

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

Trabajo de Graduación

**Caracterización de la vegetación y fauna acuática
de la laguna Obrajuelo, Jutiapa, Guatemala**

Presentado por:

T. A. Andrea Susana Mena Flores

**Para otorgarle el título de
Licenciada en Acuicultura**

Guatemala, septiembre del 2024

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

Trabajo de Graduación

**Caracterización de la vegetación y fauna acuática
de la laguna Obrajuelo, Jutiapa, Guatemala**

Presentado por:

T. A. Andrea Susana Mena Flores

**Para otorgarle el título de
Licenciada en Acuicultura**

Asesor: Dr. Josué Rodolfo García Pérez

Guatemala, septiembre del 2024

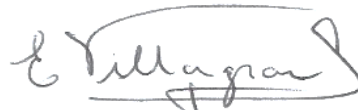
Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

Consejo Directivo

Presidente	M. Sc. Erick Roderico Villagrán Colón
Secretario	Dr. Pedro Julio García Chacón
Representante Docente	M. Sc. Norma Edith Gil Rodas de Castillo
Representante del colegio de médicos Veterinarios y Zootecnistas	M. Sc. Hugo Leonel Hidalgo Colindres
Representantes Estudiantiles	Br. Pablo José Lee Castillo T. A. Ernesto Alejandro González Salguero

El Director del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, después de conocer el dictamen favorable de la M.Sc. Norma Edith Gil Rodas de Castillo, Coordinadora Académica, sobre el trabajo de graduación de la estudiante universitaria **T. A. Andrea Susana Mena Flores**, titulado **“Caracterización de la vegetación y fauna acuática de la laguna Obrajuelo, Jutiapa, Guatemala”**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo. IMPRIMASE.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón



Guatemala, septiembre 2024

La Coordinadora Académica del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, después de conocer el dictamen favorable del asesor Dr. Josué Rodolfo García Pérez, al trabajo de graduación de la estudiante universitaria, Andrea Susana Mena Flores, titulado “Caracterización de la vegetación y fauna acuática de la laguna Obrajuelo, Jutiapa, Guatemala”, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


M.Sc. Norma Edith Gil Rodas de Castillo



Guatemala, septiembre 2024

Agradecimientos

Al Centro de Estudios de Mar y Acuicultura, por ser el lugar que me ha guiado, por brindarme los conocimientos necesarios para mi carrera como acuicultora.

A la Municipalidad de Agua blanca, Jutiapa, por su disposición e interés en el levantamiento de información de la laguna Obrajuelo, brindando el financiamiento para la ejecución del proyecto.

A los laboratorios de Ciencias Biológicas y Oceanográficas, Sanidad Acuícola y Química del Centro de estudios del Mar y Acuicultura, por brindar el material y equipo necesario para el análisis de las muestras.

Al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA- en especial al Ingeniero Roquelino Escobar y su equipo, por su interés, disposición, apoyo y acompañamiento en la toma de muestras.

Al Dr. Josué García Pérez, por su apoyo, enseñanza y conocimiento que me brindó durante todo este proceso de investigación, los cuales han servido para la elaboración de este documento.

Dedicatoria

A Dios

Por permitirme cumplir una meta más en mi vida, por estar a mi lado y darme las fuerzas necesarias para terminar este largo camino. Por fortalecer mi corazón y acompañarme en cada paso que he dado.

A mis padres

Con especial cariño a Elizabeth de Mena y Juan Carlos Mena, por apoyarme en cada etapa de mi vida, por su amor incondicional, por creer siempre en mí y motivarme a seguir siempre adelante cumpliendo mis metas.

A mis abuelos

Elizabeth de Mena, Héctor Mena y Carlos Flores, por estar siempre a mi lado y por sus sabios consejos.

Y a todas las personas que me han acompañado en este proceso y han sido una parte especial en mi vida.

Resumen

La Laguna Obrajuelo se encuentra ubicada en la Aldea Obrajuelo, Municipio de Agua Blanca, departamento de Jutiapa, Guatemala, está representa un entorno de gran relevancia para este departamento por los distintos servicios ecosistémicos que brinda. La laguna enfrenta distintos problemas como la contaminación y la falta de información, esto último dificulta la evaluación del impacto de las actividades humanas en la biodiversidad acuática local. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo establecer un inventario de especies, proporcionando así información básica sobre la zona. La recopilación de información a través del estudio de diferentes taxones contribuye a establecer una línea base amplia que enfatiza la necesidad de investigar, conservar, manejar y utilizar de manera sostenible el ecosistema.

Durante la presente investigación se realizaron tres campañas de monitoreo en los meses de octubre, noviembre y diciembre. Donde se recolectaron muestras de ictiofauna, plancton, macroinvertebrados y macrofitas acuáticas. Se establecieron 4 puntos de muestreo, los cuales fueron seleccionados en función de diferentes variables y actividades antropogénicas.

Durante la presente investigación se registró una alta densidad de productores primarios debido a la carga de nutrientes derivados de las actividades agrícolas y ganaderas de la zona, lo que afecta las concentraciones de NO_2^- · NO_3^- y P en el ecosistema. Se identificaron siete especies de fitoplancton, siendo *Microcystis aeruginosa* (Kützing, 1846) la especie dominante; para el perifiton se identificó cinco especies siendo la especie más abundante *Stauroneis anceps* (Ehrenberg, 1843); el zooplancton presentó cuatro especies siendo *Brachionus falcatus* (Zacharias, 1898) la más abundante; se identificaron siete especies de macrófitas siendo *Utricularia vulgaris* (Linneo, 1753) la especie más abundante; se identificaron 7 familias de macroinvertebrados en la Laguna Obrajuelo siendo la familia más abundante Chironomidae, y por último se identificaron seis especies de peces siendo la especie más abundante la *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758).

Cabe mencionar que los parámetros químicos y biológicos indican que la laguna está eutrofizada, se infiere que esto puede deberse a varios factores antropogénicos, como la actividad agrícola y ganadera en la zona de estudio, así como el turismo y la recreación que se realizan en el área.

Abstract

Obrajuelo lagoon is located at Agua Blanca village, district of Jutiapa, Guatemala. It is an important environment for this department. One of the main problems facing the lagoon is the lack of information, making it difficult to assess the impact of human activities on local marine biodiversity. Therefore, this study aimed at establishing a species inventory to provide basic information on the region. The collection of information through research of different species contributes to establishing a broad baseline of research, conservation, management and sustainable use of ecosystems. In the current research, three monitoring campaigns were conducted in October, November, and December 2022. Samples were collected from four species, namely ichthyofauna, plankton, macroinvertebrate and aquatic macrophytes. Four sampling points have been established, selected on the basis of various variables and anthropogenic activities.

During the study, high density of phytoplankton was recorded due to nutrient loads from agriculture and livestock in the area, which affect NO_2^- , NO_3^- , and P concentrations in the ecosystem. Seven microalgae species have been identified, the dominant species being *Microcystis aeruginosa* (Kützing, 1846). Five species of periphyton have been identified, *Stauroneis anceps* (Ehrenberg, 1843) being the richest. Zooplankton presents four species, the most abundant of which is *Brachionus falcatus* (Zacharias, 1898). Seven species of macrophytes have been identified, and *Utricularia vulgaris* (Linneo, 1753) is the most abundant. In Obrajuelo lagoon, seven families of macroinvertebrates were identified, with Chironomidae being the richest family. Finally, six fish species were identified, and the most abundant were the *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758).

The chemical and biological parameters show that the lagoon is eutrophic, which is assumed to be due to various human factors, such as agricultural activities and livestock in the research area, and tourism and recreational activities in the area.

Índice de contenido

1.	Introducción.....	1
2.	Marco teórico y estado del arte.....	3
2.1	Marco teórico	3
2.1.1	Importancia de los humedales y su estudio.....	3
2.1.2	Marco estructurado para la evaluación de humedales.....	3
2.1.3	Humedales en Guatemala.....	4
2.1.4	Laguna Obrajuelo, Jutiapa.....	4
2.1.5	Inventario base	4
2.1.6	Evaluación de indicadores.....	5
2.1.7	Peces como indicadores de la calidad del agua.....	5
2.1.8	Macroinvertebrados como indicador de la calidad del agua	5
2.1.9	Importancia del fitoplancton como bioindicador	6
2.1.10	Macrófitas como indicador.....	6
2.2	Estado del arte	6
3.	Objetivos.....	9
3.1	Objetivo general	9
3.2	Objetivos específicos.....	9
4.	Materiales y métodos.....	10
4.1	Área de estudio.....	10
4.2	Enfoque y tipo de investigación	11
4.3	Delimitación de la investigación	11
4.3.1	Delimitación espacial	11
4.3.2	Delimitación temporal.....	11

4.4	Definición de variables.....	11
4.5	Muestreo y selección de la muestra.....	12
4.6	Procedimiento de colecta y análisis.	13
4.7	Análisis estadístico.....	17
5.	Resultados.....	19
5.1	Caracterización física y química	19
5.2	Caracterización biológica.....	19
5.3	Plancton	22
5.3.1	Densidad	22
5.3.2	Índices del plancton.....	23
5.4	Perifiton.....	25
5.4.1	Densidad	26
5.4.2	Índices.....	26
5.5	Macrofitas.....	28
5.5.1	Densidad	29
5.5.2	Índices.....	30
5.6	Macroinvertebrados.....	32
5.6.1	Densidad	33
5.6.2	Índices.....	33
5.7	Peces.....	35
5.7.1	Abundancia.....	36
5.7.2	Índices.....	37
5.7.3	Relación talla peso.....	39
6.	Discusión	41
7.	Conclusiones.....	44

8. Recomendaciones	45
9. Referencias Bibliográficas.....	46
10. Anexo	57

Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Mapa de la laguna Obrajuelo (García, 2023)	10
<i>Figura 2.</i> Recolección y análisis de las muestras de agua.....	13
<i>Figura 3.</i> Análisis de muestras de fitoplancton.....	14
<i>Figura 4.</i> Muestreo de ictiofauna	15
<i>Figura 5.</i> Muestreo de macroinvertebrado con draga tipo ponar	16
<i>Figura 6.</i> Muestreo y herborización de macrofitas	17
<i>Figura 7.</i> Riqueza de especies de fitoplancton y zooplancton	22
<i>Figura 8.</i> Densidad de especies de fitoplancton y zooplancton por sitio de muestreo.....	23
<i>Figura 9.</i> Riqueza de fitoplancton y zooplancton durante los meses de muestreo	24
<i>Figura 10.</i> Índices de Shannon y Wiener de fitoplancton y zooplancton cada mes de muestreo	24
<i>Figura 11.</i> Análisis de similaridad del fitoplancton y zooplancton según el índice de Jarccard en los sitios de muestreo.....	25
<i>Figura 12.</i> Riqueza de las especies de perifiton.....	25
<i>Figura 13.</i> Densidad de las especies de perifiton por sitio y mes de muestreo.....	26
<i>Figura 14.</i> Riqueza de las especies de perifiton durante los meses de muestreo	27
<i>Figura 15.</i> Índice de Shannon y Wiener del perifiton durante los meses de muestreo	27
<i>Figura 16.</i> Análisis de similaridad del perifiton según el índice de Jarccard por sitios de muestreo	28
<i>Figura 17.</i> Riqueza de las especies de macrofitas de la laguna Obrajuelo	29
<i>Figura 18.</i> Densidad de las especies de macrofitas durante los meses de muestreo	30
<i>Figura 19.</i> Diversidad de las de macrofitas durante los meses de muestreo.....	31
<i>Figura 20.</i> Índice de Shannon y Wiener de las macrofitas durante los meses de muestreo.....	31
<i>Figura 21.</i> Análisis de similaridad de las macrofitas según el índice de Jarccard por sitios de muestreo.	32
<i>Figura 22.</i> Riqueza de las familias de macroinvertebrados de la laguna Obrajuelo	32
<i>Figura 23.</i> Densidad de macroinvertebrado durante los meses de muestreo	33
<i>Figura 24.</i> Diversidad de macroinvertebrados durante los meses de muestreo	34
<i>Figura 25.</i> Índice de Shannon y Wiener de macroinvertebrados	34

<i>Figura 26. Análisis de similaridad de las familias de macroinvertebrados según el índice de Jarccard por sitios de muestreo.....</i>	35
<i>Figura 27. Riqueza de las especies de peces en la laguna Obrajuelo</i>	36
<i>Figura 28. Captura por unidad de esfuerzo.....</i>	37
<i>Figura 29. Riqueza de peces durante los meses de muestreo</i>	38
<i>Figura 30. Índice de Shannon y Wiener de peces durante los meses de muestreo</i>	38
<i>Figura 31. Análisis de similaridad según el índice de Jarccard de las especies de peces por sitios de muestreo.....</i>	39
<i>Figura 32. Relación talla peso de las distintas especies de peces de la laguna Obrajuelo.....</i>	40

Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Variables físicas, químicas y biológicas</i>	12
<i>Tabla 2 Parámetros físicos de la laguna Obrajuelo.</i>	20
<i>Tabla 3 Parámetros químicos de la laguna Obrajuelo.</i>	20
<i>Tabla 4 Parámetros biológicos de la laguna Obrajuelo.</i>	21
<i>Tabla 5 Factor de condición de la ictiofauna de la laguna Obrajuelo.....</i>	39

Índice de Anexos

<i>Anexo 1 Identificación de puntos de muestreo.</i>	57
<i>Anexo 2 Muestreo de peces por medio de atarraya.</i>	57
<i>Anexo 3 Herborización de plantas de la laguna Obrajuelo.....</i>	58
<i>Anexo 4 Limpieza de muestras de macroinvertebrados.</i>	58
<i>Anexo 5 Identificación de macroinvertebrados bentónicos.</i>	59

1. Introducción

El agua es un bien natural de carácter estratégico, ya que satisface necesidades vitales, así como actividades económicas, además es indispensable para los procesos ecológicos esenciales. Durante la última década la gestión de la calidad del agua en los cuerpos de agua dulce ha sido un problema medioambiental importante. Aunque se han realizado mejoras en la generación de datos, monitoreo y gestión, el tema sigue siendo limitado (Basant et al. 2019).

Guatemala es un país rico en recursos hídricos, cuentan con aproximadamente 1,151 sistemas lacustres en forma de lagos, lagunas y lagunetas (Reyes, 2017). El departamento de Jutiapa cuenta con 29 lagunas entre estas se encuentra la laguna Obrajuelo en el municipio de Agua Blanca la cual brinda distintos servicios ecosistémicos a las comunidades que se ubican a sus alrededores. Existe un gran interés por la conservación y manejo sostenible de este cuerpo de agua por parte de las autoridades municipales y pobladores del lugar por ello es necesario generar información que defina y marque los objetivos de protección y manejo (Sagastume, 2017).

La Laguna Obrajuelo es un entorno de gran relevancia para el departamento de Jutiapa, ya que brinda diversos servicios ecosistémicos a las comunidades que se encuentran en sus alrededores. Algunas de las actividades económicas más significativas son el turismo y la recreación, así como actividades agropecuarias como la cría de ganado y la pesca. Se estima que alrededor de 20 a 30 pescadores realizan sus faenas en esta laguna, utilizando trasmallos con un tiempo de residencia de varios días. Uno de los principales problemas que enfrentaba esta laguna es la falta de información, lo que dificultaba la evaluación del impacto de las actividades humanas en la biodiversidad acuática local. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo establecer un inventario de especies, proporcionando así información básica sobre la zona. La falta de información también ha llevado a la ausencia de estrategias de conservación y al desconocimiento de las áreas de mayor interés. Por tanto, es crucial desarrollar una comprensión más completa de la biodiversidad en general de la laguna (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, y Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

El presente estudio ejecutó una evaluación sinóptica, con el fin de caracterizar, de forma general la laguna, brindando así información del estado actual, el cual será el punto de partida para que

posteriormente se analice de forma detallada las áreas que demandan mayor atención para conservar y la salud y biodiversidad de la laguna. Además, el estudio brinda resultados aplicables y fiables con el propósito de proporcionar una fuente de información científica que ayude a tomar medidas de protección y mitigación en relación a la conservación, basados en el “Marco integrado para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales” de la Convención RAMSAR sobre humedales (2010). Para ello se utilizaron indicadores como lo son los macroinvertebrados, peces, plancton, macrofitas, además de establecer los datos de la morfometría general del área: perímetro y profundidad de la laguna (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, y Secretaría de la Convención de Ramsar 2010).

