diferencias entre los sitios de muestreos, S2 y S3 mostraron registros más altos de temperatura, pH y conductividad eléctrica. Por otro lado, S1 mostró los valores máximos de oxígeno disuelto y la menor demanda bioquímica de oxígeno. En cuanto al fitoplancton, se encontró que las diatomeas destacaron tanto en calidad como en cantidad a comparación de otras algas; el análisis de redundancia (RDA) permitió diferenciar dos grupos Fitoplanctónicos en relación a variables abióticas. La ficoflora resultó ser un buen indicador de las condiciones ecológicas de este sistema lótico (Taboada M et al., 2018).

En el embalse San Roque, en Córdoba, Argentina, en 2020 se realizó un estudio de investigación para evaluar el estado trófico del embalse con índices de eutrofización e indicadores biológicos. En este se llevaron a cabo muestreos estacionales desde febrero de 2014 hasta febrero de 2016, en el muro de cierre de embalse y la desembocadura de los tributarios y los resultados arrojados determinaron un total de 204 Taxones; el componente dominante del fitoplancton fue el dinoflagelado *Ceratium furcoides*, mientras que la diatomea *Aulacoseira granulata* como subdominante. De acuerdo con el índice de estado trófico ubicaron al embalse San Roque en estado eutrófico, condiciones indeseables en un ambiente utilizado para provisión de agua potable (Daga I et al., 2020).

4.2 Antecedentes a nivel nacional

En el año 2021, se llevó a cabo un estudio con el objetivo de evaluar la variación en la estructura del fitoplancton según las condiciones limnológicas y los procesos metabólicos descritos a través de COD y Chl-a. La investigación se realizó en 12 lagos de la cordillera Oriental Colombiana, los cuales fueron agrupados en diferentes rangos altitudinales (alta montaña tropical, andino y tierras bajas). Los resultados arrojaron que según el índice de Sorensen, los lagos andinos

y de tierras bajas presentaron mayor similitud en la composición taxonómica de sus comunidades. En cuanto a la condición metabólica de los lagos y su asociación con la estructura de fitoplancton, se obtuvieron cuatro combinaciones: 1) predominio de sistemas mixtos con baja o intermedia concentración de COD y Chl-a, asociados con las clases Chlorophyceae y Zignematophyceae; 2) relevancia de la vía heterotrófica, con predominio de las clases Bacillariophyceae y Chlorophyceae; 3) sistema mixto con alta concentración de COD y Chl-a, asociado con las clases Cyanophyceae y Euglenophyceae, y 4) relevancia de la vía autotrófica, relacionada con las clases Cyanophyceae y Chlorophyceae. (Hernández et al., 2021).

En 2021, se publicó un estudio basado en los datos del instituto de Investigaciones Marinas y Costeros y la Agencia Nacional de Hidrocarburos de Colombia los cuales han llevado investigaciones de línea de base ambiental en bloques de exploración de hidrocarburos aguas afuera del mar Caribe colombiano, entre los años 2008 y 2018. Para ello organizaron matrices de datos, depurando la información, actualizando la taxonomía, caracterizándola a nivel taxonómico de género y estandarizando la abundancia. En general, este conjunto de datos recopila información de 8 proyectos, 14 cruceros, 12 bloques de exploración, 120 estaciones, y 304 lotes de muestras mixtas de fitoplancton, donde se registraron 135 géneros distribuidos en 80 familias, 45 órdenes, 9 clases y 7 fila. La abundancia se estandarizó a células por litro, obteniéndose un rango entre 9.6 y 7790.0 cél. L-1(Ayala K et al.,2021).

En la Universidad pedagógica y de tecnología de Colombia en Tunja, Boyacá, se realizó una investigación en 2020 sobre el objetivo de la incidencia del tiempo de retención hidráulica en el plancton del reservorio La chapa (Santana, Boyacá). Este estudio determinó el THR durante seis meses y se analizó como su variación incide sobre el comportamiento de las variables físicas, químicas y biológicas; se midieron las variables físicas y químicas del agua, se obtuvo la batimetría

del sistema y la información de diversidad taxonómica y funcional del plancton. Los resultados sugirieron que: 1) un TRH menor a 30 días promovía el aumento de nutrientes y ello elevaba la productividad primaria, la concentración de oxígeno disuelto y el pH, los cuales se asocian con un aumento en la riqueza taxonómica y funcional del plancton, especialmente del fitoplancton; se resalta el TRH como factor determinante en la comprensión del funcionamiento de este tipo de ecosistemas (Barrera J et al., 2020).

4.3 Antecedentes a nivel regional

En el año 2018, se llevó a cabo una investigación en la región del Huila la cual tuvo como objetivo los estudios de fitoplancton en la represa de Betania, Huila; destacando la diferencia respecto a las condiciones de llenado realizadas hace 30 años. Recolectaron muestras de agua bimestralmente en 10 estaciones de muestreo distribuidas durante la represa durante dos años, en ese periodo de muestreos se registraron 13 clases, 87 géneros y 137 especies; 52 nuevas especies respecto al estudio realizado hace 30 años, de las cuales 19 no se habían registrado en Colombia. Las clases más abundantes fueron Cyanophyceae y Dinophyceae, el género *Mycrocistis* fue dominante en varios muestreos y registró floraciones marcadas en la represa. Las condiciones de anoxia, periodos de sequía y la fuerte actividad pesquera promueve floraciones de algas en la represa por lo que caracteriza a Betania como un ecosistema de alto estrés ambiental (Martínez P et al., 2018).

En 2018, se publicó un artículo de investigación en la revista de Contemporary Engineering Sciences, con el objetivo de analizar la composición del fitoplancton durante sus primeras etapas de funcionamiento de la represa del Quimbo que fue construida sobre el río Magdalena en 2011 y comenzó su funcionamiento en 2015. Este estudio se llevó a cabo mediante técnicas cuali-cuantitativas, así como la relación entre las especies más abundantes y los parámetros

fisicoquímicos de pH, OD, temperatura del agua y conductividad. Mediante el análisis de correlación, los resultados cuantitativos de las microalgas se analizaron con índices de diversidad de Shannon, Margalef, Simpson y Dominancia, un total de 12 clases, 58 géneros y 84 especies, incluidos 8 nuevos registros para Colombia. Las clases Bacillariophyceae, Cholorphycea y Cyanophyceae fueron los más abundantes en especies y células/ml. Ocho especies representaron más del 10% del total de células/ml en cada muestra y todas son relacionadas con condiciones eutróficas. Se necesitan estudios, así como estrategias sostenibles de gestión y seguimiento para la represa, para evitar que cumpla un plazo antes de lo necesario y afecte más aún la cuenca del río Magdalena. (Muñoz J et al., 2018).

En el departamento del Huila se realizó un estudio en el año 2018, como objetivo principal fue la estructura de la comunidad zooplanctónica en una presa tropical (Betania, Colombia) con alta tensión ambiental. En esta investigación, las muestras de zooplancton fueron recolectadas cada dos meses durante dieciocho meses, se analizaron cualitativa y cuantitativamente en tres estaciones de muestreo del embalse correspondientes a tres zonas hidro morfológicas para determinar las especies presentes en el embalse y la abundancia relativa de cada uno en este período. Se aplicaron índices de diversidad biológica, pruebas de Kruskal Wallis, oxígeno y los perfiles de pH que se obtuvieron a lo largo del día. Además, se observaron variaciones temporales en la abundancia de las especies y algunas relaciones entre la abundancia de nutrientes y se discutieron las condiciones climáticas con los patrones de diversidad y abundancia de zooplancton donde algunos de ellos reflejan el comportamiento típico de un eutrófico sistema (Martínez P et al., 2018).

5 Objetivos

5.1 General

Caracterizar la estructura de la comunidad de plancton en dos lagos de la piscícola “Unimarpez” en la vereda Juncal del municipio Palermo, Huila.

5.2 Específicos

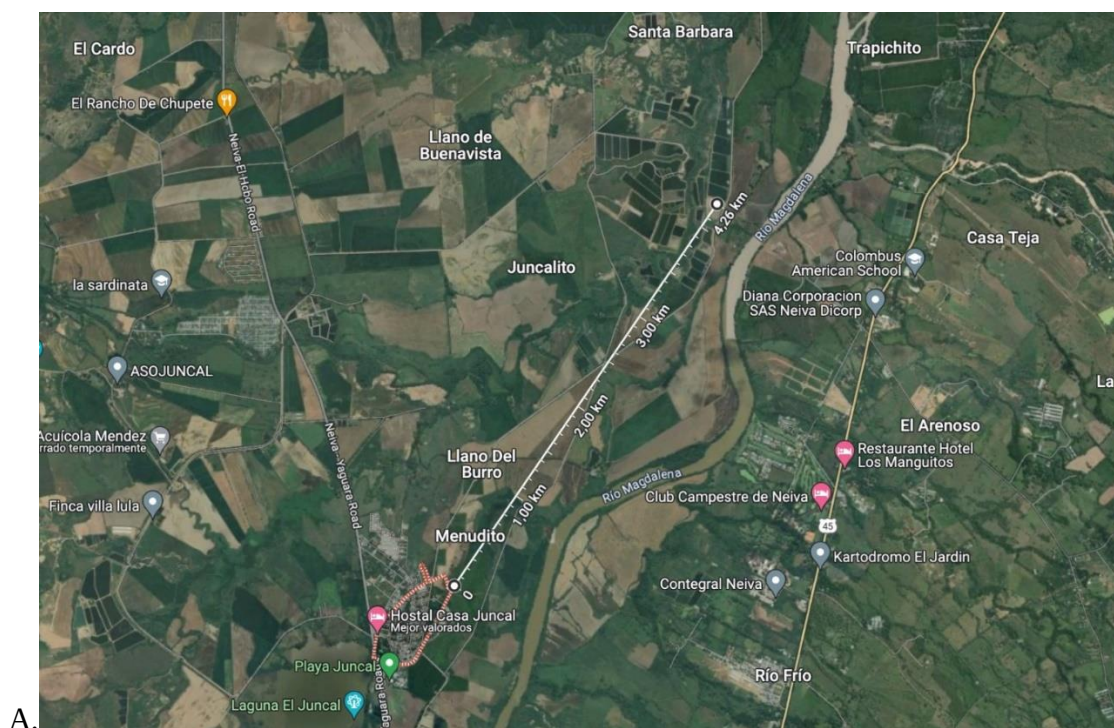
- Identificar taxonómicamente los individuos de fitoplancton y zooplancton a nivel de género.
- Aplicar índices de diversidad y análisis de varianza con los datos de frecuencias relativas
- Establecer si existen diferencias entre las composiciones de estas comunidades entre los dos sistemas (IPRS y tradicional) a lo largo del tiempo.

