

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Composición comunitaria de peces en tres hábitats macrófitos para evaluar el impacto de colonización de hydrilla (*Hydrilla verticillata*) en el lago de Izabal, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por  
María Celeste Bautista Orrego  
para optar el grado de Licenciatura en Biología

Guatemala,

2023



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Composición comunitaria de peces en tres hábitats macrófitos para evaluar el impacto de colonización de hydrilla (*Hydrilla verticillata*) en el lago de Izabal, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por  
María Celeste Bautista Orrego  
para optar el grado de Licenciatura en Biología

Guatemala,

2023

Vo. Bo.



Firma \_\_\_\_\_

PhD. Christian Barrientos

Terna examinadora:



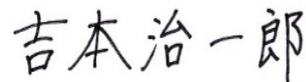
Firma \_\_\_\_\_

PhD. Christian Barrientos



Firma \_\_\_\_\_

M. Sc. Gabriela Alfaro



Firma \_\_\_\_\_

Dr. Jiichiro Yoshimoto

Guatemala 22 de junio, 2023

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza y la sabiduría necesarias para llevar a cabo este proyecto de investigación.

A mis padres, Dalia y Gregorio, les agradezco profundamente por su amor, dedicación y apoyo a lo largo de toda mi vida y especialmente durante esta etapa académica. Su apoyo y confianza me han impulsado a seguir adelante. También, a mi hermana, Anita, gracias por tu constante ánimo y amor.

Al biólogo Christian Barrientos, mi asesor y guía en este proceso académico, le debo un agradecimiento especial. Sus conocimientos, paciencia y dedicación fueron esenciales para poder culminar esta investigación. Así mismo le agradezco también a M. Sc. Gabriela Alfaro y al Dr. Jiichiro Yoshimoto, por su tiempo, esfuerzo y valiosos comentarios durante la evaluación de este trabajo. Sus aportes y sugerencias contribuyeron significativamente a mejorar esta tesis.

A mis amigos cercanos, les agradezco por su apoyo constante, por escucharme y comprenderme cuando más los necesitaba. En especial a Laura, mi mejor amiga de toda la vida, y a Frida, que ha sido mi compañera incondicional en este viaje académico.

También agradezco a quienes me ayudaron en esta investigación y en la tesis en general: Christian Barrientos, Gregorio Bautista, Benjamín Bautista, Melvin Flores, Frida Yanes, al Chenquito, a mi madre y a mi hermana. A todos les estoy profundamente agradecida por su colaboración, esfuerzo y dedicación durante el muestreo y la toma de datos. Sin su compromiso y trabajo en equipo, este proyecto no habría sido posible.

Agradezco al Centro de Datos para la Conservación del Centro de Estudios Conservacionistas de la Universidad San Carlos de Guatemala (CDC/CECON); y a Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce (AMASURLI), por su apoyo al proporcionar el equipo de campo necesario para llevar a cabo esta investigación. Y, por último, también quisiera agradecer a la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), en especial al Departamento de Biología, por apoyarme no solo con el equipo para esta tesis, si no también durante toda la carrera.

Este logro es el resultado del apoyo, la colaboración y el respaldo de estas personas importantes en mi vida, así como de las instituciones que hicieron posible la realización de esta investigación. Gracias a todos.

## Índice

Listado de cuadros .....	ix
Listado de figuras.....	x
Resumen.....	viii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES .....	3
A. Sobre <i>Hydrilla verticillata</i> .....	3
B. Hábitats macrófitos de las zonas litorales en el lago de Izabal .....	4
C. Ictiofauna del lago de Izabal .....	6
D. Muestreo con rotenona y redes de bloque.....	8
III. JUSTIFICACIÓN .....	10
IV. OBJETIVOS .....	12
A. Objetivo general.....	12
B. Objetivos específicos .....	12
V. METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS).....	13
A. Materiales.....	13
B. Sitio de estudio.....	13
C. Caracterización del hábitat.....	15
D. Muestreo de peces .....	15
E. Análisis estadístico.....	16
1. Análisis de correlación .....	17
2. Análisis de temperatura y profundidad.....	17
3. Análisis entre tratamientos .....	17
VI. RESULTADOS.....	19
A. Caracterización del hábitat.....	19
B. Estructura de la población de peces .....	20
C. Análisis comparativo de los tratamientos .....	23
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS O DISCUSIÓN .....	29
VIII. CONCLUSIONES .....	33
IX. RECOMENDACIONES.....	34
X. REFERENCIAS.....	35
XI. ANEXOS .....	40

## Listado de cuadros

<b>Cuadro 1</b>	Número de redes realizadas por cada uno de los tratamientos. ....	15
<b>Cuadro 2</b>	Profundidad y temperatura media registradas para cada uno de los tratamientos.....	20
<b>Cuadro 3</b>	Listado taxonómico de las 23 especies de peces colectadas a lo largo de todas las redes (N=21), con su respectiva familia. ....	21
<b>Cuadro 4</b>	Listado taxonómico de especies de peces recolectadas en las redes (N=20) según su familia, asociadas a diferentes tipos de plantas y PAC.....	22
<b>Cuadro 5</b>	Análisis de varianza (ANOVA) y métricas de riqueza, biomasa (Kg/ha), densidad (pez/ha) e índices de diversidad en cada tratamiento de planta con su nivel de cobertura correspondiente.....	23
<b>Cuadro 6</b>	Comparación entre el estudio actual (2023) y el estudio del 2005 .....	28

## Listado de figuras

<b>Figura 1</b>	Planta macrófita: <i>Hydrilla verticillata</i> .....	5
<b>Figura 2</b>	Planta macrófita: <i>Potamogeton illinoensis</i> .....	5
<b>Figura 3</b>	Plantas macrófitas: <i>Vallisneria americana</i> .....	6
<b>Figura 4</b>	Especie representativa de la familia Cichlidae: (a.) <i>Cincelichthys bocourti</i>	7
<b>Figura 5</b>	Especie representativas de la familia Cichlidae: (b.) <i>Cryptoheros spilurus</i>	7
<b>Figura 6</b>	Especie representativa de la familia Cichlidae: (c.) <i>Vieja maculicauda</i> .....	8
<b>Figura 7</b>	Especie representativa de la familia Cichlidae: (d.) <i>Thorichthys aureus</i> .....	8
<b>Figura 8</b>	Ubicación geográfica de sitios muestreados para hábitats macrófitos en el lago de Izabal, Guatemala.....	14
<b>Figura 9</b>	Representación de la colocación de redes y toma de datos para la caracterización del hábitat y medición de la biomasa vegetal. ....	16
<b>Figura 10</b>	Correlación entre biomasa vegetal (kg/m <sup>2</sup> ) y porcentaje de área cubierta (PAC) .....	19
<b>Figura 11</b>	Gráfico de densidad de la distribución de las longitudes totales. ....	20
<b>Figura 12</b>	Diagrama de caja de la variable riqueza en respuesta a los diferentes tratamientos de plantas con niveles de cobertura correspondientes.....	24
<b>Figura 13</b>	Diagramas de caja de la biomasa y biomasa de la familia Cichlidae en respuesta a los diferentes tratamientos de plantas con niveles de cobertura correspondientes .....	25
<b>Figura 14</b>	Diagrama de caja de los índices de diversidad en respuesta a los diferentes tratamientos de plantas con niveles de cobertura correspondientes.....	26
<b>Figura 15</b>	Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) realizado por tipo de planta .....	27
<b>Figura 16</b>	Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) realizado para <i>Hydrilla verticillata</i> en coberturas altas y bajas .....	27

## Resumen

El objetivo principal del presente estudio se enfocó en evaluar el impacto de *Hydrilla verticillata* en la comunidad de peces del lago de Izabal, Guatemala, por medio del análisis de tres hábitats con diferentes plantas acuáticas: *Hydrilla verticillata*, *Potamogeton illinoensis* y *Vallisneria americana*. Durante la presencia de *Hydrilla verticillata* se identificaron cambios significativos en la biomasa, diversidad y riqueza de especies de peces. La estructura de la comunidad varió entre hábitats al resaltar la influencia de las plantas acuáticas. Sin embargo, no se evidenció un impacto perjudicial directo por parte de *Hydrilla verticillata*. Además, los hábitats con *Hydrilla verticillata* mostraron mayor biomasa y diversidad de peces, mientras que *Vallisneria americana* exhibió menor riqueza de especies. Los resultados sugieren que la dinámica de la comunidad de peces está estrechamente ligada a la presencia de especies específicas de plantas acuáticas. La complejidad de los ecosistemas acuáticos y factores como las condiciones estacionales y parámetros físicoquímicos podrían influir en estas variaciones. Este estudio contribuye al entendimiento de la interacción entre plantas acuáticas y peces en el lago de Izabal, al enfatizar la necesidad de una gestión cuidadosa de la cobertura vegetal para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del ecosistema.

Palabras clave: *Hydrilla verticillata*, composición de la comunidad de peces, biomasa, macrófitas, lago de Izabal.

## Abstract

This study assessed *Hydrilla verticillata* impact on the fish community of lake Izabal, Guatemala, analyzing three habitats with different aquatic plants: *Hydrilla verticillata*, *Potamogeton illinoensis* and *Vallisneria americana*. When *Hydrilla verticillata* was present significant changes in fish biomass, diversity, and species richness was found. The community structure varied among habitats, highlighting the influence of aquatic plants. Although, no direct harmful impact of *Hydrilla verticillata* was evident. Moreover, habitats with *Hydrilla verticillata* showed higher fish biomass and diversity, while *Vallisneria americana* exhibited lower species richness's. The results suggest that the dynamics of the fish community are closely linked to the presence of specific aquatic plant species. The complexity of aquatic ecosystems and factors such as seasonal conditions and physicochemical parameters could influence these variations. This study contributes to understanding the interaction between aquatic plants and fish in lake Izabal, and underscore the need for vegetation management to ensure ecosystem long-term sustainability.

*Keywords: Hydrilla verticillata, fish community composition, biomass, macrophytes, Lake Izabal.*

# I. INTRODUCCIÓN

La inserción de especies exóticas invasoras, se reconoce actualmente como una de las mayores amenazas para la diversidad biológica local, que ocasiona gran impacto, y en algunos casos daños irreversibles, tanto para las especies nativas y los ecosistemas en conjunto (IUCN, 2000). En general, las especies de plantas invasoras tienen un potencial considerable para causar daño al ecosistema local. Estas especies pueden competir con otras especies nativas por los recursos fundamentales con lo cual alteran el equilibrio natural del ecosistema y provoca disminución de la biodiversidad (Iannone *et al.*, 2020).

Algunos de los ecosistemas afectados por la colonización de especies exóticas son los medioambientes de agua dulce, inclusive ríos y lagos (Strayer, 2010). Las plantas exóticas invasoras en los lagos en particular, provocan un impacto significativo en la flora y fauna nativa, así como en la salud y servicios ecológicos que los lagos proveen (CISEH, 2021). Un ejemplo concreto de esta problemática se evidencia en el lago de Izabal, Guatemala, que ha sido invadido por la presencia de *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle, desde aproximadamente la década de los años 2000 (Wer, 2003) hecho que provocó un crecimiento evidente de esta planta en las zonas litorales.

Contrario a los efectos negativos que se pueden esperar de la presencia de *H. verticillata* con respecto a la ictiofauna, las investigaciones muestran evidencia de que la planta es importante para mantener la estructura de la comunidad de varias especies de peces en el lago de Izabal. La presencia invasora de la misma proporciona hábitat, refugio y alimentación para diversas especies; crea un ecosistema variado y productivo, que alberga una biomasa de peces superior a la que se encuentra en otros entornos con plantas nativas (Barrientos y Allen, 2008).

A pesar de su importancia para la ictiofauna, se plantea un problema debido a la falta de conocimiento acerca de la respuesta a largo plazo de la población de peces ante la presencia de *hydrilla* para el lago de Izabal. Los estudios ictiológicos reflejan los posibles cambios, debido a malas prácticas o por deterioro del hábitat de un ecosistema (Pérez *et al.*, 2004). Es por ello que, es importante implementar un monitoreo constante del estado de la comunidad y la composición de ictiofauna, así como evaluar el efecto de esta especie invasora a largo plazo.

En tal contexto, el objetivo principal de este estudio consiste en analizar el impacto de *H. verticillata* en la composición de la comunidad de peces en el lago de Izabal. Para lograr este propósito, se busca determinar la riqueza, diversidad y biomasa de peces en tres tratamientos distintos que a la vez incluyen la presencia de tres tipos de vegetación: *Hydrilla verticillata*, *Vallisneria americana* y *Potamogeton illinoensis*, y se consideran dos niveles diferentes de porcentaje de área cubierta (PAC), que son PAC alto y bajo.

Además, se pretende evaluar cómo hydrilla impacta la estructura de la comunidad de peces a lo largo del tiempo. Este análisis comparará los resultados obtenidos en este estudio con investigaciones previas realizadas en la misma zona. La comparación a lo largo del tiempo permitirá comprender de manera más precisa los posibles cambios en la comunidad de peces debido a la presencia de *H. verticillata* y su relación con la vegetación acuática nativa. Este enfoque temporal es esencial para determinar el impacto a largo plazo de esta especie invasora en la ecología del lago y proporcionará valiosa información para la toma de decisiones en la gestión y conservación de estos ecosistemas acuáticos.

## II. ANTECEDENTES

### A. Sobre *Hydrilla verticillata*

*Hydrilla verticillata* conocida en el área como "*hydrilla*," es una especie de planta acuática sumergida de rápido crecimiento, que tiene una estrategia de supervivencia altamente efectiva. Esto mismo, la convierte en una de las malezas acuáticas más problemáticas que existen en cuerpos de agua a nivel mundial. Puede formar capas densas en la superficie del agua que impide el flujo de agua y reducir la penetración de la luz, que provoca impactos negativos en otras plantas y animales acuáticos nativos (Rojas, 2018). Al ser una planta no nativa, no tiene depredadores naturales en la zona, lo que representa un riesgo potencial de modificación para el ecosistema acuático del lago de Izabal y Río Dulce. Estos cambios alteran la calidad ambiental e incidir en la diversidad de la fauna y flora natural, además, provocan consecuencias a largo plazo (Guzmán, López y Henry, 2009). Debido a su competitividad, incluso desplaza a otras plantas nativas como *Potamogeton* spp. y *Vallisneria americana* (Arrivillaga, 2002).

A pesar de los aspectos negativos que se le atribuyen a *hydrilla*, su importancia para el mantenimiento de la estructura comunitaria de las diversas especies de peces en el lago de Izabal ya ha sido documentada (Barrientos, 2005). Aunque se trate de una especie invasora, altera la composición de la comunidad de peces positivamente. La planta proporciona hábitat, cobertura y alimento para la ictiofauna del lago, lo que la convierte en una parte esencial del ecosistema acuático de Izabal. Sus lechos brindan refugio a los peces de depredadores más grandes y también sustentan el crecimiento de pequeños organismos e invertebrados que forman la base de la cadena alimentaria de muchos de ellos (ALMS, 2014). Además, *hydrilla* crea un entorno más diverso y complejo, lo que puede aumentar las tasas de desove y la productividad general del ecosistema (ALMS, 2014). Por lo tanto, su presencia muchas veces es crucial para mantener poblaciones saludables de peces (Strayer, 2010) y por ende de la pesca en el lago.