2. Marco teórico y estado del arte

2.1 Marco teórico

2.1.1 Importancia de los humedales y su estudio

Los humedales son indispensables por los innumerables beneficios o servicios ecosistémicos que brindan a la humanidad, desde suministro de agua dulce, alimentos y materiales de construcción, entre otros. Sin embargo, un estudio tras otro demuestra que la superficie y la calidad de los humedales siguen disminuyendo en la mayoría de regiones del mundo. La gran mayoría de las aportaciones científicas sobre esta temática son recientes, de la última década del siglo XX, lo que demuestra la creciente preocupación que tiene la comunidad científica sobre la misma. Lo más destacado de los humedales es su condición interdisciplinar, ya que se estudia desde un sinnúmero de ciencias que resaltan solamente una parte de los mismos, dejando la integración de las distintas aportaciones para trabajos o puntos de vista más paisajísticos (Arteaga et al. 2019).

2.1.2 Marco estructurado para la evaluación de humedales

Todos los pasos del Marco pueden aplicarse a la planificación y realización de cualquier estudio de humedales, y por consiguiente habrá que seguir todos los pasos durante el proceso de diseño y planificación. El marco no suministra orientación preceptiva sobre métodos determinados de inventario; proporciona más bien orientación (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, y Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

- Declarar el propósito y el objetivo
- Examinar los conocimientos y la información existentes
- Examinar los métodos de inventario existentes
- Determinar la escala y la resolución
- Establecer un conjunto de datos básico o mínimo
- Establecer una clasificación de hábitats
- Escoger un método adecuado
- Establecer un sistema de gestión de datos
- Establecer un calendario y el nivel de recursos que se precisan
- Evaluar la viabilidad y la eficacia en función de los costos

- Establecer un procedimiento de presentación de informes
- Establecer un proceso de examen y evaluación

2.1.3 Humedales en Guatemala

Guatemala posee varias zonas conocidas como los humedales, donde el agua es el principal controlador del medio ambiente. En el país existen alrededor de 192 humedales divididos en lagos, lagunas, ríos y pantanos. De estos, siete pertenecen a humedales de importancia internacional. Actualmente, según el listado del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas [SIGAP] reconoce 349 áreas protegidas de las cuales la tercera parte tiene cuerpos de agua. El 26 de enero de 1988 Guatemala se adhirió a la Convención sobre los humedales. Este hecho quedó establecido a través del acuerdo 4-88 del legislativo. Siendo así que el ente encargado como autoridad administrativa es el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Consejo Nacional de Áreas Protegidas [Conap], 2021).

2.1.4 Laguna Obrajuelo, Jutiapa

La laguna Obrajuelo se encuentra ubicada en la Aldea Obrajuelo, Municipio de Agua Blanca, Departamento de Jutiapa, Guatemala. A una Latitud Norte de $14^{\circ}26'59.6''$ y una Longitud Oeste de $89^{\circ}38'43.7''$ a una elevación de 892 msnm. La laguna Obrajuelo tiene usos recreativos y de pesca, posee un espejo de agua de 0.25 km^2 (Hernández, 2022). La profundidad promedio es de aproximadamente 1.5 m con una máxima de 3 m y la temperatura promedio es de $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Climapesca, 2021).

2.1.5 Inventario base

Un inventario de base ofrece información inicial sobre una zona de interés definida. La información resultante puede ser útil para establecer las prioridades de las especies o las zonas que tienen un interés particular para su conservación. Para fines de conservación y manejo, esta información es especialmente pertinente en el establecimiento de las prioridades para especies y zonas (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, y Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

2.1.6 Evaluación de indicadores

Una evaluación de indicadores presupone que la diversidad biológica, en términos de diversidad de especies y comunidades, puede decirnos mucho sobre la calidad del agua, la hidrología y la salud general de ecosistemas particulares (Nixon et al. 1996). La presencia o ausencia de ciertos indicadores químicos o biológicos puede reflejar las condiciones ambientales. Es posible usar como indicadores grupos taxonómicos, especies individuales, grupos de especies o comunidades enteras. Comúnmente, se usan macroinvertebrados bentónicos, peces y algas como indicadores (Sasa et al. 2022).

2.1.7 Peces como indicadores de la calidad del agua

Los peces han sido utilizados como indicadores de la calidad del agua en diversos países desde hace tiempo. Los peces son el grupo más diverso entre los vertebrados, sin embargo, muchas especies de agua dulce se encuentran amenazadas por las actividades humanas (Duncan, & Lockwood 2001). Las comunidades de peces son consideradas como un vector de comunicación útil para sensibilizar al público y a las autoridades sobre la necesidad preservar la calidad de lagos y lagunas (Cox, & Collares, 2002). Por ello su caracterización resulta muy importante porque éstas son reconocidas como una buena herramienta de ayuda para la toma de decisiones en materia ambiental. Además, son índices de la calidad del medio acuático en el mundo (McDowall, & Taylor, 2000; Oberdorff et al. 2002), capaces de indicar diversos niveles de degradación y de definir el éxito de restauración de los ecosistemas acuáticos (Paller et al. 2000).

2.1.8 Macroinvertebrados como indicador de la calidad del agua

Los macroinvertebrados acuáticos son los bichos que se pueden observar a simple vista y tienen tamaños entre dos milímetros y treinta centímetros, viven en los lugares con agua dulce como las quebradas, ríos, lagos y lagunas (Mafla, 2005). El empleo de comunidades de invertebrados bentónicos, como indicadores de calidad de agua de cuerpos lenticos, viene incrementándose en los últimos años, en lo que respecta a la protección de los ambientes acuáticos (Gonzales et al. 2014; Munyai et al. 2024). Esto se debe a su distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo y la sensibilidad de sus especies a la contaminación química orgánica (Heink, & Kowarik, 2010).

2.1.9 Importancia del fitoplancton como bioindicador

Se sabe que los cambios en las comunidades algales delatan el inicio de contaminación que pueda existir en un sistema acuático, lo cual se refleja en las modificaciones de la estructura poblacional y en la proliferación de especies asociadas a determinados aportes. Las respuestas de estos organismos frente a los cambios de las condiciones del medio los convierten en finos sensores de la calidad del agua en referentes del estado ecológico del ambiente (Belliger, & Sigeo, 2010; Kim et al. 2023; Luján, 2000).

El fitoplancton representa el primer eslabón de la cadena alimenticia; junto con las plantas superiores que habitan las aguas dulces, constituyen los organismos productores primarios. La importancia del fitoplancton para la vida es comparable a la del revestimiento vegetal de la tierra; pues además del recurso alimenticio que es, elimina el anhídrido carbónico y oxigena el agua (Dobson, & Frid, 2009).

2.1.10 Macrófitas como indicador

La vegetación acuática refleja las condiciones de su hábitat. Las macrófitas acuáticas son adecuadas para estudios a largo plazo del área litoral, especialmente en lagos poco profundos de tamaño pequeño y mediano. Los valores de los indicadores se otorgan a las especies de macrófitas de acuerdo con sus requisitos con respecto al nivel de nutrientes de su sitio. Los parámetros que se utilizan en la evaluación de la calidad ecológica son, por ejemplo, la composición taxonómica y la abundancia de macrófitas (Malea et al. 2021; Stefanidis et al. 2022; Toivonen, 2000).

2.2 Estado del arte

Los estudios mediante bioindicadores han tenido diferentes aplicaciones desde su invención sin embargo su mayor uso se ha visto en el monitoreo ambiental (García et al. 2017). Su amplia aplicación se debe a la facilidad que brinda para evaluar de forma más acertada características químicas y biológicas de los cuerpos hídricos, sobre todo evaluar la salud ecológica de los mismos (Roldán, 2016). De acuerdo con De Pauw, y Vanhooren (1983), este tipo de estudio con indicadores biológicos en cuerpos de agua superficiales se inició en 1848 donde se notó la presencia de diferentes organismos en aguas contaminadas y en aguas sin alteraciones. A partir

de este momento se desarrollaron variados métodos para la evaluación de la calidad del agua. Los organismos mayormente estudiados son macroinvertebrados bentónicos, algas, perifiton y peces (Bonada et al. 2006; Li et al. 2010).

En Finlandia se han realizado prospecciones de macrófitas acuáticas con muchos fines y en varios tipos de lagos. Desde la década de 1950, las macrófitas acuáticas se han utilizado como bioindicadores de las aguas residuales de la industria forestal (Lacoul & Freedman, 2006) Los efectos de la regulación del nivel del agua en la vegetación litoral se han estudiado desde la década de 1980 (Hellsten, & Joronen, 1986).

En Guatemala también se han realizado estudios que utilizan como base la estructura fitoplanctónica, en el 2003 el proyecto “contaminación fisicoquímica y bacteriológica de Río Dulce y Lago de Izabal” encontró un incremento gradual de las cianofitas. Este estudio indicó que las condiciones ambientales del lago se desviaron de las habituales por la contaminación (Lemus, 2011). En el Lago de Atitlán se han desarrollado diversos estudios (Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Atitlán [Amsclae], 2020; Castellanos, & Dix, 2009; Dix, 1999; Dix et al. 2012; Meek, 1908; Ochaeta, 2014; Reyes et al. 2016;) estos estudios han contribuido a conocer el estado del lago y a tomar acciones para su conservación.

En el 2016 se llevó a cabo el estudio “determinación de la productividad primaria en la laguna el pino, departamento de santa rosa, de la república de Guatemala “. Este estudio tenía como objetivo determinar el nivel de la productividad primaria de la laguna El Pino y su estado trófico. Los resultados demostraron que los valores de productividad primaria obtenidos oscilan entre el rango de 141,49 y 240,98 mg C/m² /día y determinan que el cuerpo de agua se encuentra en un estado oligotrófico (Duarte, 2016).

Durante el 2004 y 2005 en laguna Ipala se realizó un proyecto que tenía como objetivo primordial establecer el comportamiento de la columna de agua en base a una caracterización fisicoquímica y biológica. Durante este estudio se tomaron muestra de agua y de distinta fauna de la laguna. Mediante la comparación de criterios internacionales se determinó que el agua de la laguna se encontraba en niveles de buena calidad (García, 2005). En la cuenca del Lago Atitlán: Río Quiscab y Río San Francisco se realizó un proyecto que tuvo como finalidad evaluar

las relaciones espacio-temporales entre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua para establecer el estado de perturbación. En el estudio se observó que la diversidad de macroinvertebrados acuáticos disminuye conforme se deteriora la calidad de hábitat y la calidad del agua (Van Tuylen, Dix, & García, 2013).

Reyes (2013) realizó la investigación “Macroinvertebrados acuáticos de los cuerpos lénticos de la Región Maya, Guatemala”. Este estudio buscaba por medio de la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos determinar el estado ecológico de los ecosistemas lénticos. El estudio se realizó en ocho cuerpos lénticos (Yaxhá, Sacnab, Petenchel, Quexil, Salpetén, Macanché, Sacpuy y Petén Itzá) ubicados en la región Maya al norte de Guatemala. Los resultados demostraron que la diversidad de especies es alta en sitios donde no hay una influencia antropogénica y tiende a decrecer a medida que empieza a haber cierto grado de perturbación humana. La distribución de los macroinvertebrados acuáticos está influenciada por el tipo de sustrato y las variaciones fisicoquímicas.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

- Establecer una línea base de información de la laguna Obrajuelo, que permita establecer estrategias de manejo del recurso hídrico.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar parámetros físicos, químicos y morfológicos de la laguna Obrajuelo, con el fin de conocer el estado actual.
- Establecer la diversidad y abundancia de la flora y fauna acuática de la laguna Obrajuelo.

4. Materiales y métodos

4.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la laguna Obrajuelo, situándose esta en el municipio de Agua Blanca, Jutiapa, dentro del territorio de la Aldea Obrajuelo en una latitud Norte de $14^{\circ}26'59.6''$ y una longitud Oeste de $89^{\circ}38'43.7''$, a una elevación de 892 msnm (Figura 1).

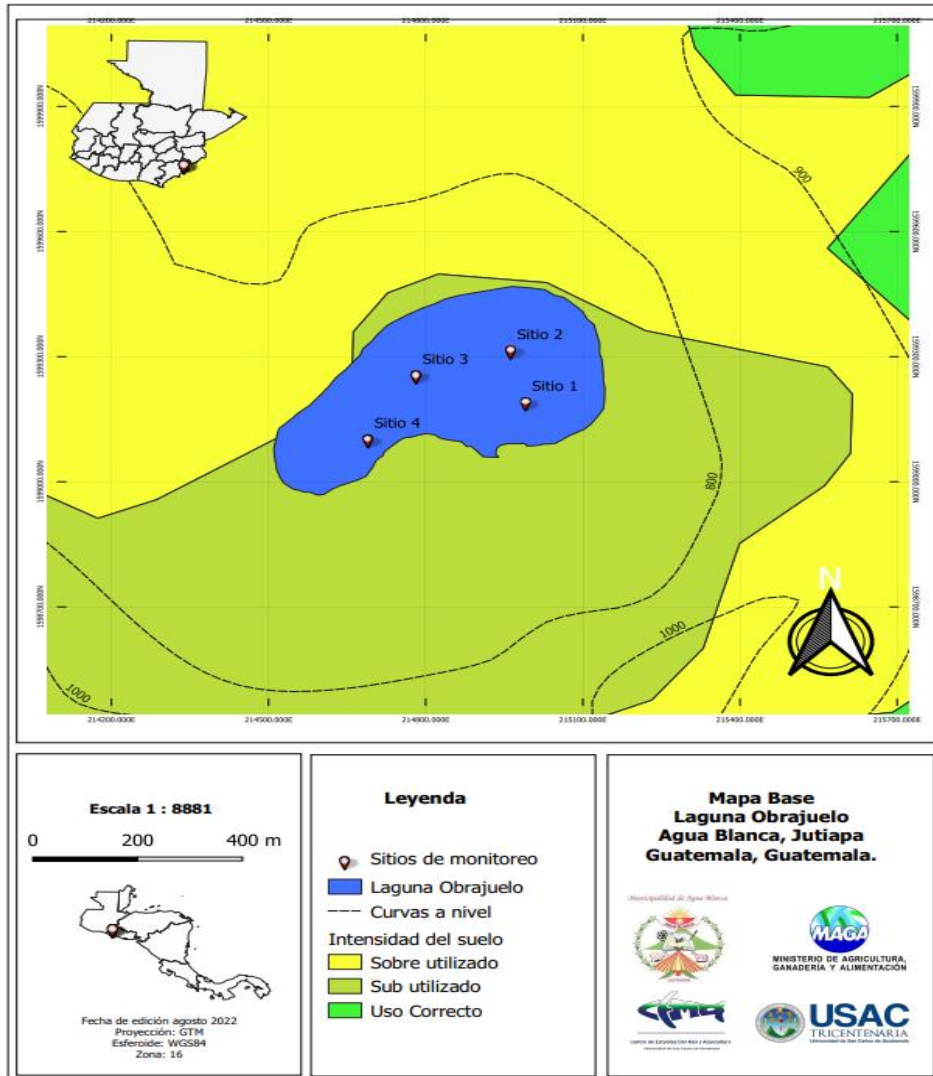


Figura 1. Mapa de la laguna Obrajuelo (García, 2023)

4.2 Enfoque y tipo de investigación

La investigación que se desarrolló es de tipo mixto. La caracterización de los grupos biológicos de la laguna Obrajuelo presenta la parte cualitativa de la investigación. El registro de las mediciones de los parámetros fisicoquímicos, además de la abundancia y densidades de los distintos taxones se consideran como la parte cuantitativa de la investigación. Sumado a ello se realizó una serie de análisis descriptivos y estadísticos con el fin de poder presentar de manera clara los datos obtenidos

El estudio se realizó en la laguna Obrajuelo, situándose esta en el municipio de Agua Blanca, Jutiapa, dentro del territorio de la Aldea Obrajuelo en una latitud Norte de 14°26'59.6" y una longitud Oeste de 89°38'43.7", a una elevación de 892 msnm

4.3 Delimitación de la investigación

4.3.1 Delimitación espacial

- Universo: Laguna Obrajuelo, Jutiapa, Guatemala.
- Población:
 - Ictiofauna
 - Plancton
 - Macroinvertebrados
 - Macrofitas

4.3.2 Delimitación temporal

Para la caracterización de la flora y fauna acuática de la laguna Obrajuelo, se realizaron tres campañas de monitoreo en los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2021. Donde se recolectaron muestras de los cuatro grupos de estudio. Con las cuales se identificaron las familias de macroinvertebrados y las especies de peces, macrofitas y microalgas.

