

Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales -PUIRNA-
(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

Determinación de contaminantes emergentes (fármacos y microplásticos)
en el lago Petén Itzá

nombre del proyecto de investigación

4.8.63.037

Partida presupuestaria

B35-2022

código del proyecto de investigación

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Bessie Evelyn Oliva Hernández (Coordinadora)
Francis Mariel Santos Ruiz (Auxiliar de Investigación II)
Juan Francisco Pérez Sabino, investigador
Max Samuel Mérida Reyes, investigador

Guatemala, 13 de marzo de 2023

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Inga. Andrea Eunice Rodas Morán
Coordinadora del Programa de Investigación

Autores

Licda. Bessie Evelyn Oliva Hernández, coordinadora del proyecto
Br. Francis Mariel Santos Ruiz, auxiliar de investigación II
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino, investigador
Lic. Manuel Alejandro Muñoz Wuj, investigador
Lic. Max Samuel Mérida Reyes M.A. investigador

Colaboradores, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Lic. Edwin Adolfo Taracena Monzón, investigador
Lic. María Gabriela Chaulón Velez, M.Sc., investigadora
Br. Gabriela Regina Quevedo López, auxiliar de investigación II
Br. José Alejandro Charuc, auxiliar de investigación I

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2022. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria 4.8.63.037 con código B-35 en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales -PUIRNA-.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación



Informe final

1 Índice general (incluir índice de tablas y figuras)

No.	Contenido	Página
1	Índice general	iii
	Índice de tablas	v
	Índice de figuras	v
2	Resumen y palabras clave	1
	Abstract and keyword	1
3	Introducción	2
4	Planteamiento del problema	4
5	Delimitación en tiempo y espacio	5
	5.1 Delimitación en tiempo	5
	5.2 Delimitación espacial	5
6	Marco teórico	6
	6.1 Contaminantes Emergentes: Microplásticos	6
	6.1.1 Microplásticos	6
7	Estado del arte	9
	7.1 Microplásticos	9
8	Objetivos	11
	8.1 Objetivo General	11
	8.2 Objetivos específicos	11
9	Hipótesis	11
10	Materiales y métodos	11
	10.1 Enfoque de la investigación	11
	10.2 Método	12
	10.2.1 Muestreo	12
	10.2.2 Ubicación geográfica de los sitios de muestreo ubicados en el lago Petén Itzá.	13
	10.2.3 Análisis de parámetros fisicoquímicos en el campo	14
	10.2.4 Análisis de microplásticos	14
	10.3 Recolección de información	15
	10.4 Técnicas e instrumentos	16
	10.4.1 Colecta de agua y sedimentos	16
	10.4.2 Mediciones de parámetros fisicoquímicos en el campo	16
	10.4.3 Análisis fisicoquímicos	16
	10.4.4 Determinación de microplásticos en peces y agua	17

10.5	Operacionalización de las variables o unidades de análisis	19
10.6	Procesamiento y análisis de la información	20
11	Resultados y discusión	
11.1	Resultados	20
11.1.1	Determinación de pH medido en agua superficial en el lago Petén Itzá	20
11.1.2	Determinación del potencial de óxido reducción medidas en campo en agua superficial en el lago Petén Itzá	22
11.1.3	Determinación de temperatura ambiental superficial en el lago Petén Itzá	23
11.1.4	Determinación de oxígeno disuelto medido en agua superficial en el lago Petén Itzá	24
11.1.5	Determinación de porcentaje de oxígeno medido en agua superficial en el lago Petén Itzá	25
11.1.6	Determinación de conductividad medida en agua superficial en el lago Petén Itzá	26
11.1.7	Determinación de sólidos disueltos totales en agua superficial en el lago Petén Itzá	27
11.1.8	Determinación de visibilidad en columna de agua en el lago Petén Itzá	28
11.1.9	Determinación de color en agua superficial en el lago Petén Itzá	29
11.1.10	Determinación de microplásticos en muestras de sedimentos colectados en el lago Petén Itzá	30
11.1.11	Determinación de microplásticos en muestras de peces colectados en el lago Petén Itzá	31
11.1.12	Determinación de microplásticos en muestras de agua colectados en el lago Petén Itzá	36
11.2	Discusión de resultados	38
11.2.1	Parámetros físicos medidos en el agua del lago Petén Itzá	38
11.2.2	Microplásticos en el lago Petén Itzá	40
11.2.2.1	Microplásticos en sedimentos del lago Petén Itzá	41
11.2.2.2	Microplásticos en peces del lago Petén Itzá	42
11.2.2.3	Microplásticos en agua del lago Petén Itzá	43
12	Conclusiones	44
13	Referencias	45
14	Apéndice	47
15	Aspectos éticos y legales	53
16	Vinculación	53
17	Estrategias de difusión, divulgación y protección intelectual	53
18	Aporte de la propuesta de investigación a los ODS	54
19	Orden de pago final	54
20	Declaración del Coordinador del proyecto de investigación	54
21	Aval del Director del Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas -IIQB-	55
22	Visado de la Dirección General de Investigación	55

Índice de tablas

No.	Contenido	Página
1	Clasificación de los tipos de microplásticos	9
2	Ubicación geográfica de los sitios de muestreo ubicados en el lago Petén Itzá	13
3	Operacionalización de las variables del proyecto	19
4	Determinación de pH durante los muestreos del lago Petén Itzá	21
5	Potencial de óxido reducción (mV) durante los muestreos realizados en el lago Petén Itzá	22
6	Temperatura ambiental (°C) durante los muestreos del lago Petén Itzá	23
7	Oxígeno disuelto (mg/L) durante los muestreos del lago Petén Itzá	24
8	Porcentaje de saturación de oxígeno en el agua superficial durante los muestreo del lago Petén Itzá	25
9	Conductividad del agua ($\mu\text{S}/\text{cm}$) durante los muestreos del lago Petén Itzá	26
10	Sólidos disueltos totales (mg/L) durante los muestreos del lago Petén Itzá	27
11	Visibilidad en la columna de agua (m) durante los muestreos del lago Petén Itzá	28
12	Determinación de color en el agua durante los muestreos del lago Petén Itzá	29
13	Tipos de microplásticos encontrados en sedimentos del lago Petén Itzá	30
14	Distribución de microplásticos por tipo, en peces del lago Petén Itzá	31
15	Distribución de microplásticos por color en peces del lago Petén Itzá	33
16	Clasificación de microplásticos obtenidos en tres transectos realizados en agua superficial del lago Petén Itzá en abril de 2022	36
17	Nombre científico y nombre común de los pescados colectados en el lago Petén Itzá	47

Índice de Figuras

No.	Contenido	Página
1	Mapa de lo sitios de muestreo ubicados en el lago Petén Itzá	14
2	Medición de pescados y extracción de tracto digestivo y músculo para su posterior análisis.	51
3	Infografía de la metodología para determinar microplásticos en sedimentos	51
4	Infografía de la metodología para determinar microplásticos en peces	52
5	Infografía de la metodología para determinar microplásticos en agua superficial	52
6	Infografía del origen de los microplásticos	53

2 Resumen y palabras claves

El lago Petén Itzá, el mayor cuerpo de agua del departamento de Petén, se ha contaminado desde hace décadas al estar rodeado por poblaciones en crecimiento, que descargan sus aguas residuales al lago. Entre los contaminantes del lago se encuentran los microplásticos, contaminantes emergentes a los que se les ha puesto atención hasta años recientes, pese a que se encuentran en el medio ambiente desde que se usa masivamente el plástico. El objetivo de esta investigación fue determinar la contaminación por microplásticos en agua, peces y sedimentos así como la calidad fisicoquímica del agua en el lago de Petén Itzá. Así, se realizaron muestreos en abril, agosto y octubre de 2022, y enero de 2023. Por limitaciones de acceso a los laboratorios, solamente parámetros de calidad del agua medidos en el campo (pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto) pudieron determinarse, los que se encontraron en el rango de estudios anteriores. Se encontraron microplásticos en todos los sedimentos colectados, en densidades entre 1.09 y 3.53 ítems/g. La mayoría de los peces analizados (81.25%), principalmente de la especie *Petenia splendida*, presentaron microplásticos en el tracto digestivo, en promedio de 5.88 microplásticos por individuo. Se encontraron microplásticos en el agua superficial del lago, colectada en tres transectos en abril de 2022, en densidades entre 61,904.8 y 83,333.3 ítems/km². La presencia de microplásticos en agua y peces del lago Petén Itzá representa un riesgo para el ecosistema y la población, requiriendo la atención de las autoridades ambientales.

Palabras claves:

Contaminación, microplásticos, *Petenia splendida*,

Abstract and keyword

Lake Petén Itzá, the largest body of water in the department of Petén, has been contaminated for decades as it is surrounded by growing populations, which discharge their wastewater into the lake. Among the pollutants in the lake are microplastics, emerging pollutants that have received attention until recent years, despite the fact that they have been in the environment since the massive use of plastic. The objective of this research was to determine the contamination by microplastics in water, fish and sediments and the physicochemical quality of the water in Lake Petén Itzá. Thus, water, sediment, and fish samples were taken in April, August, and October 2022, and January 2023. Due to limited access to laboratories, only water quality parameters measured in the field (pH, conductivity, temperature, and dissolved oxygen) could be determined, which were found in the range of previous

studies. Microplastics were found in all the collected sediments, in densities between 1.09 and 3.53 items/g. Most of the fish analyzed (81.25%), mainly of the *Petenia splendida* species, presented microplastics in the digestive tract, in average of 5.88 microplastics per individual. Microplastics were found in the surface water of the lake, collected in three transects in April 2022, at densities between 61,904.8 and 83,333.3 items/km². The presence of microplastics in water and fish from Lake Petén Itzá represents a risk to the ecosystem and the population, requiring the attention of environmental authorities.

Key words

Contamination, microplastics, *Petenia splendida*

3 Introducción

El lago Petén Itzá es uno de los principales cuerpos de agua del país y el de mayor superficie en Petén, con 101 km² y una cuenca de 1,300 km², que presenta áreas con cobertura vegetal densa. Debido al crecimiento poblacional desde la década de 1960, promovido por el gobierno de Guatemala, la presión demográfica se ha reflejado en el incremento de los niveles de contaminación que actualmente presenta el lago. La contaminación se observa principalmente en la cuenca sur, la cual es causada por la descarga de aguas residuales y residuos sólidos, la deforestación y erosión del suelo y el avance de la ganadería. Además, la deforestación de la cuenca ha contribuido a que se incremente la tasa de sedimentación en el lago (Rosenmeier et al., 2004).

Se han realizado diferentes estudios en el lago Petén Itzá, que revelan el impacto que han tenido las actividades antropogénicas en relación con la contaminación del ecosistema acuático (Rosenmeier et al., 2004; Curtis, et al., 1998; Oliva, 2011; Oliva et al., 2006). Rosenmeier y colaboradores (2004) advertían que la eutrofización del lago, que en ese momento se limitaba a la cuenca sur, se extendería con el tiempo al incrementarse la población en la cuenca con sus consecuentes actividades contaminantes. Oliva y colaboradores (2006) encontraron niveles elevados de nutrientes en el periodo de 2004 a 2005, reportando además niveles de metales tóxicos en sedimentos y en especímenes de pez blanco (*Petenia splendida*).

Los contaminantes emergentes agrupan a una serie de compuestos que han sido desarrollados por el ser humano, y que se han liberado al ambiente como consecuencia de su uso, entre ellos los microplásticos.

Los microplásticos son partículas de plástico que presentan un diámetro menor a 5 mm y que se encuentran en el medio ambiente (Bellasi et al., 2020), ya sea que provengan de descarga directa o por la degradación de materiales plásticos de mayor tamaño (Barboza, et al., 2020). El uso intensivo del plástico durante el último siglo ha dado lugar a la contaminación extensiva de los cuerpos de agua a nivel mundial (Espinoza et al., 2016). Generando microplásticos de diferentes fuentes, ya sea como microplásticos primarios, que son pequeños plásticos producidos como materia prima o como producto final, o como microplásticos secundarios producidos a partir de la desintegración de plásticos de mayor tamaño (Thiele et al., 2021). Recientemente se determinó la presencia de microplásticos en el agua del lago Petén Itzá, reportándose una abundancia media de 147,589 microplásticos/km² colectados con red de arrastre en 33 transectos realizados con lancha (Mejía 2019). También se encontró que las áreas de influencia de los ríos presentaron mayor abundancia de microplásticos.

Wilkinson y colaboradores (2017) sugirió que los microplásticos deben tomarse en cuenta como contaminantes emergentes debido a que se adsorben compuestos químicos potencialmente bioactivos por los microplásticos y los nanoplásticos, lo que representa un riesgo para los organismos acuáticos potencialmente mayor a lo que se pensaba y que tanto los micro como los nanoplásticos seguirán siendo motivo de preocupación por siglos, después de que las regulaciones que limiten su uso se apliquen, debido a su lenta degradación en componentes menores los cuales permanecerán en el ambiente.

El lago Petén Itzá tiene un gran valor para el desarrollo socioeconómico de Petén, al ser utilizado para la pesca, el transporte y la recreación, así como por la gran biodiversidad que presenta, y que depende de la calidad ambiental. Por otro lado, el pez blanco (*Petenia splendida*) que es una especie endémica de los cuerpos de agua de la región, es un recurso de alto valor para los habitantes de la cuenca, ya que representa una fuente de ingresos y de alimento, por lo que es importante evaluar como lo afecta la contaminación del lago.