La propagación de esta planta se produce a través de diversos medios que incluye corrientes de agua, transporte en embarcaciones y su uso ornamental en acuarios. Aunque no se tiene certeza acerca de la forma específica en que llegó al lago de Izabal, se cree que su introducción ocurrió a través de medios naturales o causados por la actividad humana. Los pescadores informaron su presencia por primera vez en el 2000, y es probable que haya sido introducida por embarcaciones o ingresado al lago con el huracán Mitch en 1998 (Ling, 2002).

Aunque se desconocen los mecanismos exactos de introducción de *hydrilla* en el lago Izabal, ya se ha establecido en el área. La evidencia disponible sugiere que no es una especie perjudicial para los peces. Por lo tanto, al desarrollar estrategias de control para esta planta resulta fundamental considerar las complejas interacciones entre la vegetación y la composición de la comunidad de peces.

Estos aspectos son cruciales para tomar decisiones informadas que promuevan la conservación y el manejo sostenible de este ecosistema acuático vital.

## **B. Hábitats macrófitos de las zonas litorales en el lago de Izabal**

En el contexto de este estudio, se procedió a muestrear tres tipos distintos de hábitats que albergan tanto plantas nativas como no nativas, para realizar una comparación entre ellas. Se mantuvo la condición de muestrear vegetación que se encuentre localizada específicamente en las zonas litorales del lago. Las zonas litorales son las áreas cercanas a la costa o línea de orilla del lago, usualmente con una profundidad menor a cinco metros y son de vital importancia para la vida acuática, ya que proporcionan lugar para que se desarrollen muchas plantas macrófitas que ofrecen hábitat y refugio para una amplia variedad de organismos (Medina, 2006).

Las macrófitas acuáticas son plantas que crecen total o parcialmente sumergidas en agua, desempeñan un papel fundamental en la ecología de los sistemas acuáticos. Su contribución radica en proporcionar hábitats esenciales para la fauna acuática, oxigenar el agua y regular los ciclos de nutrientes (Cirujano *et al.*, 2017). Al proporcionar refugio, alimento y zonas de desove, las plantas acuáticas, tanto nativas como no nativas, influyen significativamente en la estructura y dinámica de la población de peces en el ecosistema del lago. En este estudio, se incluyeron tres macrófitas notables: *Hydrilla verticillata*, *Potamogeton illinoensis* y *Vallisneria americana* (Figura 1, 2 y 3).

*Vallisneria americana* Michx., comúnmente conocida en inglés como *eelgrass*, es una planta acuática sumergida que tiene hojas largas y angostas en forma de cuchilla que llegan a crecer hasta tres pies de largo y se encuentran en un rango de profundidades variadas. Algunas características clave de *V. americana* incluyen su capacidad para tolerar diferentes condiciones de agua, como temperatura, pH y niveles de nutrientes. También se reproduce a través de una variedad de métodos, incluida la producción de semillas, el crecimiento de brotes de estolones y la fragmentación de partes de la planta (Catling *et al.*, 1994). En el contexto del lago de Izabal, la presencia de *V. americana* a menudo indica buena calidad del agua. Además, cumple una importante función ecológica al actuar como hábitat para los peces jóvenes y es una importante fuente de alimento para las especies que habitan en el lago (Monterroso, 2005).

Otra de las plantas nativas objeto de estudio es *Potamogeton illinoensis*. Es una especie de planta acuática comúnmente conocida como “espiga” o “pasto de agua”, nativa de Norteamérica y se encuentra en lagos, estanques y arroyos de movimiento lento (Novelo, 2005). Las características de la planta es que tiene tallos largos, delgados y ramificados con hojas subacuáticas en forma de cinta y son translúcidas. Las hojas están dispuestas en pares opuestos y crecen hasta 15 cm de largo. Produce flores pequeñas y discretas que flotan en la superficie del agua. Al igual que *V. americana* y otras macrófitas, es una importante fuente de alimento para las aves acuáticas y otros animales acuáticos, por lo que supone un hábitat ideal para varias especies de peces (García, 2010).

Estos hábitats litorales son importantes puntos de interacción entre la tierra y el agua, que resulta en una rica biodiversidad y relaciones ecológicas complejas. La investigación de la vegetación en estas áreas brinda valiosa información sobre las dinámicas de la comunidad acuática, los procesos ecológicos y la respuesta de los

organismos a las presiones ambientales. Al comparar las plantas nativas con respecto a *hydrilla*, se evidencia la influencia de las plantas no nativas del lugar en las relaciones entre los seres vivos y cómo se forma la comunidad de peces. Con lo cual se conocen oportunidades para la conservación y restauración de estos ecosistemas vitales.

**Figura 1**

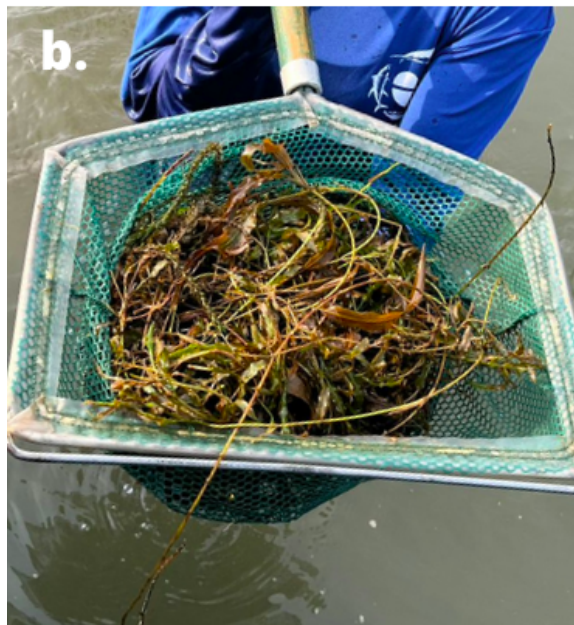
*Planta macrófita: Hydrilla verticillata*



*Nota.* Imagen de plantas macrófitas muestreadas en el lago de Izabal. Elaboración propia.

**Figura 2**

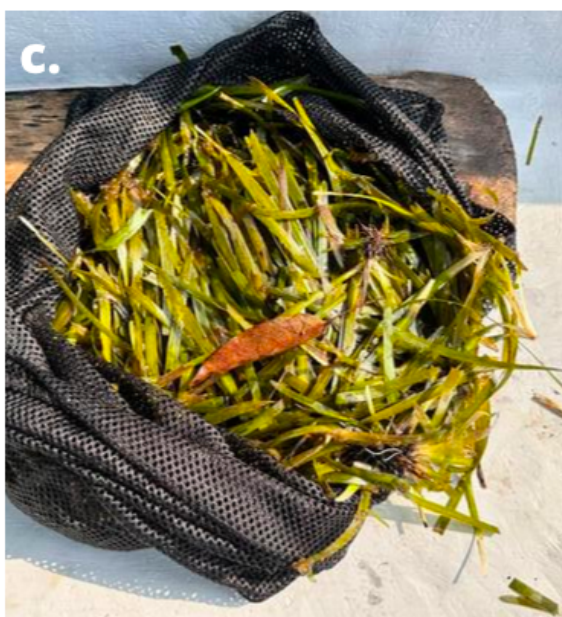
*Planta macrófita: Potamogeton illinoensis*



*Nota.* Imagen de plantas macrófitas muestreadas en el lago de Izabal. Elaboración propia.

### Figura 3

Plantas macrófitas: *Vallisneria americana*



Nota. Imagen de plantas macrófitas muestreadas en el lago de Izabal. Elaboración propia.

## C. Ictiofauna del lago de Izabal

El lago de Izabal además de ser conocido como el cuerpo de agua más grande de Guatemala, también se reconoce por poseer una amplia diversidad de especies de peces. En el estudio llevado a cabo por Pérez (2005) se reportaron un total de 10 órdenes, 24 familias y 81 especies de peces, las familias más abundantes son Cichlidae y Poeciliidae.

Las especies pertenecientes a la familia Cichlidae son versátiles, habitan también en áreas rocosas, vegetación sumergida y sustratos arenosos, tanto en aguas poco profundas, como en aguas más profundas. En lo que respecta a sus hábitos alimenticios, varían notablemente, algunos son herbívoros, mientras que otros son omnívoros o carnívoros (Barlow, 1976). Con respecto a su estado de conservación, las poblaciones de ciclidos enfrentan varios desafíos actualmente, incluida la degradación del hábitat, la sobrepesca y la introducción de especies no nativas (Contreras *et al.*, 2002; Elías *et al.*, 2022). Entre las especies más comunes y representativas están la mojarra y el guapote, cuyos términos se refieren a la especie *Vieja maculicauda* y *Parachromis managuensis*, respectivamente.

La familia Poeciliidae de peces de agua dulce se compone de numerosas especies de agua dulce. Si bien la información de la misma en el lago Izabal, es escasa, se encuentran disponibles detalles notables sobre la familia y su presencia en Guatemala. Varias especies de esta familia se reportan en estudios como el de Barrientos (2005) y Pérez (2005) y recientemente en el listado para el país se sabe que es una familia de importancia a nivel regional (Barrientos *et al.*, 2023) Estas especies se reproducen a través de la fecundación interna y fertilizan múltiples lotes de descendencia. Los poecílidos se caracterizan por ser omnívoros y se alimentan de pequeños invertebrados, algas, materia vegetal y detritos. Es importante resaltar que podrían representar un

riesgo para las especies nativas y los ecosistemas si son introducidos en áreas donde no son autóctonos; sin embargo, este impacto requiere de una investigación más detallada (Lucinda, 2003).

En general, en el lago de Izabal es posible encontrar especies nativas de Guatemala y de la región mesoamericana, como carácidos y bagres, mientras que algunas especies de peces en la región son migratorias, para ello utilizan los ríos y arroyos durante su trayecto o para reproducirse (Pérez, Mojica, Dix y Dix, 2004). Así mismo, también es posible encontrar especies endémicas, por ejemplo, *Pseudophallus galadrietae*, de la familia syngnathidae (Dallevo-Gomes, Mattox y Toledo, 2020), que fue colectada en el trabajo anterior sobre *hydrilla* (Barrientos y Allen 2008). Muchas de las especies encontradas en el lago, son relevantes para la subsistencia de las comunidades locales y la pesca comercial, dado que tienen importancia económica y cultural para la región. Esta diversidad de especies en el lago de Izabal destaca la importancia de preservar y gestionar de manera efectiva sus poblaciones de peces y su hábitat para el beneficio de las comunidades y la conservación a largo plazo del ecosistema, como se observa en Figuras 4,5,6 y7.

**Figura 4**

*Especie representativa de la familia Cichlidae: (a.) Cincelichthys bocourti*



*Nota.* Imagen de pez que habita las aguas del lago de Izabal. Elaboración propia.

**Figura 5**

*Especie representativas de la familia Cichlidae: (b.) Cryptoheros spilurus*



*Nota.* Fotografía de pez que habita en las aguas del lago de Izabal. Elaboración propia.

### Figura 6

Especie representativa de la familia Cichlidae: (c.) *Vieja maculicauda*



Nota. Fotografía de pez que habita en las aguas del lago de Izabal. Elaboración propia.

### Figura 7

Especie representativa de la familia Cichlidae: (d.) *Thorichthys aureus*



Nota. Fotografía de pez que había en las aguas del lago de Izabal. Elaboración propia.

## D. Muestreo con rotenona y redes de bloque

El muestreo a través de redes de bloque tratadas con rotenona ha sido utilizado previamente en el lago de Izabal para evaluar las diferencias estructurales de la comunidad de peces en distintos tipos de vegetación (Barrientos y Allen, 2008). La rotenona es un compuesto natural ampliamente utilizado en estudios ictiológicos y pesquerías para coleccionar selectivamente los peces de cuerpos de agua con fines de estudio o restauración. Al ser aplicada al agua, la rotenona se dirige al sistema respiratorio de los peces y evita la absorción de oxígeno (Finlayson *et al.*, 2000).

Las redes de bloque se emplean en combinación con el tratamiento de rotenona para acorralar y concentrar los peces en un área más reducida, lo cual facilita el muestreo o extracción. Estas mallas están fabricadas con material resistente para contener una alta cantidad de peces y al mismo tiempo permite el flujo de agua a través de ellas (Shireman, Colle y Durant, 1981).

Este método de muestreo es útil para obtener una muestra representativa de la comunidad de peces en diferentes tipos de vegetación del lago. La combinación de la rotenona y las redes de bloque permite capturar y estudiar los peces presentes en áreas específicas, lo que contribuye a la comprensión de las diferencias estructurales de la comunidad y su relación con la vegetación acuática. Este método ya se ha realizado anteriormente en el área de Izabal, Guatemala. Uno de los estudios realizados fue en el

Parque Nacional Río Dulce (PNRD), por Quintana *et al.* (2011). Se utilizó el método de redes de bloque tratadas con rotenona para la caracterización ecológica de las poblaciones de peces en el PNRD y permitió obtener información sobre la diversidad íctica, los patrones de distribución e interacciones ecológicas en el ecosistema del área de Río Dulce.

Asimismo, este método también se ejecutó en el estudio de Barrientos y Allen (2008) para evaluar las comunidades de peces en varios tipos de plantas acuáticas de áreas litorales en el lago de Izabal. El estudio concluye que la presencia de *hydrilla* no tuvo efectos perjudiciales para los peces. Entre las plantas analizadas se incluyeron, espadaña o *Scirpus carrizo*, chara o *Chara phoetida*, *Vallisneria americana*, *Potamogeton illinoensis* e *Hydrilla verticillata*, además de un tratamiento sin plantas. Al analizar únicamente tratamientos entre plantas con cobertura vegetal baja, se observó que *hydrilla* albergaba una biomasa de peces significativamente mayor en comparación con el tratamiento sin plantas y chara. También se observó que *Potamogeton illinoensis* tuvo un índice de diversidad más alto. En cuanto al análisis que incluía coberturas vegetales altas y bajas, *Vallisneria americana* tuvo una biomasa significativamente menor que *hydrilla*. Además, el análisis de datos reveló que la riqueza de especies de peces se mantenía similar entre los distintos tipos de plantas, a pesar de las variaciones en los niveles de cobertura vegetal. Es importante destacar que la influencia del porcentaje de área cubierta en estas métricas fue variable y no siempre alcanzó significancia estadística. Estos hallazgos enfatizan la necesidad de investigar y monitorear más profundamente las interacciones entre la vegetación acuática y las poblaciones de peces en el ecosistema del lago de Izabal para una comprensión más completa y precisa de su dinámica.

### III. JUSTIFICACIÓN

Los estudios ictiológicos juegan un papel crucial en la comprensión y conservación de las especies de peces. Al realizar estudios sobre su taxonomía, distribución, comportamiento y ecología, los ictiólogos contribuyen significativamente a la conservación y gestión de las poblaciones de peces y sus entornos acuáticos (Allendorf, 1988). Este conocimiento es esencial para desarrollar estrategias efectivas destinadas a la preservación de la biodiversidad y prevenir la extinción de especies de peces amenazadas.