6 Metodología

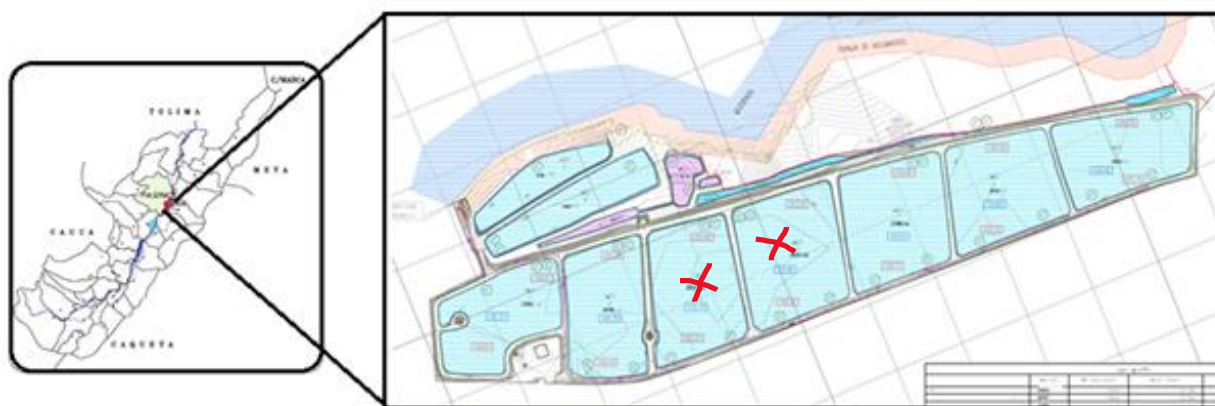
6.1 Área de estudio

El presente proyecto se elaborará en la piscícola “Unimarpez”, ubicado en el departamento del Huila, municipio de Palermo, vereda El Juncal, en la finca “Los Balcon”.

Ilustración 1. Ubicación de la piscícola “Unimarpez”



B.



Nota. En la ilustración 1 muestra la ubicación geográfica de la piscicola Unimarpez [B]Ubicación de los lagos donde se realizó el respectivo muestreo.

6.2 Fase de campo: Recolección de muestras

Para el presente proyecto se realizaron 5 campañas entre los meses de abril y agosto, en dos lagos de la finca “Los Balcones” de la piscícola “Unimarpez” uno de los lagos con sistema tradicional y el otro con sistema IPRS, el cual tienen cultivos de tilapia roja *Oreochromis mossambicus*. Se tomaron 3 puntos de cada estanque por cada campaña para un total de 30 muestras, además se realizaron arrastres horizontales superficiales durante 3 minutos para recolectar las muestras de agua con una red plancton de (20 micras de ojo de malla) en tres transectos paralelos diferentes de cada lago. Las muestras se guardaron en envases de vidrio de 600 ml con sus respectivas etiquetas (fecha de muestreo, estación de muestreo, hora) y se fijaron en campo con solución Transeau (3:1:1 Agua destilada, formol al 30% y etanol al 90%), para evitar la reproducción de los individuos y no generar ruido en los conteos. Las muestras se almacenaron en neveras de hiepo a -4°C y se transportaron al laboratorio de limnología de la Corporación universitaria del Huila – CORHUILA, donde fueron analizadas. Gracias a una investigación

paralela, en los mismos puntos de muestreo y en las mismas fechas, se pudieron obtener valores de variables fisicoquímicas correspondientes a pH, conductividad, TDS, temperatura, oxígeno disuelto, nitrógeno total, fosforo total y clorofila-a.

6.3 Fase del laboratorio: Análisis de muestras

Una vez en el laboratorio de la Corporación universitaria del Huilla – CORHUILA se utilizó un microscopio óptico marca Olympus, para realizar los conteos y la identificación de los microorganismos, utilizando los aumentos 4x, 10x y 40x. Para esto, las muestras debían sacarse de la nevera una hora antes de comenzar con los análisis para que entren en temperatura ambiente, después se homogenizaron manualmente, con movimientos circulares que buscan la distribución equitativa de los individuos en el contenido del frasco. Con una pipeta de vidrio, previamente esterilizada se extrajo de la muestra unas 5 a 6 gotas colocadas en la lámina portaobjetos y cubiertas con la lámina cubreobjetos para su observación y conteos. El conteo de las muestras recolectadas se hizo mediante un recorrido en zigzag por la muestra para recolectar la mayor información posible. Los individuos más grandes se contaron e identificaron en los aumentos 4x y 10x, y los más pequeños en aumento de 40X. La información recolectada se organizó en un documento de Excel, teniendo cuidado con la taxonomía. (Rodger B et al., 2017).

Para el cálculo del volumen de agua filtrada en m³ se utilizó la siguiente ecuación (Lora,2021).

$$v = \pi r^2 d$$

Donde V es el volumen del agua filtrada, r es el radio en metros de la red Fitoplanctónica y d es la distancia recorrida, en metros (Lora,2021).

6.4 *Fase de análisis de estructura de comunidades y diversidad:*

Se calcularán los índice de biodiversidad de Alfa (Margalef, Simpson, Shannon Weiner) y Beta (Sorensen), índice de equitatividad. Teniendo en cuenta que la diversidad alfa es la diversidad de especies es a nivel local (Baselga et al.,2019).

Índice de Margalef: Es la riqueza específica, se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de si mismas, para medir la riqueza específica se tiene que contar con un inventario completo que permita conocer el número total de especies (Moreno,2001). Se calcula utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde S es el número de especies y N es el número total de especies.

Índice de Simpson: Es un índice de dominancia, toman en cuenta la representatividad de las especies donde con mayor valor de importancia sin evaluar las contribuciones del resto de las especies (Moreno,2001).

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde p_i , es la abundancia proporcional de la especie i, lo que significa el número de individuos de las especies i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Índice de Shannon Wiener: Expresa la homogeneidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra, mide el grado promedio de incertidumbre a predecir a que especies pertenecerá un individuo escogido al azar (Moreno,2001).

Se calcula de la siguiente manera:

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

Donde S es la riqueza de las especies, P_i es la proporción de los individuos i .

Cada índice de diversidad alfa tiene su propia fórmula para calcular la equitatividad de las especies, en este caso la formula que se utilizó fu del índice de Shannon Wiener, la equitatividad se da de 0 y 1; donde el valor 0 representa baja equitatividad o alta dominancia en pocas especies y el valor 1 representa total de equitatividad en la representación de individuos de cada una de las especies del muestreo (Carmona,2013).

Se calcula de la siguiente forma:

$$J = \frac{H}{\ln(S)}$$

Donde la variable H es el índice de Shannon Wiener y la variable S es la riqueza de especies encontradas en el muestreo (Carmona,2013).

Índice de Sorensen: Analiza y relaciona la similitud entre las muestras de la riqueza pertenecientes en ambos sitios (Moreno 2001).

$$I_s = \frac{2C}{a + b}$$

Donde a es el número de especies presentes en el sitio a, b es el número de especies presentes en el sitio b y c es el número de similitud de especies en ambos sitios (Moreno, 2001).

6.5 *Análisis estadístico de los datos*

Una vez los datos consolidados, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA), Este es un conjunto de métodos estadísticos muy útil y simple. Cuando hay más de dos grupos para comparar, cuando las mediciones se repiten más de una vez o cuando los sujetos difieren en uno o más aspectos relacionados con los resultados y efectos a abordar. Cuando se desea analizar los efectos de dos o más tratamientos diferentes (Dagnino,2014), se compararían dos grupos para probar diferencias entre puntos de muestreo y meses. Dado que el análisis de varianza indica que una de las medidas es diferente de las otras, se harán pruebas posteriores, lo que ayudará a descubrir entre que pares de medias se encuentran las diferencias significativamente (Dagnino,2014). Además, se utilizó el diagrama de cajas y bigotes, una herramienta en el análisis de datos y se utiliza para resumir y comparar distribuciones en función de sus valores extremos, la mediana y los cuartiles. Este gráfico es un instrumento potente que permite comparar visualmente los valores centrales, la dispersión y la simetría o asimetría de varios conjuntos de datos a partir de cinco resúmenes estadísticos: los valores máximo y mínimo, el primer y tercer cuartil y la mediana (Madrid et al, 2022). En este caso se realizará la comparación del fitoplancton y zooplancton en los lagos con los dos sistemas.

6.6 *Fase de circulación de conocimiento*

Se participó en el encuentro regional de semilleros y se dió a exponer el trabajo realizado en estos años. Además,se buscará publicar un capitulo de un libro en el cual se de a conocer mas este tema de investigación y la importancia de estudiar estas comunidades como indicadores de calidad del agua. Como futuros ingenieros ambientales se pueden brindar varios aportes en el sector piscícola para promover la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental, se podrá realizar

la evaluación y gestión de impacto ambiental, que consiste en identificar los efectos negativos de las operaciones piscícolas para después desarrollar estrategias de gestión ambiental para minimizar los impactos, como la implementación de medidas de mitigación y un monitoreo ambiental continuo.

7 Resultados

Tabla 1. Número total de individuos de géneros de fitoplancton presentes en los dos lagos, en cada muestreo.