Por lo anterior, en la presente investigación se planteó como objetivo determinar la contaminación por microplásticos en agua, sedimentos y peces del lago Petén Itzá, para generar información para las autoridades ambientales, como la Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del

Lago Petén Itzá -AMPI- y autoridades municipales, que puedan utilizarla para implementar medidas para disminuir la contaminación en el lago, como la regulación de plásticos de un solo uso, la concienciación de la población en relación con el consumo racional y el manejo de los residuos sólidos.

4 Planteamiento del problema

El lago Petén Itzá presenta el problema de contaminación por causas antropogénicas, que se ha acentuado desde la década de 1960 (Rosenmeier et al., 2004). En estudios previos se ha demostrado que el lago presenta niveles elevados de nutrientes, además de metales pesados en agua y sedimentos (Oliva et al., 2006). Se han encontrado también plaguicidas organoclorados en pez blanco del lago (Oliva et al., 2008). Recientemente se encontraron microplásticos de diferentes tipos en agua del lago (Mejía, 2019)

Los contaminantes emergentes son compuestos químicos producidos por el ser humano y que por su uso y descarte alcanzan el medio ambiente, poniendo en riesgo la integridad de los ecosistemas acuáticos y la salud del ser humano; entre ellos se encuentran los fármacos y los microplásticos (Wilkinson et al., 2017). Los fármacos alcanzan los cuerpos de agua, por excreción al no metabolizarse completamente por el organismo o por descarte luego de su caducidad (Lleonart, 2009). Por su parte, los microplásticos provienen de la degradación de productos plásticos de mayor tamaño o son productos que descartan como tales en diferentes actividades productivas (Barboza et al., 2020). Ambos contaminantes alcanzan las fuentes de agua al no ser eliminados en las plantas de tratamiento o bien, por las descargas de aguas residuales sin tratamiento o descarta directo de sólidos.

A pesar de que se han realizado estudios de contaminación en el lago Petén Itzá, no se cuenta con información completa sobre los contaminantes emergentes, desconociéndose el riesgo para la población de la cuenca y el ecosistema del lago. Los fármacos presentan diferentes efectos sobre la vida acuática, al actuar como disruptores endocrinos, causando feminización y afectando la reproducción y fertilidad (Pemberthy et al., 2020) y pueden alcanzar al ser humano a través de la cadena trófica (Tejada et al., 2014). Por otra parte, los microplásticos pueden adsorber otros contaminantes del medio como pesticidas, o contener metales pesados, facilitando su transporte y entrada en organismos y aumentando su toxicidad (Pastor & Agulló, 2019), al distribuirse en diferentes órganos de pescado, representando un riesgo también para los consumidores.

La importancia de estudiar los contaminantes emergentes se debe a que se desconoce en qué componentes ambientales se encuentran, así como los efectos que pueden estar provocando en el ecosistema acuático y el riesgo de la salud de la población humana en contacto con el agua o que consume pescado contaminado (Geissen et al., 2015). Debido a este desconocimiento, los niveles permitidos para estos contaminantes aún no se han incluido en las normas de calidad del agua ni en la regulación de aguas residuales o alimentos. Por ello, es necesario investigar su presencia e identidad para poder hacer propuestas para una mejor disposición de los residuos plásticos.

Por lo anterior, en el presente proyecto se determinaron microplásticos en agua, sedimentos y especímenes del pez blanco (*Petenia splendida*), mojarra (*Vieja melanurus*), mojarra (*Mayaheros urophthalmus*), guapote (*Parachromis managuensis*) y guapote (*Trichomis salvini*), con el propósito de generar información de utilidad para las autoridades ambientales, como AMPI, y autoridades municipales, en relación con el conocimiento del riesgo para el ecosistema y la población, y las medidas regulatorias, de tratamiento de residuos y de concientización que pueden adoptarse para mejorar el manejo de los residuos, así como para mejorar el uso racional de plásticos de un solo uso.

5 Delimitación en tiempo y espacio

5.1 Delimitación en tiempo

El proyecto se ejecutó desde febrero de 2022 hasta febrero de 2023. Se realizaron cuatro muestreos en los que se colectaron muestras de agua, peces y sedimentos, durante dicho período en diferentes puntos del lago Petén Itzá, realizándose también mediciones de campo. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio para su análisis.

5.2 Delimitación espacial

El Lago Petén Itzá está localizado en el departamento de Petén, siendo sus coordenadas geográficas 16°54'00" de latitud y 89°41'41" de longitud, presentando una superficie de 99.6 km² con una altitud de 110 msnm. La cuenca del lago presenta una extensión de 1,300 km², ubicada en la Plataforma de Yucatán. Alrededor del lago se encuentran los municipios de San José al norte, San Andrés al noroeste, San Benito al suroeste, y Flores que rodea la parte sur y noreste del lago. En el lago se encuentra la isla de Flores, cabecera departamental.

6 Marco teórico

6.1 Contaminantes Emergentes: Microplásticos.

Los contaminantes emergentes constituyen compuestos que provienen de distintos orígenes y compuestos, que no se encuentran regulados y cuya presencia en el medio ambiente puede causar daños y consecuencias preocupantes para los ecosistemas (Barceló & López, 2008). Su presencia de contaminantes emergentes puede provenir de fuentes puntuales como la urbanización y la industria y de fuentes difusas como la agricultura (Geissen et al., 2010). No están regulados en ninguna normativa y muchas de las plantas de tratamiento de aguas residuales no están construidas para poder eliminarlos o tratarlos (Meléndez-Marmolejo et al., 2020).

Los contaminantes emergentes constituyen una amplia gama de compuestos químicos, que por lo general contiene elementos tóxicos no-biodegradables ya sea orgánicos o inorgánicos. Que son parte de productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, agentes tensoactivos, plastificantes, microplásticos, filtros ultravioleta y aditivos industriales (Geissen et al., 2015; Rasheed et al., 2019). Diversos estudios han evidencia una relación entre la exposición a estos contaminantes emergentes y los cambios en el metabolismo, en el crecimiento, fertilidad y feminización de diversos organismos acuáticos; y sus efectos pueden evidenciarse, aunque esté presentes en bajas concentraciones (Jackson & Sutton, 2008). También, se sabe que en humanos y animales pueden provocar efectos como inmunotoxicidad, neurotoxicidad, carcinogenicidad y disrupción endocrina (Rasheed et al., 2019).

La biota acuática se encuentra expuesta a estos compuestos y se han informado de los efectos negativos que tiene el comer pescado que contiene por ejemplo pesticidas, lo cual es perjudicial para otros animales que los consumen y a su vez para la población humana (Álvarez-Ruiz & Picó, 2020). Además, estos contaminantes pueden estar asociados a cambios en el comportamiento humano, el paisaje, los recursos hídricos y la demografía (Kumar et al., 2020).

6.1.1 Microplásticos

El plástico es un materia sintético o semisintético que se fabrica a partir de largas cadenas de moléculas de carbono derivadas del petróleo y el gas natural: el propileno (PS), polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), poliéster (PET) (Li et al., 2018; D'Avignon,

Gregory-Eaves & Ricciard, 2022). Este material se utiliza ampliamente, para la fabricación de diversos productos, ya que son fáciles de producir, baratos, livianos y resistentes.

Actualmente existen un sinnúmero de productos hechos de plástico y se encuentra en la mayoría de aspectos y objetos de la vida moderna (PlasticsEurope, 2018). Debido a lo anterior, el uso del plástico se ha convertido en un problema grave durante los últimos años, ya que la demanda ha crecido a pasos agigantados. Se tienen reportes que desde los años 50 la producción de plásticos ha superado a la de otros materiales y se ha visto un cambio en el uso de plásticos duraderos a plásticos de un solo uso, como bolsas pajillas, recipientes, vasos, cubiertos, etc. (ONU Medio Ambiente, 2018). Siendo el sector industrial en China el mayor generador de plásticos, ya que producen entre el 28 y el 68 % de resinas y fibras de propileno a nivel mundial (Zhang et al., 2021).

El problema fundamental que representan los plásticos, principalmente los de un solo uso, es que no se pueden reciclar o biodegradar, por lo general se degradan muy lentamente reduciéndose a partículas más pequeñas conocidas como microplásticos (ONU Medio Ambiente, 2018). El término microplásticos fue propuesto por Thomson y colaboradores en el 2004, y fueron definidos como aquellas partículas que miden menos de cinco milímetros y que entran a los ambientes acuáticos a partir de varias fuentes (Wagner & Lambert, 2018).

Los microplásticos son clasificados por su procedencia u origen, como primarios y secundarios. Los primarios, son los que provienen directamente de producción como los pellets, las partículas que se encuentran en los cosméticos (exfoliantes, pasta de dientes y detergentes o partículas que se encuentran en productos de limpieza de radiadores y medicamentos); mientras que los secundarios provienen de la fragmentación de otros plásticos más grandes (esta fragmentación puede darse factores físicos, químicos o biológicos) y fibras provenientes de textiles o redes de pesca (Marine Debris Program, 2019; ONU Medio Ambiente, 2018).

Tabla 1. Clasificación de los tipos de microplásticos

Tipo de microplástico	Definición	Origen	Fuente potencia
Fragmento	Partícula dura de plástico	Secundario	Botellas, plásticos duros y resistentes
Espuma	Ligero, similares a una esponja	Secundario	Poliestireno, amortiguación
Línea/fibra	Plástico recto fino o fibroso	Secundario	Líneas o redes de pesca. Ropa o textiles.
Film	Plástico delgado y suave	Secundario	Bolsas de plástico. Envoltorios.
Microesferas	Partículas duras y redondas	Primario	Pellets de fábrica. Exfoliantes.

Fuente: Free y colaboradores (2014).

Los ecosistemas de agua dulce que por lo general se encuentran cercanos a poblaciones y actividades antropogénicas, por lo que suelen ser más vulnerables a la contaminación por microplásticos (Munno et al., 2022). Los dos microplásticos que han sido reportados como los más abundantes de los cuerpos de agua continentales son las fibras y los fragmentos. Estos son plásticos secundarios, que provienen de la degradación de plásticos más grandes. Sin embargo, en peces se ha visto una tendencia a acumular fibras en un nivel más alto, ya que son más fáciles de ingerir (Qiao et al., 2019).

Diversos estudios revelan que los microplásticos se encuentran de manera ubicua en los cuerpos de agua dulce (Wang et al., 2019). Siendo las fuentes principales de microplásticos de origen terrestre, principalmente de la urbanización, actividades industriales y las actividades antropogénicas que se realizan (Eerkes-Medrano et al., 2015; Rodrigues et al., 2018). Rodrigues y colaboradores (2018) determinaron que la distribución espacio-temporal de microplásticos en sedimentos y agua dependía de las condiciones estacionales e hidrodinámicas del cuerpo de agua. Esto provoca que diversos organismos estén expuestos a estos contaminantes y, por tanto, sean

consumidos por diferentes taxa a lo largo de la cadena trófica (Wang et al., 2019). Los organismos más utilizados como bioindicadores de la contaminación por microplásticos son los peces, ya que esos tienen una movilidad restringida y tienen a mantenerse en un mismo lugar por mucho tiempo, lo cual los hace propensos a ingerir microplásticos (Wesch et al., 2016).

7 Estado del arte

7.1 Microplásticos

La creciente problemática con la presencia de los desechos plásticos en los ecosistemas acuáticos ha incrementado los estudios para la determinación de la presencia, abundancia y efectos que los plásticos y microplásticos puedan tener para la biota. En Latinoamérica los estudios en agua dulce son limitados, sin embargo, han aumentado en los últimos años.

En aguas superficiales se han encontrado en mayores concentraciones fibras compuestas principalmente de polietileno y polipropileno que nos polímeros de baja densidad por lo tanto que poseen mayor flotabilidad (Mao et al., 2020). Mayoritariamente la introducción de los microplásticos en el agua se da por actividades antropogénicas. Se calcula que un solo lavado de ropa con lavadoras domésticas puede producir > 1,900 fibras microplásticas en las aguas residuales y se da aún peor en los exfoliantes faciales, ya que estos pueden contener arriba de 50,391 partículas por gramo, por lo que de un solo uso de exfoliantes faciales podrían liberar entre 10,000 y 100,000 microplásticos primarios en el sistema de alcantarillado doméstico. Como fuente adicional de microplásticos en entornos acuáticos se tiene la fragmentación progresiva de plásticos grandes provenientes de la acuicultura, pesca, navegación y turismo. La prevalencia de los microplásticos en los medios acuáticos aumenta su disponibilidad para los organismos acuáticos que ocupan diferentes hábitats (Wang et al., 2020).