A partir de estudios anteriores, se ha comprobado que *hydrilla* alberga una mayor biomasa de peces en comparación con otras plantas nativas. Se ha llegado a la conclusión de que esta planta no nativa, no es una amenaza para las comunidades de peces, incluidas las especies que sustentan las pesquerías en el lago de Izabal (Barrientos y Allen, 2008). No obstante, es fundamental destacar que no existen datos acerca de las respuestas a largo plazo de las poblaciones de peces en relación con la presencia de *hydrilla* para el lago. Las plantas acuáticas y hábitats macrófitos desempeñan un papel crucial en las relaciones ecológicas e influyen en la abundancia de peces, la composición de la comunidad y la pesca. Proporcionan hábitat, refugio y alimento, contribuyen a la producción de oxígeno y nutrientes esenciales a través de la fotosíntesis y la descomposición. La conservación de estos hábitats es vital para la pesca sostenible y el bienestar de las comunidades locales (Bonilla-Barbosa y Santamaría, 2014)

Incluso en los casos en que las especies exóticas aumentan la densidad de animales, con el tiempo, sus lechos y poblaciones pueden ser tan densos que inhiben la alimentación de los peces depredadores cuando son lagos pequeños o poco profundos (Valley y Bremigan, 2011; Theel y Dibble, 2008). Este fenómeno, a su vez, impide que se aproveche la alta productividad de estas zonas, limita la capacidad de los depredadores y otros organismos. A pesar de las investigaciones previas en la región, es de vital importancia llevar a cabo estudios actualizados para evaluar el estado de la ictiofauna y obtener una visión precisa del estado del ecosistema. Estas investigaciones son esenciales para desarrollar estrategias de conservación efectivas que se adecuen a las necesidades actuales del ecosistema. Así mismo, también son útiles para fomentar la toma de decisiones informadas.

Los peces son un recurso vital para las poblaciones humanas en todo el mundo, y Guatemala no es excepción. Las comunidades locales dependen significativamente de la producción y conservación de los recursos pesqueros locales tanto desde una perspectiva económica como social (Quintana, *et al.*, 2011). La investigación ictiológica desempeña un papel fundamental en la gestión sostenible de las pesquerías al proporcionar información sobre la dinámica de las poblaciones de peces. Este conocimiento es esencial para establecer cuotas de pesca adecuadas, con el fin de implementar límites de tamaño y captura, y promover prácticas de pesca responsables que garanticen la viabilidad a largo plazo de las poblaciones de peces.

Asimismo, contribuye a mantener la seguridad alimentaria de las comunidades locales y a preservar el equilibrio ecológico en los ecosistemas acuáticos de la región.

Este estudio evalúa la respuesta de la población de peces a la presencia de *hydrilla* en el lago de Izabal y puede llegar a ser una base fundamental para el desarrollo de estrategias de manejo efectivas en el área.

## IV. OBJETIVOS

### A. Objetivo general

Evaluar el impacto de la colonización de *Hydrilla verticillata* en la composición de la comunidad de peces en el lago de Izabal, Guatemala.

### B. Objetivos específicos

- Determinar la estructura de la comunidad de peces en tres hábitats macrófitos con dos plantas nativas (*Vallisneria americana* y *Potamogeton illinoensis*) y una no nativa (*Hydrilla verticillata*).
- Evaluar cómo la estructura de la comunidad de peces ha cambiado a partir de la colonización de *hydrilla* hace 20 años.

## V. METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS)

### A. Materiales

- Red de bloque (0.01 ha, 10 x 10 m, 6 mm)
- Redes de inmersión
- Frascos y bolsas de colecta
- Bomba centrífuga
- Hieleras
- Cubetas
- Flagging
- GPS
- Cinta métrica
- Vernier
- Pesa
- Rotenona
- Etanol
- Aceite de clavo

### B. Sitio de estudio

El lago de Izabal está ubicado entre las latitudes 15°24N a 15°38N y las longitudes 88°58W a 89°25W. La cuenca del lago de Izabal va desde la costa del Mar Caribe hasta 250 kilómetros tierra adentro en la parte alta de las verapaces. Posee un área de aproximadamente 589.6 kilómetros cuadrados, una profundidad media de 11.6 metros, una longitud máxima de 70 kilómetros y un ancho máximo de 20 kilómetros, siendo este el lago más grande de Guatemala (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2007). El 25.5% del lago presenta profundidades menores de 6 m y la hondura del resto está comprendida entre 6 y 15 m (Oficina Técnica de Biodiversidad, 2003). Este estudio en particular, se enfoca en las zonas de menor profundidad, es decir, las zonas dentro de ese 25.5% del lago, ya que se consideraron únicamente las áreas litorales.

Con respecto a la zona climática y otras variables de esta cuenca, es importante mencionar que está rodeada principalmente por la zona de vida Bosque Húmedo Tropical (UIE, 2018). La temperatura media anual es de 25°C, mientras que las temperaturas extremas mínimas y máximas son de 20°C y 35°C, respectivamente. La precipitación es de 2,500 mm al año, con un promedio anual de 200 días de lluvia. La época lluviosa se extiende desde junio a noviembre, mientras que la época seca comprende de diciembre a mayo (Pérez, 2005).

Este cuerpo de agua se encuentra dentro de un área protegida, por lo que su principal dedicación es para conservación y ecoturismo, también se realizan actividades de pesca.

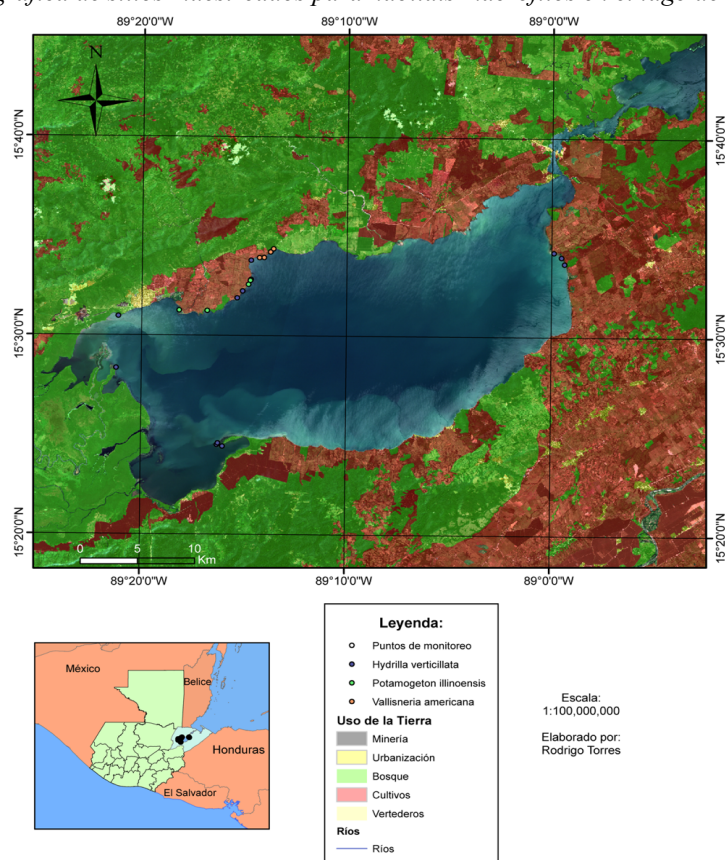
Las principales actividades socioeconómicas de esta región incluyen agricultura, turismo, pesca, transporte, construcción y ganadería (MARN, 2007). La región que rodea el lago de Izabal es una tierra fértil y diversa, lo que hace que la agricultura sea una de las principales actividades económicas. Los habitantes locales se dedican al cultivo de diversos productos agrícolas, y la ganadería también desempeña un papel importante en la economía local. Estas actividades se reflejan en el mapa de uso del suelo de la Figura 8.

Según Pérez (2005) y Haltop (1995) la cuenca del lago Izabal, Río Dulce, río Polochic es rica en especies de peces, se reportan aproximadamente 81 especies, inclusive varias especies endémicas. La diversidad de peces en esta cuenca contribuye significativamente a su valor ecológico y atractivo para la pesca. La producción pesquera en el lago de Izabal se extiende desde febrero hasta octubre, sin embargo, mayo y junio es el periodo de mayor rendimiento. Estos meses se destacan por la abundancia de peces y por la actividad pesquera más intensa.

La zona que rodea el lago de Izabal (Figura 8), representa la importancia del área natural, económica y cultural, donde la conservación de la biodiversidad se combina con actividades pesqueras, agrícolas, turismo y ganadería. Estas características hacen del lago de Izabal una región de notable interés ecológico y socioeconómico.

**Figura 8**

*Ubicación geográfica de sitios muestreados para hábitats macrófitos en el lago de Izabal, Guatemala*



*Nota.* Mapa de la ubicación geográfica de los sitios muestreados para hábitats macrófitos en el lago de Izabal, Guatemala, y uso del suelo circundante a las zonas litorales. Las zonas litorales se evidencian con tonos claros, y a medida que se oscurecen los tonos se aprecian las zonas profundas del lago. Fuente: Rodrigo Torres.

## C. Caracterización del hábitat

Para este proyecto se utilizó la metodología establecida por Barrientos (2005). Se colocaron un total de 20 redes de bloque a lo largo de la zona litoral del lago de Izabal, a profundidades menores a 1.50 metros. Las redes se colocaron con un mínimo de 150 m de distancia entre cada una, en sitios donde la vegetación requerida estuviera presente.

Por cada red, se estableció el porcentaje de área cubierta (PAC) según la cantidad de área que estaba cubierta por vegetación: alto ( $\geq 75\%$ ) y bajo ( $\leq 74\%$ ) (Apéndice 1). Este se estimó visualmente por tres personas y se calculó el promedio. Así mismo, también se evaluó la biomasa vegetal utilizando tres cuadrantes aleatorios de  $0.25 m^2$  dentro de la red (Apéndice 2). Se recolectaron las plantas que se encontraron dentro de estos cuadrantes para pesarlas en una bolsa mesh y obtener el peso húmedo total. La profundidad media y la temperatura también fueron medidas para cada una de las redes.

El diseño experimental de este estudio se estableció en base a la combinación de dos factores: el PAC y las tres especies de plantas estudiadas. Se establecieron cuatro tratamientos en total. Los tratamientos consistieron en la colocación de 5 redes en diferentes combinaciones de plantas y niveles de PAC (Cuadro 1). Se realizó de esta manera ya que algunas plantas no se encontraban en densidades muy altas. Cada especie de planta con su respectivo nivel de PAC se denomina tratamiento, dando en total 4 tratamientos (Cuadro 1).

### Cuadro 1

Número de redes realizadas por cada uno de los tratamientos

PAC	<i>Hydrilla verticillata</i>	<i>Potamogeton illinoensis</i>	<i>Vallisneria americana</i>
Alto $\geq 75\%$	5		
Bajo $\leq 74\%$	5	5	5

Nota. Para *Potamogeton illinoensis* y *Vallisneria americana* (plantas nativas) únicamente se encontraron parches con cobertura baja.

## D. Muestreo de peces

Los peces se recolectaron al utilizar una red de bloque de 0.01 ha (10 x 10 m, malla de 6 mm). Se colocó la red de manera que quedara de forma cuadrada y asegurado el contacto con el fondo, con el fin de contener a los organismos a la hora de realizar la colecta. Una vez colocada, se aplicó rotenona líquida de la marca Prenfish a una concentración de 3ppm.

Para calcular el número aproximado de mililitros de rotenona líquida a utilizar por red, se utilizó el manual de instrucciones correspondiente al producto. El cálculo se realizó al incluir dos factores: el área de la red (10 x 10 m) y la profundidad promedio (1.25 m) para obtener el volumen total. Se calculó que para obtener una concentración de 3 ppm se requieren 328 ml de rotenona para un volumen de  $125 m^3$  (que corresponde al volumen de la red). También se realizó el cálculo para una concentración de 4 ppm en caso de que la profundidad excediera el promedio o que el muestreo se realizara en una zona con mayor cantidad de sedimento. Esto último es debido a que los sedimentos absorben una parte de la rotenona aplicada (Ling, 2003).

La rotenona se roció en el agua con la utilización de una bomba para facilitar la dispersión y lograr una distribución uniforme a lo largo de toda la red. Los peces fueron recolectados con redes de inmersión a medida que emergían a la superficie debido a los efectos de la rotenona. La colecta, se llevó a cabo durante una hora después de la aplicación, en base a la metodología establecida por Barrientos (2005). Además, los peces recolectados fueron sumergidos en una solución de aceite de clavo a una concentración de 500 ppm, la cual fue mezclada con etanol al 95% y agua obtenida del lugar de muestreo.

El muestreo se llevó a cabo en un período comprendido del 17 al 22 de abril, durante esta fase, se realizaron de 2 a 5 redes por día, en base a las condiciones ambientales. Las actividades de muestreo se llevaron a cabo desde las 7 am hasta las 2 pm cada día. Los peces recolectados se almacenaron cuidadosamente con hielo para preservarlos. Posteriormente, fueron clasificados, medidos y pesados. Para la identificación de las especies, se utilizó la guía de referencia "Fishes of the continental waters of Belize" de Greenfield y Thomerson (1997). Además, se tomaron en cuenta registros previos de la zona para asegurar la correcta identificación de las especies. Una vez identificados, los peces se colocaron en recipientes con etanol al 95% para su preservación. Estos especímenes serán ingresados a las colecciones de la Universidad del Valle de Guatemala y la Universidad San Carlos de Guatemala, donde estarán disponibles para futuros estudios e investigaciones (Figura 9).

#### **Figura 9**

*Representación de la colocación de redes y toma de datos para la caracterización del hábitat y medición de la biomasa vegetal*



*Nota.* Imagen de colocación de redes y recopilación de datos. Elaboración propia.

### **E. Análisis estadístico**

Para analizar los resultados obtenidos, se llevaron a cabo cálculos de diferentes métricas para la comunidad de peces en cada una de las redes. Estas métricas incluyeron la biomasa total de peces (kg/ha), la densidad total de peces (peces/ha), la riqueza de peces y la diversidad de peces. La biomasa total de peces se calculó para estimar la cantidad total de peso de los peces presentes en el área de estudio, mientras que la densidad total de peces proporcionó información sobre la abundancia relativa de peces en cada área. La riqueza de peces representó el número total de especies de peces

encontradas en cada área, y se utilizó el índice de diversidad de Simpson e índice de Shannon-Weiner para estimar la variedad y equilibrio de especies presentes.

Antes de los análisis, se utilizó una prueba de Shapiro-Wilks para probar la normalidad de todas las variables. La biomasa y densidad se transformaron a una escala logarítmica ( $\log_{10}(x+1)$ ) para mejorar la normalidad de los datos.

### 1. Análisis de correlación

Se realizó un análisis de correlación al utilizar la función *cor()* en el programa R en la interfaz R Studio para determinar la relación entre la biomasa de peces y el PAC. Además, se utilizó la función *ggplot()* para crear una gráfica de correlación que representa visualmente las variables. El análisis de correlación permitió examinar la fuerza y dirección de la relación entre la biomasa de peces y el PAC. La función *cor()* calcula el coeficiente de correlación, que puede variar entre -1 y 1. Un valor cercano a 1 indica una correlación positiva, mientras que un valor cercano a -1 indica una correlación negativa. Un valor cercano a 0 sugiere una correlación débil (Dagnino, 2014).

La gráfica de correlación creada con *ggplot()* muestra la relación entre la biomasa de peces y el PAC de forma visual. Esta representación gráfica permite identificar patrones o tendencias en los datos y facilita la interpretación de la correlación obtenida a través del coeficiente de correlación (Zubcoff, 2017).