4.4 Definición de variables

Durante el desarrollo de la presente investigación, se midieron variables físicas, químicas y biológicas de los sitios de muestreo ubicados en el la laguna Obrajuelo, Jutiapa, Guatemala.

Tabla 1

Variables físicas, químicas y biológicas

	Variable	Indicador
Variables respuesta	Riqueza específica	Índice de Margalef
	Abundancia	Número de organismos
	Diversidad	Índice Shannon Wiener
	Dominancia	Taxón más numeroso.
	Relación talla peso	Grafica relación talla, peso.
	Perímetro	Metros
Variables explicativas	Porcentaje de saturación de oxígeno	% de saturación
	Oxígeno disuelto	mg/l
	Transparencia	Metros
	Profundidad	Metros
	Temperatura	°C
	Potencial de hidrógeno (pH)	Unidades de pH
	Nitritos	mg/l
	Nitratos	mg/l
	Amonio	mg/l
	Fosforo	mg/l

4.5 Muestreo y selección de la muestra

Para la selección de los puntos de muestreo en la laguna Obrajuelo, se utilizó la metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación hidrográfica del EBRO (2005). Se establecieron 4 puntos de muestreo, los cuales fueron seleccionados en función de las siguientes variables: actividades antropogénicas, dinámica del recurso hídrico, morfometría del ecosistema y crecimiento de vegetación acuática. En cada punto se tomó un perfil de los parámetros fisicoquímicos *in situ*, y se colectó una muestra de 1 litro de agua superficial para los análisis químicos. Además, en cada sitio, se colectaron las muestras de plancton, peces y macroinvertebrados, en el caso de macrofitas se realizaron transectos en la zona litoral de la laguna (Vicente et al. 2005). Adicionalmente se estableció el perímetro y área de la laguna Obrajuelo.

4.6 Procedimiento de colecta y análisis.

- Parámetros físicos y químicos

Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos en los sitios seleccionados de la laguna Obrajuelo, se tomaron los parámetros *in situ*. Se midió el pH por medio de un potenciómetro y la transparencia en la columna de agua con un disco Secchi siguiendo el procedimiento manual de técnicas de monitoreo de condiciones ecológicas (Villagran et al. 2010). Se colectó una muestra de 1l de agua superficial en cada punto, las cuales fueron transportadas al Laboratorio de Sanidad Acuícola, del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura para su evaluación (Figura 2) los componentes evaluados fueron nitritos (Método 10019), nitratos (Método 8039), amonio (Método 10031) y fosfatos (10127) a través del set de reactivos básico de nutrientes, Test' N Tube (Hach, 2023). Las lecturas de los nutrientes se realizaron por medio de un espectrofotómetro Hach (Thakur et al. 2013).



Figura 2. Recolección y análisis de las muestras de agua

- Plancton

Para la evaluación del plancton, se modificó el protocolo de análisis y monitoreo de Fitoplancton propuesto por la Confederación hidrográfica del EBRO (2005). La colecta se realizó a través de un arrastre vertical con una red de fitoplancton de 20 μm ., la profundidad del arrastre se determinó en función de la turbidez que se encuentre en cada sitio de monitoreo. La muestra se condensó en un recipiente plástico oscuro de 100 ml. Una vez colectadas las muestras se procedió a la fijación directa empleando Lugol neutro al 3%, con proporción de 3 $\mu\text{L}/\text{ml}$ (relación fijadora lugol / volumen total de muestra concentrada). Las muestras fueron

transportadas a temperatura ambiente al Laboratorio de Sanidad Acuícola, del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura.

Para el análisis cualitativo del fitoplancton y zooplancton se tomaron varias alícuotas de 1 μ l de la muestra y se colocaron en varios portaobjetos. Las muestras se analizaron con un microscopio compuesto donde se realizó la identificación del plancton colectado, se utilizó objetivos de 20X, 40X y 100X (BOECO) (Figura 3). La identificación se llevó a cabo por medio de claves dicotómicas descritas en Bellinger (2010), Cronberg, & Annadotter (2006), Komárková et al. (1992), Wehr, & Sheath (2003). Para el análisis cuantitativo del fitoplancton y zooplancton se empleó el procedimiento estándar de conteo descrito por McAlice (1971) y Weber, (1993). En resumen, se tomó 1 ml de muestra previamente homogeneizada y se colocó en la cámara de conteo de Sedgewick-Rafter (SWR), las células se contaron con ayuda de un microscopio de contraste a 20X (BOECO). Para el análisis cuantitativo de fitoplancton se contaron setenta cuadros con el fin de evaluar el 95% de las especies presentes, acorde a lo descrito por McAlice (1971) para el zooplancton se contaron los 100 cuadros presentes en la cámara de SWR.



Figura 3. Análisis de muestras de fitoplancton

- Ictiofauna

Para la evaluación de la ictiofauna, se modificó el protocolo de muestreo de peces en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico propuesto por el programa

nacional de reserva de agua en México (2014) la colecta de peces se realizó por medio del método activo a través del uso de atarraya de tipo boliche, en la zona litoral de la laguna. Además, se colocaron en la parte este y oeste de la laguna un trasmallo de 2.5 pulgadas de luz de malla para realizar la colecta de forma pasiva, el tiempo de residencia fue de 12 horas. Las muestras fueron transportadas en una hielera al Laboratorio de Sanidad Acuícola, del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura.

Para el análisis cualitativo se identificaron las especies de peces colectados, por medio de las siguientes claves dicotómicas: Álvarez del Villar (1970), Miller et al. (2005, 2009), Schmitter-Soto (1998). Se realizó un reporte fotográfico, y se tomaron las medidas de longitud total, longitud estándar y peso (Figura 4).



Figura 4. Muestreo de ictiofauna

- Macroinvertebrados

Para la evaluación de los macroinvertebrados bentónicos en los cinco sitios seleccionados en la laguna Obrajuelo, se acopló la metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación hidrográfica del EBRO (2005) y la metodología descrita por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (2006). En cada punto se lanzó la draga tipo ponar cinco veces con un metro de distancia entre cada lance (Figura 5). En cada punto se unió los 5 lances para obtener una única muestra compuesta la cual se colocó en bolsas herméticas. La muestra se fijó directamente empleando

alcohol al 95% y se transportaron a temperatura ambiente al Laboratorio de Sanidad Acuícola, del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (Espinoza & Morales, 2008).

Para el análisis cualitativo, las muestras se limpiaron y tamizaron aclarando con abundante agua. Posterior a la limpieza los organismos se colocaron en diferentes bandejas y se identificaron las familias de los macroinvertebrado bentónicos colectados por medio de claves dicotómicas descritas por Diaz y Puyana (1994), Falchaud (1997), Hendler y colaboradores (1995), Kensley y Schotte (1989), Springer y colaboradores (2010) y Springer (2006).



Figura 5. Muestreo de macroinvertebrado con draga tipo ponar

- Macrofitas de rivera

Para la evaluación de las macrofitas en la laguna Obrajuelo, se realizó la modificación al protocolo de análisis y monitoreo de propuesto por la Confederación hidrográfica del EBRO (2005). Se identificaron los parches de macrofitas en la laguna que fueran representativos de la diversidad de hábitats existentes y de los posibles impactos humanos debidos a las actividades y/o usos existentes en el lago, a lo largo de la rivera y en zonas circundantes.

Una vez identificadas las estaciones de muestreo se realizaron transectos de cien metros (dividido en cuadrantes) en los cuales se realizó el conteo de los organismos representantes a cada especie, y se tomó la medida aproximada del parche de vegetación para la extrapolación

de la densidad total de macrofitas en cada área de muestreo (Figura 6). Las muestras colectadas se colocaron en una bolsa de plástico hermética, se fijaron directamente empleando formalina al 10%. Para el análisis cualitativo se limpiaron las muestras y se llevó a cabo un registro fotográfico identificándolas mediante las claves taxonómicas de Schmidt-Mumm (1998) y Veloza y colaboradores (2000). Las muestras fueron herborizadas para asegurar su preservación y la realización de un inventario de la vegetación presente en la laguna (American Public Health Association [APHA], 2012; Cirujano et al. 2005; Richard & Lamberti, 2006).

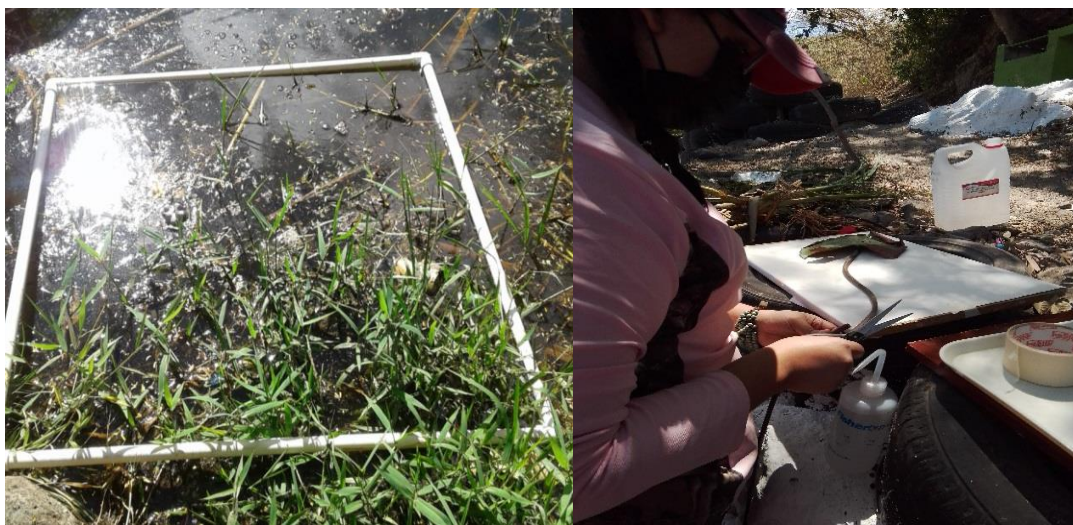


Figura 6. Muestreo y herborización de macrofitas

4.7 Análisis estadístico

La investigación se analizó por medio de estadística descriptiva, para los cuatro grupos evaluados. Se determinó la riqueza, abundancia, diversidad, dominancia y el porcentaje de taxas comunes, se utilizaron distintos índices y análisis como lo son:

- Índice de diversidad:

Para la determinación de la diversidad específica, se utilizará el índice de Shannon-Wiener (Shannon, & Wiener, 1949), el cual refleja la heterogeneidad de una comunidad en relación a dos factores: el número de especies y su abundancia relativa. El índice se define como:

$$H = - \sum_{i=1}^S \pi_i \ln \pi_i$$

- Dominancia de Simpson

El índice de Simpson se deriva de la teoría de probabilidades, y mide la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos ‘extracciones’ sucesivas al azar sin ‘reposición’. En principio esto constituye una propiedad opuesta a la diversidad, se plantea entonces el problema de elegir una transformación apropiada para obtener una cifra correlacionada positivamente con la diversidad.

$$D_{Si} = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

5. Resultados

5.1 Caracterización física y química

La laguna Obrajuelo posee un espejo de agua de 190 m², con un perímetro de 1,920.49 m, presentando una profundidad promedio de ± 2.85 m y una temperatura promedio de 24°C. Se pudo observar que los parámetros de calidad de agua fluctúan entre los valores normales de un ecosistema acuático natural cerrado (Tabla 2).

Los muestreos realizados evidenciaron que los niveles de fósforo y nitrógeno se encuentran por encima del rango para cuerpos de agua no contaminados (Tabla 3). La concentración de nitrógeno de nitritos (NO_2^-) en los lagos es generalmente baja, en comparación con las concentraciones de amonio (NH_4^+) y nitrógeno de nitrato (NO_3^-) (Azurdia, 2016). Sólo en cuerpos de agua contaminados, la concentración de nitrito puede tomar valores significativos como en el caso de la laguna Obrajuelo que presentó un valor promedio de 12.16 mg/l en los tres muestreos realizados (Azurdia, 2016).

5.2 Caracterización biológica

Las especies encontradas en la laguna son bastante homogéneas en toda la extensión de la laguna, por lo que no hay una diferencia significativa en los distintos puntos muestreados. La riqueza del plancton en los sitios de estudio oscila entre diez y trece especies siendo el punto 2 el que presentó la mayor riqueza en comparación con los otros dos sitios. Las macrofitas presentaron una riqueza entre dos y seis especies, siendo el punto 1 el de mayor riqueza. La riqueza de los macro invertebrados oscila entre las cuatro y siete especies, siendo el punto 3 el más rico. Para el taxón peces la riqueza se encontró en cinco especies en toda la laguna (Tabla 4).

Tabla 2

Parámetros físicos de la laguna Obrajuelo

Pnt.	Profundidad	Transparencia	T °C	pH	sat%	OX	EC	TDS
1	2.83 (2±3.5)	0.7 (0.3±1)	23.9 (20.9±26.8)	9 (8.4±9.6)	102.5 (94±112.5)	6.5 (6.3±6.8)	302 (132±48)	235.6 (216±274)
2	3.3 (3±3.7)	0.8 (0.5±1)	23.9 (23.7±24)	9.3 (9±9.6)	95.3 (66.2±127.8)	6.9 (6.7±7.1)	282.6 (141±427)	193 (70±298)
3	2.6 (2.5±2.8)	0.5 (0.3±0.7)	24.9 (22.5±26.6)	9.6 (9.3±9.9)	97.6 (89±106.8)	6 (5.9±6.2)	275.3 (270±290)	149.3 (120±196)
4	2.73 (2.4±3)	0.9 (0.3±1.4)	24.2 (21.8±26)	9.8 (9.6±10.1)	95.7 (78.2±114)	5.5 (5.4±5.8)	262 (226±290)	139.6 (72±232)

Nota: Punto (pnt), saturación de oxígeno (sat%), conductividad (EC), temperatura (T), sólidos disueltos totales (TDS), potencial de hidrogeno (pH) y Oxígeno disuelto (OX)

Tabla 3

Parámetros químicos de la laguna Obrajuelo

Punto	P	N	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
1	16.5 (14.6±19.7)	0.88 (0.5±1.2)	0.24 (0.21±0.31)	2.1 (0.9±3.9)	11.66 (8±15)
2	16 (12.5±17.3)	0.69 (0.62±0.8)	0.20 (0.14±0.28)	1.6 (0.9±1.1)	14.33 (14±15)
3	18.5 (16.4±20.8)	0.80 (0.7±0.86)	0.28 (0.18±0.45)	1.13 (0.6±1.6)	10 (6±16)
4	9.9 (8.1±10.9)	1.07 (0.81±1.3)	0.16 (0.12±0.19)	1.53 (1±2.5)	12.66 (12±14)

Nota: Amonio (NH₄⁺), Nitratos (NO₃⁻), Nitritos (NO₂⁻), Fosforo (P) y Nitrógeno (N).