		Lago 4					Lago 5				
		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
CLOROPHYCEAE	<i>Ankistrodesmus</i>	664	1393	401	221	88	229	127	123	159	183
	<i>Coelastrum</i>	79	7	198	0	0	53		17	0	0
	<i>Kirshneriella</i>	1	4	6	2	10	5		0	0	0
	<i>Pandorina</i>	0	0	0	0	0	0		0	0	0
	<i>Pediastrum</i>	966	889	495	28	77	388	57	174	31	190
	<i>Scenedesmus</i>	1142	272	613	119	121	877	98	50	129	234
	<i>Selenastrum</i>	66	11	228	1	0	92		1	0	1
	<i>Sphaerocystis</i>	611	197	53	42	103	125	63	84	37	110
	<i>Tetradron</i>	85	56	84	37	51	117	48	6	6	42
	<i>Volvox</i>	45	39	22	4	29	30		11	0	2
CHLOROPHYCEAE		3659	2868	2100	454	479	1916	393	466	362	762
CYANOPHYCEAE	<i>Anabaena</i>	6	7	2	0	0	66		3	6	1
	<i>Aphanathece</i>	22	44	36	33	65	58	24	59	22	19
	<i>Chroococcum</i>	1290	754	1295	222	105	712	230	137	204	141
	<i>Gloeocapsa</i>	5	44	2	2	1	0	2	10	3	8
	<i>Merismopedia</i>	225	34	64	5	29	40	10	23	7	12
	<i>Microcystis</i>	4149	1050	1108	466	1689	1908	262	900	1276	2040
	<i>Nostoc</i>	0	0	57	0	0	1		0	0	0
	<i>Spirulina</i>	283	33	55	38	22	873	245	44	106	198
		5980	1966	2619	766	1911	3658	773	1176	1624	2419
ZYGNEMATOPHYCEAE	<i>Arthrodesmus</i>	103	0	0	0	0	26		0	0	0
	<i>Closterium</i>	2	0	1	0	0	1		0	0	1
	<i>Cosmarium</i>	5	10	5	2	5	5		1	7	18
	<i>Cosmoelidium</i>	0	0	0	0	0	3		0	0	0
ZYGNEMATOPHYCEAE	<i>Staurastrum</i>	55	38	25	3	3	64		14	0	1
ZYGNEMATOPHYCEAE		165	48	31	5	8	99	0	15	7	20
TREBOUXIOPHYCEAE	<i>Actinastrum</i>	0	0	0	0	5	0	25	1	52	52
	<i>Crucigenia</i>	44	32	59	34	37	12		4	0	0
TREBOUXIOPHYCEAE	<i>Oocystis</i>	0	0	21	4	19	0		0	12	13
TREBOUXIOPHYCEAE		44	32	80	38	61	12	25	5	64	65
BACILLARIOPHYCEAE	<i>Fragilaria</i>	259	141	265	376	64	266	62	1	60	147
	<i>Melosira</i>	611	164	265	519	46	1092	52	148	143	126
	<i>Navicula</i>	107	27	13	5	0	13	22	1	21	7
	<i>Stauroneis</i>	0	38	6	1	0	0	3	1	5	0
	<i>Surirella</i>	22	30	42	19	17	75	6	40	10	20
	<i>Synedra</i>	18	22	3	7	2	1587	19	17	0	24
		1017	422	594	927	129	3033	164	208	239	324
EUGLENOIDEA	<i>Euglena</i>	67	2	3	5	5	105	9	1	1	3
	<i>Phacus</i>	36	21	23	24	33	242	1	0	0	2
EUGLENOIDEA		103	23	26	29	38	347	10	1	1	5
CLOSTRIDIA	<i>Peridinium</i>	2	0	0	0	11	0		0	1	0
	<i>Sarana</i>	0	0	9	0	0	0		0	0	0
GAMMAPROTEOBACTERIA	<i>Thiopedia</i>	16	57	55	29	17	0	21	12	10	122

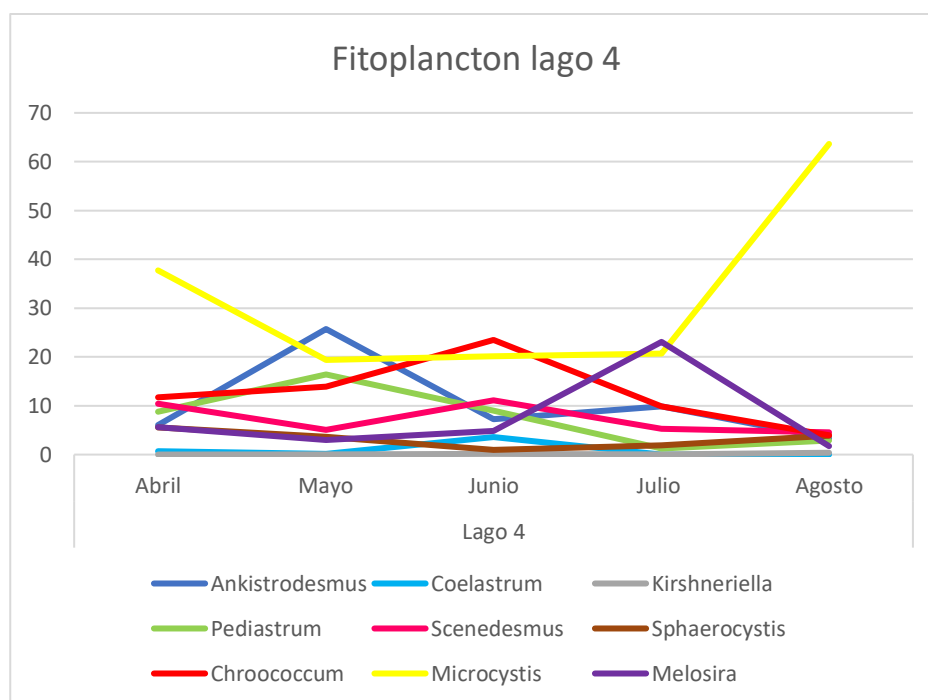
Nota. En esta tabla se evidencia el conteo general del fitoplancton con sus clases y géneros del lago 4 con sistema IPRS y el tradicional lago.

Tabla 2. Número total de individuos de géneros de Zooplancton presentes en los dos lagos, en cada muestreo.

		Lago 4					Lago 5				
		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
CLASE	ZOOPLANKTON		0	0	0	0	0		0	0	0
TUBULINEA	Amoeba	0	0	1	0	0	0		1	0	0
	Bosmina	3	15	0	0	0	0		1	0	0
BRANCHIOPODA	Dafnia	6	9	8	1	6	8	4	261	18	14
BRANCHIOPODA		9	24	8	1	6	8	4	262	18	14
COPEPODA	Copépodos	120	136	41	22	45	347	103	171	556	61
	Brachionus	223	528	59	340	37	51	36	94	38	50
	Encentrum	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Polyarthra	8	0	0	7	4	43	0	0	1	36
	Filinia	66	146	2	29	9	4	2	12	6	10
	Keratella	555	1234	81	327	100	153	48	287	52	138
MONOGONONTA	Trichocerca	5	0	0	0	0	20	0	0	0	0
MONOGONONTA		858	1908	142	703	150	271	86	393	97	234
EUROTATORIA	Enteroplea	473	127	16	20	24	191		9	5	41
OSTRACODA	Ostracoda	0	0	7	1	1	12		1	0	0

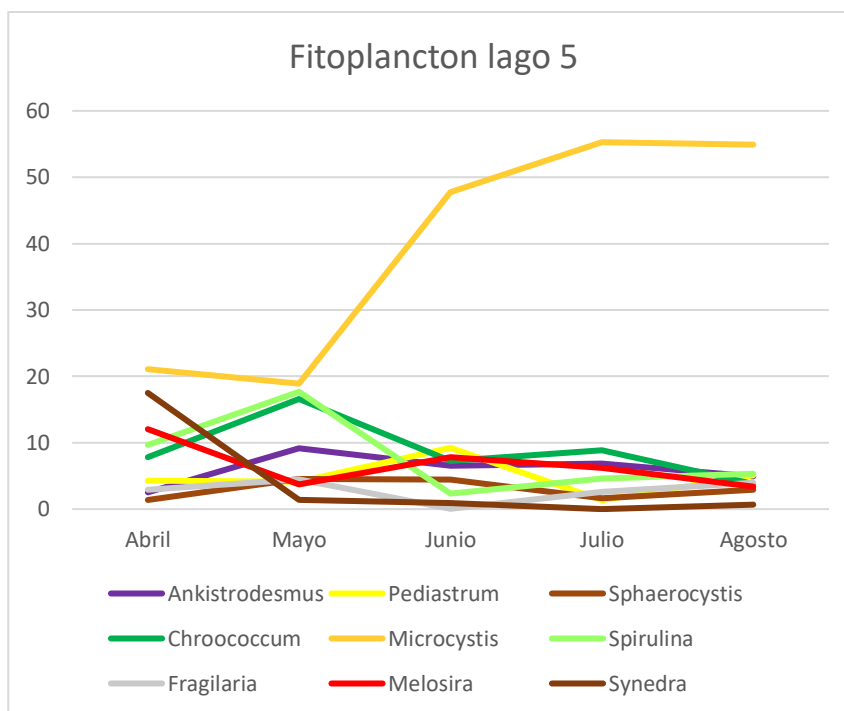
Nota. Se presenta el conteo general del zooplancton junto con sus respectivas clases y géneros del lago 4 sistema IPRS y el lago 5 sistema tradicional.

Figura 1. Abundancia relativa de géneros de fitoplancton más predominantes en el lago 4.



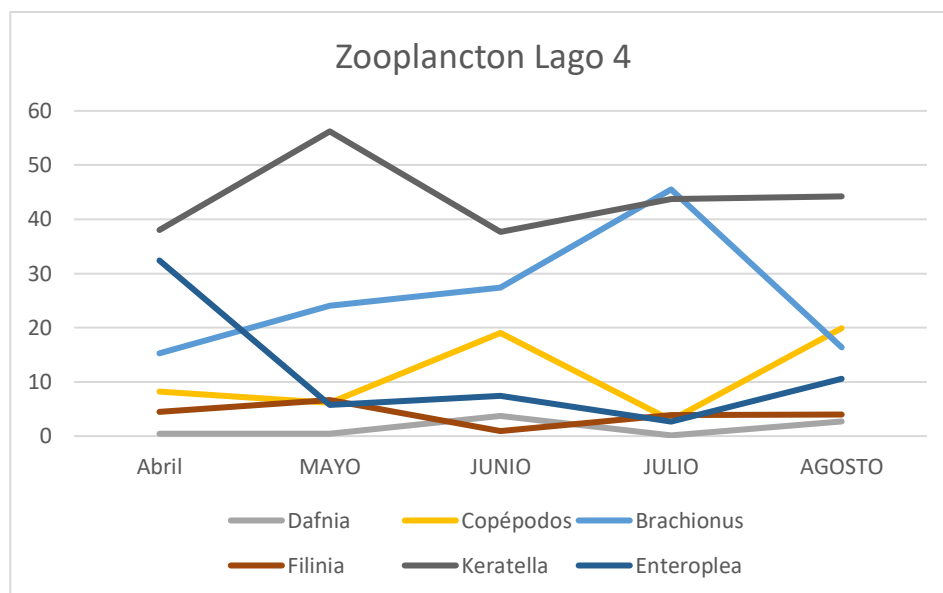
Nota. En esta gráfica se observan las abundancias relativas de cada género de fitoplancton hallado en el lago 4 durante las 5 campañas de muestreo. Puede observarse que el género *Microcystis* (de la clase CIANOBACTERIAS) es el que alcanza las mayores abundancias relativas, llegándose a encontrar más de 65 individuos, mientras que los demás géneros se reflejan con valores bajos, menores a 25 individuos en cada mes.

Figura 2. Abundancia relativa de géneros de fitoplancton más predominantes en el lago 5.