### 2. Análisis de temperatura y profundidad

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor por medio del programa R en la interfaz R Studio para examinar las diferencias en las medias de temperatura y profundidad entre los cuatro tratamientos. Se plantearon dos hipótesis para el análisis.

$$H_0 = M1 = M2 \dots = Mn.$$
$$H_1 \neq M1 \neq M2 \neq Mn.$$

La hipótesis nula ( $H_0$ ) estableció que no hay diferencias significativas entre los tratamientos en términos de las variables de respuesta, es decir, no hay diferencias significativas en las medias de temperatura y profundidad entre los tratamientos. La hipótesis alternativa ( $H_1$ ), por otro lado, afirmó que al menos dos de las medias de los tratamientos son diferentes entre sí, lo que implica que existen diferencias significativas en las medias de temperatura y profundidad entre los tratamientos.

### 3. Análisis entre tratamientos

Para examinar las diferencias en la estructura de la comunidad de peces entre los cuatro tratamientos, se calcularon métricas clave de los peces en cada tratamiento. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de un factor por medio de la utilización del programa R Studio para determinar la significancia de las diferencias entre los tratamientos. Para cada variable y tratamiento, se obtuvieron valores p asociados, que indican la probabilidad de obtener diferencias observadas en las métricas de los peces entre los tratamientos si la hipótesis nula ( $H_0$ ) de igualdad de medias fuera cierta.

Las variables dependientes fueron riqueza, biomasa total de peces (Kg/ha), densidad (pez/ha), biomasa de cíclidos, biomasa de *Vieja maculicauda* y diversidad de especies (Índices de Shannon-Weiner y Simpson). Se probó biomasa de *Vieja maculicauda* como variable debido a que fue la especie más abundante durante el muestreo.

Como el análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias significativas en algunas variables entre los tratamientos, se llevó a cabo una prueba de Tukey como análisis post hoc para realizar comparaciones múltiples entre los tratamientos y determinar cuáles presentaban diferencias estadísticamente significativas. Para visualizar los resultados, se utilizaron boxplots o diagramas de caja. Estos gráficos proporcionaron una representación visual de la distribución de los datos en cada tratamiento.

Adicionalmente, se llevó a cabo un Análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (NMDS) en el programa R en la interfaz R Studio para explorar la similitud o disimilitud en la estructura de la comunidad de peces entre los tratamientos. Esto se hizo para complementar los análisis estadísticos previos al brindar una representación visual de las similitudes o distancias entre los tratamientos en términos de la estructura de la comunidad de peces.

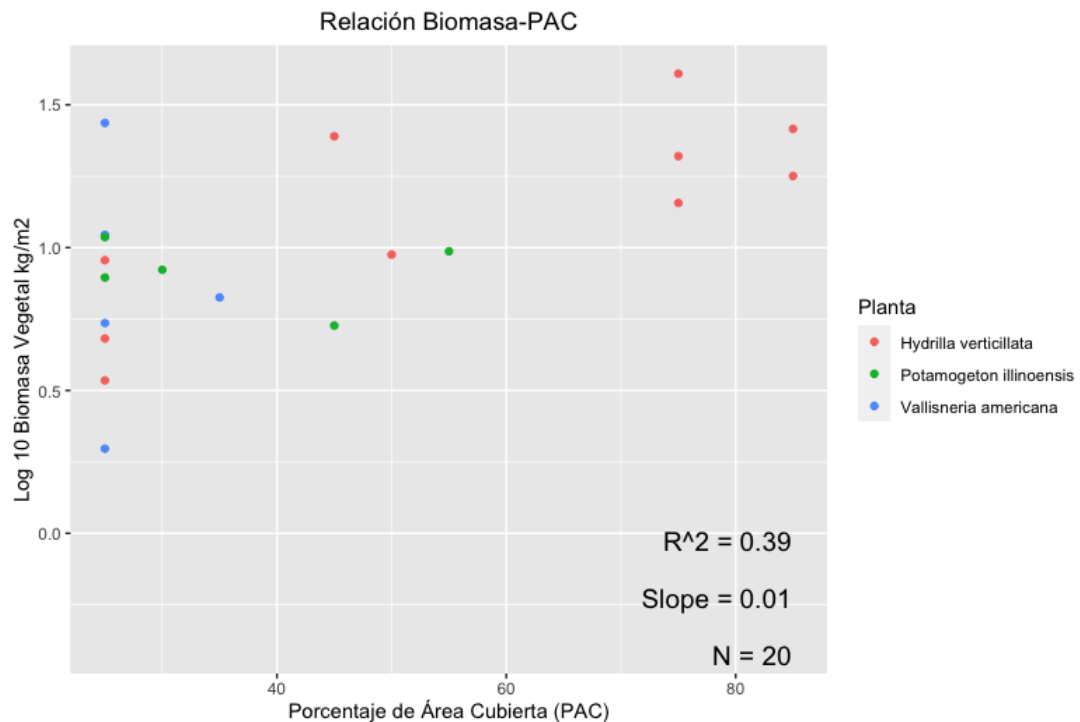
## VI. RESULTADOS

### A. Caracterización del hábitat

Los resultados obtenidos con respecto a la caracterización del hábitat mostraron una correlación positiva entre la biomasa y el porcentaje de área cubierto (PAC) para cada tipo de planta (Figura 10). El valor de  $R^2 = 0.39$  sugiere un nivel moderado de asociación o predictibilidad entre las variables. El valor de la pendiente (Slope = 0.01) también indica una relación positiva. Esto sugiere que, aunque esta sea leve, sí hay correlación entre las variables.

**Figura 10**

*Correlación entre biomasa vegetal ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) y porcentaje de área cubierta (PAC)*



*Nota.* Gráfica de correlación estadística. Elaboración propia.

Con respecto a los parámetros medidos, se encontró que la profundidad promedio entre los diferentes tratamientos fue de 1.10 metros y la temperatura promedio fue de  $29.63\text{ }^\circ\text{C}$  (Cuadro 2). Al analizar los valores de significancia ( $p$ ) asociados a la variación de temperatura en los diferentes tratamientos (Cuadro 2), se determinó que no hubo un efecto significativo. Esto indica que la temperatura se mantuvo constante a lo largo del estudio, sin presentar variaciones significativas entre los diferentes tipos de planta y PAC.

**Cuadro 2**

*Profundidad y temperatura media registradas para cada uno de los tratamientos.*

Planta	PAC	Profundidad (metros)	± SD	Temperatura (°C)	± SD
<i>Hydrilla verticillata</i> (1)	Alto	1.25	0.14	28.90	1.10
<i>Hydrilla verticillata</i> (2)	Bajo	0.98	0.24	29.75	1.08
<i>Potamogeton illinoensis</i>	Bajo	1.13	0.17	29.83	0.74
<i>Vallisneria americana</i>	Bajo	1.09	0.17	29.88	0.97
Total		1.10	0.20	29.63	0.99

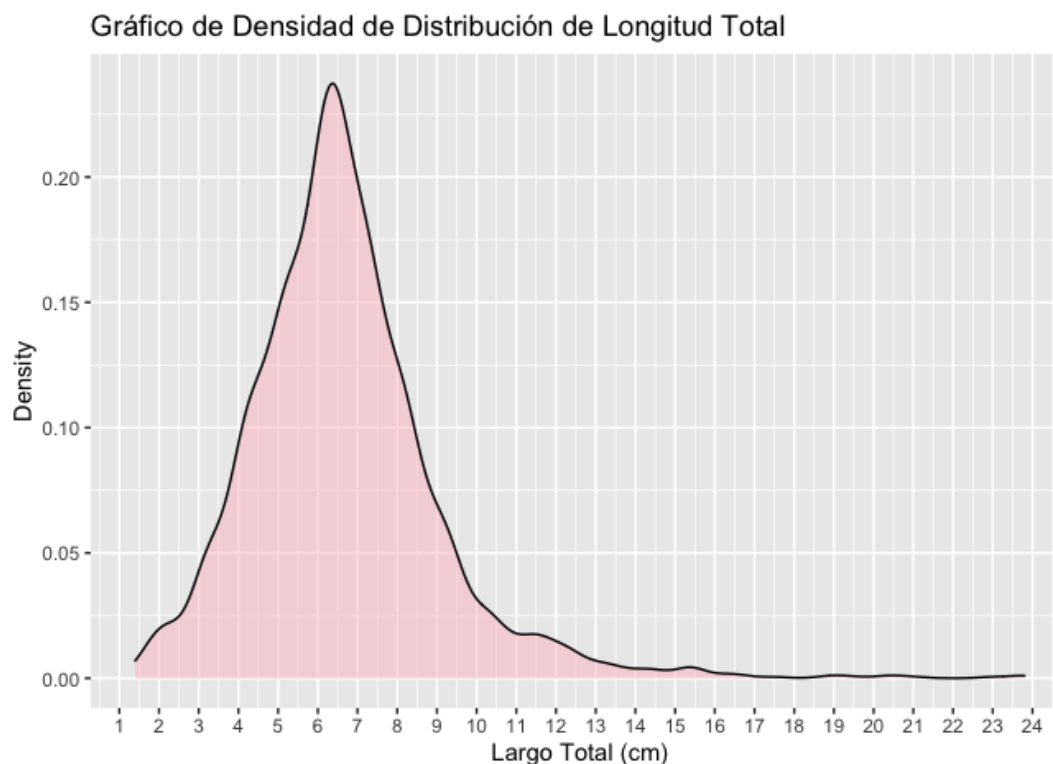
*Nota.* Se calculó la desviación estándar (SD) para cada medida registrada. El valor p correspondiente a la profundidad fue de 0.94301 y el que corresponde a temperatura fue de 0.53251. Elaboración propia.

## B. Estructura de la población de peces

Se recolectaron un total de 23 especies (Cuadro 3) a lo largo de las 21 redes colocadas en el lago de Izabal. En total se colectaron 6,613 peces y se midieron 2,273 de ellos. El largo total varió desde 1.4 cm hasta 23.8 cm, con una longitud promedio de 6.65 cm. El 96.67% de los peces tenían una longitud inferior a 10 cm. En la Figura 11, que muestra la distribución de densidad, se puede observar que la mayoría de los valores se encuentran entre 5 y 10 cm.

**Figura 11**

*Gráfico de densidad de la distribución de las longitudes totales.*



*Nota.* El eje X representa la longitud total en milímetros de los individuos medidos. El eje Y representa la densidad estimada de la variable

Se encontró que las especies con mayor biomasa pertenecen a la familia Cichlidae, específicamente *Vieja maculicauda*, *Thorichthys aureus* y *Cincelichthys bocourti* (Cuadro 3). Estos resultados indican que la familia Cichlidae exhibió la mayor biomasa entre todas las familias encontradas. Además, esta familia se destacó por tener una mayor riqueza, con un total de 6 especies. En segundo lugar, se encontró la familia Poeciliidae con un total de 3 especies. En relación a la densidad promedio, las especies con mayor densidad fueron *Carlhubisia stuarti*, *Vieja maculicauda* y *Thorichthys aureus* (Cuadro 3).

### Cuadro 3

Listado taxonómico de las 23 especies de peces colectadas a lo largo de todas las redes (N=21), con su respectiva familia.

Familia	Especie	Biomasa (Kg/ha)	±SD	Densidad (pez/ha)	±SD	Largo Total (mm)	±SD
Engraulidae	<i>Anchoa spp</i>	0.20	0.27	100	0.00	59.75	35.52
Characidae	<i>Astyanax aeneus</i>	0.62	1.84	210	840.07	63.41	15.42
Atherinidae	<i>Atherinella sp</i>	0.14	0.24	234	943.83	50.41	17.04
Poeciliidae	<i>Belonesox belizanus</i>	0.30		100		95	
Poeciliidae	<i>Carlhubisia stuarti</i>	0.80	4.56	639	3864.34	40.35	15.68
Ariidae	<i>Cathorops sp</i>	0.78	1.18	100	0.00	67.25	63.32
Cichlidae	<i>Cincelichthys bocourti</i>	2.40	3.90	100	0.00	96.82	36.71
Cichlidae	<i>Cryptoheros spilurus</i>	1.28	3.80	256	724.39	58.93	19.82
Gerreidae	<i>Eugerres plumieri</i>	0.20		100		63	
Gobiidae	<i>Gobiodes broussoneti</i>	0.06	0.10	100	0.00	58.73	32.35
Eleotridae	<i>Gobiomorus dormitor</i>	0.43	1.17	109	104.05	64.17	32.63
Characidae	<i>Hyphessobrycon compressus</i>	0.07	0.03	100	0.00	40.43	4.58
Hemiramphidae	<i>Hyporhamphus roberti</i>	0.10		100		98	
Carangidae	<i>Oligopterus saurus</i>	0.1		100		40	
Synbranchidae	<i>Ophisternon aenigmaticum</i>	0.1		100		166	
Cichlidae	<i>Parachromis managuensis</i>	1.44	2.64	129	208.56	74.76	42.92

Continuación Cuadro No. 3.

Familia	Especie	Biomasa (Kg/ha)	±SD	Densidad (pez/ha)	± SD	Largo Total (mm)	± SD
Poeciliidae	<i>Poecilia mexicana</i>	0.55	0.51	138	174.57	63.38	20.84
Syngnathidae	<i>Pseudophallus galadrietae</i>	0.01	0.02	100	0.00	58.18	19.07
Heptapteridae	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	1.4		100		155.60	
Belonidae	<i>Strongylura marina</i>	0.05		100		82	
Cichlidae	<i>Thorichthys aureus</i>	2.53	8.48	366	1594.79	76.36	25.75
Cichlidae	<i>Trichromis salvini</i>	1.20	3.21	176	437.34	65.64	20.53
Cichlidae	<i>Vieja maculicauda</i>	3.06	7.52	308	758.51	67.07	31.99

Nota. Se calculó la biomasa promedio (kg/ha), la densidad promedio (pez/ha), el largo total promedio (mm) y la desviación estándar (SD) de cada media para cada especie.

De las 23 especies de peces encontradas, 9 de ellas se distribuyeron a lo largo de todos los tratamientos: *Atherinella*, *Astyanax aeneus*, *Cryptoheros spilurus*, *Thorichthys aureus*, *Trichromis salvini*, *Vieja maculicauda*, *Gobiomorus dormitor*, *Carlhubisia stuarti* y *Pseudophallus galadrietae* (Cuadro 4).

#### Cuadro 4

Listado taxonómico de especies de peces recolectadas en las redes (N=20) según su familia, asociadas a diferentes tipos de plantas y PAC

Familia	Especie	<i>Hydrilla verticillata</i>		<i>Potamogeton illinoensis</i>	<i>Vallisneria americana</i>
		Alto	Bajo	Bajo	Bajo
<b>Ariidae</b>	<i>Cathorops</i>		x	x	x
<b>Atherinidae</b>	<i>Atherinella</i>	x	x	x	x
<b>Belonidae</b>	<i>Strongylura marina</i>			x	
<b>Carangidae</b>	<i>Oligopterus saurus</i>				x
<b>Characidae</b>	<i>Astyanax aeneus</i>	x	x	x	x
	<i>Hyphessobrycon compressus</i>	x		x	
<b>Cichlidae</b>	<i>Cincelichthys bocourti</i>	x		x	
	<i>Cryptoheros spilurus</i>	x	x	x	x
	<i>Parachromis managuensis</i>	x	x	x	
	<i>Thorichthys aureus</i>	x	x	x	x
	<i>Trichromis salvini</i>	x	x	x	x
	<i>Vieja maculicauda</i>	x	x	x	x
<b>Eleotridae</b>	<i>Gobiomorus dormitor</i>	x	x	x	x
<b>Engraulidae</b>	<i>Anchoa spp</i>		x		x
<b>Gerreidae</b>	<i>Eugerres plumieri</i>	x			
<b>Gobiidae</b>	<i>Gobiodes broussoneti</i>	x	x		
<b>Hemiramphidae</b>	<i>Hyporhamphus roberti</i>	x			

Continuación Cuadro No. 4.