Tabla 4

Abundancia de las diferentes taxas de la laguna Obrajuelo

Punto	Plancton	Macrófitas	Macroinvertebrados	Peces
1	11 (446)	6 (231)	4 (68)	-
2	13 (344)	2 (63)	4 (87)	5 (37)
3	11 (396)	2 (52)	7 (72)	-
4	10 (438)	5 (299)	6 (99)	5(39)

5.3 Plancton

Durante los tres meses de muestreo se determinó una riqueza de once géneros para el plancton; de estos siete se identificaron para el fitoplancton, siendo *Microcystis aeruginosa* (Kützing, 1846) el género dominante y más abundante seguido de *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg, 1979), *Fragilaria construens* (Ehrenberg) Grunow, 1862, *Scenedesmus bicaudatu* (Hansg.), *Rhodomonas minuta* (Skuja, 1948), *Limnoraphis robusta* (Parakutty) Komárek et al. y *Chlorella vulgaris* (Beijerinck 1890) (Figura 7). En el zooplancton la riqueza determinada fue de 4 especies siendo la especie dominante y más abundante *Brachionus falcatus* (Zacharias, 1898) seguido de *Daphnia pulex* (Linnaeus, 1758), *Lecane hamata* (Stokes, 1896) y *Lepadella romboides* (Gosse, 1886) (Figura 7).

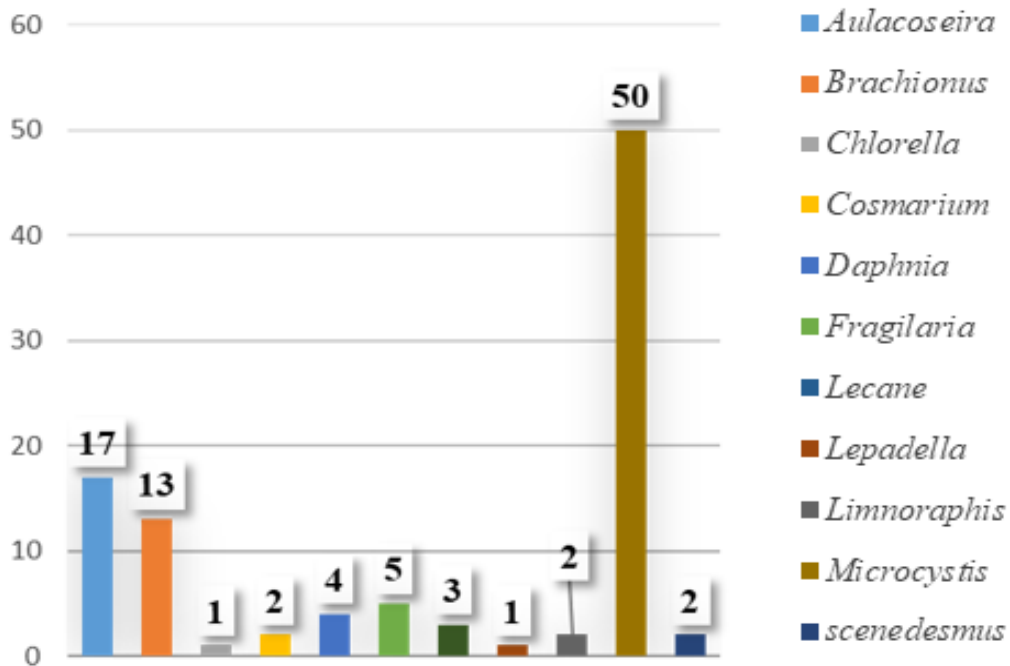


Figura 7. Riqueza de especies de fitoplancton y zooplancton

5.3.1 Densidad

La mayor densidad en el mes de diciembre se registró en el punto 1 con 74,800 org/l, para el mes de enero la mayor densidad se registró igualmente en el punto 1 con 45,650 org/l, a diferencia del mes de febrero en donde se registró en el punto 4 con 63,800 org/l (Figura 8).

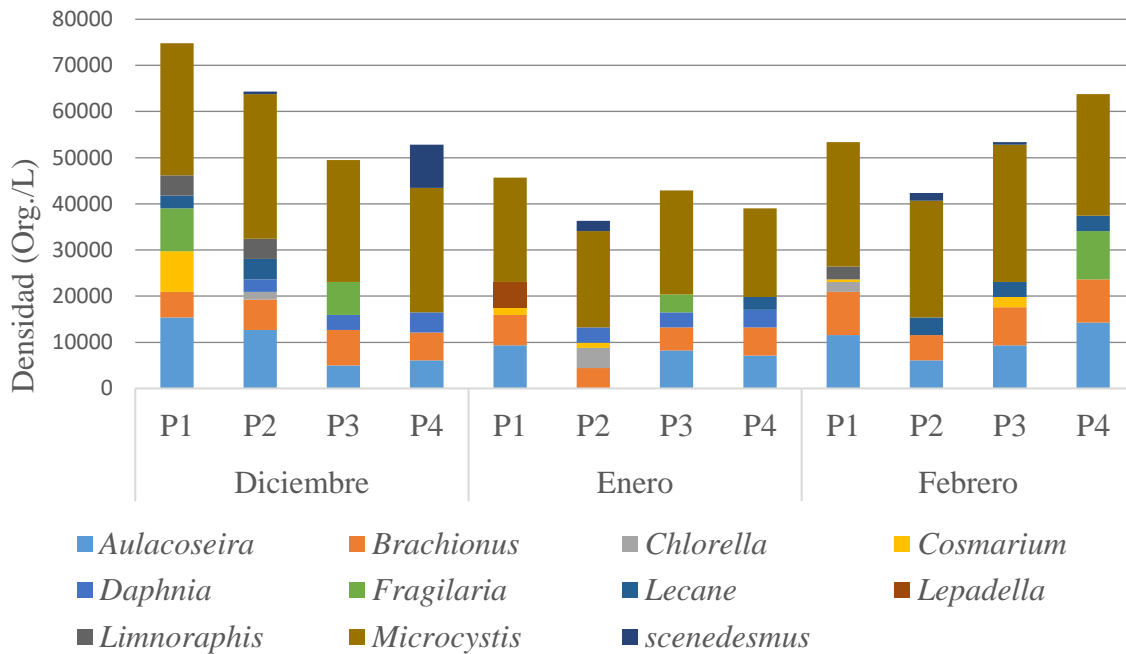


Figura 8. Densidad de especies de fitoplancton y zooplancton por sitio de muestreo

5.3.2 Índices del plancton

Para estimar la comunidad de plancton en la laguna se realizó el índice de Margalef en los distintos meses de muestreo donde el mes de enero, presentó el mayor índice en comparación con los otros dos meses con 0.47, seguido del mes de diciembre con 0.46 y febrero con 0.41 (Figura 9). Los valores del índice de Shannon- Wiener oscilaron entre 1.4 y 1.7 siendo este último el índice más alto representado en el mes de diciembre, seguido de enero con 1.5 y por último febrero el cual presentó el menor índice con 1.4 (Figura 10).

Los valores en los distintos puntos y meses de muestreo mostraron valores similares para ciertos sitios, por lo que el índice de Jaccard agrupó 2 categorías finales con más del 45% de similitud entre todos los sitios muestreados (Figura 11) los sitios con mayor porcentaje son los puntos 3 y 7 con un 99%, 10 y 11 con un 85%; por otro lado, los puntos 2 y 6 presentan solo un 55% siendo estos los sitios con mayor diferencia.

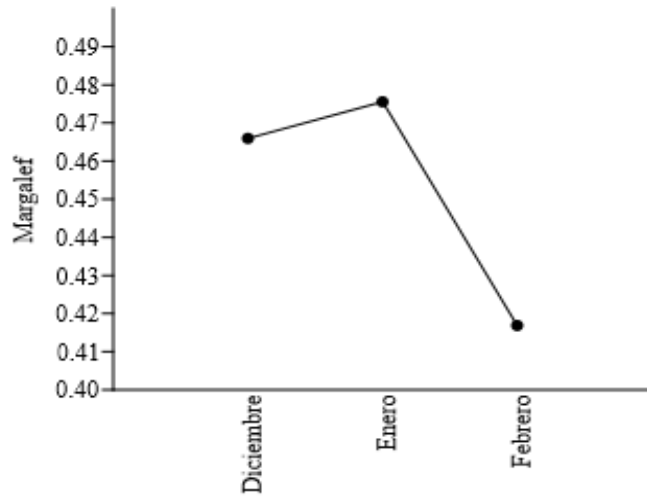


Figura 9. Riqueza de fitoplancton y zooplancton durante los meses de muestreo

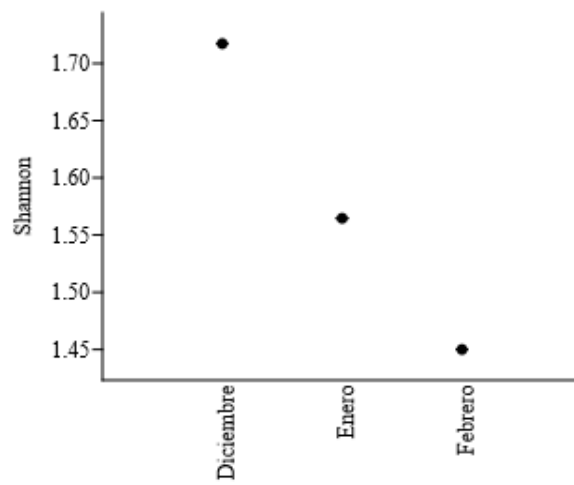


Figura 10. Índices de Shannon y Wiener de fitoplancton y zooplancton en cada mes de muestreo

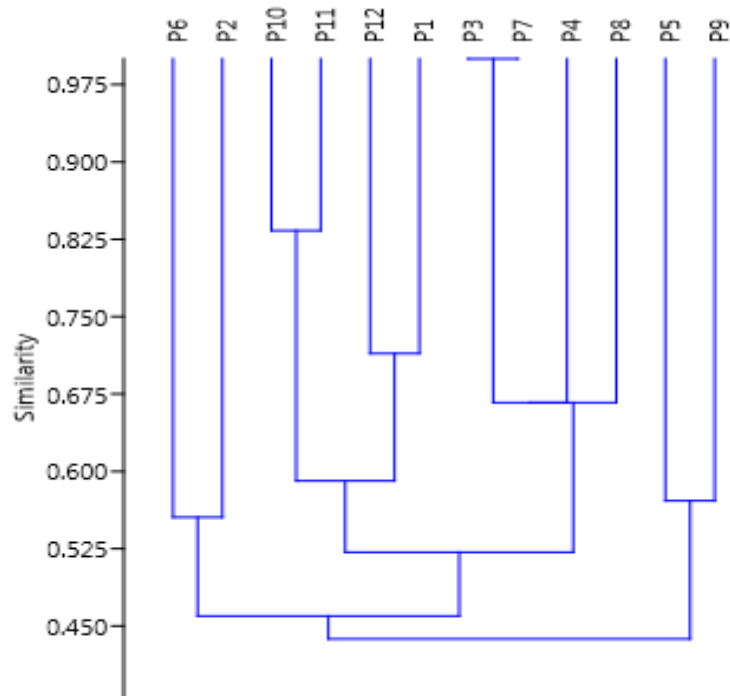


Figura 11. Análisis de similaridad del fitoplancton y zooplancton según el índice de Jaccard en los sitios de muestreo

5.4 Perifiton

Se determinó una riqueza de cinco especies en el caso del perifiton siendo la especie dominante y más abundante *Stauroneis anceps* (Ehrenberg, 1843), en un 35%, seguido de *Synedra ulna* (Nitzsch, 1832) 27%, *Fragilaria construens* (Ehrenberg, 1862) 18%, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg, 1979) 17% y *Chroococcus turgidus* (Kützing, 1849) en un 3% (Figura 12).

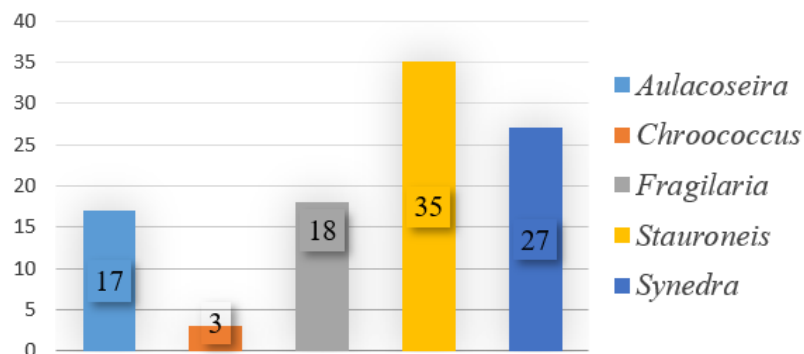


Figura 12. Riqueza de las especies de perifiton

5.4.1 Densidad

La mayor densidad en el mes de diciembre se registró en el punto 1 con 205 org. /m, para el mes de enero la mayor densidad se registró en el punto 4 y en el punto 3 en el mes de febrero (Figura 13).

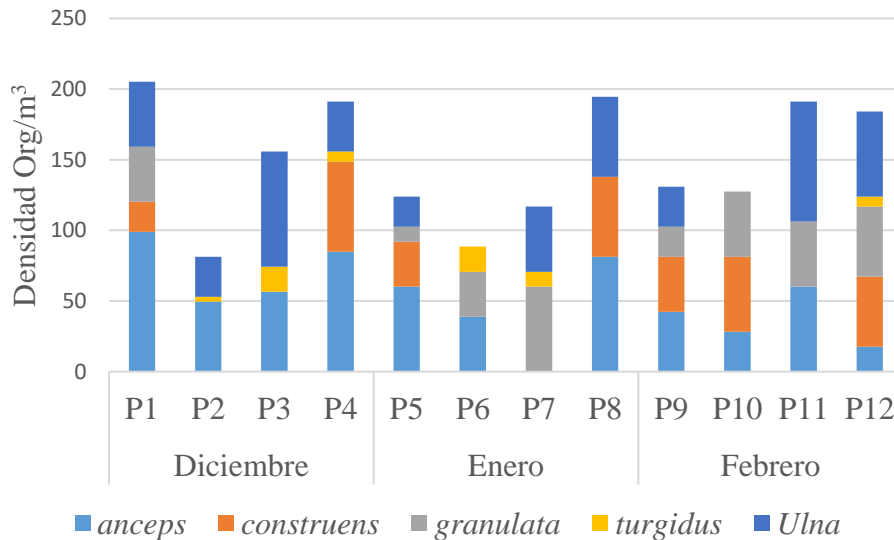


Figura 13. Densidad de las especies de perifiton por sitio y mes de muestreo

5.4.2 Índices

El valor del índice de Margalef durante los tres meses de muestreo fue de 0.6 (Figura 14). Los valores del índice de Shannon- Wiener oscilaron entre 1.2 y 1.4 siendo este último el índice más alto representado en los meses de enero y febrero, contrario al mes de diciembre el cual presentó el menor índice de diversidad en los muestreos realizados con 1.2 (Figura 15).

Los valores en los distintos puntos y meses de muestreo mostraron valores similares para ciertos sitios, por lo que el índice de Jaccard agrupó 1 categorías finales con 45% de similitud entre todos los sitios muestreados (Figura 16) los sitios con mayor porcentaje son los puntos 2 y 3; y los puntos 5, 1 y 9 ambos grupos con un 98%.