En sedimentos de agua dulce se han encontrado concentraciones de microplásticos que alcanzan la misma magnitud de la que se ha encontrado en los sedimentos marinos más contaminados del mundo. Tales partículas se derivan de un ciclo biogeoquímico único que, en última instancia, influye en la productividad, la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema. Además, los microplásticos actúan como vectores de sustancias tóxicas para invertebrados, peces, herpetofauna y aves acuáticas. Sostenemos que la concentración de este componente particular de partículas es un parámetro ecológicamente significativo de los cuerpos de agua continentales debido a su ubicuidad, persistencia ambiental e interacciones con procesos ecológicos clave (D'Avignon et al., 2022; Li et al., 2018). En

el 2019, Shruti y colaboradores determinaron la presencia de microplásticos en sedimentos de Río Basin de la ciudad de Puebla en México, para esto se recolectaron 29 muestras de 4 zonas diferentes. Encontraron una mayor concentración de microplásticos en la cuenca baja del río, revelando que la densidad poblacional y el complejo industrial de la ciudad de Puebla tiene impactos significativos en la concentración de microplásticos

En peces la ingestión de microplásticos provoca que estos se acumulen en los tractos gastrointestinales, causando bloqueos a través del sistema digestivo y reducción de la alimentación por saciedad, pueden dar cabida a deterioros estructurales y funcionales de los tractos digestivos, lo cual causa problemas nutricionales y de crecimiento en los peces (Wang et al., 2020). Las partículas de microplásticos son capaces de translocarse a otros órganos tales como el hígado y las branquias, trayendo consigo daños a los mismos. Por su parte, para mejorar las propiedades de los polímeros, los plásticos suelen contener algunos aditivos, como los éteres difenílicos polibromados, el nonilfenol, el bisfenol A y el triclosán, la mayoría de los cuales son nocivos una vez lixiviados. Una vez que estos compuestos son introducidos en la matriz biológica, se pueden dar efectos tóxicos con la ingestión de microplásticos (Wang et al., 2020). Pegado y colaboradores (2018) determinaron la cantidad de microplásticos en los tractos digestivos de 189 peces que representaban 46 especies de 22 familias pertenecientes a un estuario del Río Amazonas. Encontraron 228 partículas de microplásticos en los tractos digestivos en 26 especímenes de 14 especies, lo que representó el 30% de los peces analizados. Encontraron en su mayoría colores claros en tonos amarillos, naranjas y azules. Además, determinaron la existencia de una correlación positiva entre la longitud y el número de partículas encontradas.

Las relaciones entre el cambio climático, la resuspensión de sedimentos y la contaminación por microplásticos posiblemente podrían conducir a un refuerzo mutuo y una eutrofización magnificada en lagos poco profundos. Claramente, las interacciones entre los microplásticos y otros factores estresantes en las aguas continentales es un área de investigación potencialmente fértil y muy relevante (D'Avignon et al., 2022). El estudio de sus fuentes, estabilidad, transporte y efectos en los ecosistemas de agua dulce es fundamental. Esto con el fin de establecer métodos de monitoreo estandarizados que permitan la comparación de datos de diferentes áreas geográficas, además, esta información informará las medidas para reducir la liberación y la aparición de microplásticos en ambientes acuáticos.

Los estudios que se tienen para Guatemala en el tema de microplásticos en agua dulce ha aumentado debido a la preocupación que existe, pero siguen siendo limitados. Entre estos estudios podemos

mencionar: los realizados en el lago de Atitlán por López (2018), Sagastume (2020), Santos (2020) quienes determinaron microplásticos en la superficie, en el contenido gastrointestinal de blue gill (*Lepomis macrochirus*) y en sedimentos superficiales, respectivamente. Las tres investigadoras reportaron la presencia de microplásticos en las áreas de estudio. En el lago Petén Izta, Mejía (2019) determinó la presencia de microplásticos en las aguas superficiales del lago. Romero y colaboradores (2019), hicieron una reconstrucción del pasado reciente en el lago de Amatitlán, donde utilizando sedimentos de núcleo, determinaron que la presencia de microplásticos y su asociación a las actividades antropogénicas en el tiempo.

En el 2021, Mazariegos y colaboradores publicaron el estudio hecho en la Reserva de Usos Múltiples de Monterrico, donde determinaron la ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces. En este mismo año, Oliva y colaboradores determinan la presencia y abundancia de microplásticos en el tracto digestivo de tilapias del lago de Amatitlán. Los estudios más recientes han sido en el año 2022, en este se determinó la presencia de microplásticos en sedimentos y peces del Canal de Chiquimulilla, perteneciente a la Reserva de Usos Múltiples de Monterrico por Oliva y colaboradores.

8 Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta)

8.1 Objetivo General

Evaluar la contaminación por microplásticos en agua, peces y sedimentos del lago Petén Itzá.

8.2 Objetivos Específicos

8.2.1 Determinar microplásticos en agua, sedimentos y peces del lago Petén Itzá.

8.2.2 Clasificar los microplásticos presentes en agua, sedimentos y peces del lago Petén Itzá

8.2.3 Determinar los principales parámetros fisicoquímicos en el agua del lago Petén Itzá.

9 Hipótesis

La investigación no tiene hipótesis al ser un estudio descriptivo.

10 Materiales y métodos (enfoque, métodos, recolección de información, técnicas e instrumentos, procesamiento y análisis de la información)

10.1 Enfoque de la investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, descriptivo y explicativo.

10.2 Método

Para la recopilación de la información, se realizaron cuatro muestreos para colecta de muestras de agua, sedimentos y peces en el lago Petén Itzá. Durante el desarrollo del proyecto, para el primer muestreo las muestras se transportaron al laboratorio de Investigación Química y Ambiental -LIQA- de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, donde fueron procesadas y analizadas las muestras de agua superficial para el análisis de microplásticos. Para los muestreos dos, tres las muestras se trasladaron a una vivienda ubicada en la zona 12, en donde se instaló un estereoscopio y se acondicionó un espacio para poder realizar las digestiones de las muestras de sedimento y pescados.

11.2.1 Muestreo:

El diseño del muestreo es no probabilístico, se colectaron muestras de agua para análisis de campo en 18 sitios ubicados en el lago Petén Itzá, los cuales han sido definidos en estudios previos (Oliva et al., 2008) tomando en consideración poblados y fuentes de contaminación como efluentes. Los sedimentos se colectaron en catorce sitios de muestreo distribuidos en el área del lago, donde se consideró que hay mayor sedimentación e impacto por ríos y poblaciones. Las muestras de agua superficial se colectaron durante el mes de abril de 2022 en 3 transectos, uno de Santa Elena a Sacpuy, otro de Petencito a El Jobo y otro entre Ixlú y el Remate. Se colectaron peces, con la ayuda de pescadores locales utilizando el arte de pesca con anzuelo y rapaleado (que consiste en colocar un pez pequeño que se arrastra conforme avanza el motor), colectando un total de 48 peces principalmente de la especie *Petenia splendida*. Se registraron las coordenadas de todos los sitios de muestreo por medio de un GPS y se ubicaron en un mapa (Figura 1). Los viajes de campo se realizaron en vehículo de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia utilizado para transporte de personal y equipo de muestreo, como draga Ekman con la que se tomaron las muestras de sedimentos, red de microplásticos de 300 μm de luz con la que tomaron las muestras de microplásticos en agua superficial utilizando una lancha para el arrastre a una velocidad promedio de 3 km/h por un tiempo de 10 minutos, y una sondas multiparamétrica HANNA HI 9829 para la determinación, de los parámetros de campo de pH, potencial redox, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno, temperatura, y una sonda multiparamétrica HACH HQ40 para la medición de

conductividad y total de sólidos disueltos. Se utilizó una lancha de 25 pies de eslora, del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación MAGA, quien también proporcionó al lancharo.

10.2.2 Ubicación geográfica de los sitios de muestreo ubicados en el lago Petén Itzá.

A continuación, se presentan los datos del posicionamiento geográfico de los 18 sitios de muestreo que se ubicaron en el lago Petén Itzá.

Tabla 2. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo ubicados en el lago Petén Itzá

	Sitio de muestreo	Norte	Oeste
1	Petencito	16°55'29.7"	89°52'10.5"
2	San Miguel	16°56'06.6"	89°53'27.2"
3	Santa Elena	16°55'29.9"	89°53'35.6"
4	Sacpuy	16°56'39.4"	89°58'29.8"
5	San Andrés	16°57'57.9"	89°54'33.7"
6	Camino Real	16°59'48.0"	89°47'26.3"
7	El Centro	16°59'48.5"	89°49'35.4"
8	3 Naciones	16°59'04.5"	89°45'31.8"
9	Río Ixlú	16°58'05.5"	89°42'34.7"
10	El Remate	16°59'19.6"	89°41'37.0"
11	Jobompiche	17°00'48.0"	89°46'0.1"
12	Centro frente San Pedro	17°00'21.2"	89°50'28.1"
13	San Pedro	17°00'42.1"	89°50'20.2"
14	San José	16°58'49.1"	89°54'00.4"
15	La Chingada	16°56'44.3"	89°55'44"
16	El Jobo	16°55'04.9"	89°51'21.4"
17	Le Pet	16°56'34.8"	89°54'25.2"
18	San Benito	16°55'45.0"	89°54'02.0"

Fuente: datos propios.

Figura 1. Mapa de los sitios de muestreo ubicados en el lago Petén Itzá-



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3 Análisis de parámetros fisicoquímicos en el campo

Parámetros como el pH, potencial redox, oxígeno disuelto y en porcentaje, temperatura, conductividad del agua, sólidos totales disueltos se midieron en el campo, por medio de medidores multiparamétricos HANNA y HACH. Se midió la visibilidad con un disco Secchi.

10.2.4 Análisis de microplásticos

Los microplásticos se analizaron luego de su separación y purificación según metodología de Masura et al. (2015). Las partículas se clasificaron por tipo utilizando un estereoscopio en el Laboratorio de Investigación Química y Ambiental -LIQA del departamento de Análisis Inorgánico de la Escuela de Química durante el primer muestreo realizado en el mes de abril de 2022. Las muestras colectadas durante el mes de octubre y noviembre de 2022, se separaron, purificaron y clasificaron en laboratorio acondicionado en una residencia ubicada en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, con un área para poder digerir las muestras y clasificarlas utilizando un estereoscopio.

10.3 Recolección de información

El universo del estudio está constituido por los componentes bióticos y abióticos del lago Petén Itzá y sus principales afluentes. La muestra correspondió el agua que colectada en 18 puntos del lago en cuatro diferentes muestreos realizados entre abril de 2022 y enero 2023, y sedimentos que se colectaron en 14 puntos colectados durante el mes de abril de 2022, los cuales fueron seleccionados con base en estudios previos en el lago Petén Itzá y en 48 peces, de los cuales 36 correspondieron a pez blanco (*Petenia splendida*), 7 mojarras (*Vieja melanurus*), 2 Bull (*Mayaheros urophthalmus*), 2 guapotes (*Parachromis managuensis*) y un San Pedrana (*Trichromis salvini*), que fueron colectados con ayuda de pescadores locales, durante los muestreos realizados en septiembre y octubre de 2022. Las muestras de agua para el análisis de microplásticos se realizaron por colecta de microplásticos en agua superficial, utilizando una red de arrastre jalada por lancha durante 10 minutos a una velocidad aproximada de 3 kilómetros por hora. Se realizaron 3 transectos, uno en el área de Petencito con una distancia de 0.567 km, otro en el área de Santa Elena, con una distancia recorrida de 0.600 km y el tercero en el río Ixlú con una distancia de 0.600 km. Los muestreos se realizaron en una lancha del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación -MAGA-. Se utilizó equipo de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia que consistió en equipo multiparamétrico para la medición de parámetros físicos y químicos, draga Ekman para la colecta de sedimentos, red de microplásticos, botellas plásticas y de vidrio para almacenar las muestras de agua y transportarlas para su posterior análisis.

Los muestreos se realizaron en abril, septiembre y octubre de 2022 y enero de 2023, para abarcar la estación seca (abril de 2022 y enero de 2023), y la estación lluviosa (septiembre y octubre de 2022) y determinar variaciones en los diferentes parámetros en el agua con el régimen de lluvias. Los sedimentos se colectaron únicamente en el mes de abril ya que, por ser dependientes del material depositado, no presentan mucha variabilidad en períodos cortos de tiempo.

Los peces se clasificaron en el laboratorio por rango de tamaño, y presentaron tallas entre 14.4 a 26.8 cm, de los cuales se colectaron 21 hembras y 15 machos.

10.4 Técnicas e instrumentos

10.4.1 Colecta de agua y sedimentos:

Las muestras de agua y sedimentos se colectaron de acuerdo con procedimientos estandarizados de EPA (1986) y APHA, AWWA & WEF (1998). Para el análisis de microplásticos se utilizó la metodología de colecta en campo establecida por López (2018) por medio de arrastre con red de 300 μm . Se evaluaron tres transectos, arrastrando la red con ayuda de una lancha por diez minutos a una velocidad aproximada de tres kilómetros por hora. Las muestras colectadas se almacenaron en frascos de vidrio con etanol al 70% para su posterior análisis.

Los sedimentos superficiales se colectaron por medio de una draga Ekman, almacenándose una fracción en botellas de vidrio y en bolsas plásticas, para su traslado y posterior análisis.

10.4.2 Mediciones de parámetros fisicoquímicos en el campo

La medición de pH, potencial redox, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno se realizó por medio de sondas portátiles en cada sitio de muestreo. La transparencia y la profundidad en aguas someras, se midió utilizando un disco de Secchi según metodología de Bicudo & Bicudo (2004).

10.4.3 Determinación de microplásticos en peces y agua

Las muestras de microplásticos en agua superficial se analizaron de acuerdo con las modificaciones de López (2018) al protocolo de la NOAA (Masura et al. 2015). Las muestras colectadas se pasaron por un tamiz de 5 mm, eliminando todas las partículas mayores a ese tamaño y recobrando el resto en un vaso de precipitados, determinándose el peso. Posteriormente se colocaron en un horno a 90 °C donde se secaron. El residuo fue digerido con 20 mL de solución de Fe IV (7.5 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ + 3 mL HSO_4 + 500 mL H_2O) y 20 mL de H_2O_2 30%. Al vaso de precipitados se le colocó un agitador magnético y se puso en una estufa, tapado con un vidrio de reloj, a una temperatura de 75 °C. Si se seguía observando materia orgánica se añadieron otros 20 mL de H_2O_2 30% hasta que ya no se observara más. Se añadieron ~6 g de sal común (NaCl) por cada 20 mL de muestra que se tenía para hacer una separación por densidad, la mezcla se calentó a 75 °C hasta que la sal se disolviera. El

digesto obtenido se transfirió a un separador de densidad cubierto con aluminio, dejando ocurriera la separación por un tiempo de 24 h. Los microplásticos que se observaron flotando fueron colectados con pinzas y el resto se separó utilizando filtros de fibra de vidrio. Los filtros fueron secados en horno y se determinó el tipo y color de los microplásticos, vistos bajo el estereoscopio a 40x, y se clasificaron por tipo y color.