Familia	Especie	<i>Hydrilla verticillata</i>		<i>Potamogeton illinoensis</i>	<i>Vallisneria americana</i>
		Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Heptapteridae	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	x			
Poeciliidae	<i>Belonesox belizanus</i>	x			
	<i>Carlhubsia stuarti</i>	x	x	x	x
	<i>Poecilia mexicana</i>	x			
Synbranchidae	<i>Ophisternon aenigmaticum</i>				x
Syngnathidae	<i>Pseudophallus galadriela</i>	x	x	x	x

Nota. Se calculó la biomasa promedio (kg/ha), la densidad promedio (pez/ha), el largo total promedio (mm) y la desviación estándar (SD) de cada media para cada especie.

Se observó que las especies *Eugerres plumeri*, *Hyporhamphus roberti*, *Rhamdia guatemalensis*, *Belonesox belizanus* y *Poecilia mexicana* fueron encontradas únicamente en las áreas con una alta cobertura de *hydrilla*. Por otro lado, la especie *Strongylura marina* se encontró exclusivamente en la planta *Potamogeton illinoensis* (PAC bajo). También se registró que las especies *Oligoptes saurus* y *Ophisternon aenigmaticum* se encontraron únicamente en la presencia de *Vallisneria americana* (PAC bajo) (Cuadro 4).

### C. Análisis comparativo de los tratamientos

El análisis de varianza (ANOVA) realizado, evidencia diferencias significativas para las medias de las siguientes variables: riqueza, biomasa total (Kg/ha), biomasa de cíclidos, e Índices de Shannon y Simpson. Estos resultados indican que estas variables presentan variaciones significativas entre los diferentes niveles de PAC y tipos de planta (Cuadro 5).

Cuadro 5

Análisis de varianza (ANOVA) y métricas de riqueza, biomasa (Kg/ha), densidad (pez/ha) e índices de diversidad en cada tratamiento de planta con su nivel de cobertura correspondiente

Planta	<i>Hydrilla verticillata</i>		<i>Vallisneria americana</i>	<i>Potamogeton illinoensis</i>	Valor p	
	PAC	Alto	Bajo	Bajo		
<b>Riqueza</b>		10 ± 0.84	9 ± 0.83	8 ± 1.14	10 ± 1.67	<b>0.009842216</b>
<b>Biomasa total (Kg/ha)</b>		457.46 ± 259.47	62.87 ± 30.70	40.82 ± 26.27	164.33 ± 42.91	<b>0.026662195</b>
<b>Densidad (pez/ha)</b>		77680 ± 39454.49	13220 ± 5438.01	15080 ± 6082.93	25740 ± 16718.49	0.05139169
<b>Biomasa Cíclidos</b>		410.71 ± 233.41	55.5 ± 30.87	36.89 ± 25.86	146.56 ± 40.47	<b>0.028085237</b>
<b>Biomasa <i>V. maculicauda</i></b>	<i>V.</i>	168.92 ± 112.11	19.72 ± 11.05	12.34 ± 8.78	60.12 ± 28.06	0.061713611

Continuación Cuadro No. 5.

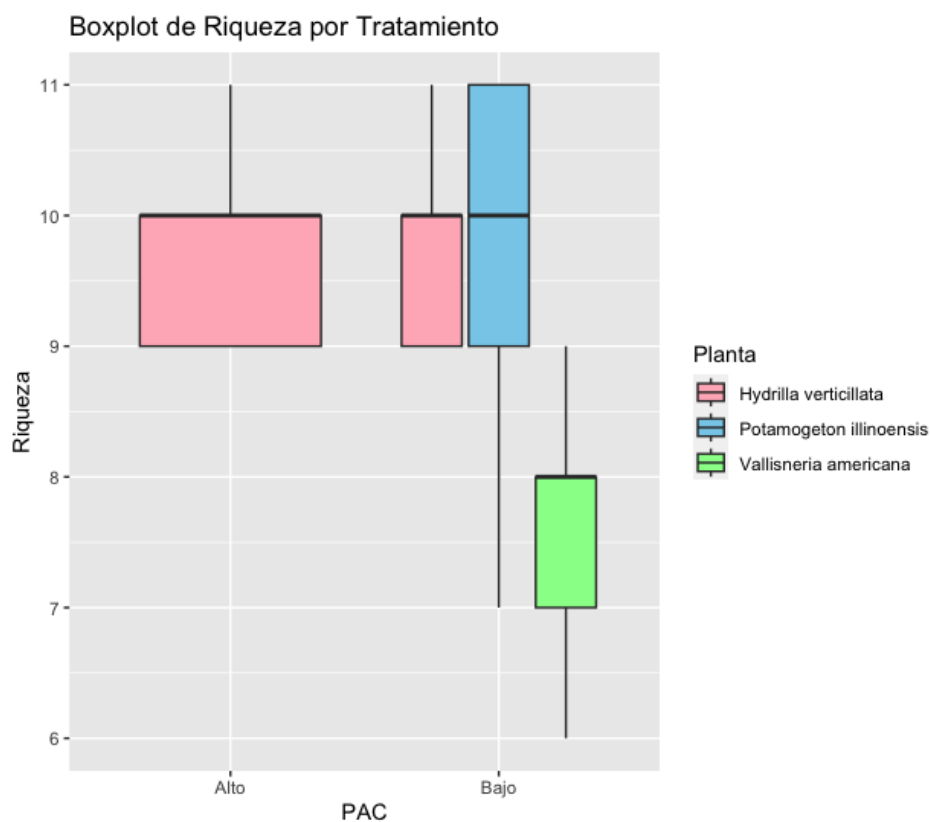
Planta	<i>Hydrilla verticillata</i>	<i>Vallisneria americana</i>	<i>Potamogeton illinoensis</i>	Valor p	
PAC	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	
Índice de Shannon	2.42 ± 0.14	2.052 ± 0.14	1.792 ± 0.20	2.068 ± 0.19	0.00094499
Índice de Simpson	0.9 ± 0.01	0.852 ± 0.03	0.804 ± 0.04	0.858 ± 0.03	<b>0.002821295</b>

Nota. Se calculó la biomasa promedio (kg/ha), la densidad promedio (pez/ha), el largo total promedio (mm) y la desviación estándar (SD) de cada media para cada especie.

El análisis Post Hoc realizado indicó que no se encontraron diferencias significativas entre los niveles "Bajo" y "Alto" de PAC para la variable riqueza. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en las medias de riqueza para algunas combinaciones de plantas. Específicamente, se encontraron diferencias significativas en la riqueza entre *Vallisneria americana* e *Hydrilla verticillata*, así como entre *Vallisneria americana* y *Potamogeton illinoensis*. *Vallisneria americana* presentó la menor riqueza entre los tratamientos analizados (Figura 12).

**Figura 12**

Diagrama de caja de la variable riqueza en respuesta a los diferentes tratamientos de plantas con niveles de cobertura correspondientes.



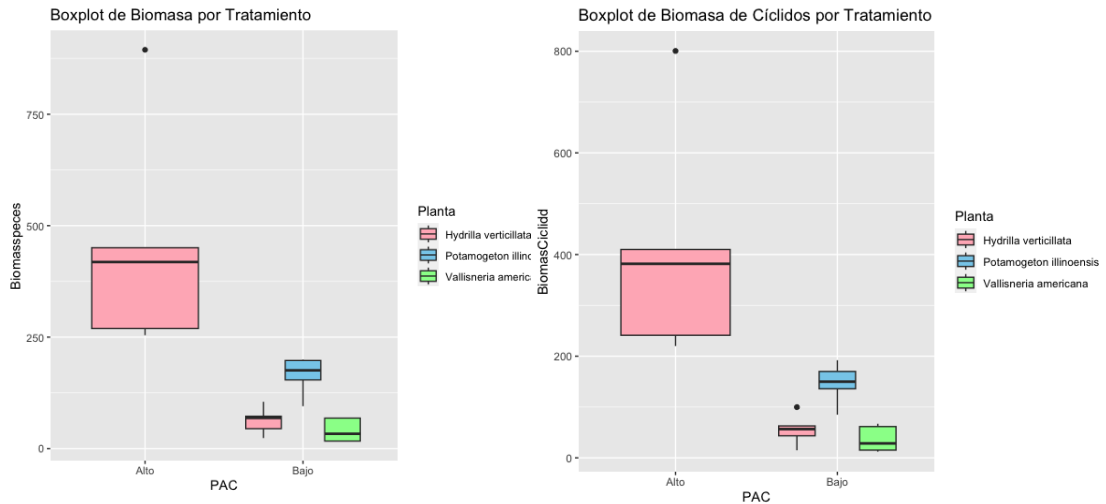
Nota. Imagen estadística diagrama de caja. Elaboración propia.

En cuanto a la biomasa total (kg/ha), se determinó hay una diferencia significativa en las medias de biomasa entre los dos niveles de PAC. Además, se encontró una

diferencia significativa en las medias de biomasa entre *Vallisneria americana* e *Hydrilla verticillata*. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre *Potamogeton illinoensis* y las otras dos plantas (Figura 13). Este mismo patrón también se observó en la biomasa de la familia Cichlidae. *Hydrilla* en altas coberturas presentó una mayor biomasa.

**Figura 13**

Diagramas de caja de la biomasa y biomasa de la familia Cichlidae en respuesta a los diferentes tratamientos de plantas con niveles de cobertura correspondientes



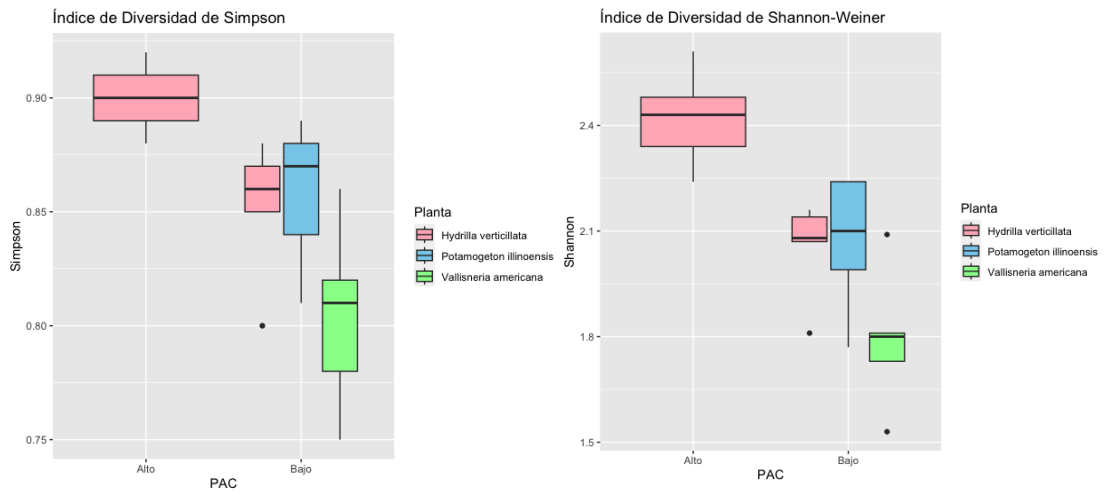
Nota. Gráficas comparativas diagrama de cajas. Elaboración propia.

Con relación a los índices de diversidad, se observó una diferencia significativa entre los dos niveles de PAC para el índice de Shannon-Weiner ( $p = 0.013$ ). Esto indica que las áreas con alta cobertura vegetal presentan mayor diversidad en comparación con aquellas con menor cobertura (Figura 13). Por otro lado, el índice de Simpson no mostró diferencias significativas ( $p = 0.068$ ) entre los distintos niveles de cobertura. Esto sugiere que, aunque el número total de especies puede ser similar en áreas con coberturas altas y bajas, la proporción y distribución de esas especies pueden variar entre los diferentes niveles de cobertura.

Para el factor planta, se observaron diferencias significativas en el índice de Shannon entre *Vallisneria americana* e *Hydrilla verticillata* ( $p = 0.0006$ ), con *hydrilla* mostrando una mayor diversidad en comparación con *V. americana* (Figura 13). Asimismo, el índice de Simpson reveló diferencias significativas tanto entre *Vallisneria americana* e *Hydrilla verticillata* ( $p = 0.027$ ) como entre *Vallisneria americana* y *Potamogeton illinoensis* ( $p = 0.0022$ ). Estos resultados indican que *Vallisneria americana* presenta la menor diversidad en comparación con las otras dos plantas (Figura 14).

**Figura 14**

Diagrama de caja de los índices de diversidad en respuesta a los diferentes tratamientos de plantas con niveles de cobertura correspondientes



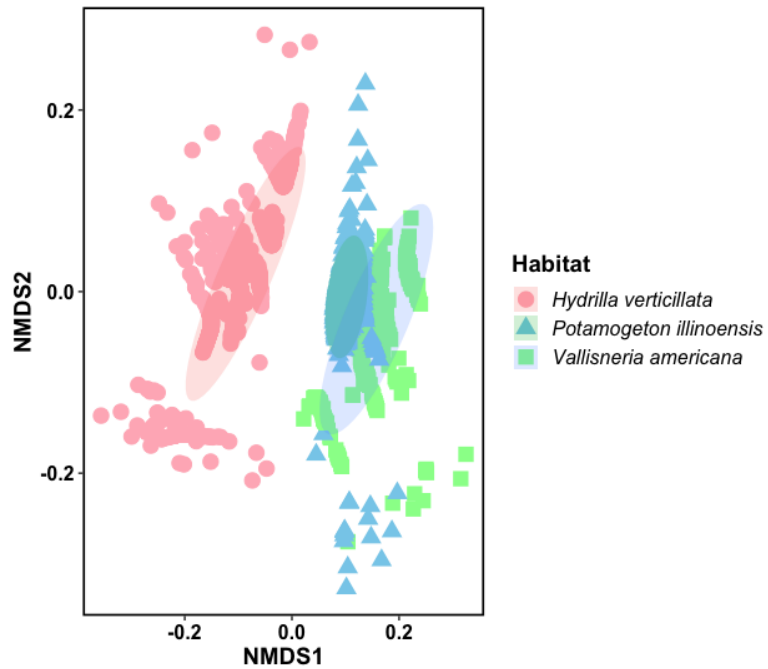
Nota. Imagen de diagramas de caja. Elaboración propia.

El Análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (NMDS), realizado en función del tipo de planta (Figura 15), reveló que *Hydrilla verticillata* muestra una mayor separación en comparación con las otras dos plantas (*Vallisneria americana* y *Potamogeton illinoensis*). Esta separación indica que la estructura de la comunidad de peces asociada a *Hydrilla verticillata* difiere notablemente de las comunidades asociadas a las plantas nativas. La representación gráfica del NMDS muestra una mayor dispersión de los puntos correspondientes a *Hydrilla verticillata*, lo que sugiere una mayor heterogeneidad en la composición de especies de peces en relación con las otras plantas.

El análisis de NMDS realizado exclusivamente para *Hydrilla verticillata* comparó los dos niveles de porcentaje de área cubierta (PAC) considerados en el estudio (Figura 16). En la gráfica resultante se puede apreciar una separación entre los PAC bajo y alto, lo cual sugiere que las áreas con un alto PAC presentan una composición de especies o una estructura de comunidad distintas en comparación con las áreas de bajo PAC.