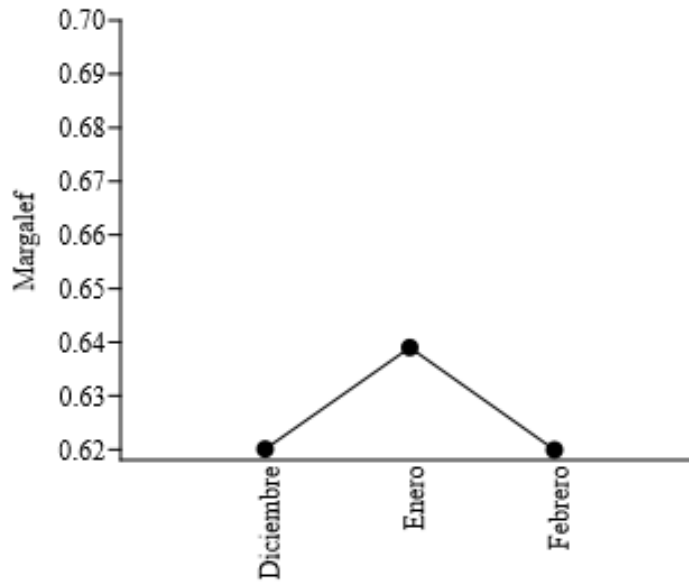


Figura 14. Riqueza de las especies de perifiton durante los meses de muestreo

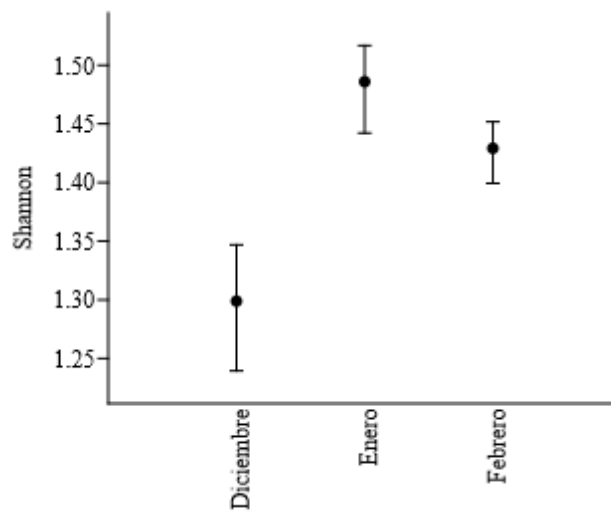


Figura 15. Índice de Shannon y Wiener del perifiton durante los meses de muestreo

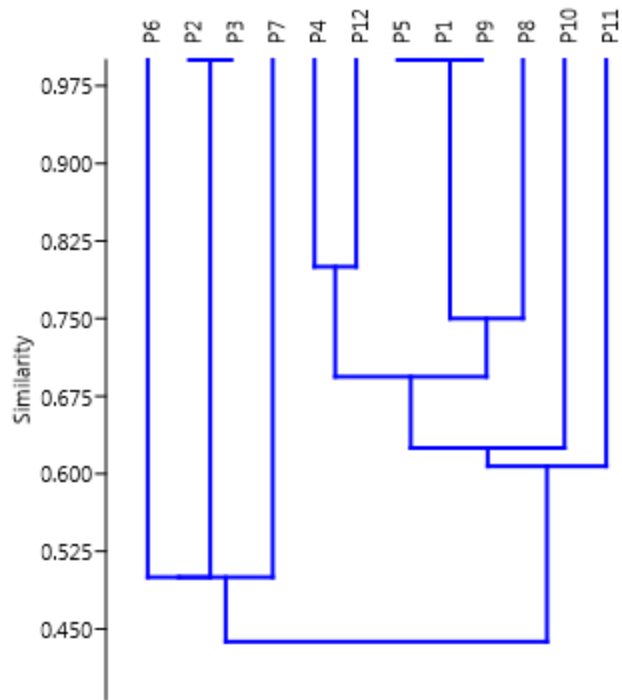


Figura 16. Análisis de similaridad del perifiton según el índice de Jaccard por sitios de muestreo

5.5 Macrofitas

Durante los tres meses de muestreo se determinó una riqueza de siete especies para las macrofitas en la laguna Obrajuelo siendo *Utricularia vulgaris* (Linneo, 1753) la especie dominante y más abundante representando un 22% seguido de *Luziola fluitans* (Michx.) Terrell & H. Rob. 20%, *Typha latifolia* L. 19%, *Egeria densa* (Planch, 1849) 15% *Nymphaea ampla* (Salisb.) DC. 18%, *Thalia geniculata* (Linneo, 1753) 5% y por último *Echinodorus paniculatus* (Micheli) con 1% (Figura 17).

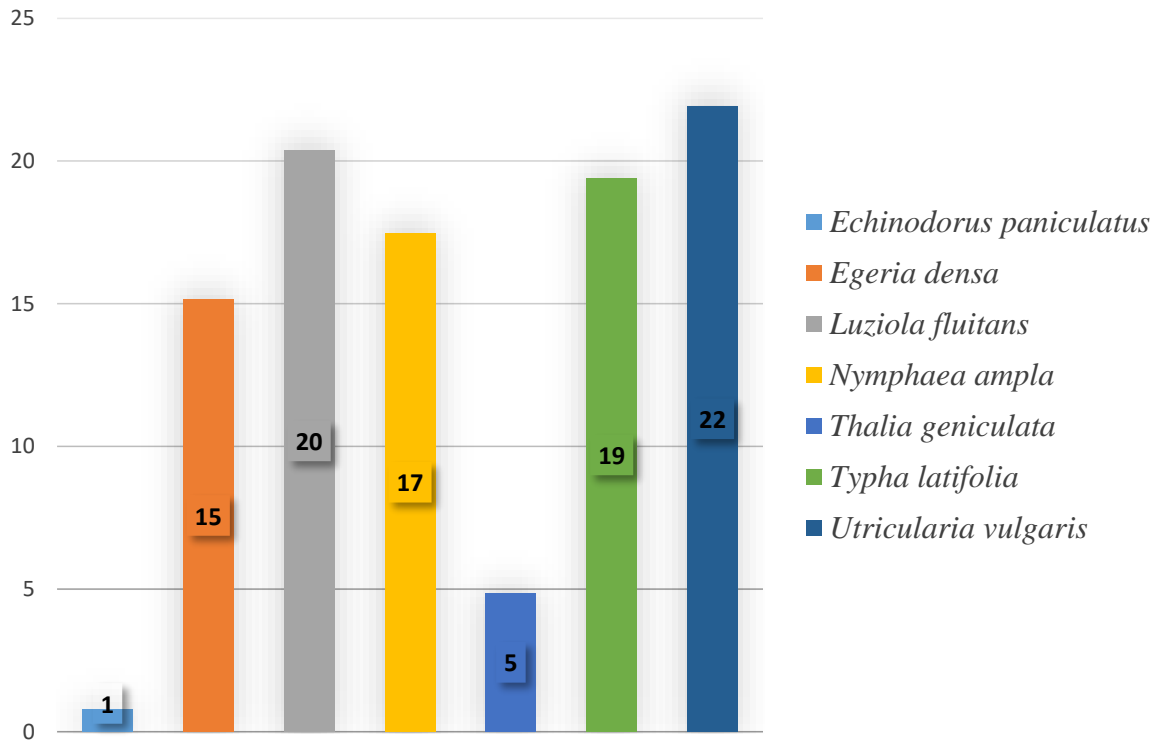


Figura 17. Riqueza de las especies de macrofitas de la laguna Obrajuelo

5.5.1 Densidad

La mayor densidad de macrofitas en el mes de diciembre se registró en el punto 4 con 422 org/m³, para el mes de enero se registró en el punto 4 con 334 org. /m³, en el mes de febrero nuevamente el punto 4 registro la mayor densidad con 151 org/m³ (Figura 18).

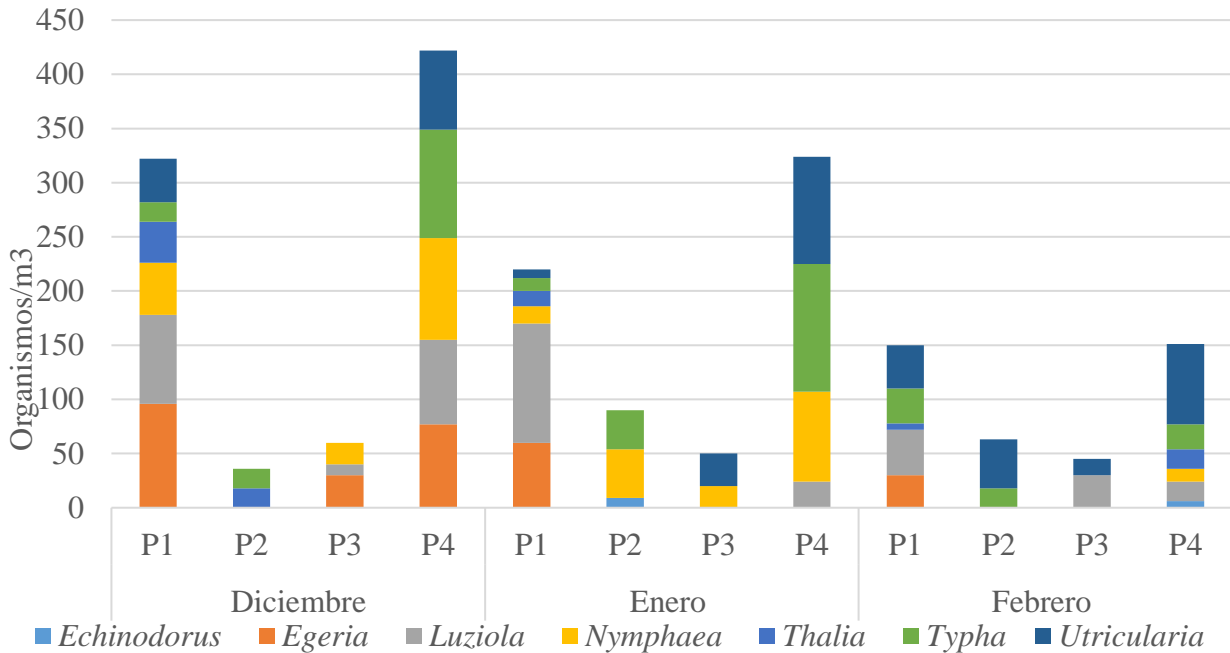


Figura 18. Densidad de las especies de macrofitas durante los meses de muestreo

5.5.2 Índices

Para estimar la comunidad de macrofitas en la laguna se realizó el índice de Margalef en los distintos meses de muestreo. El mes de febrero, presentó el mayor índice en comparación con los otros dos meses con 0.99, seguido del mes de enero con 0.91 y diciembre con 0.74 (Figura 19). Los valores del índice de Shannon- Wiener oscilaron entre 1.4 y 1.7 siendo este último el índice más alto representado en el mes de diciembre, seguido de enero con 1.6 y por último febrero el cual presento el menor índice con 1.5 (Figura 20).

Los valores en los distintos puntos y meses de muestreo mostraron valores similares; los sitios con mayor porcentaje son los puntos 1 y 5 con un 100 %; por otro lado, el punto que comparte menor similitud es el punto 2 en el mes de diciembre con un 20 % (Figura 21).

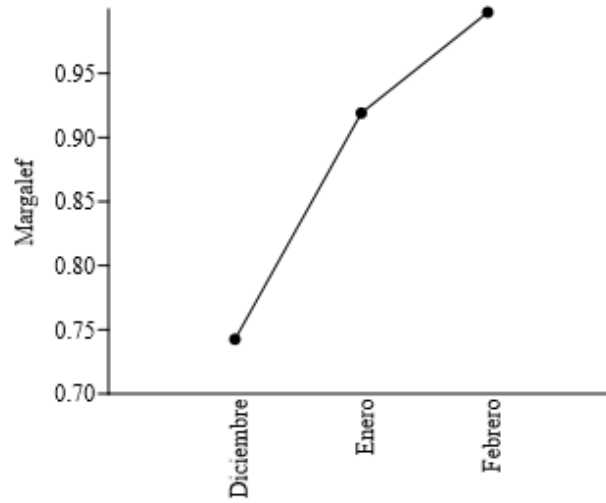


Figura 19. Diversidad de las de macrofitas durante los meses de muestreo

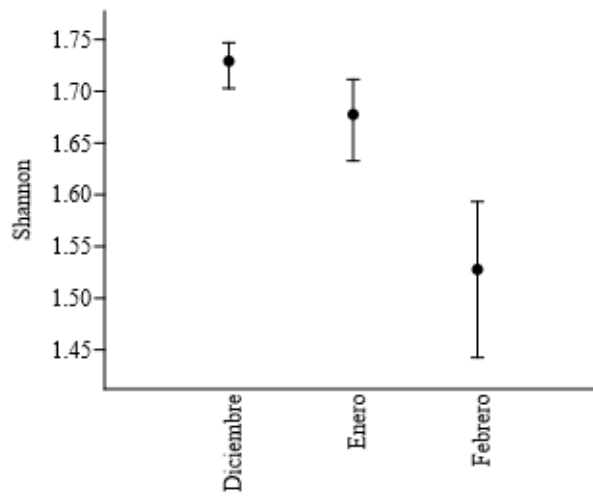


Figura 20. Índice de Shannon y Wiener de las macrofitas durante los meses de muestreo

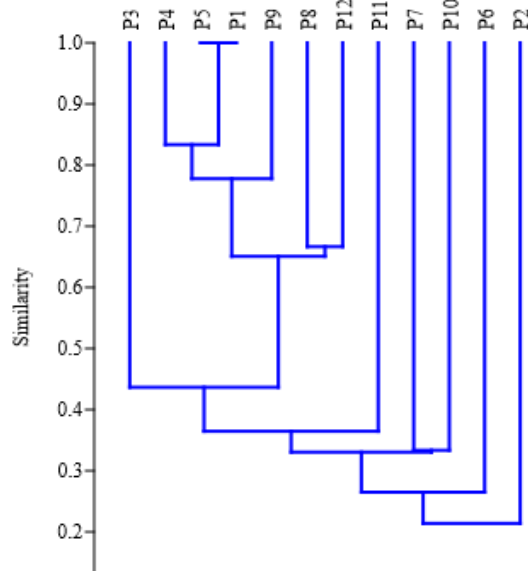


Figura 21. Análisis de similaridad de las macrofitas según el índice de Jarccard por sitios de muestreo.

5.6 Macroinvertebrados

Durante los tres meses de muestreo se determinó una riqueza de siete familias de macroinvertebrado, siendo la familia dominante y más abundante Chironomidae representando un 50% de todos los organismos colectados seguido de Syrphidae 10%, ambas familias pertenecientes al orden de los dípteros. Haplontaxidae perteneciente al orden de Haplontaxida y Pomaceinae orden Caenogastropodaen un 9%, Glossiphoniidae orden Rhynchobdellida 8% y en un 7% las familias Muscidae y Ceratopogonidae ambas pertenecientes al orden Díptera (Figura 22).

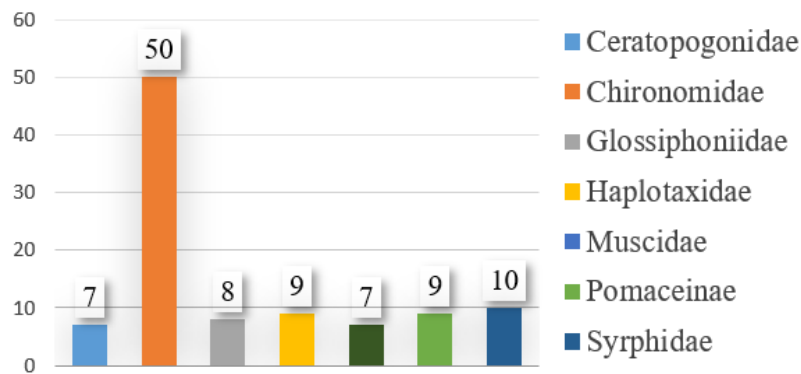


Figura 22. Riqueza de las familias de macroinvertebrados de la laguna Obrajuelo

5.6.1 Densidad

La mayor densidad en el mes de diciembre se registró en el punto 4 con 673 org/m², para el mes de enero la mayor densidad se registró en el punto 2 con 538 org/m², al igual en el mes de febrero la mayor densidad se registró en el punto 2 con 981 org/m² (Figura 23).