Las muestras de sedimento se analizaron de acuerdo con el protocolo de la NOAA (Masura et al., 2015) y las recomendaciones de Santos Ruiz (2020). Se pesaron 100 g de sedimento húmedo, este se añadió a un vaso de precipitados de 250 mL previamente etiquetado. Se preparó una solución sobresaturada de sal (40 g NaCl/100 mL H₂O), la cual se filtró para eliminar la posible contaminación. Se realizó una separación por densidad añadiendo la solución de sal en un volumen igual al doble que ocupaba el sedimento en el vaso de precipitados. Se agitó rápidamente durante 5 min para homogeneizar, se taparon los vasos con papel aluminio y se esperó 24 h a que la separación se diera. El sobrenadante se filtró, el filtro se puso a secar y se observó bajo el estereoscopio a 40x para determinar el tipo y color de microplásticos. El procedimiento fue repetido tres veces en cada una de las muestras para asegurar que la mayoría de microplásticos fueran extraídos de la muestra.

El análisis de microplásticos en el tracto digestivo de los peces se realizó siguiendo la metodología propuesta por de Vries y colaboradores (2020) y recomendaciones hechas por Santos Ruiz (2020). Se realizó la medición del largo total de los individuos y se determinó la especie a la que pertenecía. A continuación, utilizando un kit de disección se extrajo el tracto digestivo de los peces, el cual se colocó en un vaso de precipitados y se trató con hidróxido de sodio al 10 % (1:10 p/v) y calor por al menos 8 h, cuidando de estarlo agitando y liberando los vapores. El digesto fue filtrado al vacío con filtros de fibra de vidrio, que posteriormente se pusieron a secar. El contenido de los microplásticos fue analizado bajo un estereoscopio a 40x y cuantificados manualmente según tipo y color (Masura et al. 2015).

Para asegurar que no existiera contaminación, se dejó una caja Petri con agua desmineralizada cada vez que se realizaba un procedimiento y posteriormente se observaba. No se encontró contaminación que pudiera afectar los resultados obtenidos.

10.5 Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Tabla 3. Operacionalización de las variables del proyecto

Objetivos específicos	Variables o unidades de análisis que fueron consideradas	Forma en que se midieron, clasificaron o cualificaron
Clasificar los microplásticos presentes en agua, sedimentos y peces del lago Petén Itzá.	Variable independiente: puntos de muestreo, individuos de pez blanco y mes de colecta Variables dependientes: Tipo y cantidad de microplásticos en agua, peces y sedimentos.	Color, tamaño, forma. Se analizaron bajo un estereoscopio.
Determinar los principales parámetros fisicoquímicos en el agua del lago Petén Itzá.	Variable independiente: puntos de muestreo y mes de colecta. Variables dependientes: Concentración y valores de los parámetros fisicoquímicos a evaluar.	Se cuantificaron en unidades de concentración: mg/L

10.6 Procesamiento y análisis de la información

Los resultados fueron procesados por medio de tablas en que se relacionan los puntos de muestreo, con los parámetros medidos. Para los parámetros fisicoquímicos se calcularon medias para cada punto de muestreo y medias por muestreo para todos los puntos. Estas medias fueron utilizadas para comparar las variaciones entre puntos de muestreo y entre meses.

Se tabularon las frecuencias de microplásticos en las muestras de agua superficial de los tres transectos colectados durante el mes de abril y se utilizaron para describir los tipos de microplásticos presentes en el área. Las frecuencias de microplásticos en los tractos de los peces se utilizaron para describir los tipos de microplásticos que ingieren los peces así como los depositados en los sedimentos y los que se encuentran en el agua superficial.

11 Resultados y discusión

11.1 Resultados

En las secciones siguientes se presentan los resultados de las mediciones de campo realizadas en el lago Petén Itzá durante los cuatro muestreos efectuados en abril, agosto y octubre de 2022, y en enero de 2023. También se presentan los resultados de microplásticos en sedimentos, peces y agua del lago Petén Itzá.

11.1.1 Determinación de pH medido en agua superficial en el lago Petén Itzá.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de pH obtenidos en el lago de Petén Itzá durante los cuatro muestreos realizados en el proyecto. El valor promedio de pH para todos los sitios de muestreo durante los cuatro muestreos fue de 8.24 siendo así el lago Petén Itzá de carácter básico. El pH promedio entre muestreos varió muy poco, observándose el menor valor promedio en octubre de 2022 con 8.13 y el mayor valor promedio en enero de 2023 con 8.24, En cuanto a los puntos de muestreos, dos puntos presentaron un valor promedio de pH ligeramente ácido, siendo Sacpuy con 7.99 y El Jobo con 7.93, lo cual puede ser indicio de mayor contaminación. El menor valor de pH se observó en Sacpuy en octubre de 2022 con 7.61, mientras que el mayor valor se observó en Petencito en enero de 2023 con 8.42.

Tabla 4. Determinación de pH durante los muestreos del lago Petén Itzá.

No.	Punto de muestreo	Abril/2022	Ago/2022	Oct/2022	Enero 2023	Promedio
1	Petencito	8.23	8.14	8.16	8.42	8.24
2	San Miguel	8.41	8.38	8.14		8.31
3	Santa Elena	8.27	8.37	8.12		8.25
4	Sacpuy	8.29	7.96	7.61	8.08	7.99
5	San Andrés	8.40	8.30	8.29	8.22	8.30
6	Camino Real	8.31	8.41	8.25	8.24	8.30
7	El Centro	8.31	8.22	8.29	8.27	8.27
8	3 Naciones	8.30	8.71	8.21	8.38	8.40
9	Río Ixlú	8.22	8.19	7.61	8.03	8.01
10	El Remate	8.28	8.37	8.14	8.34	8.28
11	Jobompiche	8.35	8.22	8.27	8.2	8.26
12	Centro frente San Pedro		8.32	8.33		8.33
13	San Pedro		8.34	8.37	8.33	8.35
14	San José		8.37	8.26	8.31	8.31
15	La Chingada		8.35	8.25	8.27	8.29
16	El Jobo		8.32	7.74	7.74	7.93
17	Le Pet			8.21	8.32	8.27
18	San Benito			8.14	8.29	8.22
	Promedio	8.31	8.31	8.13	8.23	8.24

Fuente: datos experimentales.

11.1.2 Determinación de potencial de óxido reducción medidas en campo en agua superficial en el lago Petén Itzá.

En la Tabla 5 se presentan los resultados del potencial de óxido-reducción medidos en el lago Petén Itzá durante los cuatro muestreos realizados. En todos los puntos de muestreo durante los cuatro muestreos se observaron valores negativos, lo que indica que el agua del lago Petén Itzá posee condiciones reductoras. Los valores promedio extremos fueron en enero de 2023 con -100.5 mV y en abril de 2022 con -39.9 mV. El valor promedio para todos los puntos durante los cuatro muestreos fue de -90.5 mV.

Tabla 5. Potencial de óxido-reducción(mV) durante los muestreos realizados en el lago Petén Itzá.

Fuente datos experimentales

No.	Punto de muestreo	Abril/2022	Ago/2022	Oct/2022	Enero 2023	Promedio
1	Petencito	-63.6	-85.6	-88.3	-110.8	-87.1
2	San Miguel		-100.2	-87.7		-94.0
3	Santa Elena	-65.8	-99.8	-86.5		-84.0
4	Sacpuy	-66.7	-74.5	-54.7	-90.2	-71.5
5	San Andrés	-73.6	-94.7	-96.5	-98.8	-90.9
6	Camino Real	-67.7	-101.8	-94.2	-91.8	-88.9
7	El Centro	-67.5	-89.6	-96.3	-101.4	-88.7
8	3 Naciones	-67.5	-92.9	-91.6	-107.9	-90.0
9	Río Ixlú	-62.6	-88.5	-55.4	-86	-73.1
10	El Remate	-65.8	-99.0	-87.3	-104.3	-89.1
11	Jobompiche	-97.9	-97.9	-95.3	-96.5	-96.9
12	Centro frente San Pedro		-96.3	-98.7		-97.5
13	San Pedro		-97.3	-101.2	-104.9	-101.1
14	San José		-94.4	-94.2	-104.3	-97.6
15	La Chingada		-98.3	-93.8	-102.1	-98.1
16	El Jobo		-97.6	-77.6		-87.6
17	Le Pet			-91.2	-104.7	-98.0
18	San Benito			-86.9	-103.3	-95.1
	Promedio	-69.9	-94.3	-87.6	-100.5	-90.5

Fuente: datos experimentales.

11.1.3 Determinación de temperatura ambiental en agua superficial en el lago Petén Itzá.

En la tabla 6 se presentan los valores de la medición de la temperatura ambiental durante los muestreos realizados en el lago Petén Itzá. La temperatura promedio más baja se observó en el mes de enero de 2023 con 27.39°C mientras que la temperatura promedio más elevada se observó en agosto de 2022 con 31.51°C. La temperatura promedio para los cuatro muestreos fue de 29.55°C para todos los puntos de muestreo.

Tabla 6. Temperatura ambiental (°C) durante los muestreos del lago Petén Itzá

No.	Punto de muestreo	Abril/2022	Ago/2022	Oct/2022	Enero 2023	Promedio
1	Petencito	29.88	31.86	30.02	27.88	29.91
2	San Miguel	30.59	32.06	30.58		31.08
3	Santa Elena	30.72	32.75	29.76		31.08
4	Sacpuy	30.74	32.64	27.9	27.51	29.70
5	San Andrés	29.8	31.15	30.13	27.35	29.61
6	Camino Real	27.8	31.51	29.94	27.56	29.20
7	El Centro	27.88	30.57	29.92	27.32	28.92
8	3 Naciones	28.13	31.32	29.32	27.22	29.00
9	Río Ixlú	28.14	30.92	26.58	25.15	27.70
10	El Remate	27.72	31.32	29.62	27.32	29.00
11	Jobompiche		31.81	29.98	27.58	29.79
12	Centro frente San Pedro		30.69	29.75		30.22
13	San Pedro		30.86	30.27	27.43	29.52
14	San José		31.28	29.98	27.58	29.61
15	La Chingada		31.92	29.39	28.3	29.87
16	El Jobo		31.53	29.58		30.56
17	Le Pet			29.72	27.44	28.58
18	San Benito			29.35	27.79	28.57
	Promedio	29.14	31.51	29.54	27.39	29.55

Fuente: datos experimentales.

11.1.4 Determinación de oxígeno disuelto medido en agua superficial en el lago Petén Itzá.

En la Tabla 7 presenta los resultados de oxígeno disuelto determinados en el agua superficial del lago Petén Itzá durante los cuatro muestreos. El valor promedio para todos los sitios durante los cuatro muestreos fue de 8.2 mg/L. Los sitios que presentaron los menores valores promedio de oxígeno disuelto fueron Le Pet y San Benito con 7.13 mg/L y Sacpuy con 7.29 mg/L. En cuanto a los muestreos, el menor valor de oxígeno disuelto se encontró en enero de 2023 con 6.20 mg/L y el mayor en agosto de 2022, con 11.32 mg/L.

Tabla 7. Oxígeno disuelto (mg/L) durante los muestreos del lago Petén Itzá.

No.	Punto de muestreo	Abril/2022	Ago/2022	Oct/2022	Enero 2023	Promedio
1	Petencito	8.85	11.81	7.77	7.08	8.88
2	San Miguel	8.03	11.75	7.62		9.13
3	Santa Elena	7.84	11.63	7.47		8.98
4	Sacpuy	7.41	9.97	5.38	6.41	7.29
5	San Andrés	8.15	10.54	7.73	5.89	8.08
6	Camino Real	7.6	11.34	7.3	5.65	7.97
7	El Centro	7.63	11.42	7.55	5.57	8.04
8	3 Naciones	7.45	11.12	7.5	5.42	7.87
9	Río Ixlú	7.66	14.36	6.57	6.62	8.80
10	El Remate	7.3	11.43	6.99	6.29	8.00
11	Jobompiche		11.07	7.32	5.44	7.94
12	Centro frente San Pedro		11.00	7.55		9.28
13	San Pedro		10.65	7.36	5.74	7.92
14	San José		10.62	7.59	6.33	8.18
15	La Chingada		10.91	7.26	6.49	8.22
16	El Jobo		11.56	7.33		9.45
17	Le Pet			7.29	6.97	7.13
18	San Benito			7.3	6.96	7.13
	Promedio	7.79	11.32	7.27	6.20	8.24

Fuente: datos experimentales.

11.1.5 Determinación de porcentaje de oxígeno medido en agua superficial en el lago Petén Itzá.

En la Tabla 8 presenta los resultados de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto determinados en el agua superficial del lago Petén Itzá durante los cuatro muestreos. El valor promedio para todos los sitios durante los cuatro muestreos fue de 109.4 %. Los sitios que presentaron los menores valores promedio de oxígeno disuelto fueron Le Pet con 94.1% y San Benito con 94.3 % y Sacpuy con 99.3 %. En cuanto a los muestreos, el menor valor de oxígeno disuelto se encontró en enero de 2023 con 80.2 % mg/L y el mayor en agosto de 2022, con 156.7 %.

Tabla 8. Porcentaje de saturación de oxígeno en el agua superficial durante los muestreos del lago Petén Itzá.