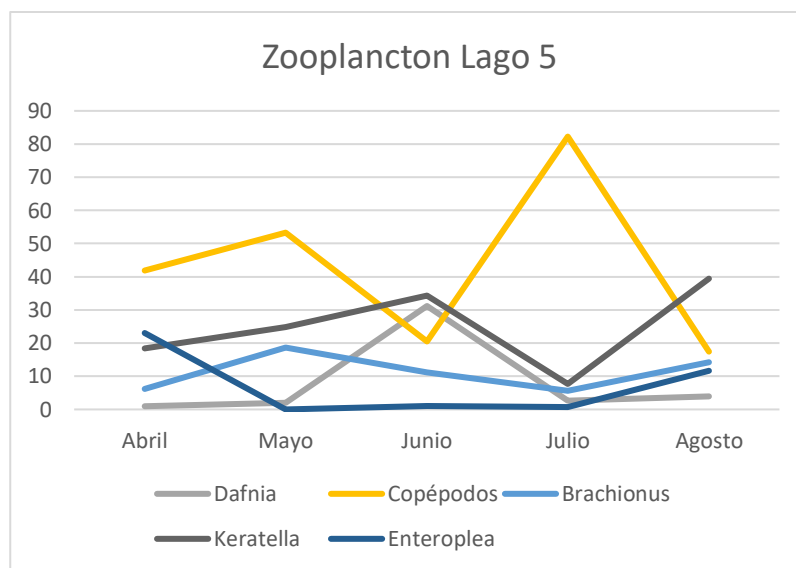
Nota. En esta gráfica se evidencian las abundancias relativas de todos los géneros de fitoplancton hallado en el lago 5 durante las 5 campañas de muestreo. Se puede observar nuevamente el género *Microcystis* (de la clase CIANOBACTERIAS) es el que alcanza mayor abundancia, llegándose a encontrar más de 50 individuos durante las campañas menos en el mes de mayo. El resto de los géneros se encuentran en una abundancia constante.

Figura 3. Abundancia relativa de géneros de Zooplancton predominantes en el lago 4.



Nota. En esta grafica se observan las abundancias relativas de los géneros de Zooplancton hallados en el lago 4 durante las 5 campañas de muestreo. Se evidencia que los géneros más abundantes en todas las campañas son *Keratella* (de la clase EUROTATORIA) llegándose a encontrar más de 50 individuos, *Brachionus* (de la clase EUROTATORIA) llegándose a encontrar más de 40 individuos y por último *copépodo* (de la clase COPEPODA) que se encuentra con índices altos de 20 individuos en algunos meses.

Figura 4. Abundancia relativa de géneros de fitoplancton más predominantes en el lago 5.



Nota. En esta grafica se evidencian las abundancias relativas de los géneros de Zooplankton hallados en el lago 5 durante las 5 campañas de muestreo. Se observa que el género *copépodo* (de la clase COPEPODA) alcanza mayor abundancia, llegando a encontrar más de 50 individuos en el mes mayo y más de 80 individuos en julio. El resto de los géneros se encuentran en una abundancia constante.

Tabla 3. *Índices de diversidad para los registros de fitoplancton*

FITOPLANCTON										
Índices	Lago 4					Lago 5				
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Taxa_S	30	28	32	27	26	29	21	27	23	27
Individuos	2187	1070	1091	437	521	1803	269	366	454	733
Dominancia_D	0,1869	0,1562	0,1299	0,1484	0,4148	0,1192	0,1177	0,2579	0,3292	0,3196
Simpson_1-D	0,8131	0,8438	0,8701	0,8516	0,5852	0,8808	0,8823	0,7421	0,6708	0,6804
Shannon_H	2,195	2,231	2,427	2,228	1,673	2,444	2,426	1,99	1,762	1,853
Margalef	3,771	3,871	4,432	4,276	3,996	3,735	3,575	4,405	3,596	3,941
EquitabilidadJ	0,6455	0,6694	0,7002	0,6759	0,5134	0,7259	0,797	0,6038	0,562	0,5621

Nota. En esta tabla se evidencia la variedad y riqueza de los géneros presentes en las comunidades biológicas evaluadas (fitoplancton), la variación Shannon se muestra que hay una contaminación constante en todos los meses, como también se resalta Margalef en el mes de junio (Lago 4 y 5) y julio (Lago 4) con una diversidad alta en casi todas las campañas superando los 3,5.

Tabla 4. *Índices de diversidad para los registros de zooplancton.*

ZOOPLANKTON										
Índices	Lago 4					Lago 5				
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Taxa_S	12	9	10	10	10	11	7	11	9	9
Individuos	461	821	69	287	73	217	53	294	791	598
Dominancia_D	0,2468	0,3229	0,2426	0,3413	0,2511	0,2109	0,2702	0,185	0,5169	0,2335
Simpson_1-D	0,7532	0,6771	0,7574	0,6587	0,7489	0,7891	0,7298	0,815	0,4831	0,7665
Shannon_H	1,594	1,382	1,667	1,268	1,652	1,765	1,448	1,786	1,08	1,743
Margalef	1,793	1,192	2,126	1,59	2,098	1,859	1,511	1,759	1,199	1,251
Equitabilidad J	0,6414	0,6291	0,7238	0,5509	0,7174	0,7362	0,7444	0,7447	0,4913	0,7933

Nota. En esta tabla se evidencia la variedad y riqueza de los géneros presentes en las comunidades biológicas evaluadas (zooplancton). La variación Shannon en el mes de julio (Lago 4) y julio (Lago 5) demostró una contaminación alta a comparación del resto, como también se resalta Margalef en el mes de junio y agosto (Lago 4) con una diversidad alta.

Tabla 5. *Índice de Sorensen de fitoplancton.*

CAMPAÑAS	ÍNDICE DE SORENSEN
Campaña 1	89,74%
Campaña 2	80%
Campaña 3	84,21%
Campaña 4	84,37%
Campaña 5	86,56%

Nota. En esta tabla puede apreciarse que todas las campañas tienen una similitud biológica de 80% en adelante lo que demuestra que el recambio de especies a lo largo del tiempo no es alto.

Tabla 6. *Índice de Sorensen de Zooplancton.*

CAMPAÑAS	ÍNDICE DE SORENSEN
Campaña 1	77,77%
Campaña 2	80%
Campaña 3	87,5%
Campaña 4	85,71%
Campaña 5	87,3%

Nota. Según la tabla, la mayoría de las campañas muestran valores superiores al 77 %, lo que muestra la similitud entre las dos comunidades comparadas, indicando que comparten una gran proporción de géneros.

7.1 Resultados de los análisis estadísticos

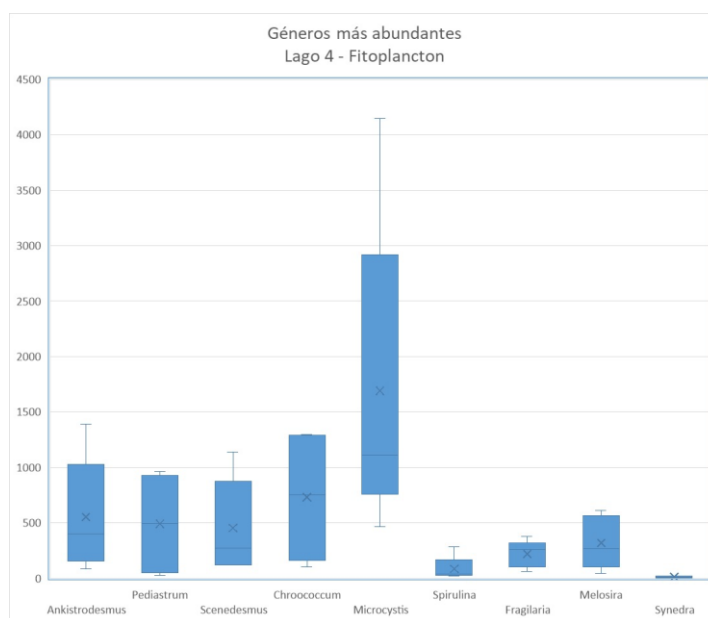
En primer lugar, se aplicó el test de normalidad para saber si la distribución de los datos se ajusta a la campana de Gauss para poder realizar los análisis con pruebas paramétricas. Al comprobar que ninguna columna de datos se ajusta a la distribución normal, optamos por aplicar pruebas no paramétricas para evitar transformar los datos y generar posibles sesgos en los resultados. En ese orden de ideas, se aplicó el test de Kruskal-Wallis con el fin de determinar si existen variaciones significativas entre el promedio de individuos entre las campañas de muestreo y entre los lagos, tanto para fitoplancton como para zooplancton. Los datos obtenidos demostraron que no hay una diferencia significativa de los géneros entre los meses de muestreo y los lagos de sistema tradicional e IPRS.

Tabla 7. Pruebas de significancia estadística de la composición y diversidad del zooplancton – fitoplancton.

	Test	de	Interpretación
	Kruskal - Wallis		
FITOPLANCTON Entre campañas de muestreo en el lago 4.	0,9261		No existen diferencias significativas entre las abundancias de los géneros de fitoplancton encontradas entre las diversas campañas de muestreo en el lago 4.
FITOPLANCTON Entre campañas de muestreo en el lago 5.	0.8054		No existen diferencias significativas entre las abundancias de los géneros de fitoplancton encontradas entre las diversas campañas de muestreo en el lago 5.
ZOOPLANCTON Entre campañas de muestreo lago 4.	0,9739		No existen diferencias significativas entre las abundancias de los géneros de zooplancton encontradas entre las diversas campañas de muestreo en el lago 4
ZOOPLANCTON Entre campañas de muestreo lago 5.	0,7461		No existen diferencias significativas entre las abundancias de los géneros de zooplancton encontradas entre las diversas campañas de muestreo en el lago 5.
FITOPLANCTON Entre los dos lagos.	0,7911		No existen diferencias significativas entre las abundancias de los géneros de fitoplancton encontradas en los dos lagos.
ZOOPLANCTON Entre los dos lagos.	0,8173		No existen diferencias significativas entre las abundancias de los géneros de zooplancton encontradas en los dos lagos.

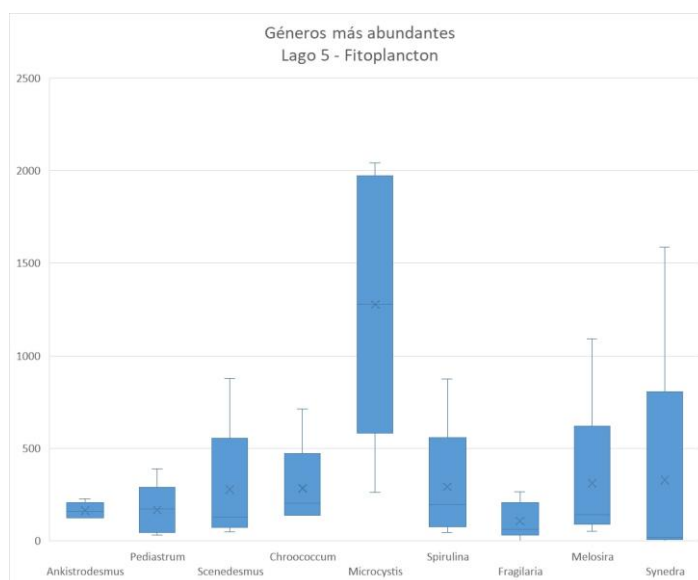
Figura 5 En la **Figura 5** se muestra una comparación de la abundancia de los géneros de fitoplancton en los distintos meses de muestreo mostrando su variabilidad, en la grafica se muestra que hay una cierta dominancia en algunos de los géneros destacandose entre ellos *Microcystis* teniendo una mayor variabilidad y abundancia, con bigotes amplios, lo que indica que las fluctuaciones en las varianzas ponderadas tiene niveles significativos; esto podría reflejar cambios en el ecosistema, géneros como *spirulina*, *fragilaria*, *melosira* y *synedra*, muestran indices mas bajos y poca variabilidad en sus datos lo que puede llegar a significar que son menos abundantes o que las condiciones de su crecimientos permanecen constantes. En la **Figura 6** se encuentra nuevamente el género *Microcystis* con una mayor dominancia significativamente mayor que el resto, esta tendencia sugiere que *Microcystis* podría estar desempeñando un papel clave en el ecosistema de este lago, como se ha mencionado anteriormente, es una cianobacteria que puede traer implicaciones en el equilibrio ecológico y la calidad del agua. Según el gráfico *Scenedesmus* y *Chroococcus* siguen, si bien con cantidades mucho menores parecidas a las del grafico anterior, Otro grupo es *Spirulina*, *Melosira*, *Synedra* y *Pediastrum*, con una cantidad moderada, y *Ankistrodesmus* tienen los valores más bajos. Probablemente, la razón sea la influencia de algunas circunstancias del ambiente, como el suministro de nutrientes y las condiciones de luz y temperatura.