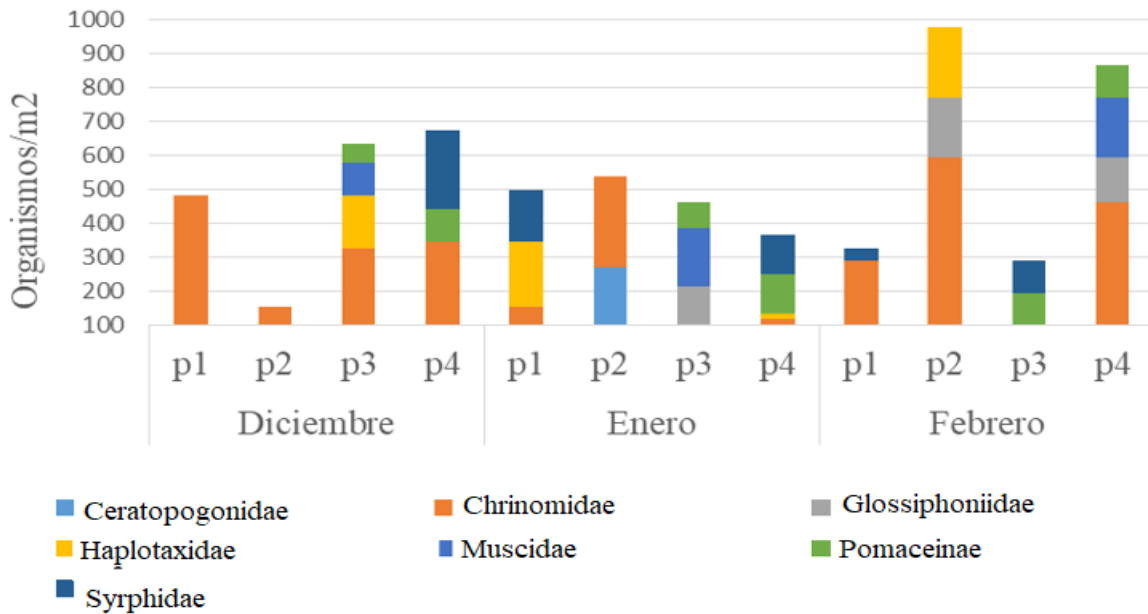


Figura 23. Densidad de macroinvertebrado durante los meses de muestreo

5.6.2 Índices

Para estimar la comunidad de macroinvertebrados en la laguna se realizó el índice de Margalef en los distintos meses de muestreo donde los meses de enero y febrero, presentaron un índice de 0.7 por otro lado el índice del mes de diciembre es de 0.5 (Figura 24). Los valores del índice de Shannon- Wiener oscilaron entre 1.4 y 1.7 siendo este último el índice más alto representado en el mes de diciembre, seguido de enero con 1.5 y por último febrero el cual presentó el menor índice con 1.4 (Figura 25).

Los valores en los distintos puntos y meses de muestreo mostraron valores similares para ciertos sitios, los sitios poseen más de un 20% de similaridad entre todos los sitios muestreados (Figura 26) los sitios con mayor porcentaje son los puntos 3 y 7 con un 99%.

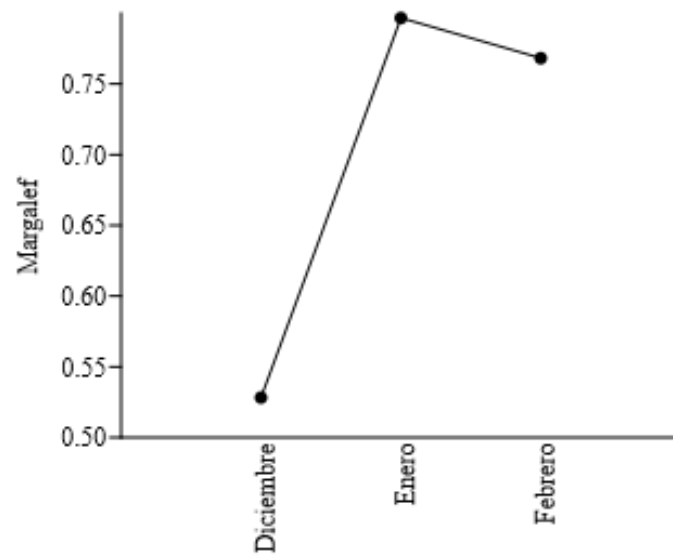


Figura 24. Diversidad de macroinvertebrados durante los meses de muestreo

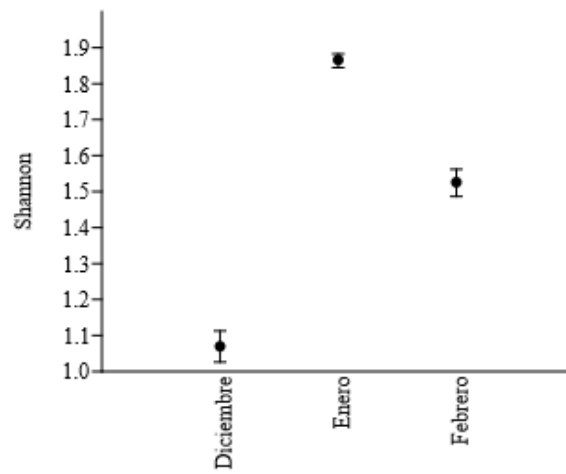


Figura 25. Índice de Shannon y Wiener de macroinvertebrados

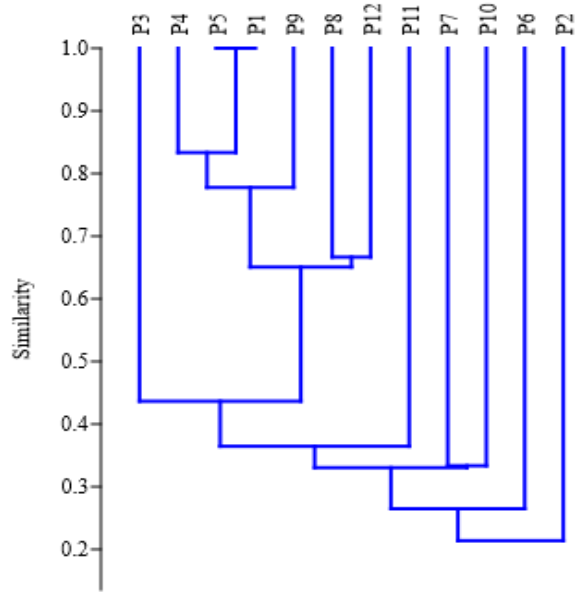


Figura 26. Análisis de similitud de las familias de macroinvertebrados según el índice de Jarrcard por sitios de muestreo

5.7 Peces

Durante los tres meses de muestreo se determinó una riqueza de seis especies en la laguna Obrajuelo siendo la especie dominante y más abundante *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) en un 45% seguido de *Poecilia mexicana* (Steindachner, 1863) con 17%, *Astyanax aeneus* (Günther, 1860) con 15%, *Parachromis managuensis* (Günther, 1867) con 11%, *Amphilophus trimaculatus* (Günther, 1867) con 9% y por último *Rhamdia guatemalensis* (Günther, 1864) (filin) con un 3% (Figura 27).

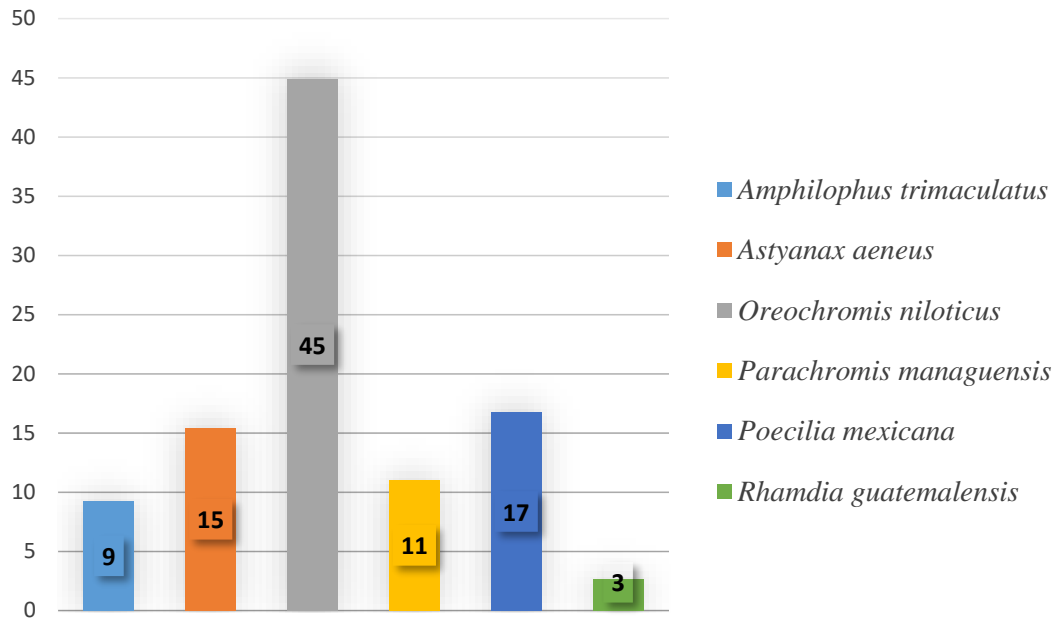


Figura 27. Riqueza de las especies de peces en la laguna Obrajuelo

5.7.1 Abundancia

Se realizó el cálculo para la captura por unidad de esfuerzo, la mayor abundancia en el mes de diciembre se registró en el punto 2 con 7.86 (No. ind/h) m², para el mes de enero la mayor abundancia se registró en el punto 1 con 3.22 (No. ind/h) m², al igual en el mes de febrero la mayor abundancia se registró en el punto 1 con 5.59 (No. ind/h) m² (Figura 28).

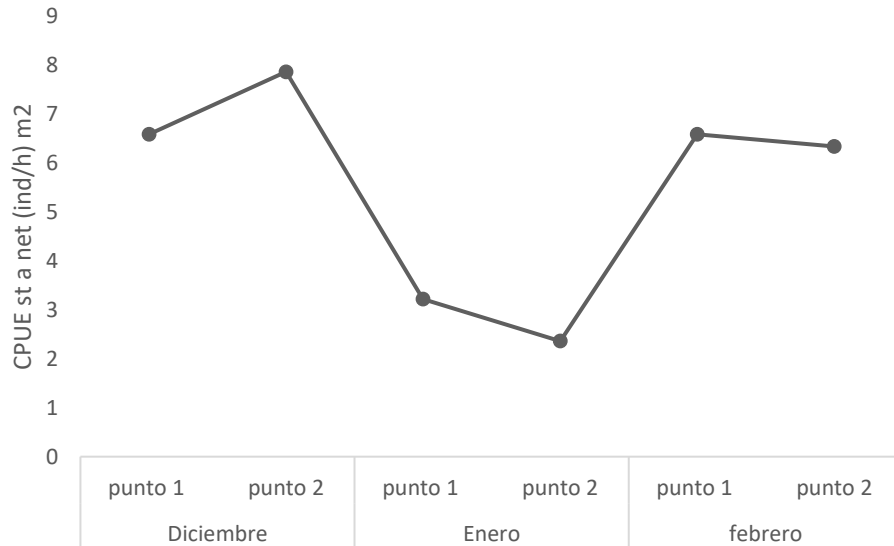


Figura 28. Captura por unidad de esfuerzo

5.7.2 Índices

Para estimar la comunidad de peces en la laguna se realizó el índice de Margalef en los distintos meses de muestreo donde los meses de diciembre presento un índice de 1.09, enero obtuvo 1.35 y el mes de febrero 1.14 (Figura 29). Los valores del índice de Shannon- Wiener oscilaron entre 1.4 y 1.7 siendo este último el índice más alto representado en el mes de diciembre, seguido de enero con 1.5 y por último febrero el cual presento el menor índice con 1.4 (Figura 30).

Los valores en los distintos puntos y meses de muestreo mostraron valores similares para ciertos sitios, por lo que el índice de Jaccard agrupó 3 categorías finales con más del 60% de similitud entre todos los sitios muestreados (Figura 31) los sitios con mayor porcentaje son los puntos 2, 3 y 6 con un 99%, 4 y 5 con un 85%.

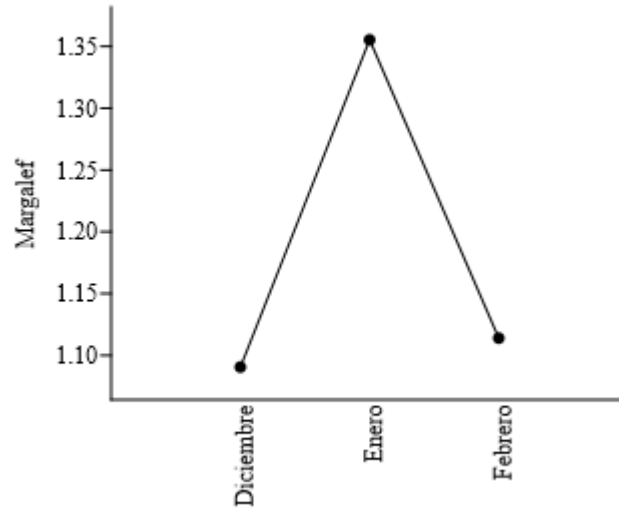


Figura 29. Riqueza de peces durante los meses de muestreo

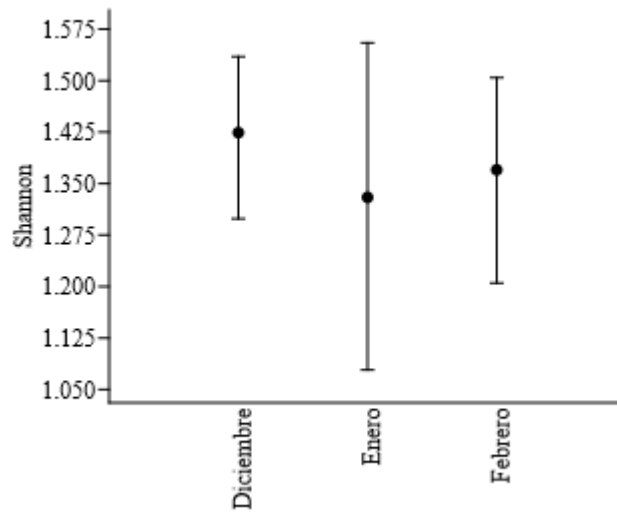


Figura 30. Índice de Shannon y Wiener de peces durante los meses de muestreo

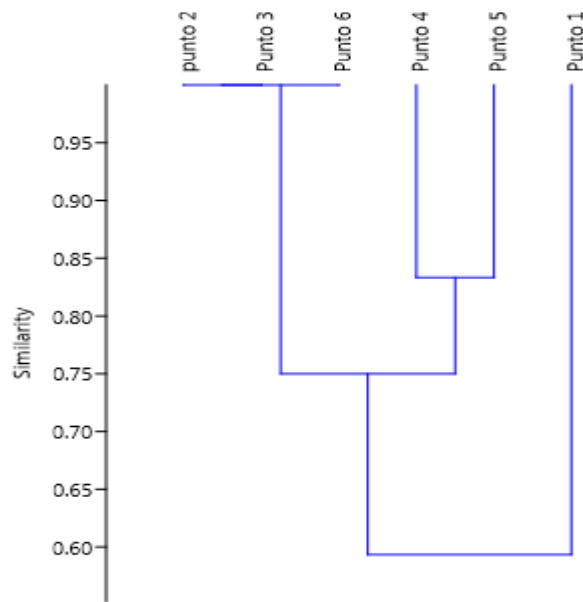


Figura 31. Análisis de similaridad según el índice de Jarccard de las especies de peces por sitios de muestreo

5.7.3 Relación talla peso

Se realizó la relación talla peso en las seis especies de peces provenientes de la pesca artesanal de la laguna. Los valores de las pendientes mostraron cinco especies con alometría negativa ($b < 3$), 1 especie con isometría ($b = 3$) (Figura 32). A través de los resultados de R^2 se calculó el factor de condición en las distintas especies durante los tres meses de muestreo (Tabla 5).

Tabla 5.

Factor de condición de la ictiofauna de la laguna Obrajuelo.