No.	Punto de muestreo	Abril/2022	Ago/2022	Oct/2022	Enero 2023	Promedio
1	Petencito	119.2	164.7	104.4	92.5	120.2
2	San Miguel	108.8	163.6	103.5		125.3
3	Santa Elena	106.8	164.0	99.7		123.5
4	Sacpuy	102.4	140.3	71	83.5	99.3
5	San Andrés	110.3	141.8	103.6	76.1	108.0
6	Camino Real	98.4	157.3	98.4	72.9	106.8
7	El Centro	99.6	155.4	101.4	71.7	107.0
8	3 Naciones	96.6	151.7	99.5	69	104.2
9	Río Ixlú	99.7	204.9	83.3	82.6	117.6
10	El Remate	95.9	157.9	93	80.4	106.8
11	Jobompiche		153.9	98.5	69.7	107.4
12	Centro frente San Pedro		149.2	101		125.1
13	San Pedro		146.2	98.8	74	106.3
14	San José		145.3	102.1	82	109.8
15	La Chingada		150.8	96.5	86.3	111.2
16	El Jobo		159.4	97.5		128.5
17	Le Pet			97.4	90.8	94.1
18	San Benito			97.5	91.1	94.3
	Promedio	103.8	156.7	97.1	80.2	109.4

Fuente: datos experimentales.

11.1.6 Determinación de conductividad medida en agua superficial en el lago Petén Itzá.

En la Tabla 9 pueden observarse los resultados de las mediciones de conductividad en el lago Petén Itzá durante los cuatro muestreos realizados en el proyecto. La conductividad promedio fue superior a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los meses de abril y agosto de 2022, y en enero de 2023, mientras que en octubre se encontró la menor conductividad promedio con 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las menores conductividades promedio a lo largo del año se encontraron en los puntos de muestreo en Sacpuy que presentó 311 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la en el río Ixlú, con 465 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en El Jobo con 487 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El punto de muestreo que presentó la mayor conductividad promedio fue Santa Elena con 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El mes en que se observó la menor conductividad promedio fue octubre de 2022 con 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que la mayor conductividad promedio se observó en enero de 2023 con 521 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductividad promedio para todos los puntos de muestreo durante los cuatro muestreos fue de 507 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabla 9. Conductividad del agua ($\mu\text{S}/\text{cm}$) durante los muestreos del lago Petén Itzá.

No.	Punto de muestreo	Abril/2022	Ago/2022	Oct/2022	Enero 2023	Promedio
1	Petencito		520	488	529	512
2	San Miguel	511	515	507		511
3	Santa Elena	517	599	504		540
4	Sacpuy	502	470	311	471	439
5	San Andrés	496	521	510	524	513
6	Camino Real	501	520	509	524	514
7	El Centro	488	520	510	524	511
8	3 Naciones	500	533	505	521	515
9	Río Ixlú	498	473	362	528	465
10	El Remate	497	517	511	522	512
11	Jobompiche		522	510	523	518
12	Centro frente San Pedro		506	509		508
13	San Pedro		522	510	523	518
14	San José		521	512	523	519
15	La Chingada		514	506	524	515
16	El Jobo		504	470		487
17	Le Pet			508	523	516
18	San Benito			508	530	519
	Promedio	501	517	486	521	507

Fuente: datos experimentales.

11.1.7 Determinación de sólidos disueltos totales en agua superficial en el lago Petén Itzá.

En la Tabla 10 se presentan los resultados de sólidos disueltos totales en el agua superficial del lago Petén Itzá durante los cuatro muestreos realizados. En general no hubo mucha variación en los valores encontrados en los cuatro muestreos, presentándose el menor valor promedio para muestreos en octubre de 2022 con 243 mg/L y el mayor valor promedio enero de 2023 con 260 mg/L. El valor promedio para todos los puntos y todos los muestreos fue 253 mg/L. Dos puntos presentaron el mayor valor promedio durante los cuatros muestreos, siendo San Pedro y San José, con 259 mg/L, mientras que el menor valor promedio se registró en Sacpuy con 220 mg/L.

Tabla 10. Sólidos disueltos totales (mg/L) durante los muestreos del lago Petén Itzá.

No.	Punto de muestreo	Abril/2022	Ago/2022	Oct/2022	Enero 2023	Promedio
1	Petencito		260	244	265	256
2	San Miguel	256	258	253		256
3	Santa Elena	258	262	252		257
4	Sacpuy	251	235	158	235	220
5	San Andrés	248	261	255	262	257
6	Camino Real	250	260	255	262	257
7	El Centro	244	260	255	262	255
8	3 Naciones	249	266	252	261	257
9	Río Ixlú	249	239	182	264	234
10	El Remate	248	259	256	261	256
11	Jobompiche		261	255	262	259
12	Centro frente San Pedro		252	254		253
13	San Pedro		261	255	261	259
14	San José		260	256	261	259
15	La Chingada		257	253	262	257
16	El Jobo		252	234		243
17	Le Pet			254	261	258
18	San Benito			254	261	258
	Promedio	250	256	243	260	253

Fuente: datos experimentales.

11.1.8 Determinación de visibilidad en columna de agua en el lago Petén Itzá.

En la Tabla 11 se presentan los resultados de visibilidad o transparencia en la columna de agua del lago Petén Itzá durante tres de los cuatro muestreos efectuados. Las mediciones de agosto no pudieron efectuarse ya que no se contó con disco Secchi, al no poder obtenerse por estar cerrado el campus universitario. La visibilidad promedio para todos los puntos de muestreo durante los cuatro muestreos fue de 3.05 m, siendo el punto de muestreo en San Pedro el que presentó la mayor visibilidad promedio con 5.0 m y Sacpuy el que presentó la menor visibilidad promedio con 1.17 m. En cuanto a los muestreos, en abril de 2022 se observó la menor visibilidad promedio con 2.75 m, mientras que la mayor visibilidad promedio se obtuvo en enero de 2023 con 4.33 m.

Tabla 11. Visibilidad en la columna de agua (m) durante los muestreos del lago Petén Itzá.

No.	Punto de muestreo	Abril/2022	Ago/2022	Oct/2022	Enero 2023	Promedio
1	Petencito	2.00		1.5	3	2.17
2	San Miguel	1.50		1.5		1.50
3	Santa Elena	1.50		1.50		1.50
4	Sacpuy	1.50		1.00	1	1.17
5	San Andrés	4.00		4.00	5	4.33
6	Camino Real	3.50		3.50	5.5	4.17
7	El Centro	4.50		3.00	6	4.50
8	3 Naciones	3.50		3.00	5	3.83
9	Río Ixlú	2.00		0.90	2.5	1.80
10	El Remate	3.50		2.00	4	3.17
11	Jobompiche			2.50	5.5	4.00
12	Centro frente San Pedro			4.00		4.00
13	San Pedro			4.00	6	5.00
14	San José			4.00	4.5	4.25
15	La Chingada			2.00	4	3.00
16	El Jobo			1.20		1.20
17	Le Pet			3.40		3.40
18	San Benito			2.00		2.00
	Promedio	2.75		2.50	4.33	3.05

Fuente: datos experimentales.

11.1.9 Determinación de color en agua superficial en el lago Petén Itzá.

Los resultados de la observación de color del agua superficial del lago Petén Itzá se presentan en la Tabla 12. En general, el agua del lago Petén Itzá presenta una coloración entre verde clara, esmeralda, turquesa y verde musgo, característica de lagos en regiones kársticas. Únicamente en los sitios en Sacpuy y en el río Ixlú se presentó una coloración café, probablemente por una mayor presencia de sólidos y contenido férrico.

Tabla 12. Determinación de color en el agua durante los muestreos del lago Petén Itzá.

No.	Punto de muestreo	Abril/2022	Ago/2022	Oct/2022	Enero 2023
1	Petencito	Verde	Verde	Verde musgo	Verde
2	San Miguel	Verde claro	Verde	Verde	
3	Santa Elena	Verde claro	Verde	Verde musgo	
4	Sacpuy	Verde claro	Café	Café	Verde musgo Verde esmeralda
5	San Andrés	Verde Aqua	Verde aqua	Aqua	Verde esmeralda
6	Camino Real	Verde esmeralda	Verde esmeralda	Verde esmeralda	Verde esmeralda
7	El Centro	Verde esmeralda	Verde esmeralda	Aqua	Verde esmeralda
8	3 Naciones	Verde aqua	Turquesa	Aqua	Verde aqua
9	Río Ixlú	Verde aqua	Incolora	Café	Verde oscuro Verde esmeralda
10	El Remate	Verde Aqua	Verde musgo Verde esmeralda	Verde esmeralda Verde esmeralda	Verde esmeralda Verde esmeralda
11	Jobompiche				
12	Centro frente San Pedro		Verde aqua	Aqua	Verde esmeralda
13	San Pedro		Verde aqua	Aqua	Verde esmeralda
14	San José		Verde aqua	Aqua	Verde esmeralda
15	La Chingada		Verde aqua	Verde oscuro	Verde esmeralda
16	El Jobo		Verde	Verde musgo Verde esmeralda	Verde esmeralda
17	Le Pet			Verde esmeralda	Verde esmeralda
18	San Benito			Verde musgo	Verde

Fuente: datos experimentales.

11.1.10 Determinación de microplásticos en muestras de sedimentos colectados en el lago Petén Itzá.

En la Tabla 13 se presentan los resultados de los microplásticos encontrados en sedimentos de 14 puntos del lago Petén Itzá donde se colectaron sedimentos. El punto en el que los sedimentos presentaron la mayor concentración de microplásticos totales fue San Benito, al encontrarse un total de 353 ítems en 100 g para un equivalente de 3.53 ítems por gramo de sedimento, mientras que el que presentó la menor concentración fue el punto en San Andrés con 109 ítems encontrados en 100 gramos analizados, para un equivalente de 1.09 ítems por gramo. El tipo de microplástico más abundante fueron las fibras, con 2886 ítems, que representan el 89.1 % de los microplásticos totales encontrados, seguido por los films con 224 (6.9 %); se encontraron 84 fragmentos (2.6 %) y 45 espumas (1.4 %).

Tabla 13. Tipos de microplásticos encontrados en sedimentos del lago Petén Itzá.

Punto	Sitio	Fibra	Frag- mento	Film	Espuma	Total por sitio
P1	Petencito	164	2	15	0	181
P3	Santa Elena	119	1	9	5	134
P4	Sacpuy	140	2	4	1	147
P5	San Andrés	98	5	6	0	109
P6	Camino Real	135	3	14	5	157
P8	Tres Naciones	218	18	29	3	268
P9	Río Ixlú	221	5	19	4	249
P10	El Remate	242	3	20	2	267
P13	San Pedro	269	15	22	1	307
P14	San José	273	10	28	4	315
P15	La Chingada	302	6	24	3	335
P16	El Jobo	143	6	5	16	170
P17	Le Pet	228	3	16	0	247
P18	San Benito	334	5	13	1	353
	Total	2886	84	224	45	3239

Fuente: datos propios.

11.1.11 Determinación de microplásticos en muestras de peces colectados en el lago Petén Itzá.

En la Tabla 14 se presentan los datos de los peces colectados en el lago Petén Itzá durante 2022 y los tipos de microplásticos encontrados en los mismos. Del total de 48 peces colectados en los muestreos 2 y 3 realizados en septiembre y octubre de 2023, respectivamente, 36 correspondieron a pez blanco (*Petenia splendida*), 7 a *Vieja melanurus*, 2 a *Mayaheros urophthalmus*, 2 a *Parachromis managuensis*, y uno a *Trichromis salvini*. Los individuos de pez blanco, se presentaron tallas entre 14.4 a 26.8 cm, siendo 21 hembras y 15 machos. En cuanto a los tipos de microplásticos encontrados en el tracto digestivo de los peces colectados, de los 48 peces analizados 39 presentaron microplásticos. Se encontraron un total de 282 microplásticos en los 48 peces analizados, siendo las fibras son el tipo de microplásticos más encontrado, seguido por los films. Dos individuos de *P. splendida* (número 5 y 13) y otro de *P. managuensis* (26) fueron los que presentaron una mayor cantidad de microplásticos, con 13 cada uno, mientras que tres individuos de *P. splendida* presentaron 12 microplásticos (números 23, 25 y 31).

Tabla 14. Distribución de microplásticos por tipo, en peces del lago Petén Itzá.