Figura 5. Variabilidad de la abundancia de Géneros de Fitoplancton en el lago 4.



Nota: En esta grafica se observa la variabilidad de la abundancia de los géneros de fitoplancton mas destacados en el muestreo de abril a agosto.

Figura 6. Variabilidad de la abundancia de Géneros de Fitoplancton en el lago 5.

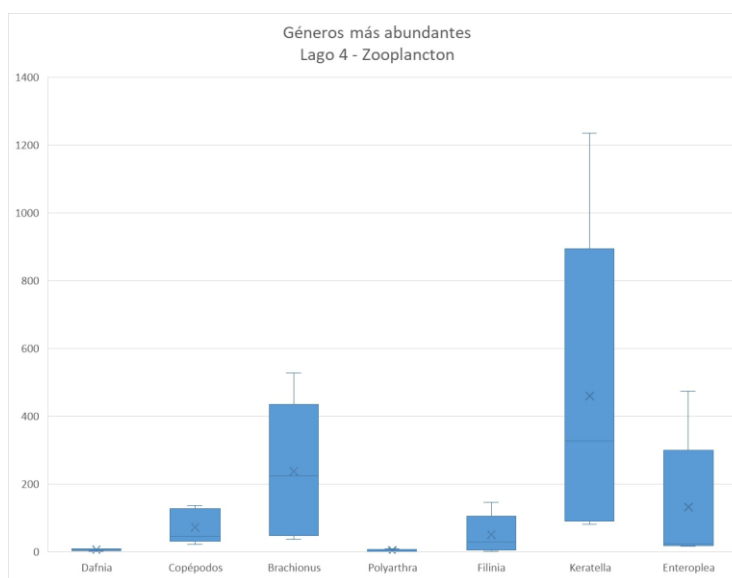


Nota: En esta grafica se observa la variabilidad de la abundancia de los géneros de fitoplancton mas destacados en el muestreo de abril a agosto del lago 5 con sistema tradicional.

El zooplancton muestra variaciones en dos géneros bastantes notables, *Keratella* y *Brachionus*, lo que indica una composición zooplanctónica diversificada pero dominada por la *keratella* en comparación con el resto, en la

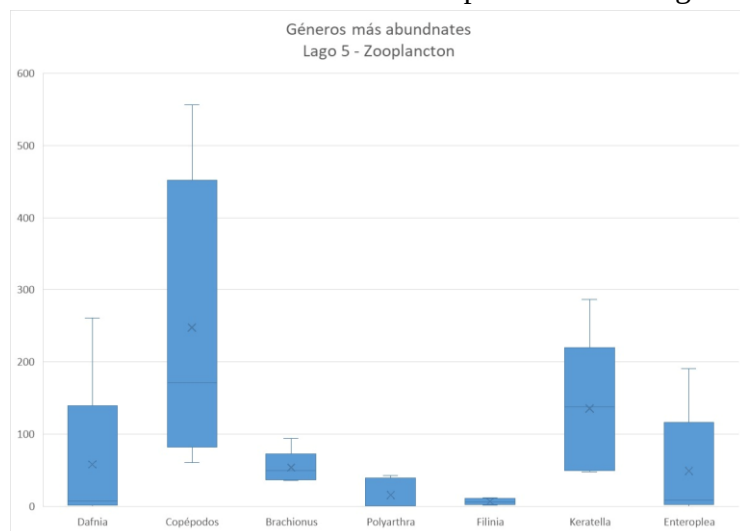
Figura 8 se evidencia el cambio de comportamiento de estos rotíferos, donde copépodos resalta como el género mas dominante, esto refleja una diferencia ecológica importante con respecto al lago 4; *Dafnia*, *Keratella* y *Enteroplea* también muestran un índice de abundancia destacadas, sugiriendo una estructura zooplanctónica diversa en el lago 5, el resto muestran que tienen una representación moderada; La elevada abundancia de los copépodos podría estar reflejada a los cambios climáticos, calidad del agua o factores como el régimen alimenticio, mostrando una clara diferencia entre los dos lagos.

Figura 7. Variabilidad de la abundancia de Géneros de Zooplancton en el lago 4.



Nota: En esta grafica se observa la variabilidad de la abundancia de los géneros de Zooplacton mas destacados en el muestreo de abril a agosto.

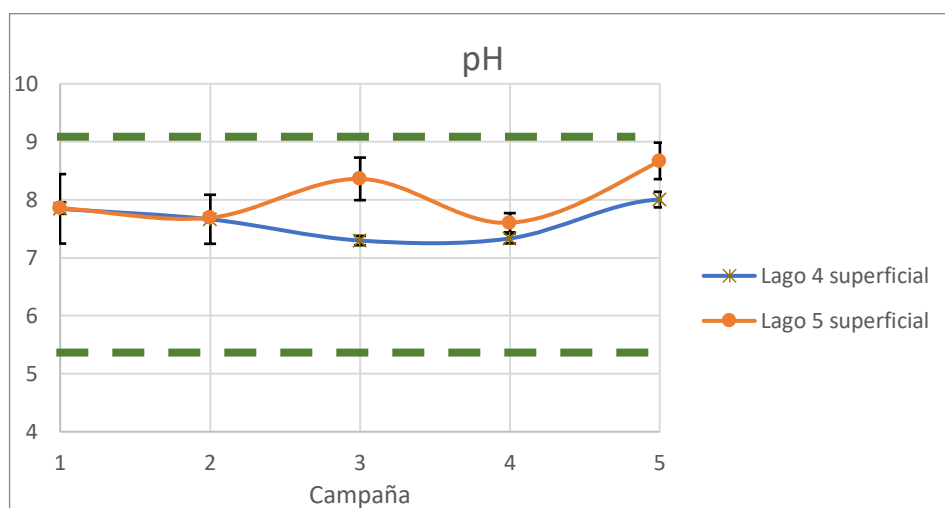
Figura 8. Variabilidad de la abundancia de Géneros de Zooplancton en el lago 5.



Nota: En esta grafica se observa la variabilidad de la abundancia de los géneros de Zooplacton mas destacados en el muestreo de abril a agosto con sistema tradicional.

Se hizo una investigación paralela en los mismos puntos de muestreo de los cuales arrojaron datos de los parámetros fisicoquímicos sin embargo las graficas que se tienen en cuenta son las siguientes:

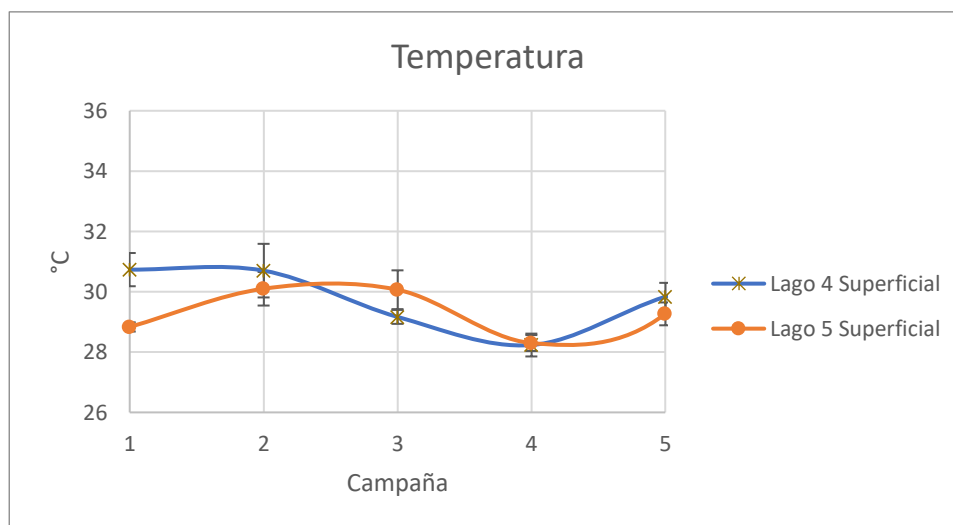
Figura 9. Variación del pH en los 5 meses del muestreo



Nota: Esta grafica fue obtenida del trabajo de investigación “Determinación de la calidad del agua en piscícolas mediante el uso de imágenes multiespectrales y algoritmos inteligentes” de

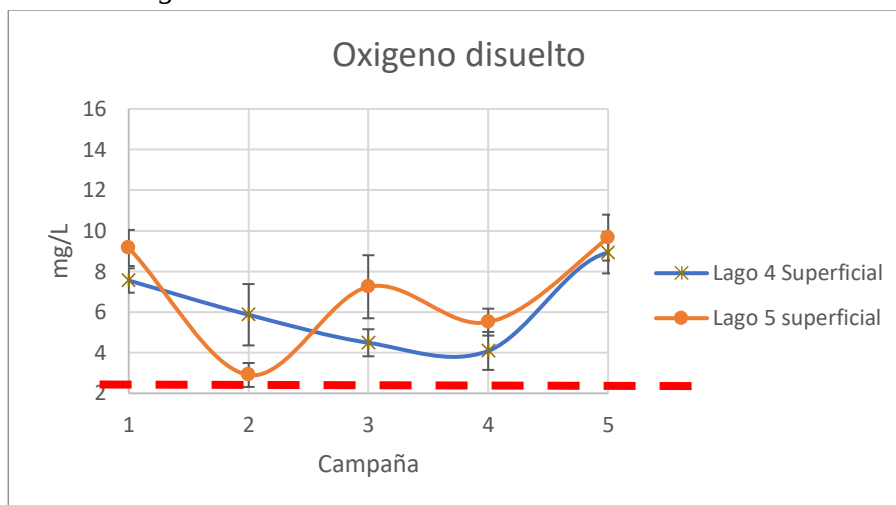
Losada.,L et al,2023.Durante las 5 campañas de muestreo los valores de pH oscilaron dentro del rango óptimo para el cultivo de tilapia, establecido entre 5,5 y 9 (Tomas Reboucas et al,2016); En general los niveles de pH se muestran estables según lo mencionado para el cultivo de Tilapia, en el lago 4, la campaña 5 mostró la mayor significancia, a comparación del lago 5 donde la campaña 3 y 5 sobresalieron .