	Diciembre	Enero	Febrero
<i>Amphilophus trimaculatus</i> (Ishtatagua)	10.46	8.43	10.35
<i>Rhamdia guatemalensis</i> (Filin)	0.78	0.63	0.92
<i>Astyanax aeneus</i> (Pepesca)	16.65	14.94	18.86
<i>Parachromis managuensis</i> (Guapote)	7.83	4.21	3.96
<i>Poecilia mexicana</i> (Bute)	21.81	24.26	28.80
<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia)	12.99	12.61	13.16

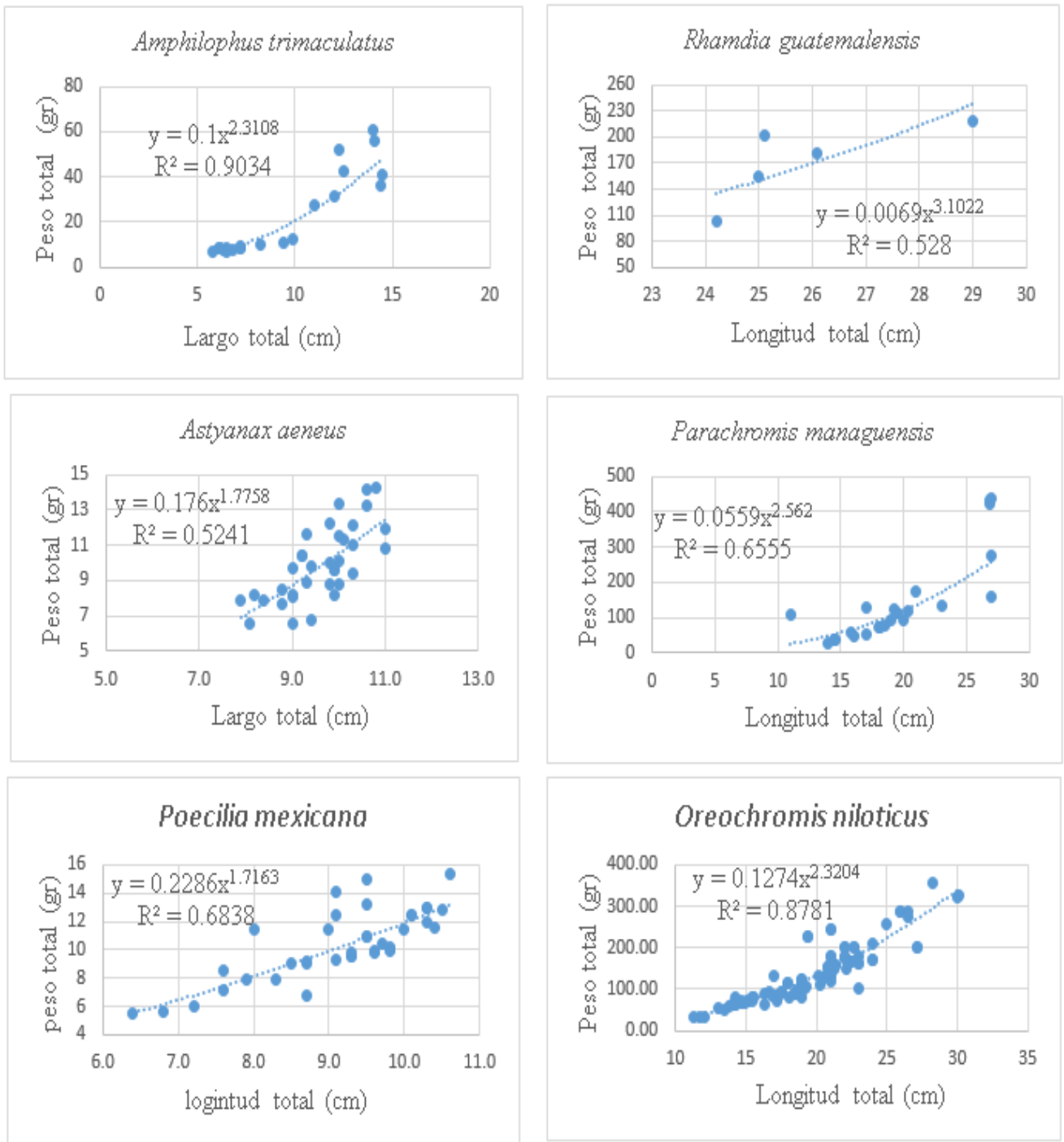


Figura 32. Relación talla peso de las distintas especies de peces de la laguna Obrajuelo

6. Discusión

Los puntos monitoreados presentaron una transparencia menor a 1 metro, lo cual se encuentra dentro de los rangos normales para un cuerpo de agua eutrófico, como señalaron Roldán y Ramírez (2022). Estos valores pueden deberse a la poca profundidad que caracteriza a la laguna. En cuanto al pH de la laguna, se registraron valores elevados, los cuales pueden atribuirse al hecho de que se trata de un cuerpo de agua cerrado y con una alta productividad primaria.

De acuerdo con lo encontrado, los valores de NO_2^- , NO_3^- y P están por encima de los 5 mg/l, lo que indica que la laguna está eutrofizada, según los criterios de Roldán y Ramírez (2022). Se infiere que la concentración de estos parámetros es alta debido a varios factores antropogénicos, como la actividad agrícola y ganadera en la zona de estudio, así como el turismo y la recreación que se realizan en el área. La calidad del agua se ve afectada por la escorrentía proveniente del sistema agrícola y ganadero circundante. Es importante mencionar que los cuatro sitios de muestreo comparten el mismo ensamble biológico, lo que se debe a que se encuentran en el mismo ecosistema y comparten muchas características y parámetros similares. Según (Sherwin & Prat i Fornells, 2019), el índice de Shannon-Wiener generalmente varía de 1 a 5, y se interpreta como diversidad baja cuando es menor de 2, diversidad media en el rango de 2 a 3.5, y diversidad alta cuando es superior a 3.5. De acuerdo con este criterio, los resultados del presente estudio sugieren que las comunidades biológicas de la laguna poseen una diversidad baja, posiblemente debido a las características físicas de la laguna, que es un cuerpo de agua cerrado y de menor tamaño.

Los nutrientes desempeñan un papel fundamental en la productividad de los ecosistemas. Las sales de nitrógeno y fósforo son esenciales para que el fitoplancton pueda generar nueva materia orgánica en presencia de luz, como indica Gómez-Figueroa et al. (2023) Estos factores influyen directamente en la riqueza y densidad del plancton. En la laguna se registró una alta densidad de productores primarios debido a la carga de nutrientes derivados de las actividades agrícolas y ganaderas de la zona, lo que afecta las concentraciones de NO_2^- , NO_3^- y P en el ecosistema. Es importante destacar que el género

de fitoplancton con mayor densidad en la laguna fue *Microcystis*, perteneciente a la división Cyanophyta, la cual puede tener efectos nocivos en la calidad del agua. Esto ocurre directamente a través de la producción de toxinas y de manera indirecta al disminuir la concentración de oxígeno en la columna de agua, lo que podría causar la muerte de los organismos aeróbicos presentes en el ecosistema. La presencia de altas cantidades de fósforo total en la zona puede explicar la abundancia de *Microcystis* en comparación con los otros géneros encontrados (Figura 7). Cuando el fósforo está en exceso, el nitrógeno se convierte en el nutriente limitante, resultando en una baja relación nitrógeno-fósforo (N-total/P-total), como señalaron Rueda-Delgado et al. (2008). De manera similar, la relación N/P necesaria para el desarrollo de las algas se encuentra en el rango de 17-12/1, según Chiandani y Vighi (1974). Esto indica que en la laguna Obrajuelo, la baja relación (N/P) (ver Tabla 2) es una de las causas iniciales de la abundancia de *Microcystis*, ya que esta relación favorece el crecimiento tanto de cepas capaces de fijar nitrógeno como de aquellas con estrategias para sobrevivir en ambientes donde el nitrógeno es escaso (Wasmund, 2011).

Además, la presencia constante de diatomeas como *Aulacoseira* sp, y *Fragilaria* sp en la laguna Obrajuelo es un indicador del fenómeno de eutrofización. Se sabe que las especies de ambos géneros exhiben tolerancia a ambientes muy turbios y a pH básicos, como menciona Pinilla (2000).

Esta baja relación de fósforo y nitrógeno también se refleja en la comunidad de macroinvertebrados, ya que la dominancia de Chironomidae perteneciente al orden de los dípteros se debe a sus múltiples estrategias de alimentación, su adaptación a diferentes factores ambientales o de estrés, como indican Merrit, et al. (2008) y Domínguez y Fernández (2009). Esto ha llevado a considerar a esta familia como indicadora de contaminación por materia orgánica, según Roldán (1996), y metales pesados, como señalan Loayza et al. (2010). La segunda familia más abundante fue Syrphidae perteneciente al orden de los dípteros, cuyas larvas suelen encontrarse en aguas estancadas o con poco flujo, a menudo en entornos con escasez de oxígeno y altamente contaminados, como las aguas residuales. Normalmente, se hallan en los sedimentos de aguas poco profundas.

En cuanto a las macrófitas, se identificó una riqueza total de siete especies, lo que se considera una cantidad relativamente baja. Esta riqueza guarda una fuerte relación con la disponibilidad de nutrientes, o estado trófico, de los cuerpos de agua, siguiendo un patrón clásico en forma de curva gaussiana. Los cuerpos de agua oligotróficos, caracterizados por una baja carga de nutrientes, se sitúan en un extremo de la escala y generalmente albergan un número limitado de especies. Por otro lado, los cuerpos de agua mesotróficos, con una carga de nutrientes moderada, ocupan la parte media de la escala y tienden a mantener una alta diversidad de macrófitas. No obstante, la riqueza de especies tiende a disminuir nuevamente en cuerpos de agua eutróficos, que presentan una alta concentración de nutrientes. En la laguna, la presencia del hábito sumergido se observó en toda su extensión, tanto en la zona litoral como en la limnética. Esta amplia adaptación en la comunidad de macrófitas es claramente favorecida por la entrada de luz, que, según los valores del disco de Secchi, penetra hasta una profundidad de 1.5 metros y abarca una gran parte de la columna de agua.

7. Conclusiones

1. Se identificaron siete especies para taxón del fitoplancton, siendo *Microcystis aeruginosa* la especie dominante; para el perifiton se identificaron cinco especies siendo la especie más abundante *Stauroneis anceps*; el zooplancton presento cuatro especies siendo *Brachionus falcatus* la más abundante; se identificaron siete especies de macrofitas *Utricularia vulgaris* la especie más abundante; se identificaron 7 familias de macroinvertebrados en la Laguna Obrajuelo siendo la familia más abundante Chironomidae, por último se identificaron seis especies de peces siendo la especie más abundante *Oreochromis niloticus* (tilapia).
2. Los sitios muestreados comparten el mismo ensamble biológico, la similitud de estos se debe a que estos se encuentran en un cuerpo de agua cerrado de menor tamaño y muchos parámetros y características son similares en todo el cuerpo de agua; las comunidades biológicas de la laguna les corresponde una diversidad baja en el índice de Shannon-Wiener.
3. Los parámetros químicos en especial la relación de fosforo y nitrógeno en el cuerpo de agua podría estar relacionado con la diversidad biológica de la laguna Obrajuelo.
4. Las altas cargas de contaminantes, producto de las actividades antropogénicas que se desarrollan dentro de la zona de la laguna, provocan un incremento en las concentraciones de NO_2^- , NO_3^- y P, lo cual tiene un efecto en las comunidades acuáticas.

8. Recomendaciones

1. Ampliar el período de evaluación del estudio, al menos durante un año, con el fin de evaluar los cambios en una escala temporal y ver las diferencias entre la temporada seca a la temporada lluviosa.
2. Establecer un programa de monitoreo permanente de la productividad primaria y biomasa de la laguna Obrajuelo, el cual deberá incluir idealmente mediciones mensuales, con el fin de generar un registro de datos actualizados respecto al estado trófico del cuerpo de agua
3. Estudiar la biología reproductiva de peces de importancia comercial en la laguna Obrajuelo para determinar la talla media de primera madurez sexual de las especies presentes en la laguna.
4. Evaluar el impacto que tienen las actividades antropogénicas alrededor de la laguna sobre la calidad del agua y la comunidad planctónica.

9. Referencias Bibliográficas

- Álvarez del Villar, J. (1970). *Peces mexicanos (claves)*. México: Secretaría de Industria y Comercio.
- American Public Health Association [APHA]. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D.C.: American Public Health Association, American Water and Waterworks Association, and Water Environment Federation.
- Arteaga, V., Quevedo, A., Valle, D., Castro, M., Bravo, A., & Ramírez, A. (2019). Estado del arte: Una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(5), 319-343. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12>
- Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno [AMSCLAE]. (2020). *Informe monitoreo limnológico 2020*. Recuperado enero, 15, 2021, de <https://www.amsclae.gob.gt/descargas/informesdica2020/limnologico2020.pdf>
- Azurdia Juárez, A. (2016). *Estimación de la productividad primaria y biomasa en el lago de Amatitlán en época seca y lluviosa* [Tesis de Licenciatura en Química, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Basant, Y., Prakash, M., Ashish, P., Singh, V., & Singh, R. (2019). Water resources and environmental sustainability. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-13467-8>
- Bellinger, E., & Sigeo, D. (2010). Freshwater algae: Identification and use as bioindicators. *Wiley-Blackwell*, 143, 16.
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.*, 51, 495 – 523. doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124.
- Borja, C., Camacho, A., & Florín, M. (2012). Lagos y humedales en la evaluación de los ecosistemas del milenio en España. *Ambienta*, 98, 82-90.



- Castellanos, E., & Dix, M. (2009). *Levantamiento de la Línea Base del lago Atilán*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN].
- Chiandani, G., & Vighi, M. (1974). The N: P ratio and testes with *Selenastrum* to predict eutrofication in lakes. Italia: Water Research.
- Cirujano, S., & Medina, L. (2002). *Plantas acuáticas de las lagunas y humedales de Castilla*. Castilla La-Mancha, Madrid: La Mancha CSIC.
- Cirujano, S., Cambra, J., & Gutiérrez, C. (2005). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro*. Barcelona - España: Confederación Hidrográfica del Ebro, URS, Universidad de Barcelona, Centre de Recherche Public Gabriel Lippmann, Universidad de Girona y Ministerio de Medio ambiente.
- Climapesca. (2021). *Laguneta de Obrajuelo*. Recuperado mayo, 15, 2021, de <https://climapesca.org/2017/08/laguneta-de-obrajuelo/>
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP]. (2021). *Conmemoración del Día Mundial de los Humedales “Los humedales y la biodiversidad”*. Recuperado septiembre 12, 2021, de <https://conap.gob.gt/2-de-febrero-conmemoracion-del-dia-mundial-de-los-humedales-los-humedales-y-la-biodiversidad/>
- Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional [Ramsar]. (2004). *Inventarios de humedales: Un marco de Ramsar para inventario de humedales*. (2a ed.). Irán: Ramsar.
- Cowx, I., & Collares, M. (2002). *Freshwater fish conservation: Options for the future / Conservation of freshwater fishes: Options for the future*. Oxford: Fishing News Books, Blackwell Science.
- Cronberg, G., & Annadotter, H. (2006) *Manual on aquatic Cyanobacteria: A photo guide and a synopsis of their toxicology*. France: International Society for the Study of Harmful Algae and the UNESCO Copenhagen.