No.	Especie	Sexo (M/H)	Longitud (cm)	Fibras	Fragmentos	Film	Espumas	Total
1	<i>Petenia splendida</i>	M	25	9	0	0	0	9
2	<i>Petenia splendida</i>	H	22	5	0	0	0	5
3	<i>Petenia splendida</i>	H	25.5	8	0	2	0	10
4	<i>Petenia splendida</i>	H	25	6	0	2	0	8
5	<i>Petenia splendida</i>	H	21.7	13	0	0	0	13
6	<i>Petenia splendida</i>	H	22.3	9	0	0	0	9
7	<i>Petenia splendida</i>	H	18.1	9	1	0	0	10
8	<i>Petenia splendida</i>	H	25.4	11	0	0	0	11
9	<i>Petenia splendida</i>	H	23.1	9	0	0	0	9
10	<i>Petenia splendida</i>	H	22.7	8	0	0	0	8
11	<i>Petenia splendida</i>	M	26.3	8	0	2	0	10
12	<i>Petenia splendida</i>	H	21.1	9	0	0	0	9
13	<i>Petenia splendida</i>	M	22.4	13	0	0	0	13
14	<i>Petenia splendida</i>	H	23.5	7	1	1	0	9
15	<i>Vieja melanurus</i>	H	16.5	0	0	0	0	0
16	<i>Vieja melanurus</i>	M	14.4	1	0	0	0	1

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

17	<i>Vieja melanurus</i>	M	16.6	4	0	0	0	4
18	<i>Vieja melanurus</i>	M	15.3	4	0	0	0	4
19	<i>Vieja melanurus</i>	M	16.4	2	0	0	0	2
20	<i>Vieja melanurus</i>	M	22.7	3	0	0	0	3
21	<i>Vieja melanurus</i>	H	15.4	0	0	0	0	0
22	<i>Mayaheros urophthalmus</i>	H	20.5	5	0	0	0	5
23	<i>Mayaheros urophthalmus</i>	M	18.9	12	0	0	0	12
24	<i>Trichromis salvini</i>	M	16.9	11	0	0	0	11
25	<i>Parachromis managuensis</i>	M	17.3	12	0	0	0	12
26	<i>Parachromis managuensis</i>	H	23.5	11	0	2	0	13
27	<i>Petenia splendida</i>	M	22.8	2	0	0	0	2
28	<i>Petenia splendida</i>	M	24	10	0	0	0	10
29	<i>Petenia splendida</i>	M	26.5	9	1	1	0	11
30	<i>Petenia splendida</i>	M	22.3	8	0	0	0	8
31	<i>Petenia splendida</i>	M	19.6	12	0	0	0	12
32	<i>Petenia splendida</i>	H	20.1	0	0	0	0	0
33	<i>Petenia splendida</i>	H	23.6	6	0	0	0	6
34	<i>Petenia splendida</i>	M	22.2	7	0	0	0	7
35	<i>Petenia splendida</i>	M	24.6	0	0	0	0	0
36	<i>Petenia splendida</i>	M	26.8	0	0	0	0	0
37	<i>Petenia splendida</i>	H	22	3	0	0	0	3
38	<i>Petenia splendida</i>	H	24.6	7	0	0	0	7
39	<i>Petenia splendida</i>	H	23.3	0	0	1	0	1
40	<i>Petenia splendida</i>	M	25.6	0	0	0	0	0
41	<i>Petenia splendida</i>	H	21.2	1	0	0	0	1
42	<i>Petenia splendida</i>	H	20.3	4	0	0	0	4
43	<i>Petenia splendida</i>	M	20.5	0	0	0	0	0
44	<i>Petenia splendida</i>	M	17.8	3	0	0	0	3
45	<i>Petenia splendida</i>	H	23.4	0	0	0	0	0
46	<i>Petenia splendida</i>	H	21.6	2	0	0	0	2
47	<i>Petenia splendida</i>	M	19.9	5	0	0	0	5
48	<i>Petenia splendida</i>	H	25.4	0	0	0	0	0
	<i>Total</i>	---	---	268	3	11	0	282
								5.87
	<i>Promedio</i>	---	21.60	3.27	0.01	0.04	0	5

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 15 presenta los resultados de color de los microplásticos encontrados en los peces colectados en el lago Petén Itzá. Se encontraron microplásticos de los siguientes colores: verde, transparente, rojo, negro, café, morado celeste, amarillo, azul, rosado y blanco, sin un patrón característico aparente.

Tabla 15. Distribución de microplásticos por color en peces del lago Petén Itzá.

Número	Tipo	Color	Cantidad
1	Fibra	Verde	1
	Fibra	Transparente	2
	Fibra	Roja	2
	Fibra	Negra	3
2	Film	Transparente	2
	Fibra	Café	1
	Fibra	Morada	1
	Fibra	Celeste	1
3	Fibra	Amarilla	2
	Fibra	Negra	1
	Fibra	Roja	5
4	Film	Transparente	1
	Film	Blanco	1
	Fibra	Transparente	6
5	Fibra	Negra	2
	Fibra	Azul	3
	Fibra	Negra	2
	Fibra	Amarilla	3
	Fibra	Café	1
6	Fibra	Azul	3
	Fibra	Celeste	2
	Fibra	Amarilla	4
7	Film	Amarillo	1
	Fibra	Transparente	9
8	Fibra	Roja	6
	Fibra	Café	3
	Fibra	Morada	2
9	Fibra	Transparente	3
	Fibra	Amarilla	2
	Fibra	Roja	1
	Fibra	Negra	3

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

10	Fibra	Verde	3
	Fibra	Rosada	2
	Fibra	Transparente	3
11	Fibra	Negra	1
	Fibra	Verde	2
	Fibra	Transparente	2
	Film	Blanco	2
	Fibra	Blanca	1
	Fibra	Azul	2
12	Fibra	Verde	2
	Fibra	Negra	5
	Fibra	Rosada	2
13	Fibra	Transparente	5
	Fibra	Negra	3
	Fibra	Verde	4
	Fibra	Celeste	3
14	Fragmento	Transparente	1
	Film	Blanco	1
	Fibra	Roja	2
	Fibra	Negra	2
	Fibra	Azul	3
15	x	x	x
16	Fibra	Negra	1
17	Fibra	Transparente	3
	Fibra	Roja	1
18	Fibra	Transparente	4
19	Fibra	Verde	1
	Fibra	Transparente	1
20	Fibra	Roja	3
21	x	x	x
22	Fibra	Transparente	5
23	Fibra	Negra	3
	Fibra	Roja	9
24	Fibra	Negra	2
	Fibra	Transparente	4
	Fibra	Roja	3
	Fibra	Azul	2
25	Fibra	Rosada	1
	Fibra	Roja	2
	Fibra	Transparente	3

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

	Fibra	Amarilla	1
	Fibra	Negra	2
	Fibra	Celeste	2
	Fibra	Café	1
26	Film	Blanco	2
	Fibra	Café	2
	Fibra	Azul	1
	Fibra	Transparente	3
	Fibra	Amarilla	2
	Fibra	Verde	3
27	Fibra	Transparente	2
28	Fibra	Transparente	5
	Fibra	Azul	3
	Fibra	Negra	2
29	Fragmento	Transparente	1
	Film	Blanco	1
	Fibra	Roja	4
	Fibra	Negra	5
30	Fibra	Verde	5
	Fibra	Negra	3
31	Fibra	Azul	3
	Fibra	Celeste	1
	Fibra	Transparente	5
	Fibra	Negra	3
32	x	x	x
33	Fibra	Amarilla	1
	Fibra	Rosada	2
	Fibra	Transparente	3
34	Fibra	Transparente	3
	Fibra	Roja	1
	Fibra	Morada	1
	Fibra	Rosada	1
35	x	x	x
36	x	x	x
37	Fibra	Azul	3
38	Fibra	Roja	2
	Fibra	Transparente	4
39	Film	Blanco	1
40	x	x	x
41	Fibra	Celeste	1

42	Fibra	Morada	2
	Fibra	Transparente	1
	Fibra	Roja	1
43	x	x	x
44	Fibra	Transparente	2
	Fibra	Roja	1
45	x	x	x
46	Fibra	Amarilla	1
	Fibra	Transparente	1
47	Fibra	Blanca	2
	Fibra	Negra	2
	Fibra	Azul	1
48	x	x	x

Fuente: Datos experimentales.

11.1.12 Determinación de microplásticos en muestras de agua colectados en el lago Petén Itzá.

En la tabla 16 se presentan los resultados de microplásticos en agua del lago Petén Itzá, obtenidos por arrastre de la red en tres transectos realizados en el lago Petén Itzá en abril de 2022. El primer transecto se realizó partiendo del punto en Petencito hacia el punto en Santa Elena, recorriéndose 0.567 km. El segundo transecto se realizó saliendo del punto en Santa Elena hacia Sacpuy, recorriéndose 600. En el tercer transecto se recorrieron 600 m partiendo de la desembocadura del río Ixlú hacia El Remate. En los tres transectos se colectaron microplásticos, siendo 23 microplásticos el número menor obtenido en el transecto iniciado en el punto de Santa Elena y 35 el número mayor en el transecto iniciando en el río Ixlú. Las fibras son los microplásticos más abundantes, con 25 fibras de 33 microplásticos en el transecto 1, 21 de 23 en el transecto 2 y 32 de 35 en el transecto 6.

Tabla 16. Clasificación de microplásticos obtenidos en tres transectos realizados en agua superficial del lago Petén Itzá en abril de 2022.

Transecto	Tipo	Color	Cantidad
Inicio en Petencito Distancia: 0.567 km Área cubierta: $3.97 \times 10^{-4} \text{ km}^2$ Densidad: 83,123.4 ítems/ km^2 Volumen colectado: 119.1 m^3 Concentración: 0.28 ítems/ m^3	Fibra	Roja	2
	Fibra	Transparente	12
	Fragmento	verde	2
	Fibra	negra	8
	Fibra	Celeste	3
	Fragmento	negro	1
	fragmento	Transparente	3
	Fragmento	Celeste	2
	Total		33
Inicio en Santa Elena Distancia recorrida: 0.600 km Área: $4.2 \times 10^{-4} \text{ km}^2$ Densidad: 61,904.8 ítems/ km^2 Volumen colectado: 126.0 m^3 Concentración: 0.18 ítems/ m^3	Fibra	Azul	5
	Fragmento	Azul	1
	Fibra	Transparente	10
	Fibra	Roja	2
	Espuma	Amarilla	1
	Fibra	negra	4
	Total		23
Inicio en río Ixlú Distancia: 0.600 km Área cubierta: $4.2 \times 10^{-4} \text{ km}^2$ Densidad: 83,333.3 ítems/ km^2 Volumen colectado: 126.0 m^3 Concentración: 0.28 ítems/ m^3	Fibra	Roja	16
	Fibra	Transparente	13
	Fibra	Negra	2
	Film	Azul	1
	Fragmento	verde	2
	Espuma	Blanca	1
	Total		35

Fuente: Datos experimentales.

11.2 Discusión de resultados

11.2.1 Parámetros físicos medidos en el agua del lago Petén Itzá

Los resultados de pH obtenidos en el lago de Petén Itzá durante los cuatro muestreos realizados en el proyecto se presentan en la Tabla 4. El valor promedio de pH para todos los puntos de muestreo durante los cuatro muestreos fue de 8.24, valor superior al promedio obtenido por Oliva y colaboradores entre 2007 y 2008, cuando el lago presentó características menos básicas con un pH promedio para cuatro muestreos fue de 7.87 (Oliva et al., 2011). En otro estudio de la contaminación del lago Petén Itzá realizado entre abril de 2004 y enero de 2005, se encontró un pH promedio de 7.94 en abril y 7.77 en diciembre de 2004, aunque en general el lago presentó un pH básico en 14 de 17 puntos de muestreo (Oliva & Pérez-Sabino, 2005). Por las características geológicas kársticas de la región, el pH básico es normal y provoca que precipiten metales como el hierro. Otros lagos de Guatemala presentan también pH básico, como el lago de Atitlán, cuyo pH promedio (8.64) en cuatro muestreos realizados en 2009 (Pérez Sabino et al., 2011), fue más básico que el promedio reportado para el lago Petén en esta investigación. Una excepción es el lago de Amatitlán que, en un estudio realizado por Oliva y colaboradores (2021), presentó un pH promedio ligeramente básico (7.85) en tres muestreos realizados entre octubre de 2020 y enero de 2021. En el presente estudio los puntos de Sacpuy y el Jobo presentaron un valor promedio de pH ligeramente básico, 7.99 y 7.93, respectivamente. Los resultados del potencial de óxido-reducción medidos en el lago Petén Itzá durante los cuatro muestreos se presentan en la Tabla 5. El valor promedio para todos los puntos durante los cuatro muestreos fue de -90.5 mV, el cual es inferior al valor promedio observado en 2006 de -55.8 mV, cuando se muestrearon 19 puntos en el lago (Oliva et al., 2011).

La temperatura promedio del agua para los cuatro muestreos realizados en el lago Petén Itzá fue de 29.55 °C (Tabla 6), valor superior a la temperatura promedio observada en cuatro muestreos realizados entre 2007 y 2008 por Oliva y colaboradores (2011). En este estudio la temperatura promedio más baja se observó en el mes de enero de 2023 con 27.39 °C, mientras que en enero de 2008 se reportó una temperatura promedio de 27.1 °C en el estudio de 2011 citado (Oliva et al., 2011), mientras que

en enero de 2005 se reportó una temperatura promedio de 25.1 °C (Oliva & Pérez-Sabino, 2005). La temperatura promedio más elevada en este estudio se observó en agosto de 2022 con 31.51 °C mientras que en el estudio realizado en 2004-2005, la temperatura promedio observada en agosto fue de 31.5 °C, lo que indicaría que agosto es el mes en que el lago Petén Itzá presenta la temperatura más elevada.

Los niveles de oxígeno disuelto en el lago Petén Itzá son elevados, presentando un valor promedio para todos los sitios durante los cuatro muestreos fue de 8.2 mg/L, equivalente a 109.4 % de saturación (Tablas 7 y 8). Aún los menores valores promedio de oxígeno disuelto encontrados, en los puntos en Le Pet (94.1 %), San Benito con 7.13 mg/L (94.3 %) y Sacpuy con 7.29 mg/L (99.3 %), son apropiados para la vida acuática. En cuanto a la conductividad (Tabla 10), el valor promedio para todos los puntos de muestreo durante los cuatro muestreos fue 507 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo octubre el mes que presentó la menor conductividad promedio con 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y enero de 2023 el que presentó la mayor conductividad promedio con 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el estudio de Oliva et al. (2011) se reportó la conductividad promedio para todos los sitios y cuatro muestreos de 482 $\mu\text{S}/\text{cm}$, observándose la mayor conductividad promedio en el mes de mayo de 2006 con 543 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la menor en enero de 2008 con 332 $\mu\text{S}/\text{cm}$, contrastando con la mayor conductividad observada en este estudio en enero de 2023. La conductividad promedio elevada del lago Petén Itzá es reflejo de concentraciones elevadas de sales disueltas, siendo superior a la conductividad promedio reportada para el lago de Atitlán (464 $\mu\text{S}/\text{cm}$) por Oliva y colaboradores (2010) en cuatro muestreos realizados en 2009, sin embargo, el lago de Amatitlán presenta una conductividad mayor al haberse encontrado entre 2020 y 2021 una conductividad promedio de 540.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Oliva et al., 2021), en consecuencia, de su elevada contaminación.