Figura 10. Variación de la temperatura en los 5 meses de muestreo



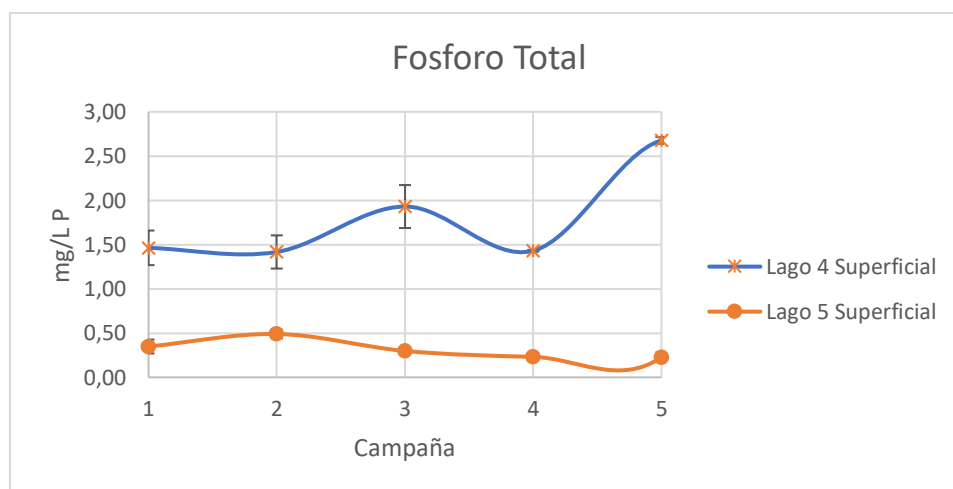
Nota: En esta grafica se evidencia el cambio de temperatura de los dos lagos durante las 5 campañas de muestreo (Losada.,L et al,2023). Los análisis estadísticos revelaron diferencias significativas en la temperatura de los lagos entre las 5 campañas, en el Lago 4 la campaña 1 y 2 fueron las que arrojaron datos con las mayor sinificancia, en el lago 5 la campaña 2 y 3 mantuvieron la misma temperatura de 30° siendo así los valores superiores.

Figura 11. Variación del Oxígeno Disuelto en los 5 meses de muestreo



Nota: Se evidencia los cambios de Oxígeno disuelto en los dos lagos en las 5 campañas (Losada.,L et al,2023).En la mayoría de las campañas las concentraciones de los lagos fueron óptimas para el crecimiento de los peces, en el lago 5 durante la campaña 2 se vió reflejado una decreciente en la gráfica, en el lago 4 se muestran que la campaña 1 y 5 tuvieron mayor significancia mientras que las otras se encuentran estables.

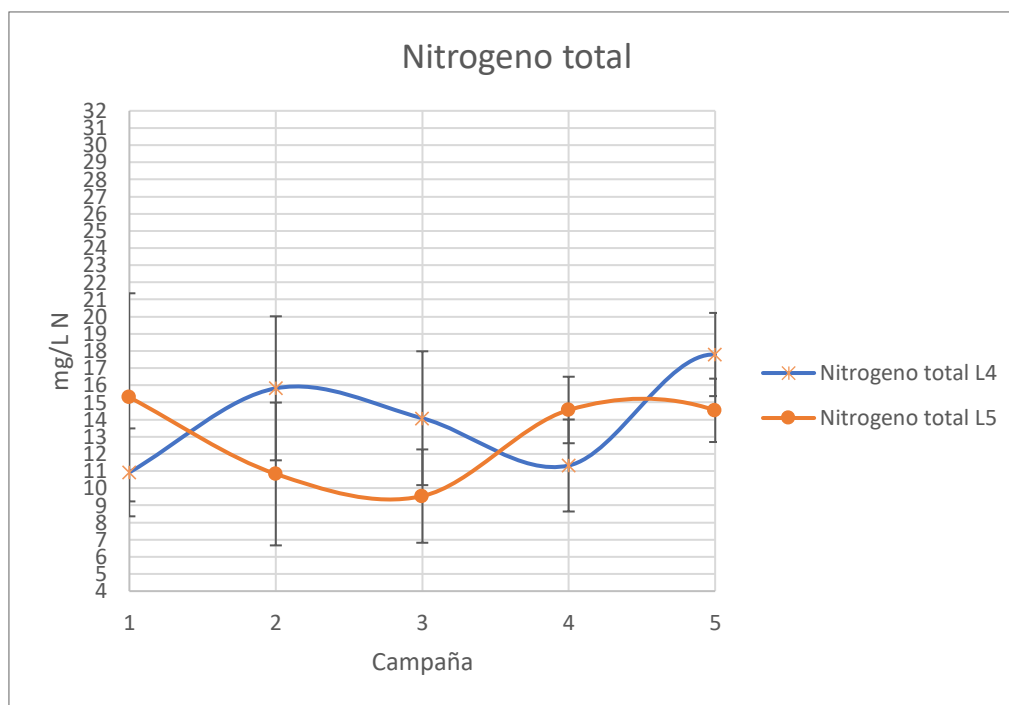
Figura 12. Variación del fósforo total en los 5 meses de muestreo



Nota: Las graficas muestran la evolución de los niveles de fósforo total durante las 5 campañas en donde se observa una tendencia creciente en el lago 4 pronunciada en la campaña 4 hasta la 5 alcanzando el valor máximo de 3,00 mg/L. Por el contrario el lago 5 se muestran en todos

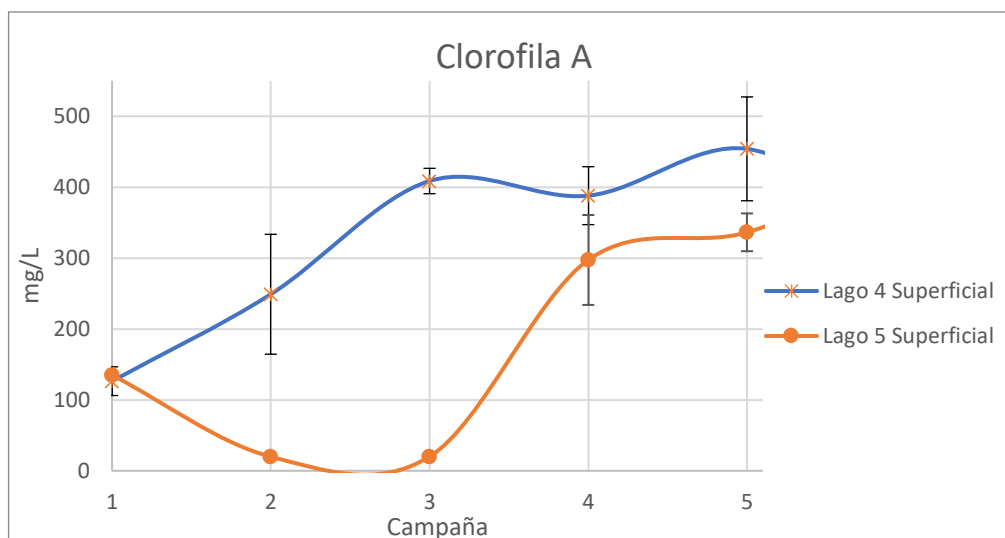
los meses de muestreo con niveles constantes siendo así valores consistentemente bajos, sin superar los 0,5 mg/L.

Figura 13. Variación del nitrógeno total en los 5 meses de muestreo



Nota: Se muestran las concentraciones de nitrógeno total a lo largo del muestreo, en las primeras campañas, el lago 4 muestra concentraciones de tendencia fluctuante con un aumento significativo en la última campaña; En el lago 5 se muestra una descendencia desde la campaña 1 hasta la 3 donde los niveles alcanzan a disminuir entre 9 mg/L y 10 mg/L, a partir de la campaña 4 los valores comienzan a aumentar teniendo una estabilidad entre la campaña 5.

Figura 14. Variación de Clorofila - a en los 5 meses de muestreo



Nota: En el lago 4 se presenta un aumento continuo desde la primera campaña alcanzando valores de 400mg/L aproximadamente, posteriormente mantiene una concentración estable y elevada en las dos campañas; El lago 5 comienza con niveles bajos desde la primera campaña, con una marcada disminución en la campaña 2 y 3, a partir de ese se observa un aumento progresivo de los últimos dos meses de muestreo mostrando valores parecidos a los del lago 4.

Ilustración 2. Fotografías del Fitoplancton observado en el microscopio Óptimo Olympus

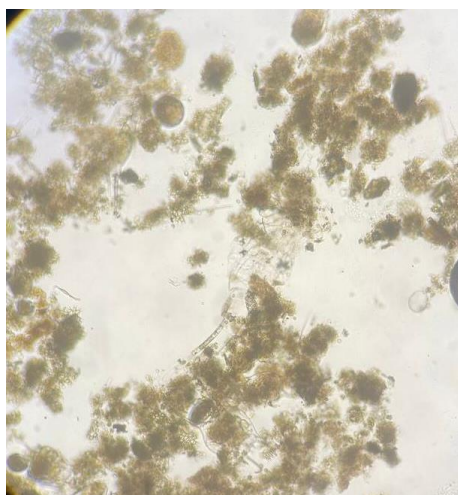
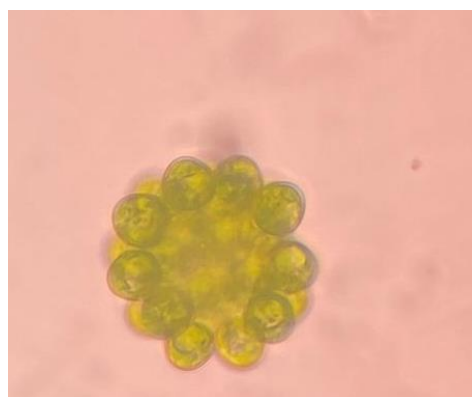
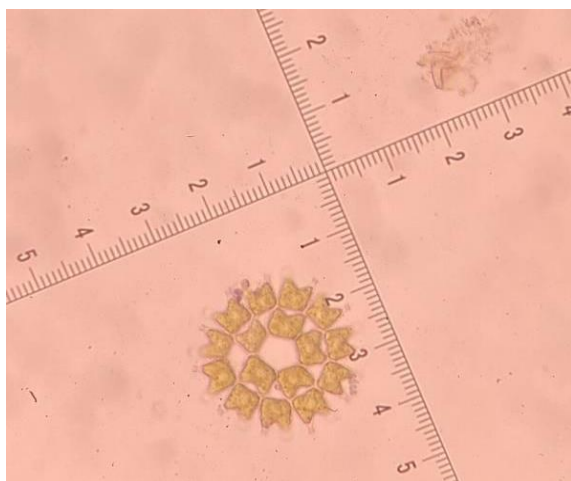


Ilustración 3. *Fotografías del Zooplancton observadas en el microscopio Óptico Olympus*



8 Análisis de los resultados

Durante el periodo de estudio se identificaron un total de 37 géneros de fitoplancton distribuidos en 9 clases. Entre estas, se destacan las clases predominantes: Cyanophyceae, Chlorophyceae y Bacillariophyceae, que son claves para la dinámica de los ecosistemas acuáticos. La clase Cyanophyceae mostró la mayor riqueza con géneros como *Microcystis*, *Chroococcum* y *Spirulina*. La predominancia de *Microcystis*, en particular, es alarmante, ya que esta cianobacteria puede causar proliferaciones nocivas que afectan la calidad del agua (Olivares, 2013).