**Figura 15**

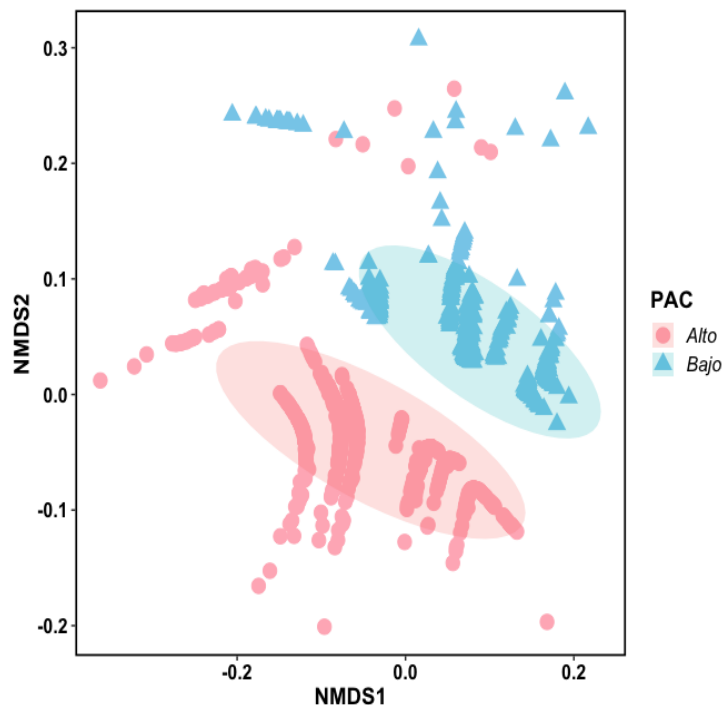
Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) realizado por tipo de planta



Nota. Gráfica de escalamiento multidimensional. Elaboración propia.

**Figura 16**

Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) realizado para Hydrilla verticillata en coberturas altas y bajas



Nota. Gráfica comparativa PAC alto y bajo. Elaboración propia.

El cuadro comparativo No. 6, presenta un resumen de la composición comunitaria de peces en distintos hábitats macrófitos. Se comparan dos estudios: uno realizado en el año 2005 y otro en 2023. Las comparaciones muestran las diferencias y similitudes

en la estructura y dinámica de las poblaciones de peces en respuesta a la presencia y colonización de *hydrilla* y otras plantas acuáticas en los hábitats estudiados.

**Cuadro 6**

*Comparación entre el estudio actual (2023) y el estudio del 2005*

<b>CATEGORÍA</b>	<b>ESTUDIO DEL 2005</b>	<b>ESTUDIO ACTUAL, 2023</b>
HÁBITATS MUESTREADOS	5 tipos de plantas: <i>Scirpus carrizo, Chara phoetida, Vallisneria americana, Potamogeton illinoensis, Hydrilla verticillata</i> y sin plantas	3 tipos de plantas: <i>Vallisneria americana, Potamogeton illinoensis</i> e <i>Hydrilla verticillata</i>
FECHAS DE MUESTREO	25 de junio al 18 de julio, 2005	17 al 22 de abril, 2023
REDES COLOCADAS	60 redes	20 redes
CATEGORÍAS DE PAC	Alto, medio, bajo	Alto, bajo
PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	No hubo diferencias significativas entre tratamientos	No hubo diferencias significativas entre tratamientos
LONGITUD DE INDIVIDUOS MEDIDOS	1 cm hasta 24 cm	1.4 cm hasta 23.8 cm
RIQUEZA TOTAL	24 especies No hubo grandes variaciones entre tratamientos	23 especies No hubo grandes variaciones entre tratamientos
BIOMASA TOTAL (KG/HA)	No difiere significativamente entre PAC Difiere significativamente entre plantas	Difiere significativamente entre PAC y entre plantas
BIOMASA CÍCLIDOS	No difiere significativamente entre PAC Difiere significativamente entre algunas plantas	Difiere significativamente entre PAC y entre plantas
BIOMASA DE <i>V. MACULICAUDA</i>	No difiere significativamente entre PAC Difiere significativamente entre algunas plantas	No difiere significativamente entre tratamientos
DENSIDAD (PEZ/HA)	No difiere entre PAC, pero difiere entre algunos tipos de planta (sin plantas e <i>hydrilla</i> )	No mostró diferencias significativas a lo largo de los tratamientos
DIVERSIDAD	Diversidad no varía entre tratamientos, se utilizó el índice de Shannon-Weiner. Difiere únicamente entre el tratamiento sin plantas y <i>Potamogeton illinoensis</i> en coberturas bajas.	El índice de Shannon-Weiner mostro diferencias entre PAC y el tipo de planta El índice de Simpson mostro diferencias entre el tipo de planta, siendo <i>hydrilla</i> la más diversa

*Nota.* Descripción de datos comparativos periodo 2005-2023. Elaboración propia.

## VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS O DISCUSIÓN

La presencia de la planta *hydrilla* en el lago de Izabal desde aproximadamente el año 2000, ha tenido un impacto significativo en la composición de peces en el ecosistema. Estudios anteriores revelan que esta planta afecta las poblaciones de peces de manera notable (Barrientos, 2005). A pesar de que la cobertura de *hydrilla* es menor comparación con el estudio anterior, todavía muestra una mayor biomasa vegetal en comparación con las plantas nativas evaluadas. Los lechos de *hydrilla* son más densos que los de otras plantas nativas. Esto sugiere que *hydrilla* actualmente proporciona un mejor entorno para los peces, en comparación con su expansión más extensa en el pasado.

Adicionalmente, se ha determinado que variables importantes como la biomasa, la riqueza y la diversidad de peces también presentan variaciones en función del tipo de vegetación presente en el lago. El análisis de la biomasa de peces mediante el Análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (NMDS) y las pruebas post hoc reveló diferencias significativas entre los porcentajes de área cubierta (PAC) y los tipos de plantas. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar el papel de las plantas acuáticas en la estructura y dinámica de las comunidades de peces en el lago de Izabal.

En este estudio, se optó por muestrear únicamente 3 especies de plantas, se consideraron los hallazgos del estudio previo, que proporcionaron pautas cruciales para los tratamientos implementados en el año 2023. Por lo mismo, la cifra de peces colectados difiere con el estudio anterior. Aunque la magnitud de estos números puede parecer considerable, es crucial tener en cuenta que la muestra se obtuvo solo de 0.2 hectáreas, una fracción mínima de las 58,960 hectáreas totales que comprende el lago de Izabal. La diferencia principal entre los individuos capturados entre ambos estudios, se debe principalmente a que el número de redes colocadas se redujo a un total de 20 redes (50 en el anterior). Este enfoque se adoptó para mitigar el impacto ambiental al mínimo posible, reduciendo así la muestra de manera consciente.

La densidad de peces es consistente con el estudio anterior, el reporte de Barrientos y Allen (2008) también reportó la ausencia de diferencias significativas en la densidad de peces entre los distintos tipos de plantas muestreadas. Sin embargo, otros estudios realizados en lagos han demostrado que la comunidad de macrófitas acuáticas influye en la densidad de peces, y ciertas especies muestran una fuerte asociación con tipos específicos de hábitats (Wang *et al.*, 2013; Choi y Kim, 2020). La discrepancia entre los hallazgos de este estudio y los de Wang *et al.* (2013) se atribuyen a variaciones en las condiciones específicas del muestreo, ya que utilizaron la técnica de pesca eléctrica, lo cual puede tener una efectividad menor en áreas con vegetación densa. En el estudio de Choi y Kim (2020), las disparidades observadas en la densidad se atribuyen probablemente a la consideración del factor estacional. La evaluación de la densidad no se limitó únicamente a los diferentes tipos de plantas, sino que también abarcó dos estaciones distintas: invierno y verano. Esto resalta la importancia de incorporar el factor estacional en futuras investigaciones en el lago de Izabal.

Aunque esto no resultó ser válido en este estudio, se observó que algunas especies estaban asociadas exclusivamente a un tipo particular de planta (ver Cuadro 4). Por ejemplo, algunas especies como *Eugerres plumeri*, *Hyporhamphus roberti*, *Rhamdia guatemalensis*, *Belonesox belizanus* y *Poecilia mexicana* fueron encontradas únicamente en las áreas con una alta cobertura de *hydrilla*. Esto sugiere que, aunque la densidad de peces por hectárea no varió significativamente entre tratamientos, la preferencia de hábitat por parte de ciertas especies sí podría estar relacionada con la presencia de plantas específicas en el entorno acuático.

No se observaron variaciones significativas entre la riqueza de peces de los tratamientos, a excepción de *V. americana*. En el caso de *hydrilla*, se presentaron dos condiciones, PAC bajo y PAC alto; sin embargo, no se detectaron diferencias significativas en los niveles de cobertura en relación con la variable de riqueza para esta planta. Este patrón también se repite en *P. illinoensis*, donde la riqueza de especies se mantuvo comparable a la de *hydrilla*. Esto podría atribuirse a que las características estructurales compartidas por *hydrilla* y *P. illinoensis*, como su densidad, altura o disposición espacial, podrían ser más propicias para ciertas especies de peces. Ya se ha evidenciado que la riqueza y abundancia suelen estar influenciadas por aspectos estructurales (Thomaz y Cunha, 2010).

Es fundamental considerar que *Vallisneria americana* resultó ser más difícil de ubicar para llevar a cabo el muestreo en comparación con las otras dos plantas (Barrientos, *et al.*, 2023) presentó un menor porcentaje de área cubierta y no fue tan densa como las otras plantas en los diferentes tratamientos, lo cual concuerda con la idea de que algunas macrófitas pueden ofrecer condiciones más óptimas para la vida y reproducción de ciertos peces. Un factor que pudo haber influido en la dificultad de muestreo y localización de esta planta es su asociación típica con riachuelos y aguas más dinámicas, además de que se da mejor en zonas con sustratos arenosos (Korschgen y Green, 1988). Cabe mencionar que en el presente muestreo no se localizaron sitios de ese tipo.

Se identificaron un total de 23 especies de peces, mientras que en el estudio anterior se registraron 24 especies. Se observó una disminución en la presencia de la especie *Cribroheros robertsoni* y se confirmó también la ausencia de la especie *Trinectes paulistanus*. Sin embargo, se registró la presencia de una especie adicional no registrada en el estudio previo, perteneciente a la familia Poeciliidae: *Belonesox belizanus*, el resultado reveló 3 especies de la familia Poeciilidae. Esta familia, al igual que Cichlidae, se han reportado como las más abundantes en el área de Izabal (Perez *et al.*, 2004). Es importante tener en cuenta que la riqueza de especies registrada en este estudio fue relativamente baja comparada con otros estudios que han utilizado diferentes métodos de muestreo y han considerado registros históricos, llegando a reportar hasta 81 especies (Perez *et al.*, 2004). Sin embargo, tal y como se demostró en el estudio de Barrientos y Allen (2008), el método de muestreo utilizado es más efectivo para ciertos tipos de hábitats y para capturar una muestra representativa de las especies encontradas en hábitats de las zonas litorales.

En el estudio previo realizado hace más de 15 años, se determinó que la planta *Hydrilla verticillata* presentó la mayor biomasa vegetal entre todos los tratamientos analizados. En el estudio actual, se confirmó esta observación, debido a que se encontró nuevamente que *hydrilla* exhibe una alta biomasa y cobertura vegetal. Esto permitió

que fuera la única planta muestreada que contara con los dos niveles de PAC (alto y bajo).

Se ha logrado determinar que existe una mayor biomasa de peces en *hydrilla* con PAC alto. Estos resultados coinciden con investigaciones previas que identifican la preferencia de los peces por hábitats macrófitos que presentan una mayor complejidad (Gayá, 2021; Prado, Freitas y Olveira, 2009). A medida que los hábitats se vuelven más complejos por la presencia de macrófitos, se generan más ocasiones para que los peces encuentren alimento y refugio. Esto hace que los hábitats macrófitos sean un valioso recurso ecológico que requiere ser protegido y restaurado (Gayá, 2021).

Con respecto a las diferencias de biomasa entre tipos de planta, se determinó que *Vallisneria americana* tiene una biomasa significativamente menor que *hydrilla*. Esto respalda lo mencionado previamente, ya que *Vallisneria americana*, debido a la disposición menos densa de sus lechos, no ofrece la misma complejidad estructural que se encuentra en *Hydrilla verticillata* o *Potamogeton illinoensis*.

Los resultados de diversidad siguen un patrón muy similar a los resultados obtenidos con respecto a la biomasa. Para ambos índices se encontró una diferencia significativa entre los niveles de PAC para *hydrilla*, mostrando que las áreas con PAC alto son más diversas. Asimismo, *Vallisneria americana* fue diferente a las otras dos plantas, al mostrar una menor diversidad. Este efecto también puede atribuirse a que las estructuras de *Potamogeton illinoensis* e *hydrilla* son más óptimas para los peces.

En el estudio de Barrientos (2008), contrario a los resultados del estudio actual, ninguno de los parámetros de la comunidad de peces estimados fue significativamente diferente entre los niveles de cobertura para la planta *Hydrilla verticillata*. Parámetros como la biomasa de peces, únicamente tuvieron diferencias significativas en cuanto a tipo de planta. Es posible que las diferencias actualmente se deban a una disminución en los niveles de cobertura y en la distribución de *hydrilla*, ya que se ha observado un cambio a nivel de paisaje desde la última vez que se llevó a cabo un estudio como este (Barrientos, *et al.*, 2023). Este cambio en la distribución de *hydrilla* se atribuye a varios factores, principalmente relacionados con el ciclo de las plantas invasoras que por lo general experimentan una rápida expansión inicial en el lago debido a su capacidad para reproducirse eficientemente y ocupar recursos vitales como la luz solar y los nutrientes del agua. Sin embargo, a medida que su población aumenta, se produce una competencia por estos recursos limitados, lo que puede ralentizar o estabilizar su crecimiento. Además, las interacciones con otras especies pueden limitar su capacidad de expansión y contribuir a una disminución en sus lechos (Lockwood *et al.*, 2013).

Las diferencias en biomasa y diversidad pueden ser atribuidas al hecho de que los hábitats con una cantidad moderada de vegetación acuática proporcionan un entorno ideal para muchos peces, tal y como se vio en el estudio de Ismail *et al.* (2018). Esto impulsa el aumento de la diversidad de especies, la alimentación, el crecimiento y la reproducción. En contraste, tanto la vegetación limitada como la excesiva que disminuyen las tasas de crecimiento de los peces.

*Hydrilla* no resultó ser una amenaza para la comunidad íctica de las zonas litorales del lago de Izabal. Además, diversos autores (Wang *et al.*, 2013; Choi y Kim, 2020; Valley y Bremigan 2004) concluyen que los rasgos de las macrófitas invasoras, como

su tasa de crecimiento, densidad, arquitectura y capacidad de formar densas agregaciones, pueden influir en los efectos que tienen sobre las comunidades acuáticas de agua dulce. También muestran resultados que indican que la vegetación acuática sumergida desempeña un papel crucial como hábitat para los peces en los lagos, al proporcionar refugio, alimentación, reproducción y protección contra los depredadores para diversas especies de peces (Schultz y Dibble, 2012; Valley y Bremigan, 2004).