El valor promedio de sólidos disueltos totales para todos los puntos de muestreo para los cuatro muestreos fue 253 mg/L (Tabla 10), similar al reportado por Oliva et al. (2011) para 2007 y 2008. En este estudio, el menor valor promedio entre los muestreos se observó en octubre de 2022 con 243 mg/L y el mayor valor promedio en enero de 2023 con 260 mg/L, coincidiendo con la menor y mayor conductividad reportada en dichos meses. En el estudio realizado por Oliva y colaboradores en 2007 y 2008, el mayor valor promedio se observó en mayo con 273 mg/L y el menor, al igual que en este estudio, en enero, con 167 mg/L. El mayor valor promedio para todos los puntos durante los cuatros

muestras, se encontró en San Pedro y San José, con 259 mg/L, mientras que el menor valor promedio se registró en Sacpuy con 220 mg/L.

La visibilidad promedio para todos los puntos de muestreo durante los cuatro muestreos realizados en este estudio fue de 3.05 m (Tabla 11), observándose la mayor visibilidad promedio en San Pedro con 5.0 m y la menor visibilidad promedio correspondió al punto en Sacpuy con 1.17 m. La visibilidad promedio fue mayor en este estudio que la reportada por Oliva et al. En 2011, de 2.13 m para los 19 puntos durante los cuatro muestreos; en dicho estudio la mayor visibilidad promedio se observó en San Pedro con 5.63 m y la menor en el río Ixlú con 0.87 m. En cuanto a los muestreos, en esta investigación la menor visibilidad promedio se observó en abril de 2022 con 2.75 m, mientras que la mayor visibilidad promedio se observó en enero de 2023 con 4.33 m, coincidiendo con las menores conductividad y concentración de sólidos disueltos totales. La visibilidad del lago Petén Itzá es menor a la visibilidad promedio (8.7 m) que se ha reportado en el lago de Atitlán (Pérez Sabino et al., 2011). La coloración del agua del lago Petén Itzá es características de los cuerpos de agua en regiones geográficas kársticas, entre verde clara y verde musgo, con excepción de los puntos en Sacpuy y río Ixlú (Tabla 12) donde el agua presenta coloración café, posiblemente por presencia de hierro y mayor descomposición de la materia orgánica.

11.2.2 Microplásticos en el lago Petén Itzá

El lago Petén Itzá no se encuentra tan contaminado como otros lagos del país, como Amatitlán o Atitlán. Sin embargo, debido al crecimiento de la población en las ciudades a sus alrededores y a la falta de un manejo adecuado de los residuos sólidos, los plásticos llegan al lago, como se pudo constatar en recorridos efectuados a la orilla del lago durante la investigación. Es así que, por diferentes procesos de degradación, los plásticos son fragmentados y al disminuir de tamaño al alcanzar diámetros menores a 5 mm se clasifican como microplásticos, o bien pueden ser de origen primario, liberándose al medio ambiente, materiales producidos con esos tamaños. En el presente estudio se colectaron muestras de agua, sedimentos y peces para determinar cómo se encuentra la contaminación del lago Petén Itzá por microplásticos. A continuación, se discuten los resultados de contaminación por microplásticos en sedimentos, peces y agua del lago Petén Itzá.

11.2.2.1 Microplásticos en sedimentos del lago Petén Itzá

La situación de la contaminación por microplásticos en el lago Petén Itzá se ve reflejada en los sedimentos que constituyen el depósito final de los mismos en la cuenca. En todos los puntos de muestreo se encontraron microplásticos, siendo los sitios más contaminados San Benito con 353 ítems encontrados en 100 g de sedimento analizados, luego La Chingada con 335 ítems, San José con 315 y San Pedro con 307 ítems, también en 100 g de sedimento analizados. Los sitios con menor cantidad de microplásticos encontrados en 100 g de sedimento fueron San Andrés con 109 ítems, Santa Elena con 134 y Sacpuy con 147 ítems. A pesar de la alta densidad poblacional de Santa Elena, el sedimento de esta ciudad no presenta una contaminación elevada por microplásticos, lo que puede deberse a que por el tiempo en que el plástico tarda en degradarse y luego depositarse, las corrientes los arrastren a lugares más alejados donde se depositan. En el caso de San José, ubicado en la parte oeste del lado norte del lago, es una localidad que presenta elevada densidad poblacional con elevada pendiente hacia el lago, lo que conlleva el arrastre de materiales hacia las orillas del lago.

Por otra parte, las fibras son el tipo de microplásticos más abundantes en los sedimentos por gran diferencia. Así en La Chingada, del total de 335 ítems encontrados, 302 correspondieron a fibras, mientras que films fueron 24, fragmentos 6 y espumas 3. En cuanto al sitio menos contaminado por microplásticos, San Andrés, de 109 ítems encontrados, 98 correspondieron a fibras, 6 a films, 5 a fragmentos y no se encontraron espumas. Las espumas son el tipo de microplástico menos frecuente en los sedimentos del lago Petén Itzá. En tres sitios no se encontraron espumas (Petencito, San Andrés y Le Pet), mientras que el sitio que presentó más espumas fue El Jobo con 16.

Es importante mencionar que en los sedimentos los microplásticos se quedan depositados por largos períodos de tiempo, no obstante, de ocurrir perturbaciones, estos pueden ser resuspendidos e ingresar a los organismos acuáticos, ya sea ingeridos o a través de las branquias de los peces, y así distribuirse en la red trófica, representando un riesgo toxicológico para la biota y el ser humano.

11.2.2.2 Microplásticos en peces del lago Petén Itzá

Del total de 48 peces analizados, de los cuales 36 correspondieron a la especie *Petenia splendida* (pez blanco), se encontraron microplásticos en 39 individuos (81.25%) (Tabla 14). Los peces blancos se colectaron en tamaños permitidos (entre 14.4 a 26.8 cm). Para el análisis se extrajo el tracto digestivo de los peces, separándose los microplásticos por digestión básica, luego de lo cual se analizaron en el microscopio, clasificándose por tipo y color.

Se encontró un promedio de 5.88 microplásticos por individuo en los peces del lago Petén Itzá colectados durante 2022, el cual está por debajo del promedio encontrado en peces del lago Amatitlán de 9.71 microplásticos por individuo en un estudio de Oliva y colaboradores (2021). Así mismo, en este estudio se encontraron microplásticos en el 81.25% de los peces, que comparado con el 97.14% encontrado en peces del lago de Amatitlán, pone de manifiesto una menor contaminación por microplásticos en los peces del lago Petén Itzá, posiblemente por menor contaminación de este lago.

En cuanto a los tipos de microplásticos, las fibras fueron los más abundantes con un total de 268 fibras de 282 microplásticos encontrados (95.0%). Dos individuos de pez blanco presentaron el mayor número de fibras con 13, que constituyeron también la totalidad de los microplásticos encontrados en esos organismos. En peces del lago de Amatitlán, en el estudio citado (Oliva et al., 2021), las fibras también fueron las más abundantes, entre los microplásticos encontrados, en un promedio de 8.45 fibras por individuo, superior al encontrado en este estudio para peces del lago Petén Itzá, de 5.6 fibras por individuo. Según Brown y colaboradores (2011) las fibras provienen principalmente de la degradación de textiles en los ciclos de lavado, pudiendo una sola prenda producir hasta 1900 fibras en un ciclo de lavado. No se encontraron microesferas en ningún individuo analizado.

Los microplásticos encontrados presentaron los siguientes colores (Tabla 15): verde, transparente, rojo, negro, café, morado celeste, amarillo, azul, rosado y blanco, sin un patrón característico aparente. Se ha considerado que el color influye en la ingesta de microplásticos por los peces al semejarse a algunas presas naturales (Yuan et al., 2019). Los microplásticos pueden causar neurotoxicidad y daño oxidativo a los peces (Barboza et al., 2020)., por lo que la presencia de microplásticos en el lago Petén

Itzá representa un riesgo para la salud de los peces, entre ellos, el pez blanco que es una especie emblema de la región. Al ser el pez blanco consumido ampliamente por habitantes y visitantes del lago, como parte de la gastronomía de la región, los microplásticos pueden pasar al ser humano, representando también un riesgo para la salud de este.

11.2.2.3 Microplásticos en agua del lago Petén Itzá

En los tres transectos realizados en abril de 2022 se encontraron microplásticos en el agua del lago Petén Itzá (entre 23 y 35 por transecto, Tabla 16). Al igual que en el estudio de Mejía (2019), las fibras fueron el tipo de microplásticos más abundante (76 en los tres transectos), representando el 81.7 % del total de microplásticos encontrados en el lago Petén Itzá. Como se mencionó, las fibras provienen principalmente de la degradación de textiles, por lo que se considera que las descargas de aguas residuales son la principal fuente de contaminación por estos microplásticos (Browne, 2011). La mayor abundancia de fibras en el agua explica también que sean el tipo de microplásticos más encontrado en los peces. Los fragmentos fueron el segundo tipo más frecuente de microplásticos con 19 (20%), lo cual coincide con el estudio realizado por Mejía en 2019. Únicamente se encontró una espuma y no se encontraron microesferas. En cuanto a la densidad de microplásticos por área, en este estudio se encontraron valores entre 61,904.8 ítems/ km² en el transecto entre Santa Elena y Sacpuy y 83,333.3 ítems/ km² en el trayecto entre el río Ixlú y El Remate (Tabla 17), siendo inferiores al valor promedio reportado por Mejía (2019) para el lago Petén Itzá de 147,588.8 km⁻². Sin embargo, se requieren datos en diferentes épocas del año para determinar si existen variaciones en estación seca y lluviosa.

Por lo anterior, es necesario que se tomen medidas por parte de autoridades ambientales y municipales, para que se realice un mejor manejo de residuos y desechos plásticos, así como en el tratamiento de aguas residuales, para evitar que el lago Petén Itzá se siga contaminando con microplásticos, que ponen en riesgo la integridad ecológica del lago y la salud del ser humano.

12. Conclusiones

Existe contaminación por microplásticos en agua, sedimentos y peces del lago Petén Itzá, que representan un riesgo para la integridad ecológica del lago y para el ser humano. Se encontraron microplásticos en la totalidad de las muestras de agua y sedimentos analizados, y en el tracto digestivo del 81.25 % de los peces analizados.

Las fibras constituyen el tipo de microplástico más abundante en agua, peces y sedimentos del lago Petén Itzá, encontrándose también fragmentos, films y espumas, como consecuencia de la degradación de diferentes tipos de productos de plástico.

Las características físicas del lago Petén Itzá, correspondientes a cuerpos de agua kársticos, como pH básico, elevada conductividad y sólidos disueltos, se han mantenido estables en las últimas dos décadas.

La contaminación por microplásticos en el lago Petén Itzá, debe ser tomada en cuenta por las autoridades ambientales y municipales, a efecto de tomar medidas para reducir las descargas de aguas residuales y mejorar el manejo de residuos y desechos plásticos en la cuenca, para reducir el riesgo toxicológico del ingreso a la red trófica de dichos contaminantes.

13 Referencias

- Álvarez-Ruiz, R., & Picó, Y. (2020). Analysis of emerging and related pollutants in aquatic biota. *Trends in environmental analytical chemistry*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.073>
- Barboza, L., Lopes, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., & Henriques, B. (2020). Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of the Total Environment*, 717. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134625>.
- Barceló, D. y López de Alda, M. (2008). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. Instituto de investigaciones Químicas y ambientales.
- Bellasi, A., Binda, G., Pozzi, A., Galafassi, S., Volta, P., & Bettinetti, R.. (2020). Microplastic contamination in freshwater environments: a review, focusing on interactions with sediments and benthic organisms. *Environment*, 7(30), 1-28.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkiin, A., Galloway, T., & Thompson, R.. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science and Technology*. 45(21), 9175-9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- D'Avignon, G., Gregory-Eaves I., & Ricciardi, A. (2022). Microplastics in lakes and rivers: an issue of emerging significance to limnology. *Environmental Reviews*. 30(2) 228–244 (2022) <https://doi.org/10.1139/er-2021-0048>
- Egessa, R., Nankabirwa, Ocaya, H., & Pabire, W. (2020). Microplastic pollution in surface water of Lake Victoria. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140201>
- Espinoza, C., Esteban, M. A., & Cuesta, A. (2016). Microplastics in Aquatic Environments and Their Toxicological Implications for Fish. *Intech Open Science / Open Minds. Toxicology – New Aspects to This Scientific Conundrum*. <http://dx.doi.org/10.5772/64815>

- Free, C., Jensen, O., Manson, S., Eriksen, M., Williamson, N., & Boldgiv, B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 156-163.
- Geissen, V., Ramos, F., Bastidas, P., Díaz-González, G., Bello-Mendoza, R., & Huerta-Lwanga, E. (2010). Soil and water Pollution in a banana production region in Tropical Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85(4), 407-413.
- Heudorf, U., Mersch-Sundermann, V., & Angerer, J. (2007). Phtalates: toxicology and exposure. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 210 (5), 623-634.
- Jackson, J. y Sutton, R. (2008). Sources of endocrine-disrupting chemicals in urban waste water, Oakland. *Science of The Total Environment*, 405, 153-160.
- Kumar, M., Borah, P. & Devi, P. (2020). Chapter 3 - Priority and emerging pollutants in water. *Inorganic pollutants in Water*, 33-49. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818965-8.00003-2>
- León, M. (2015). *Caracterización Físico-Química, Biológica y Ecotoxicológica del Agua Residual de un Hospital de la Ciudad de Cuenca* [Tesis de postgrado, Universidad de Cuenca, Ecuador]
- Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362–374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
- López, N. (2018). *Contaminación de microplásticos en la superficie del lago Atitlán, Sololá, Guatemala*. Universidad del Valle de Guatemala.
- Mao, R., Hu, Y., Zhang, S., Wu, R., & Guo, X. (2020). Microplastics in the surface water of Wuliangshuai Lake, northern China. *Science of the Total Environment*, 723. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137820>
- Marine Debris Program. (2019). Impacts of Microplastics Types of Microplastics NOAA Marine Debris Program Involvement. www.MarineDebris.noaa.gov
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. Silver Spring: NOAA Marine Debris Division.