En el lago 4 (sistema IPRS), las condiciones fisicoquímicas, como el pH y el oxígeno disuelto, se mantuvieron más estables durante el periodo de muestreo, lo que favoreció la presencia de géneros como *Microcystis* y *Scenedesmus*. Estas condiciones óptimas para la fotosíntesis son cruciales, ya que el fitoplancton necesita nutrientes adecuados para su desarrollo. En contraste, el lago 5 (sistema tradicional) mostró fluctuaciones en estas variables, lo que podría indicar un ecosistema menos controlado y propenso a la eutrofización.

La presencia de cianobacterias, como *Microcystis*, es indicativa de condiciones de contaminación y eutrofización, especialmente en el lago 5, donde se observaron incrementos en los niveles de fósforo y nitrógeno. Esto coincide con lo planteado por (Seañez, 2011), quien argumenta que las cianobacterias contribuyen a la disminución del oxígeno disuelto en cuerpos de agua.

Las altas temperaturas, que alcanzaron hasta 30°C en el lago 4, y las concentraciones de nutrientes observadas durante el muestreo, favorecieron el crecimiento de cianobacterias. Esto se alinea con la literatura existente, que sugiere que las cianobacterias prosperan en condiciones de temperatura y pH específicos (Roset et al., 2001). La diferencia en el manejo de nutrientes entre

los dos sistemas es evidente: el sistema IPRS, al extraer continuamente materia orgánica, limita el exceso de nutrientes que puede llevar a proliferaciones nocivas.

La diversidad de fitoplancton también se ve afectada por la calidad del agua. En el lago 4, se identificaron algas como *Pediastrum* y *Scenedesmus*, que son indicadores de buena calidad del agua. Su presencia sugiere un ambiente equilibrado y bien oxigenado, lo que es un signo positivo en comparación con la alta abundancia de *Microcystis* en el lago 5. Esta dualidad en la composición de fitoplancton resalta la importancia de mantener un equilibrio en los ecosistemas acuáticos para prevenir la eutrofización y sus efectos adversos (Torres et al., 2021).

El zooplancton, en comparación, presentó 12 géneros distribuidos en 6 clases. Las clases dominantes incluyeron Monogononta, Copepoda, Eurotatoria, y Branchiopoda. La predominancia de Monogononta con géneros como *Brachionus* y *Keratella* es notable, ya que estos organismos son cruciales en la cadena alimentaria acuática.

El lago 4 mostró una mayor abundancia de *Keratella*, lo que puede explicarse por su resistencia a la depredación por copépodos, como lo mencionan diversos estudios (Roche, 1990). Este fenómeno sugiere que el sistema IPRS, al ofrecer un ambiente más estable y menos competitivo, favorece la proliferación de rotíferos.

Por el contrario, en el lago 5, la dominancia de copépodos indica una mayor competencia por recursos, lo que puede estar relacionado con la baja disponibilidad de alimento debido a las fluctuaciones en la calidad del agua. Los copépodos tienden a ser depredadores de otros organismos planctónicos, lo que puede llevar a una reducción en la abundancia de rotíferos cuando los nutrientes son limitados (Ramos et al., 2003).

Los resultados también revelaron variaciones significativas en la composición y abundancia del fitoplancton a lo largo del tiempo, especialmente en el sistema tradicional. En el

lago 5, se observaron fluctuaciones estacionales que pueden ser atribuidas a cambios en las condiciones ambientales, como temperatura, nutrientes y luz solar (Zanolo, 2022). Este fenómeno es menos pronunciado en el lago 4, sugiriendo una mayor estabilidad en las condiciones del sistema IPRS.

Al aplicar índices de diversidad, como el índice de Shannon y el índice de Simpson, se encontró que el lago asociado al sistema tradicional presentaba un índice de diversidad más alto. Esto es consistente con la literatura que indica que los ecosistemas menos perturbados tienden a exhibir mayor diversidad de especies (Graham et al., 2016). En el lago 4, la diversidad media varió entre 2.1 a 4.9 según el índice de Margalef, con picos de diversidad observados en los meses de junio y julio.

En comparación, el lago 5 mostró menos valores en meses específicos, lo que sugiere una dominancia marcada por ciertos géneros, como en el caso de *Microcystis*. Aunque ambos lagos presentaron una riqueza similar en términos de taxones, la distribución equitativa de especies fue más pronunciada en el lago 4 durante los meses de mayor diversidad.

Los hallazgos de este estudio tienen importantes implicaciones para la gestión de la calidad del agua en sistemas piscícolas. La capacidad del plancton para actuar como un bioindicador de la calidad del agua se basa en su sensibilidad a los cambios en los parámetros fisicoquímicos. Como se mencionó anteriormente, el fitoplancton es susceptible a la eutrofización y otros procesos de contaminación (Martínez et al., 2016).

La menor diversidad y abundancia observada en el sistema IPRS puede servir como una señal de alerta sobre la calidad del agua en este tipo de sistema. Es fundamental que los acuicultores implementen prácticas de manejo sostenible que consideren la salud de las comunidades de fitoplancton y zooplancton. El monitoreo de la diversidad y abundancia de plancton podría

proporcionar información valiosa para la toma de decisiones informadas sobre el manejo de sus sistemas (Torres et al., 2021).

9 Conclusiones

- Estadísticamente no existen diferencias significativas en la abundancia de los géneros entre las campañas de muestreo ni entre los lagos.
- La variabilidad en la diversidad y dominancia en los lagos 4 y 5 a lo largo del tiempo demuestra que los factores ambientales influyen en la estructura de las comunidades planctónicas.
- El sistema IPRS muestra una abundancia importante de *Microcystis*, pero a pesar de ser un sistema intensivo de producción, las poblaciones de esta cianobacteria se mantienen un poco más reguladas. Los datos de abundancias de zooplancton permiten comprobar el modelo depredación de lotka volterra entre *Copépodos* y *Keratella* – *Daphnia*
- Los grupos de fitoplancton y zooplancton permiten evaluar la calidad del agua de forma rápida, precisa y económica y determinar que se encuentra dentro de los parámetros límites para la producción de tilapia.
- El estudio reveló que el sistema tradicional (lago 5) mostró una mayor diversidad y abundancia de géneros de fitoplancton en comparación con el sistema IPRS (lago 4). Esto sugiere que un manejo menos intensivo y más natural en el sistema tradicional favorece una mayor riqueza de especies, lo que puede ser indicativo de una mejor calidad del agua (Ayala, 2022; Graham et al., 2016).
- Las condiciones fisicoquímicas, como el pH y la temperatura, influyeron significativamente en la composición del fitoplancton. El lago 4 mantuvo condiciones estables que favorecieron el crecimiento de *Microcystis* y otras cianobacterias, mientras que el lago 5 experimentó fluctuaciones que contribuyeron

a un ambiente menos controlado y, por lo tanto, a una menor estabilidad en la comunidad de fitoplancton (Olivares, 2013; Roset et al., 2001).

- La presencia elevada de *Microcystis* en el lago 5 puede ser interpretada como una señal de eutrofización, provocada por la acumulación de materia orgánica y nutrientes. Este fenómeno no solo afecta la calidad del agua, sino que también puede tener repercusiones negativas en la salud de los organismos acuáticos, incluyendo los peces, que dependen de un ambiente equilibrado (Seañez, 2011; Martínez et al., 2016).
- El zooplancton, con una predominancia de rotíferos y copépodos, desempeña un papel crucial en la cadena alimentaria acuática. La diversidad de zooplancton fue mayor en el lago 4, lo que indica un ecosistema más equilibrado y saludable. La competencia por recursos en el lago 5 se tradujo en una menor diversidad y un dominio de ciertas especies, lo que puede indicar un estrés ambiental (Astiz et al., 2014; Arndt, 1993).
- Los hallazgos sugieren que el monitoreo de la diversidad de fitoplancton y zooplancton puede ser una herramienta efectiva para evaluar la calidad del agua en sistemas piscícolas. Implementar prácticas de manejo sostenible basadas en estas observaciones podría mejorar la salud de los ecosistemas acuáticos y promover una acuicultura más responsable (Torres et al., 2021).

10 Referencias

- Arana, E., Chappell, J., Hanson, T., Amézquita, J., Remellón, F., Quiñonez, A., Lopez, G & Quintero, H (2018). *Demostración comercial de raceways en estanque*. Global Seafood. <https://www.globalseafood.org/advocate/demostracion-comercial-de-raceways-en-estanque/>
- Arndt, H. (1993). *Rotifers as predators on components of the microbial web (bacteria, heterotrophic flagellates, ciliates)—a review*. In *Rotifer Symposium VI* (pp. 231-246). Springer, Dordrecht.
- Ayala, G, K. D. C., Gutiérrez Salcedo, J. M., & Montoya Cadavid, E. (2021). *Fitoplancton de la provincia oceánica del mar Caribe colombiano. Diez años de historia*. *Biota colombiana*, 23(1), e903. <https://doi.org/10.21068/2539200x.903>
- Ayala, L. M. (2022). *Nuevas tecnologías y uso de herramientas tecnológicas en la producción piscícola con énfasis en sistemas biofloc y sistemas de producción IPRS*. *New technologies and use of technological tools in fish production with emphasis on biofloc systems and pond raceways systems*. <https://hdl.handle.net/11059/14105>
- Astiz, S., Álvarez, H. (2014). *Dinámica del zooplancton y su relación con la calidad de agua en el río Cataniapo, Amazonas, Venezuela*. *Ecotropicos*, 27, 13-30. <https://ecotropicos.svecologia.org/index.php/home/article/view/p0218>
- Bach, P, S., Lesly, L. (2018). *“Evaluación de la calidad biótica utilizando los índices de saprobiedad en las aguas del río tingo de los distritos de yanacancha, yarusyacán y pallanchacra - provincia de pasco -2017*.
- Badsı, h., h. Oulad-ali, m. Loudiki, m. El Hafa, r. Chakli & a. Aamiri. (2010). *Zooplankton abundance in the Massa lagoon, southern Morocco: Impact of environmental variables*. *International Journal of Biodiversity and Conservation* 2(10): 289-299.
- Baselga, A., Gómez, R, C. (2019). *Diversidad alfa, beta y gamma: ¿cómo medimos diferencias entre comunidades biológicas?* *Nova Acta Científica Compostelana*, 26. <https://revistas.usc.gal/index.php/nacc/article/view/6413>
- Barrera, H , J. A., Aranguren, R, N., Páez, R, Y. M., Molina, P, L. B., Pedroza, R, A., & Díaz, B, C. A. (2020). *Incidencia del tiempo de retención hidráulica en el plancton del reservorio La Chapa (Santana, Boyacá), Colombia*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 407–422. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1022>
- Boyd, C. E. (2018, septiembre 4). *Dinámica del oxígeno disuelto*. Global seafood. <https://www.globalseafood.org/advocate/dinamica-del-oxigeno-disuelto/>