Se logró establecer la relación de composición comunitaria entre diferentes niveles de cobertura al comparar estos resultados con el estudio anterior. No obstante, es importante destacar que existen ciertos factores que podrían haber influido en los resultados de este estudio. Es importante tener en cuenta los factores estacionales, ya que el estudio actual se llevó a cabo en el mes de abril, mientras que el estudio anterior se realizó en el periodo de junio y julio. Factor temporal que influye en la presencia y abundancia de ciertas especies, ya que pueden estar sujetas a ciclos reproductivos o migratorios específicos. Este es uno de los motivos por los cuales los resultados variaron en algunos aspectos en comparación con el estudio anterior. No obstante, es crucial destacar la imperante necesidad de llevar a cabo este tipo de evaluaciones, ya que brindan valiosa información para la conservación de la diversidad y la comunidad de peces, así como a fortalecer los esfuerzos en la preservación de los ecosistemas acuáticos y su sostenibilidad.

## VIII. CONCLUSIONES

Se determinó que la colonización de *Hydrilla verticillata* en el lago de Izabal representa un impacto significativo en la composición de la comunidad de peces. La presencia de esta planta no nativa se asocia de manera significativa con cambios notables en diversas métricas clave, inclusive la biomasa total de peces la diversidad según el Índice de Shannon y el Índice de Simpson y la riqueza de especies.

Se demostró que la estructura de la comunidad de peces varía significativamente entre hábitats que albergan diferentes especies de plantas acuáticas. La planta nativa *Vallisneria americana*, exhibió una menor riqueza de especies en comparación con las otras plantas: *Hydrilla verticillata* y *Potamogeton illinoensis*. *Hydrilla verticillata* influye significativamente en la biomasa y diversidad de peces en comparación con *Vallisneria americana*. Estos resultados enfatizan la influencia significativa de las plantas acuáticas en la estructura de la comunidad de peces.

Los resultados respaldan que la variación en la cobertura vegetal de *Hydrilla verticillata* influye notablemente en la biomasa y diversidad de la comunidad de peces, al destacar la importancia de considerar este factor en la gestión de estos ecosistemas. Ambas investigaciones concluyen que la presencia de *hydrilla* no causa un impacto perjudicial en la comunidad de peces.

Se observaron diferencias significativas en factores como: biomasa, diversidad y riqueza de especies en relación con la cobertura vegetal de *Hydrilla verticillata*, sin embargo, no existe evidencia de un impacto perjudicial directo de esta planta no nativa en la comunidad de peces.

## **IX. RECOMENDACIONES**

Se sugiere ampliar el período de estudio para incluir los meses del año no abarcados en este proyecto. Investigar la composición de la ictiofauna durante otros períodos permitirá obtener una visión más completa de cómo varía la población de peces a lo largo de las estaciones.

Realizar monitoreo constante, dado que se observó como los resultados varían a lo largo del tiempo. Esto asegurará la recopilación de datos continuos a lo largo del tiempo, lo que proporcionará una visión más precisa y actualizada de las tendencias en la población de peces y su hábitat.

Incluir variables como la calidad del agua, la presencia de otros organismos acuáticos, la composición química del sustrato y otros factores ambientales que influyan en la población de peces y su entorno. Utilizar modelos lineales generalizados para comprobar si con este método las variables de temperatura y profundidad influyen en los resultados.

La incorporación de datos sobre el uso del suelo permitirá comprender objetivamente la influencia de las actividades humanas y la gestión de la tierra en la ictiofauna y su hábitat en la región.

Considerar la vegetación como un criterio para la identificación de áreas protegidas, dado que se demostró que algunas plantas influyen en la biomasa y diversidad de especies de peces. La creación de áreas protegidas en la región es una iniciativa que podría fortalecer la conservación de la biodiversidad. Estas áreas podrán servir como refugio para las especies nativas y contribuir a mantener la salud del ecosistema en general.

## X. REFERENCIAS

- Alberta Lake Management Society ALMS. (2014). *Aquatic invasive plants information and identification tips* [Información e identificación de plantas acuáticas invasoras]. Canadá: ALMS. <https://alms.ca/wp-content/uploads/2014/07/Aquatic-Invasive-Species-Information-Package-Final.pdf>
- Allendorf, F. (1988). *Conservation biology of fishes* [Conservación biológica de peces]. *Conservation Biology*, 2(2), 145-148. [https://doi.org/https://desertfishes.org/cuatroc/literature/pdf/Allendorf\\_1988\\_Conser\\_bio\\_fishes.pdf](https://doi.org/https://desertfishes.org/cuatroc/literature/pdf/Allendorf_1988_Conser_bio_fishes.pdf)
- Arrivillaga, A. (2002). *Evaluación de la presencia de Hydrilla verticillata en la región de Río Dulce y Lago de Izabal: Diagnóstico general e identificación de medidas de control*. Guatemala: CONAP, OTECBIO, FONACON.
- Balderas, S., Almada-Villela, P., Lozano-Vilano, L., & García-Ramírez, L. (2002). *Freshwater fish at risk or extinct in México and Central America* [Peces de agua dulce en peligro o extintos en México y Centroamérica]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12(2), 241-251. <https://doi.org/DOI:10.1023/A:1025053001155>
- Barlow, G. (2002). *The Cichlid Fishes: Nature's Grand Experiment In Evolution* [Los peces cíclidos: el gran experimento de la naturaleza en la evolución]. TFH Publications.
- Barrientos, C. (2005). *Fish abundance and community composition in native and non-native littoral aquatic plants at Lake Izabal, Guatemala* [Abundancia y composición de la comunidad de peces en plantas acuáticas litorales nativas y no nativas en el lago de Izabal, Guatemala]. Universidad de Florida. [https://www.researchgate.net/publication/266454085\\_FISH\\_ABUNDANCE\\_AND\\_COMMUNITY\\_COMPOSITION\\_IN\\_NATIVE\\_AND\\_NON-NATIVE\\_LITTORAL\\_AQUATIC\\_PLANTS\\_AT\\_LAKE\\_IZABAL\\_GUATEMALA](https://www.researchgate.net/publication/266454085_FISH_ABUNDANCE_AND_COMMUNITY_COMPOSITION_IN_NATIVE_AND_NON-NATIVE_LITTORAL_AQUATIC_PLANTS_AT_LAKE_IZABAL_GUATEMALA)
- Barrientos, C., & Allen, M. (2008). *Fish abundance and community composition in native and non-native plants following hydrilla colonization at Lake Izabal, Guatemala* [Abundancia de peces y composición de comunidades en plantas nativas y no nativas después de la colonización de hydrilla en el lago de Izabal]. *Fisheries Management and Ecology*, 15(2), 99-106. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2007.00588.x>
- Barrientos, C., Elías, D., & Quintana, Y. (2023). *Peces de aguas continentales de Guatemala: Una revisión contemporánea*. En J. Schuster, J. Yoshimoto, & J. Monzón, *Biodiversidad de Guatemala* (Vol. III, págs. 260-275). Universidad de Valle de Guatemala.
- Bonilla-Barbosa, J., & Santamaría, A. (2014). *Plantas acuáticas exóticas y traslocads invasoras en México*. En R. Mendoza, & P. Koleff, *Especies acuáticas invasoras en México* (págs. 223-247). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://doi.org/DOI:10.13140/2.1.2050.8967>
- Catling, P., Spicer, K., Biernacki, M., & Foust, L. (16 de mayo de 1994). *The biology of Canadian weeds* [La biología de los pastos canadienses]. 103. *Vallisneria americana* Michx. *Canadian Journal of Plant Science*, 883-897. <https://cdnscepub.com/doi/pdf/10.4141/cjps94-160>
- Choi, J.-Y., & Kim, S.-K. (2020). *Effects of aquatic macrophytes on spatial distribution and feeding habits of exotic fish species Lepomis macrochirus and Micropterus*

- salmoides in shallow reservoirs in South Korea* [Efectos de las macrófitas acuáticas en la distribución espacial y hábitos alimenticios de especies exóticas de las especies de peces *Lepomis macrochirus* y *Micropterus salmoides* en reservas de Sur Korea]. *Sustainability*, 12(4), 1447. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su12041447>
- Cirujano, S., Meco, A., & Cezón, K. (2017). *Flora acuática: Macrófitos*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Real Jardín Botánico. [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/formacion/06-Macrofitos-Santos%20Cirujano\\_tcm30-175307.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/formacion/06-Macrofitos-Santos%20Cirujano_tcm30-175307.pdf)
- CISEH. (2021). *Hydrilla. Hydrilla verticillata (L.F.) Royle*. Center of Invasive Species and Ecosystem Health: <https://www.invasive.org/browse/subinfo.cfm?sub=3028>
- Dagnino, J. (2014). *Correlación*. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(2), 150-153. <https://doi.org/https://doi.org/10.25237/revchilanestv43n02.15>
- Dallevo-Gomes, C. I., Taliaferro, G., & Toledo-Piza, M. (2020). Dallevo-Gomes, C. I., Mattox, G. M., & Toledo-Piza, M. (2020). *Taxonomic review of the pipefish genus Pseudophallus herald, with the description of a new species (Syngnathiformes: Syngnathidae)* [Revisión taxonómica del género de peces-pipa *Pseudophallus Herald*, con la descripción de una nueva especie (Syngnathiformes: Syngnathidae)]. *Zootaxa*, 48591(1), 81-112. <https://doi.org/DOI:10.11646/zootaxa.4859.1.3>
- Elías, D., Fuentes-Montejo, C., Quintana, Y., & Barrientos, C. (2022). Non-native freshwater fishes in Guatemala, northern Central America: introduction sources, distribution, history, and conservation consequences [Peces de agua dulce no nativos en Guatemala, norte de Centroamérica: fuentes de introducción, distribución, historia y consecuencias para la conservación]. *Neotropical Biology and Conservation*, 17(1), 59-85. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.3897/neotropical.17.e80062>
- Finlayson, B., Schnick, R., Cailteux, R., DeMong, L., Horton, W., McClay, W., . . . Tichacek, G. (2000). *Rotenone use in fisheries management: administrative and technical guidelines manual* [Uso de rotenona en la gestión pesquera: manual de directrices administrativas y técnicas]. American Fisheries Society.
- García, P. (2010). *Flora ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Potamogeton. [https://doi.org/http://www.floraiberica.es/eng/PHP/direcciones\\_todas2.php?autor=Garc%C3%ADa+Murillo%2C+P](https://doi.org/http://www.floraiberica.es/eng/PHP/direcciones_todas2.php?autor=Garc%C3%ADa+Murillo%2C+P).
- Gaya Vilar, A. (2021). *Efecto de la complejidad de macrófitos en la selección de hábitat por peces juveniles bajo experimentos en condiciones controladas*. Universidad de Coruña. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/29210>
- Greenfield, D., & Tomerson, J. (1997). *Fishes of the Continental Waters of Belize [Peces de las aguas continentales de Belice]*. Gainesville: University of Florida.
- Haller, W. (2002). *Hydrilla in lake Izabal, Guatemala. Current Status and Future Prospects* [Hydrilla en el lago de Izabal, Guatemala. Situación actual y perspectivas futuras]. Universidad de Florida. [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/Pnado224.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnado224.pdf)
- Haltop, K. (1995). *La fauna y delta del Polochic, Izabal, Guatemala*. CARE. 50 p.
- Iannone, B., Carnevale, S., Main, M., Hill, J., McConnell, J., Johnson, S., . . . Baker, S. (2020). *Invasive Species Terminology: Standardizing for Stakeholder Education* [Terminología de especies invasoras: estandarización para la educación de los interesados] *Journal of Extension*, 58(3). <https://doi.org/10.34068/joe.58.03.27>

- Ismail, S., Abd Hamid, M., & Mansor, M. (2018). *Ecological correlation between aquatic vegetation and freshwater fish populations in Perak River, Malaysia* [Correlación ecológica entre la vegetación acuática y las poblaciones de peces de agua dulce en el río Perak, Malasia] *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 19(1), 279-284. <https://doi.org/https://doi.org/10.13057/biodiv/d190138>
- Kokrschgen, C., & Green, W. (1988). *American wildcelery (Vallisneria americana): ecological considerations for restoration* [Apio silvestre americano (Vallisneria americana): consideraciones ecológicas para la restauración]. US Department of the interior fish and wildlife service. Washington, DC. Technical Report 19.
- Ling, N. (2003). *Rotenone: a review of its toxicity and use for fisheries management*. [Rotenona: una revisión de su toxicidad y uso en la gestión pesquera] Science for Conservation. <https://doi.org/https://www.doc.govt.nz/documents/science-and-technical/sfc211.pdf>
- Lockwood, J., Hoopes, M., & Marchetti, M. (2013). *Invasion ecology* [Ecología de la invasión]. Wiley-Balckwell.
- Lucinda, P. (2003). *Family Poeciliidae (Livebearers)* [Familia Poeciliidae (portadores de vida)] . En R. Reis, *Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America* (págs. 558-584). Edipucrs.
- Medina, H. (2006). *Dinámica de nutrientes en el litoral lacustre del Lago de Pátzcuaro, Michoacán*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/5767](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/5767)
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce (AMASURLI). (2007). *Plan de Acción Integrado de la Cuenca del lago de Izabal y Río Dulce, Guatemala*. MARN/AMASURLI.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Izabal y Río Dulce (AMASURLI). Fundación Defensores de la Naturaleza (FDN). The Natural Conservancy (TNC). (2006). *Agenda de Conservación de la Cuenca del lago de Izabal y Río Dulce*. MARN/AMASURLI.
- Monterroso, I. (2005). *Comparación de dos situaciones socioeconómicas métodos de evaluación para el análisis de la proceso de invasión de Hidrilla verticillata en Lago Izabal, Guatemala*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Novelo, A. (2005). *Potamogetonaceae. Flora del Bajío y de regiones adyacentes, 133*. <https://doi.org/http://inecolbajio.inecol.mx/floradelbajio/documentos/fasciculos/ordinarios/Potamogetonaceae%20133.pdf>
- Pérez, L. (2005). *La ictiofauna del lago de Izabal y sus afluentes: composición, distribución y ecología*. Universidad de Valle de Guatemala. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/1615>
- Pérez, L., Álvarez, M., Mojica, Á., Dix, M., & Dix, M. (2004). *La ictiofauna del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic composición, distribución y ecología*. UNESCO/UVG. <https://ciclidos-mexico.com/articulos/guatemala.pdf>
- Prado, K., Freitas, C., & Oliveira, A. (2009). *Comunidades de peces asociadas a diferentes bancos de macrófitas acuáticas en lagos de várzea del bajo río solimões*. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 1(2), 185-201. <https://doi.org/https://doi.org/10.24188/recia.v1.n2.2009.354>
- Quintana, Y., García-Pérez, J., Juárez-Sánchez, D., & Barrientos, C. (2011). *Pesca artesanal en el parque nacional Río Dulce: Valoración Económica y Estrategias para su Manejo*. CONAP/ONCA.