- De Pauw, N., & Vanhooren, G. (1983). Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia*, 100, 153-16.
- Diaz Merlano, J., & Puyana Hegedus, M. (1994). *Moluscos del Caribe Colombiano: Un catálogo ilustrado*. Santafe de Bogotá: Colciencias, Fundacion Natura, e Invemar.
- Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del EBRO. (2005). Recuperado junio, 15, 2021, de <http://www.magrama.gob.es>
- Dix, A., Maldonado, M., Dix, M., Bocaletti O., Giron, R., De la Roca, I., Bailey, A., Herrera, K., Pérez, J., Piercola, K., & Rivera, G. (1999). *El impacto de la cuenca del río Polochic sobre la integridad biológica del lago de Izabal: (Informe Final Proyecto)*. Guatemala: Línea Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico [FODECYT] y Universidad del Valle de Guatemala [UVG].
- Dix, M., Dix, M., Orozco, M., Cabrera, D., Bocel, E., & Toledo, A. (2012). El lago Atitlán, Guatemala: Su estado ecológico octubre 2009 - diciembre 2011. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 35-50.
- Dobson, M., & Frid, C. (2009). *Ecology of Aquatic Systems*. New York: Oxford University Press.
- Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Duarte, J. (2016). *Determinación de la productividad primaria en la laguna el Pino, departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala* [Tesis Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria, USAC].
- Duncan, J., & Lockwood, J. (2001). Extinction in a field of bullets: A search for causes in the decline of the world's freshwater fishes. *Biological Conservation*, 102, 97-105.
- Espinoza, N., & Morales, F. E. (2008). Macroinvertebrados bentónicos de la laguna Las Peonías, estado Zulia, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 42 (3): 345-363.



- Falchaud, K. (1997). *The polychaete worms' definitions and keys to the order, families and genera*. United States: Natural History Museum of Los Angeles County.
- Fontúrbel, F., Molina, C., & Richard, E. (2006). *Evaluación rápida de la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del lago Titikaka (Bolivia) y su uso como indicador del grado de contaminación*. Universidad de Chile.
- Gall, F. (1978). *Diccionario geográfico de Guatemala: Tomo II*. (2^a ed.). Guatemala: Instituto Geográfico Nacional, Tipografía Nacional.
- García, H. (2005). *Caracterización de la laguna de Ipala mediante un monitoreo continuo en época de estiaje y lluviosa: (Informe final Proyecto Fodecyt no. 26-2003)*. Recuperado junio 15, 2021 de <http://glifos.senacyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202003.26.pdf>
- García, J. M., Sarmiento, L. F., Salvador, M., & Porras, L. S. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: Aplicación en ríos tropicales de alta montaña. *UGCiencia*, 23, 47-62.
- García, L. (2024). Revisión crítica sobre la función de los humedales en la regulación climática. *Climate and Environment Journal*, 22(3), 98-112. <https://doi.org/10.5678/cej.2024.02203>
- Gómez-Figueroa, J. A., Rendón-von Osten, J., Poot-Delgado, C. A., Dzul-Caamal, R., & Okolodkov, Y. B. (2023). Seasonal response of major phytoplankton groups to environmental variables along the Campeche Coast, Southern Gulf of Mexico. *Phycology*, 3(2), 270-279. <https://doi.org/10.3390/phycolgy3020017>
- Gonzales, C., Vallerino A., Pérez J., & Low, A. (2014). *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiente*. Recuperado junio, 15, 2021 de <https://agua.org.mx/biblioteca/bioindicadores-guardianes-nuestro-ambiental/>
- Heink, U., & Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10, 584-593.
- Heinonen, P., Pietiläinen, O., Airaksinen, O., Haapala, A., Hammar, T., Holopainen, A., Hämäläinen, H., Issakainen, J., Kanninen, A., Karttunen, K., Leka, J., Lepistö, L.,

Luotonen, H., Manninen, P., Mononen, P., Mäkinen, H., Niinioja, R., Pilke, A., Rissanen, J., Sandman, O., Servomaa, K., Sojakka, P., Tolonen, K., Ustinov, A., Vallinkoski, V., Valta-Hulkkonen, K., & Vuoristo, H. (2004). *Monitoring and assessment of the ecological status of lakes*. Finland: Nordic Environmental Label. Recuperado mayo, 15, 2021, de www.environment.fi/publications

Hellsten, S., & Joronen, R. (1986). *The flora and vegetation of the littoral of lake Kemijärvi and the ecological factors influencing them in 1982–1983*. Finland: Rovaniemi, Kemijoki Water Protection.

Hendler, G., Miller, J. E., Pawson, D. L., & Kier, P. M. (1995). *Echinoderms of Florida and the Caribbean: Sea stars, sea urchins, and allies*. Washington,: Smithsonian Institution Press.

Hernández, I. (2022). *Centro eco-turístico municipal para la Laguna de Obrajuelo Agua Blanca, Jutiapa* [Tesis de licenciatura en Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala].

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2006). *Macroinvertebrados acuáticos – determinación taxonómica – conteo*. Recuperado junio, 15, 2021, de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Macroinvertebrados+acuaticos.pdf/e5730a5b-069f-4400-8d2d-a31d8603a196>

Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad [IARNA], y Universidad Rafael Landívar [URL]. (2012). *Cambio climático y biodiversidad: Elementos para analizar sus interacciones en Guatemala con un enfoque ecosistémico*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar [URL].

Jensén, S. (1994). Lake vegetation. In Pålsson, L. (Ed.), *Vegetation typer i Norden. TemaNord*, 665, 458–531.

Kensley, B., & Schotte, M. (1989). *Guide to marine isopods crustaceans of the Caribbean*. Washington and London: Smithsonian Institution Press.



Kim, K., Park, C., & Hwang, S. (2023). Analyzing the akinete protein of the harmful freshwater cyanobacterium, *Dolichospermum circinale*. *Water*, 15(15), 2746. <https://doi.org/10.3390/w15152746>

Komárková, J., & Cronberg, G. (1992). New and recombined filamentous Cyanophytes from lakes in South Scania, Sweden. *Algological Studies*, 67, 21-32.

Lacoul, P., & Freedman, B. (2006). Environmental influences on aquatic plants in freshwater ecosystems. *Environmental Reviews*, 14(2), 89-136. <https://doi.org/10.1139/a06-001>

Lemus, S. (2011). *Evaluación del fitoplancton como potencial bioindicador de la calidad del agua del lago de Izabal, Guatemala* [Tesis de Licenciatura en Biología, USAC].

Li, L., Zheng, B., & Liu, L. (2010). Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: Definitions, approaches and trends. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1510-1524. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.164>

Loayza, M., Elías, R., Marticoren, R., Palomino, J., Duivenvoorden, J., Kraak, M., & Admiraal, W. (2010). Metal-induced shifts in benthic macroinvertebrate community composition in Andean high-altitude streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29 (12), 2761 - 2768.

Luján de Fabricius, A. (2000). Las algas, indicadores de la calidad del agua. *Interiencia*, 4 (4), 1-4.

Mafla, M. (2005). *Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano*. Recuperado mayo 15, 2021, de http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/2267/Guia_para_evaluaciones_ecologicas_rapidas_con_indicadores_biologicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Malea, L., Nakou, K., Papadimitriou, A., Exadactylos, A., & Orfanidis, S. (2021). Physiological responses of the submerged macrophyte *Stuckenia pectinata* to high salinity and irradiance stress to assess eutrophication management and climatic effects: An integrative approach. *Water*, 13 (12), 1706. <https://doi.org/10.3390/w13121706>



- McAlice, B. J. (1971). Phytoplankton sampling with the Sedgwick-Rafter cell. *Limnol. Oceanogr.*, 16, 19–28.
- Mcdowall, R., & Taylor, M. (2000). Environmental indicators of habitat quality in a migratory freshwater fish fauna. *Environmental Management*, 25, 357-374 pp.
- Meek, S. (1908). *The zoology of lakes Amatitlan and Atitlan, Guatemala, with special reference to ichthyology*. Estados Unidos: Field Columbian Museum Zoological.
- Merrit, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M. B. (2008). An introduction to the aquatic insects of North America. Estados Unidos: *The Journal of Animal Ecology*.
- Miller, R., Minckley, W., & Norris, S. (2005). *Freshwater fishes of Mexico*. The University of Chicago Press.
- Miller, R., Minckley, W., & Norris, S. (2009). *Peces dulceacuícolas de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Ictiológica Mexicana, El Colegio de la Frontera Sur, y Consejo de los Peces del Desierto México-Estados Unidos.
- Munyai, L., Liphadzi, T., Mutshekwa, T., Mutoti, M., Mofu, L., & Murungweni, F. (2024). Water and sediment chemistry as drivers of macroinvertebrates and fish assemblages in littoral zones of subtropical reservoirs. *Water*, 16 (1), 42. <https://doi.org/10.3390/w16010042>
- Nixon, S. C., Mainstone, C. P., Moth Iverson, T., Kristensen, P., Jeppesen, E., Friberg, N., Papathanassiou, E., Jensen, A., & Pedersen, F. (1996). *The harmonised monitoring and classification of ecological quality of surface waters in the European Union: Final Report to European Comission, Directorate General XI*. Water Research Centre; Report WRc No. CO 4150.
- Oberdorff, T., Pont, D., Hugueny, B., & Porcher, J. (2002). Development and validation of a fish-based index for the assessment of ‘river health’ in France. *Freshwater Biology*, 47, 1720-1734 pp.



- Ochaeta, G. (2014). *Análisis temporal y espacial de la comunidad de fitoplancton en los puntos Panajachel, Centro Weiss G y Santiago en el lago Atitlán, Sololá, Guatemala, durante el año 2013* [Tesis Licenciatura en Biología, USAC].
- Paller, M., Reichert, M., Dean, J., & Seigle, J. (2000). Use of fish community data to evaluate restoration success of a riparian stream. *Ecological Engineering*, 15, S171-S187.
- Pinilla, G. (2000). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia*. Bogotá: Centro de Investigaciones Científicas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Pinilla, G. (2006). Evaluación de la eficiencia fotosintética del fitoplancton en un lago amazónico (lago Boa) y en un lago andino (lago Guatavita). *Acta Amazónica*, 36, 221-228.
- Programa Nacional de Reserva de Agua. (2014). *Protocolo de muestreo de peces en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012)*. Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM].
- Reyes, F. (2013). *Macroinvertebrados acuáticos de los cuerpos lenticos de la Región Maya, Guatemala*. Guatemala: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, y Dirección General de Investigación [DIGI].
- Reyes, F., Barreno, F., Arriola, I., Martínez, M., Martínez, C., Xamínez, N., & Ujpán, D. (2017). *Monitoreo limnológico 2016: (Informe Técnico)*. Sololá, Guatemala: Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno [AMSCLAE].
- Reyes, H. (2017). *El recurso agua en Guatemala: Retos para su gestión y conservación*. En *Boletín "Economía al día"* (No. 08, Capítulo 2). Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales, USAC. Recuperado de <https://usac.edu.gt/Boletín-No.-08-Agosto-2017.pdf>
- Richard H., F., & Lamberti G., A. (2006). *Methods in stream ecology. Macrófitos y Briofitos*. San Diego California: Academic Press/Elsevier.
- Roldán, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Bogotá: Pama Editores.



- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: Cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Roldán Pérez, G., & Ramírez Restrepo, J. J. (2022). *Fundamentos de limnología neotropical* (3a ed.). Editorial Gente Nueva.
- Rueda-Delgado, G., Ruiz, E., Rodríguez, O., Duque, S., Cubillos, C., Leon, P., Perdomo, W., Sánchez, S., Morales, D., Hermosilla, S., Mariner, K., Betancourt, B., Morales, R., & Ramírez, A. (2008). Capítulo I. Línea base limnológica para el ajuste del POPA del embalse de Betania. En Meneses, T., Alvarado, E., Galvis, I., & Molina, B. (Eds). *Estudios limnológicos para el ordenamiento piscícola del embalse de Betania: Informe Final* (39 p.). Colombia: Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura.
- Sagastume, E. (2017). *Diseño de material impreso para dar a conocer la laguna Obrajuelo a los turistas nacionales que visiten el municipio de Agua Blanca, Jutiapa, Guatemala* [Tesis Licenciatura en Comunicación y Diseño, Universidad Galileo].
- Sasa, M., Beneyto Garrigos, D., Bonilla, F., Arevalo, J., Sánchez, R., Morales, L., Arias, J., Vargas, R., Serrano, J., Monrós, J., & Hanson, P. (2022). Uso de la diversidad biológica de grupos indicadores para evaluar la compensación ecológica: El caso del Embalse Río Piedras, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 70. <http://dx.doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v70is1.53487>
- Schmidt-Mumm, U. (1998). *Vegetación acuática y palustre de la sabana de Bogotá y plano del río Ubaté: Ecología y taxonomía de la flora acuática y semiacuática* [Tesis de Maestría en Ecología, Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia].
- Schmitter-Soto, J. J. (1998). *Catálogo de los peces continentales de Quintana Roo: Guías Científicas*. México: ECOSUR.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, & Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). *Directrices para la evaluación ecológica rápida de la biodiversidad de*



las zonas costeras, marinas y de aguas continentales: Informe Técnico de Ramsar núm. 1. Gland, Suiza: RAMSAR

Sherwin, W., & Prat, N. (2019). La introducción de la entropía y los métodos de información a la ecología por Ramon Margalef. *Entropía*, 21 (8), 794. <https://doi.org/10.3390/e21080794>

Springer, M. (2006). A Taxonomic key to the families of caddisfly larvae (Insecta: Trichoptera) of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 54 (1), 273-286.

Springer, M., Ramírez, A., & Hanson, P. (2010). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Rev. Biol. Trop.*, 58 (4).

Stefanidis, K., Dimitrellos, G., Sarika, M., Tsoukalas, D., & Papastergiadou, E. (2022). Ecological quality assessment of Greek lowland rivers with aquatic macrophytes in compliance with the EU Water Framework Directive. *Water*, 14(18), 2771. <https://doi.org/10.3390/w14182771>

Thakur, R., Jindal, R., Singh, U., & Ahluwalia, A. (2013). Plankton diversity and water quality assessment of three freshwater lakes of Mandi (Himachal Pradesh, India) with special reference to planktonic indicators. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(10), 8355–8373. doi:10.1007/s10661-013-3178-3

Toivonen, H. (2000). Botanical aspects in lake monitoring and assesment. In Heinonen, P., Ziglio, G., & Van der Beken, A. (Eds.). *Hydrological and limnological aspects of lake monitoring*. Belgic: John Wiley & Sons.

Toivonen, H. (2000). Botanical aspects in lake monitoring and assesment. In Heinonen, P., Ziglio, G., & Van der Beken, A. (Eds.). *Hydrological and limnological aspects of lake monitoring*. Belgic: John Wiley & Sons.

VanTuylen, S., Dix, M., & García, J. (2013). *Evaluación del efecto de la calidad del agua sobre la distribución espacio- temporal de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad ecológica de dos ríos de la cuenca del lago Atilán,*



- Sololá (Proyecto FODECYT 02-2013)*. Sololá, Guatemala: Centro de Estudios Atitlán, y Universidad del Valle de Guatemala Campus Altiplano.
- Veloza, I., García, C., Ortega, C., y Dávila, R. (2000). Contribución al estudio taxonómico de los hidrófitos de la laguna Negra de la región de Taquecitos, Páramo Sumapaz (Colombia). *Actualidades Biológicas*, 22, (73), 177-194.
- Vicente, E., De Hoyos, P., Sánchez, J., & Cambra, J. (2005). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua*. España: Confederación Hidrográfica del EBRO, y Universidad de Valencia.
- Villagra, A., Frau, D., & Locascio, C. (2010). *Manual de técnicas de monitoreo de condiciones ecológicas para el manejo integrado: Red de humedales de importancia para la conservación de flamencos altoandinos*. Argentina: Fundación YUCHAN.
- Wasmund, N., Tuimala, J., Suikkanen, S., Vandepitte, L., & Kraberg, A. (2011). Long-term trends in phytoplankton composition in the western and central Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*, 87(2), 145-159. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2011.03.010>
- Weber, I. (1993). Recent developments in the measurement of the response of plankton and periphyton to change in their environment. *In*. Glass, G. (Ed.), *Bioassay techniques and environmental chemistry* (pp. 119-130). United States: Ann Arbor Science Publisher.
- Wehr, J., & Sheath, R. (2003). *Freshwater algae of North America: Ecology and classification*. United States: Academic Press.



10. Anexo



Anexo 1 Identificación de puntos de muestreo



Anexo 2 Muestreo de peces por medio de atarraya



Anexo 3 Herborización de plantas de la laguna Obrajuelo



Anexo 4 Limpieza de muestras de macroinvertebrados



Anexo 5 Identificación de macroinvertebrados bentónicos