- Buñay, D. C. (2017). *Interacciones tróficas y distribución de los crustáceos planctónicos de los pirineos*. Universitat de Barcelon https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/115949/1/DBC_TESIS.pdf
- Carmona-Galindo, V.D., & Carmona, T.V. (2013). *La Diversidad de los Analisis de Diversidad*. Bioma, 14,20-28.
- Corbella, J. L. (2023). *Efecto del disturbio hidrometeorológico en el fitoplancton de una laguna pampásica de la provincia de Buenos Aires*. Universidad Nacional de La Plata.
- Criales, M., Sanchez, D., Rueda, A & López, S. (2023). *Diversidad y estructura de la comunidad zooplanctónica en la ciénaga de paredes*. Revista UNAL. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/94931/85962>
- Daga, I. C., Fernández, B , M. C., & María, R, S. (2020). *Composición algal y bioindicadores de calidad de agua. Caso de estudio: Embalse San Roque, Córdoba. Argentina. Cuadernos Del CURIHAM*, 26, 1–11. <https://doi.org/10.35305/curiham.v26i0.143>
- Dagnino, J. (2014). *Análisis de Varianza (Vol. 43, Números 306–310)*. Revista Chilena Anestesia
- De la Piscicultura, F. (2018). *Cartilla Didáctica 1*. Fedecua.org. de https://fedecua.org/files/cartilla_n_1_huila_.pdf
- Gallardo, E. B (2018). *Influencia de cultivos piscícolas en la calidad del agua y comunidades bacterianas en el sedimento del lago Guamuez*.
- Graham, L. E., Wilcox, L. W. y Graham, J. (2016). *Algae. (3rd ed.)*, San Francisco: Pearson Education Inc., Pearson Benjamin Cummings.
- El Huila se consolida como primer productor piscícola del país*. (2023, marzo 31). Gobernación del Huila. <https://www.huila.gov.co/publicaciones/13718/el-huila-se-consolida-como-primer-productor-piscicola-del-pais/#:~:text=Esto%20significa%20que%20el%20crecimiento,5%2C66%25%2C%20lo%20que>
- Espinosa, C. I. (2022). *Similitud de Comunidades biológicas*. <https://ciespinosa.github.io/Similitud/>
- Gossain, R. J. C. J. C. G. T. & J. M. B. (2014). *Buenas prácticas de producción piscícola*. Universidad de Cartagena.
- Hernández, S. Y. V., Pedroza Ramos, A. X., & Aranguren Riaño, N. J. (2021). *Estructura del fitoplancton de lagos andinos ubicados en diferente rango altitudinal*. Intropica, 16(2), 153–167. <https://doi.org/10.21676/23897864.4029>

- Huanaco, J. L., Terreros, M. H., Castellanos, P. L. & Quiroz, R. A. (2018). Evaluación de la diversidad del fitoplancton de la laguna La Viuda (Lima, Perú) en agosto-noviembre 2016. *Arnaldoa* 25 (3): 1027-1040, 2018. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25314>
- Ibagon, N., Medina Peña, D. X., Feriz García, D., & Pisso-Florez, G. A. (2023). Diversidad de fitoplancton y estado de conservación de la Laguna San Rafael ubicada en el Parque Nacional Natural Puracé. *Revista Novedades Colombianas*, 18(1). <https://doi.org/10.47374/novcol.2023.v18.2298>
- Jeppesen E., Jensen JP. Søndergaard M. Response of phytoplankton, zooplankton and fish to re-oligotrophication: an 11-year study of 23 Danish lakes. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 2002;5, 31–43.
- Losada, B. L. C., Aroca, T. J. L., Giraldo, G. D., Ordoñez, O. L. H., Zúñiga, B. D. F. (2023). *DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN PISCÍCOLAS MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES Y ALGORITMOS INTELIGENTES* - Corporación Universitaria del Huila – CORHUILA
- Lora, C. Y. (2021). *Variación espaciotemporal y preferencias ambientales de los principales grupos de zooplancton en La Paz, B. C. S. durante un periodo anual*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/2431>
- Martínez, P. S., Fonseca, J. F. D., & Yustres, J. L. M. (2016). *Diversidad de generos del fitoplancton del embalse de betania--huila y su importancia como bioindicadores/Diversity of Phytoplankton of the Water Reservoir of Betania-Huila and its Importance as Bioindicators/Diversidade dos Generos do Fitoplancton nel Reservatorio do Betania-Huila e Sua Importancia como Bioindicadores*. *Revista científica*, 241+. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a8>
- Martínez, P. S., Muñoz Yustres, J. L., Losada Benavides, L. C., & Serrezuela, R. R. (2018). *Composition of the phytoplankton community in the first stages of the Quimbo dam life cycle in Huila - Colombia*. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(19), 907–924. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.8265>
- Martínez, P. S., Muñoz Yustres, J. L., Carvajal Pinilla, L. A., & Serrezuela, R. R. (2018). Structure of the phytoplanktonic community in a neotropical Dam with environmental tension. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(10), 451–465. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.8233>
- Martínez, P. S., Muñoz-Yustres, J. L., & Charry, N. R. (2018). *Structure of the zooplanktonic community in a tropical dam (Betania, Colombia) with high environmental tension*. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(59), 2931–2948. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.86300>

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR. (2010). *Pesca y Acuicultura Colombia 2009 "Informe técnico regional de cuencas del Orinoco y Amazonas"*. Corporación Colombiana Internacional. 71.
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (junio de 2021). *Acuicultura en Colombia*.
- Mindiola Romo, R. (2019). *Análisis de la sostenibilidad de sistemas piscícolas en el territorio Arhuaco de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia, mediante análisis energético* <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77160>.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp. ISSN (colección): 1576 – 9526
- Naranjo, C., & Tapia, M. E. (2013). *En Variabilidad estacional del plancton en la bahía de manta en la costa ecuatoriana, durante el 2011*. *Acta oceanográfica del pacífico*, 18 <http://hdl.handle.net/1834/5760>
- Persada, A.Y., S.P. Febri, K.A. Putri, H.P.E. Sari, R. Djamani (2022). *Plankton potential as bioindicator of trophic status of Lokop River Leuser Ecosystem*. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 11(3): 497-502. <https://doi.org/10.13170/depik.11.3.25034>
- Olivares, A. (2013). *Abundancia y distribución de cianobacterias en el lago de Ilopango, El Salvador*. Universidad El Salvador. <https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/10001/>.
- Quijije, L. J. L., Alío, J. J. M., Napa, J. P. E., & Del Valle, D. O. D. (2020). *Composición y diversidad de fitoplancton en dos sectores contiguos de la bahía de Manta, Ecuador*. *Revista De Ciencias Del Mar Y Acuicultura YAKU*. ISSN: 2600-5824., 3(6), 2–12.
- ÖZBAY, H. y A. ALTINDAG. 2009. Zooplankton abundance in the river Kars, northeast Turkey: Impact of environmental variables. *African Journal of Biotechnology* 8(21): 5814-5818.
- Ramos, R, E., & Conde, P, y. J. M. (2003). *Variación espacio-temporal de la fecundidad de Keratella cochlearis (Rotifera) en un embalse meso-eutrófico: Importancia relativa del alimento y de la depredación por copépodos*. *Limnetica* 22(3-4): 9-18 (2003) Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 0213-8409
- ROCHE, K. 1990. *Prey features affecting ingestion rates by Acanthocyclops robustus (Copepoda: Cyclopoida) on zooplankton*. *Oecologia*, 83: 76-82.
- Rodger, B., Andrew, D & Eugene W. (2017). *Preparation of common types of desk reagents specified in standard methods*. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>

- Roset, J., Aguayo, S., Muñoz, M. (2001). *Detección de Cianobacterias y sus toxinas. Una revisión*. *Revista Toxicología* 18:65-71
- Santillán, S., & Guerrero, A. (2018). *Macroinvertebrados y fitoplancton como bioindicadores de contaminación en la cuenca del río Chicama, Perú. Tecnología en Marcha*.
- Seañez Basurto, Francisco Alberto. (2011). "*Determinación de microcistinas de Microcystis spp. en algunos humedales del municipio de Cuautitlán Izcalli, Edo. de México*". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Spinetti, M., R. Foti, L. Ares y M. Viera. (2010). *Manual básico de piscicultura en estanques*.
- Taboada, M. de L. Á., Martínez De Marco, S., Alderete, M., Gultemirian, M. L., & Tracanna, B. C. (2018). *Evaluación del fitoplancton y la calidad del agua de un arroyo subtropical del Noroeste Argentino*. *Bonplandia*, 27(2), 135. <https://doi.org/10.30972/bon.2723536>
- Tomas Reboucas, V., dos Santos Lima, R., & Holanda Cavalcante, D. (2016). *Reassessment of the suitable range of water pH for culture of Nile tilapia Oreochromis niloticus L. in eutrophic water*. *Acta Scientiarum. Animal Science* 38, 361 - 368.
- Torres, M., Henao, A., Contreras, L. (2021). *Variación temporal de la composición y abundancia del fitoplancton en Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia*. *Intropica*. <https://doi.org/10.21676/23897864.4065>
- Wulandari, A., Putro, S. P., & Muhammad, F. (2019). *The diversity of plankton in fish aquaculture water of minapolitan Menayu village, Muntilan district, Magelang regency*. *Journal of physics. Conference series*, 1217(1), 012182. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1217/1/012182>
- Yogesh, M. (2020). *Study of zooplankton community structure for aquaculture planning in Lony dam reservoir*. *GSC biological and pharmaceutical sciences*, 11(1), 161–165. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2020.11.1.0087>
- Zanolo, R. (2022, junio 30). *La importancia de monitorear y controlar la calidad del agua en la producción de peces*. *Universo de la salud animal*. <https://www.universodelasaludanimal.com/acuicultura/la-importancia-de-monitorear-y-controlar-la-calidad-del-agua-en-la-produccion-de-peces/>