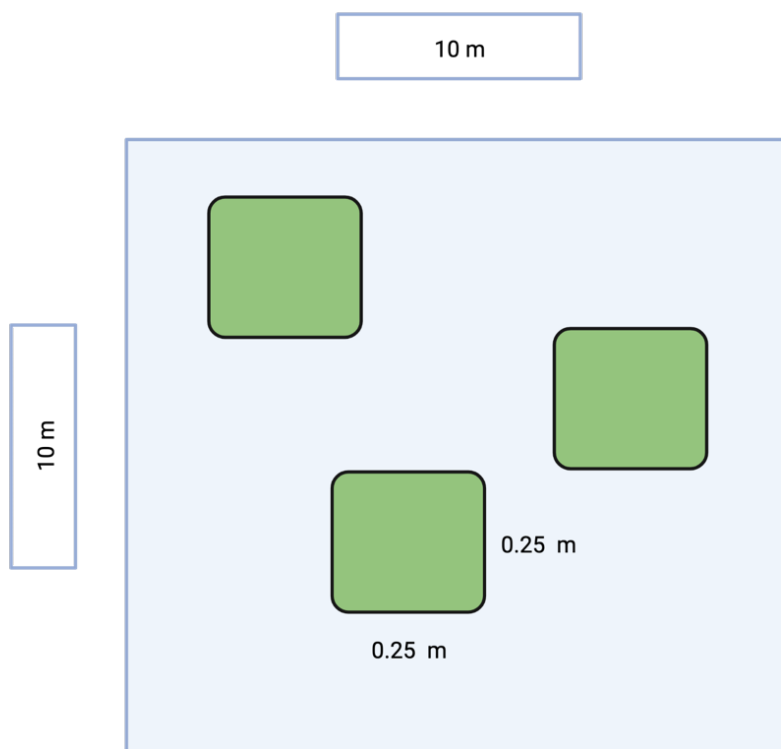
- [https://www.researchgate.net/publication/334950314\\_PESCA\\_ARTESANAL\\_EN\\_EL\\_PARQUE\\_NACIONAL\\_RIO\\_DULCE](https://www.researchgate.net/publication/334950314_PESCA_ARTESANAL_EN_EL_PARQUE_NACIONAL_RIO_DULCE)
- Quiñónez, J. (2009). *Comparación de la distribución espacio-temporal de Hydrilla verticillata en el Parque nacional río dulce en la época seca y época lluviosa del 2008 y 2006*. Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/tesis/EPSB194.pdf>
- Rojas-Sandoval, J. (2018). *Hydrilla verticillata (hydrilla). Invasive Species Compendium [Hydrilla verticillata (hydrilla). Compendio de especies invasoras]*. Wallingford.
- Schultz, R., & Dibble, E. (2012). *Effects of invasive macrophytes on freshwater fish and macroinvertebrate communities: The role of invasive plant traits* [Efectos de las macrófitas invasoras en las comunidades de peces de agua dulce y macroinvertebrados: El papel de los rasgos de las plantas invasoras]. *Hidrobiologia*, 684(1), 1-14. <https://doi.org/DOI:10.1007/s10750-011-0978-8>
- Shireman, J., Colle, D., & Durant, D. (1981). *Efficiency of Rotenone Sampling with Large and Small Block Nets in Vegetated and Open-Water Habitats* [Eficiencia del muestreo con rotenona usando redes de bloque grandes y pequeñas en hábitats con vegetación y en aguas abiertas]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 110(1), 77-80. [https://doi.org/https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1981\)110<77:EORSWL>2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1577/1548-8659(1981)110<77:EORSWL>2.0.CO;2)
- Strayer, D. (2010). *Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future* [Especies exóticas en aguas dulces: efectos ecológicos, interacciones con otros estresores y perspectivas para el futuro]. *Freshwater Biology*, 55(1), 152-174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02380.x>
- Theel, H., & Dibble, E. (2008). *An Experimental Simulation of an Exotic Aquatic Macrophyte Invasion and Its Influence on Foraging Behavior of Bluegill* [Una simulación experimental de una invasión de macrófitas acuáticas exóticas y su influencia en el comportamiento de forrajeo del pez azul]. *Journal of Freshwater Ecology*(1), 79-89. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/02705060.2008.9664559>
- Thomaz, S., & Cunha, E. (2010). *The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: Methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity* [El papel de las macrófitas en la estructuración del hábitat en los ecosistemas acuáticos: Métodos de medición, causas y consecuencias en la composición de los ensamblajes animales y la biodiversidad] *Acta Limnologica Brasiliensia*, 22(2), 218-236. <https://doi.org/DOI:10.4322/actalb.02202011>
- UIE. (2018). *Zonas de vida de Guatemala*. Unidad de Información Estratégica para la Investigación y Proyección. <http://www.infoiarna.org.gt/descargas/728/fichas-tecnicas-de-ecosistemas/9104/mapa-de-zonas-de-vida-de-guatemala.jpg>
- Valley, R., & Bremigan, M. (2011). *Effects of Macrophyte Bed Architecture on Largemouth Bass Foraging: Implications of Exotic Macrophyte Invasions* [Efectos de la arquitectura de los lechos de macrófitas en el forrajeo del pez grande boca: Implicaciones de las invasiones de macrófitas exóticas]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 131(2), 234-244. [https://doi.org/https://doi.org/10.1577/1548-8659\(2002\)131<0234:EOMBAO>2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1577/1548-8659(2002)131<0234:EOMBAO>2.0.CO;2)
- Wang, J., Song, X., Zou, G., & Zhou, W. (2013). *Effects of Aquatic Vegetation on Fish Assemblages in a Freshwater River of Taihu Lake Basin, East China* [Efectos

- de la vegetación acuática en los ensamblajes de peces en un río de agua dulce de la cuenca del lago Taihu, China oriental]. *Journal of Water Resource and Protection* , 5(1), 37-45. <https://doi.org/DOI: 10.4236/jwarp.2013.51005>
- Wer, R. (2003). *Inventario, identificación, datos biológicos e indicadores básicos de ictiofauna en el lago de Izabal y sus tributarios, aporte como control ambiental para monitoreo del impacto de la Hydrilla verticillata en el área*. Universidad del Valle, Universidad de Florida, Fundaparque. [https://biblioteca.senacyt.gob.gt/library/images/e/e2/Acecyt\\_2002.01.pdf](https://biblioteca.senacyt.gob.gt/library/images/e/e2/Acecyt_2002.01.pdf)
- World Conservation Union (IUCN). (2000). *Guidelines for the Prevention of Biodiversity Loss Caused by Alien Invasive Species* [Directrices para la prevención de la pérdida de biodiversidad causada por especies invasoras exóticas]. Approved by the 51st Meeting of the IUCN Council, Gland Switzerland. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/Rep-2000-052.pdf>
- Zubcoff, J. (2017). *Módulo 4. Gráficos avanzados con ggplot. Curso de Herramientas para Data Science*. Universidad de Alicante. [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/69767/1/Modulo\\_4\\_-\\_Graficos\\_avanzados\\_con\\_ggplot2.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/69767/1/Modulo_4_-_Graficos_avanzados_con_ggplot2.pdf)

## XI. ANEXOS

Los peces se recolectaron utilizando una red de bloque de 0.01 ha (10 x 10 m, malla de 6 mm). El diagrama presentado en el Anexo 1 muestra la disposición de la red en el área de estudio, así como el método de muestreo por cuadrantes aleatorios, empleado para la recolección de vegetación. Este método de muestreo sistemático aleatorio permitió asegurar una representación adecuada de la biomasa vegetal.

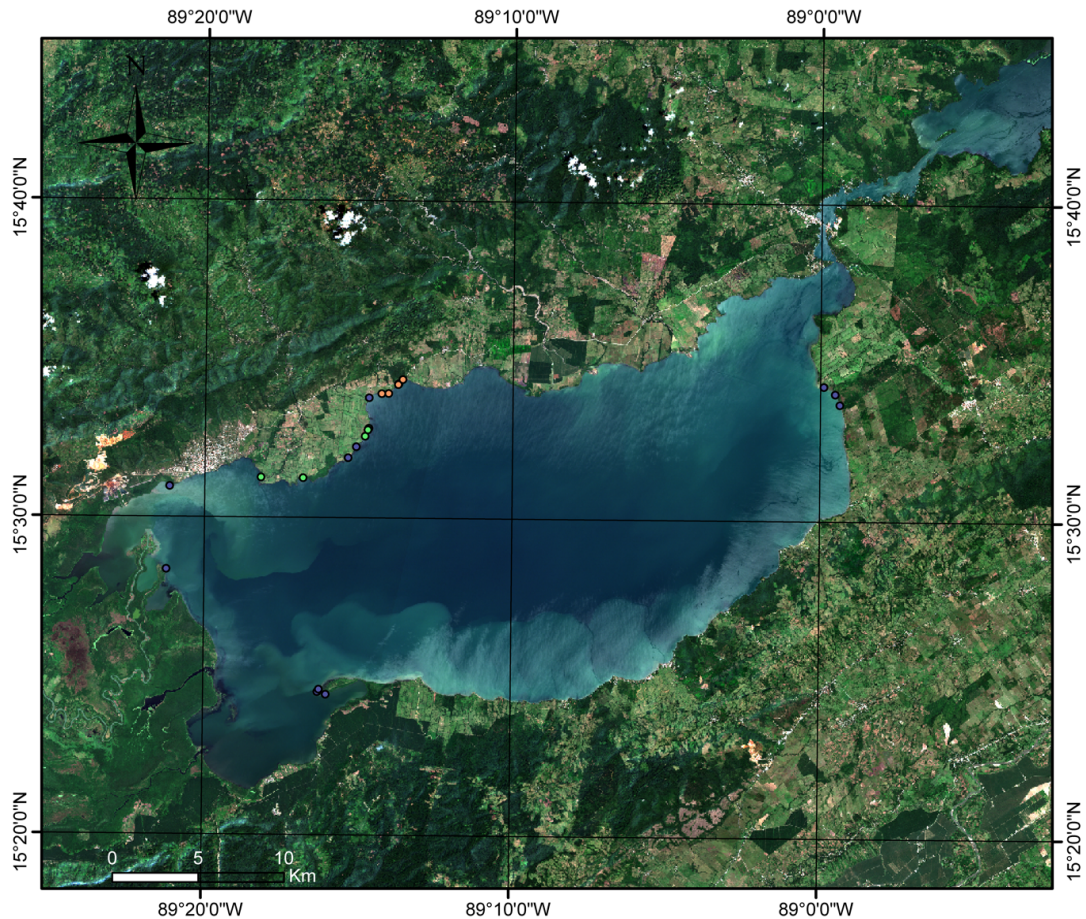
**Anexo 1. Metodología de cuadrantes aleatorios para determinar biomasa vegetal dentro de cada red de bloque**



*Nota.* Diagrama que representa la red colocada en forma de cuadrado (10 x 10 m) y también los cuadrantes lanzados aleatoriamente para obtener la muestra de vegetación (0.25 x 0.25 m).

El Anexo 2 incluye un mapa del Lago de Izabal en el que se marcan los puntos de monitoreo realizados en función del tipo de planta presente. Este mapa es una herramienta clave para comprender cómo están distribuidos los puntos de monitoreo, proporcionando una mejor comprensión de cómo se ven afectados por las características y el entorno de las áreas circundantes.

**Anexo 2. Mapa del lago de Izabal con los puntos de monitoreo realizados según el tipo de planta**



Escala:  
1:100,000,000  
Elaborado por:  
Rodrigo Torres

*Nota.* Mapa de la ubicación geográfica de los sitios muestreados para hábitats macrófitos en el lago de Izabal, Guatemala, y uso del suelo circundante a las zonas litorales. Las zonas litorales se evidencian con tonos claros, y a medida que se oscurecen los tonos se aprecian las zonas profundas del lago. Fuente: Rodrigo Torres.

Los cálculos de la cantidad de rotenona a utilizar se realizaron antes de los viajes de campo, basándose en las concentraciones recomendadas que se obtuvieron del manual oficial de la rotenona de la marca Prenfish, empleada en este estudio. Los detalles de estos cálculos se encuentran en el Anexo 3.

### Anexo 3. Concentraciones recomendadas de tratamiento con rotenona y número de acres-pie (AF) de agua estancada cubiertos por un galón de producto

Type of Use	Parts per Million (ppm)		AF Per Gallon Liquid
	Product (5% A.I.)	Active Rotenone	
Normal	0.5 – 1.0	0.025 – 0.05	6.0 to 3.0
Tolerant Species	1.0 – 3.0	0.05 – 0.15	3.0 to 1.0
Tolerant Species in Organic Ponds	2.0 – 4.0	0.1 – 0.2	1.5 to 0.75

*Nota.* Imagen obtenida del manual de uso de la rotenona líquida de la marca Prenfish, se utilizó para calcular la cantidad de rotenona necesaria en cada red de bloque como se describe en la metodología. Se calculó utilizando la casilla de especies tolerantes, debido a que algunos cíclidos son resistentes a la rotenona.

La base de datos utilizada para registrar los datos obtenidos durante la identificación y medición de las especies se presenta en el Anexo 4. Esta base de datos centralizó toda la información recopilada en el campo, facilitando su organización y análisis posterior.

### Anexo 4. Ejemplo de la base de datos utilizada para recopilar los datos generados en campo

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a data table. The columns are labeled A through S. The first few columns contain species names (e.g., *Arypana aeneus*, *Channa striata*, *Trichromis salvini*), their sizes in cm, weights in grams, and other parameters. The table contains numerous rows of data, representing individual specimens collected during field research.

*Nota.* Cuadro descriptivo de datos de investigación. Elaboración propia.

Los Anexos 5-26 contienen imágenes de las especies de peces capturadas durante el estudio, proporcionando una referencia visual valiosa para la identificación de las especies. Estas imágenes fueron incluidas para facilitar futuras investigaciones y asegurar la precisión en la identificación de especies en trabajos posteriores. Cada anexo presenta fotografías detalladas que permiten observar las características distintivas de cada especie, contribuyendo así a un mejor entendimiento de la diversidad ictiológica en el área de estudio.

**Anexo 5. Muestra de especímenes capturados de la especie *Trichromis salvini***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 6. Muestra de especímenes capturados de la especie *Thorichthys aureus***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 7. Muestra de especímenes capturados de la especie *Cincolichthys bocourti***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 8. Muestra de especímenes capturados de la especie *Parachromis managuensis***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 9. Muestra de espécimen capturado de la especie *Cryptoheros spilurus***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 10. Muestra de espécimen capturado de la especie *Vieja maculicauda*.**



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 11. Muestra de espécimen capturado de la especie *Carlhubisia stuarti***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 12. Muestra de espécimen capturado de la especie *Poecilia mexicana***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 13. Muestra de espécimen capturado de la especie *Belonesox belizanus***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 14. Muestra de espécimen capturado de la especie *Eugerres plumieri***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 15. Muestra de espécimen capturado de la especie *Hyphessobrycon compressus***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 16. Muestra de espécimen capturado de la especie *Astyanax aeneus***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 17. Muestra de espécimen capturado de *Anchoa spp***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 18. Muestra de espécimen capturado de *Atherinella spp***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 19. Muestra de espécimen capturado de *Oligoplites saurus***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 20. Muestra de espécimen capturado de *Gobiomorus dormitor***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 21. Muestra de espécimen capturado de *Strongylura marina***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 22. Muestra de espécimen capturado de *Ophisternon aenigmaticum***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 23. Muestra de espécimen capturado de *Cathorops spp***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 24. Muestra de espécimen capturado de *Pseudophallus galadriela***

*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.



**Anexo 25. Muestra de espécimen capturado de *Hyporhamphus roberti*.**



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.

**Anexo 26. Muestra de espécimen capturado de *Rhamdia guatemalensis***



*Nota.* Imagen de peces capturados en red. Elaboración propia.