- Mazariegos-Ortíz, C., Xajil-Sabán, M., Blanda, E., & Delvalle-Borrero, D. (2021). Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala: *Ecosistemas*, 30(2), 2188. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2188>
- Mejía, A. (2019). *Contaminación por microplásticos en un lago endorreico de tierras bajas: El caso de Petén Itzá* (Issue 2001). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Meléndez-Marmolejo, J., García-Saavedra, Y., Galván-Romero, V., León-Martínez, L., De Vargas, D., Mejía-Saavedra, K., J., & Ramírez, R. (2020). Contaminantes emergentes. Problemática ambiental asociada con el uso de antibióticos. *Problemática ambiental asociada al uso de antibióticos*, 20 (1), 1-9.
- Munno, K., Helm, P. A., Rochman, C., George, T., & Jackson, D. A. (2022). Microplastic contamination in Great Lakes fish. *Conservation Biology*, 36(1), 1–11. <https://doi.org/10.1111/cobi.13794>.
- Muzamil, K., Kumar, V., & Ahmad, A. (2017). Occurrence of phthalates in aquatic environment and their removal during wastewater treatment processes: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24(21), 17267-17284. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9182-3>
- Oliva-Hernández, B., Santos Ruiz, F., Muñoz-Wug, M., & Pérez Sabino, J. (2021). Microplastics in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from Lake Amatitlán. *Ambiente & Agua*. 16(5), e2754. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2754>
- Oliva Hernández, B., Muñoz Wug, M., García, D., Rosales Melgar, M., & Santos Ruiz, F. (2021). *Determinación de microplásticos y tierras raras en agua y peces del lago de Amatitlán. Guatemala: (INF 2020-56 B12)*. Dirección General de Investigación Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Oliva B. E., Pérez-Sabino, J. F., del Cid, M. M., Gaitán, I., Valladares, B., Martínez, F., y Hernández, E. (2010). *Estudio de contaminantes ecotóxicos en agua y organismos acuáticos del Lago de Atitlán* (INF-2009-04). Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Oliva Hernández, B. E., Pérez Sabino, J. F., Gaitán, I. C. Martínez Rojas, O. E., Rodas Arzet, A. M., & Valladares Jovel, B. S. (2011). *Estudio paleolimnológico del lago Petén Itzá*. (Fodecyt No. 112-2006). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología/Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

- Oliva Hernández, B. E., & Pérez Sabino, J.F. (2005). *Contaminación en el lago Petén Itzá*. (Fodecyt No. 20-2002). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología/Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- United Nations Development Programme. (2018). Single-use plastic: A roadmap for sustainability. *Technology for Environment*. ISBN: 978-92-807-3705-9 DTI/2179/JP
- Parker, B., Andreou, D., Green, I., & Britton, J. (2021). Microplastics in freshwater fishes: Occurrence, impacts and a future perspective. *Fish and Fisheries*, 22, 467-488. <https://doi.org/10.1111/faf.12528>
- Pastor, C., & Agulló, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencias impacto en la Salud Pública. *Salud Pública*, 93, 1–10.
- Pegado, T., de Schmid, K., Winemiller, K., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Dei, L. & Giarrizzo, T. (2018). First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Marine pollution Bulletin*, 133, 814-821. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.035>
- Pemberthy, D., Padilla, Y., Echeverri, A., Pañuela, G. (2020). Monitoring pharmaceuticals and personal care products in water and fish from the Gulf of Urabá, Colombia. *Heliyon*. 6 (6), 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04215>.
- Pérez-Andrés, L., Díaz-Godínez, R., Luna-Suárez, S. & Sánchez, C. (2017). Characteristics and uses of phthalates. *Mexican Journal of Biotechnology*, 2(1), 143-154. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.1.145>
- Pérez Sabino, J.F., Oliva Hernández, B.E., Hernández Hernández, E., Jayes Reyes, P.E., Valladares, B.S., Romero, M., & Domingo, P. (2011) Evaluación del Estado de la Calidad del Agua del Lago de Atitlán, Guatemala. Capítulo de Libro: Experiencias en la Aplicación del enfoque GEO en la Evaluación de Ecosistemas Degradados de Iberoamérica. Volpedo, A.V, Fernández, L., Buitrago, J. Eds. CYTED. 283-295.
- PlasticsEurope, 2018. Plastics – the Facts 2018: an Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. Available from: <https://www.plasticseurope.org/en>
- Qiao, R., Lu, K., Deng, Y., Ren, H., & Zhang, Y. (2019). Combined effects of polystyrene microplastics and natural organic matter on the accumulation and toxicity of copper in zebrafish. *Science of the Total Environment*, 682, 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.163>

- Rasheed, T., Bilal, M., Nabeel, F., Adeel, M. & Iqbal, H. (2009). Environmentally-related contaminants of high concern: potential sources and analytical modalities for detection, quantification, and treatment. *Environment international*, 122, 52-66.
- Rodrigues, M. O., Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. (2018). Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal). *Science of The Total Environment*, 633, 1549–1559. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.233>
- Romero-Oliva, C.; López, N.; Aguilar, A. & Santos Ruiz, F. (2019). Paleoecotoxicología, una herramienta para la reconstrucción del pasado reciente en el Lago de Amatitlán, Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala-Dirección General de Investigación.
- Rosenmeier, M.F., Brenner, M., Kenney, W.F., Whitmore, T.J., & Taylor, C. (2004). Recent eutrophication in the southern basin of Lake Petén Itzá, Guatemala: human impact on a large tropical lake. *Hydrobiologia*, 511, 161-172.
- Sagastume, L. (2020). Determinación de microplásticos en contenido gastrointestinal del Blue gill (*Lepomis macrochirus*) (Rafinesque, 1819) en el lago Atitlán. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Santos Ruiz, F. (2020). Microplásticos en sedimentos superficiales en el lago de Atitlán, Sololá, Guatemala. Guatemala: AMSCLAE-Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Shruti, V. C., Jonathan, M. P., Espinosa, P. F., & González, F. (2019). Microplastics in freshwater sediments of Atoyac River basin, Puebla City, Mexico. *Science of The Total Environment*, 654, 154–163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.054>
- Tang, Y., Ying, M., Yang, W., Li, H., Zhong, Y., Mo, L., Liang, Y., Ma, X., & Sun, X. (2019). Emerging pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, and risk assessment. *Water Environment Federation*, 91, 984-991. <https://doi.org/10.1002/wer.1163>
- Tejada, C., Quiñonez, E. y Peña, M. (2014). Contaminantes emergentes en aguas: Metabolitos de Fármacos. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. 10 (1), 80-101. <https://doi.org/10.18359/rfcb.341>
- Thiele, C. J., Hudson, M. D., Russell, A., Saluveer, M., & Sidaoui-Haddad, G. (2021) Microplastics in fish and fishmeal: an emerging environmental challenge? *Scientific Reports*, 11, 2045. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81499-8>

- Turner, S., Horton, A., Rose, N., & Hall, C. (2019). A temporal sediment of microplastics in an urban lake, London, UK. *Journal of Paleolimnology*, 61, 449–462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10933-019-00071-7>
- US. Environmental Protection Agency -EPA-. (2012). Phthalates action plan. Washington, DC. Recuperado de: http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/actionplans/phthalates_actionplan_revised_2012-0314.pdf.
- Wagner, M., & Lambert, S. (2018). Freshwater Microplastics - Emerging Environmental Contaminants? <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>
- Wang, W., Ge, J., & Yu, X. (2019). Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109913>.
- Wesch, C., Bredimus, K., Paulus, M., & Klein, R. (2013). Towards the suitable monitoring of ingestion of microplastics by marine biota: a review. *Environment Pollution*, 218, 1200-1208. [https:// DOI:10.1016/j.envpol.2016.08.076](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.076)
- Yuan, W., Liu, X., Wang, W., Di, M., & Wang, J. (2019) Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 170, 180-187.

14 Apéndice

Tabla 17. Nombre científico y nombre común de los pescados colectados en el lago Petén Itzá.

Número	Especie	Nombre común
1	<i>Trichromis salvini</i> (Günther, 1862)	San Pedrana
2	<i>Mayaheros urophthalmus</i> (Günther, 1862)	Bull
3	<i>Parachromis managuensis</i> (Günther, 1867)	Guapote
4	<i>Petenia splendida</i> (Günther, 1862)	Blanco
5	<i>Vieja melanurus</i> (Günther, 1862)	Mojarra

Fuete: datos propios.

14.1 Figuras

14.1.1 Figura 2.

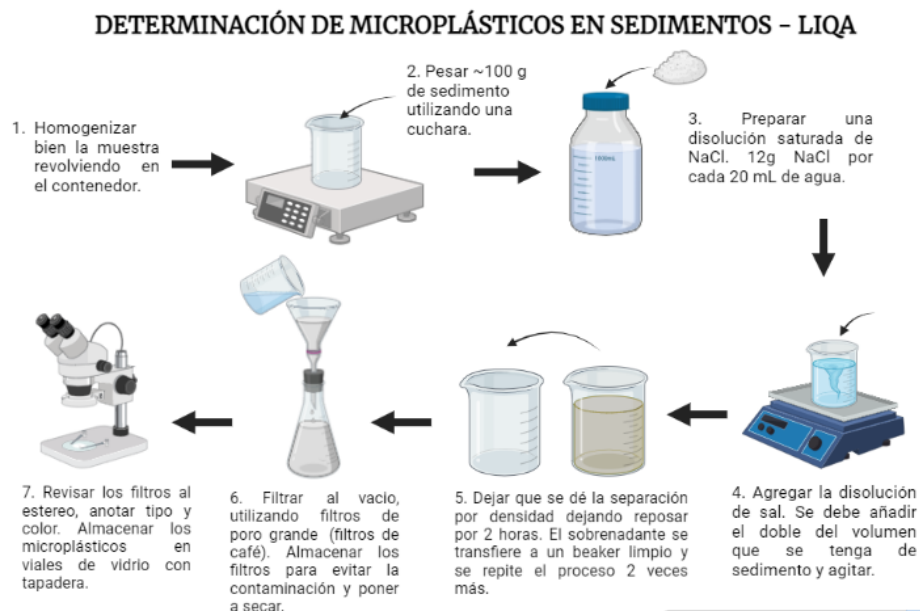
Medición de pescados y extracción de tracto digestivo y músculo para su posterior análisis.
Fotografías de Francis Mariel Santos.



Fuente: datos propios

14.1.2 Figura 3.

Infografía de la metodología para determinar microplásticos en sedimentos



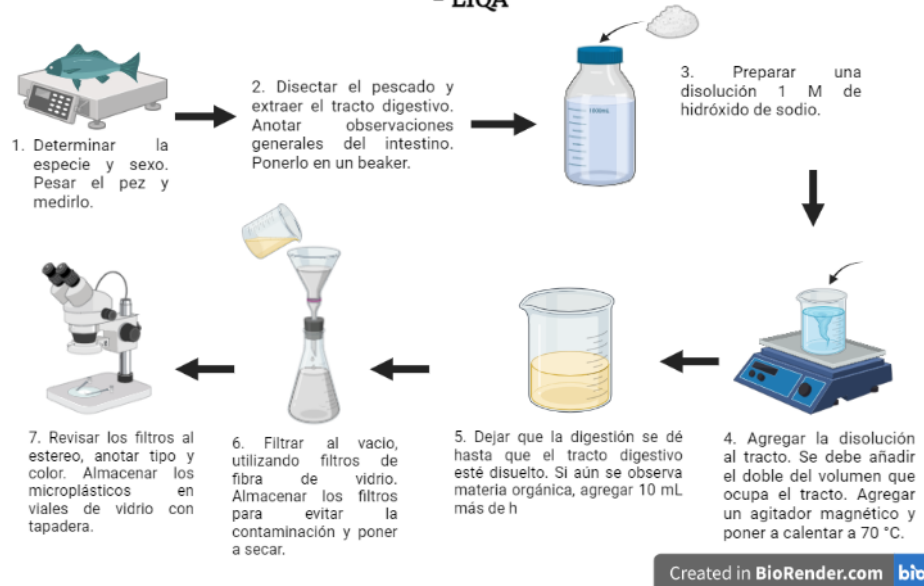
Created in BioRender.com bio

Fuente: elaboración propia.

14.1.3 Figura 4.

Infografía de la metodología para determinar microplásticos en peces.

DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN TRACTO DIGESTIVO DE PESCADOS - LIQA

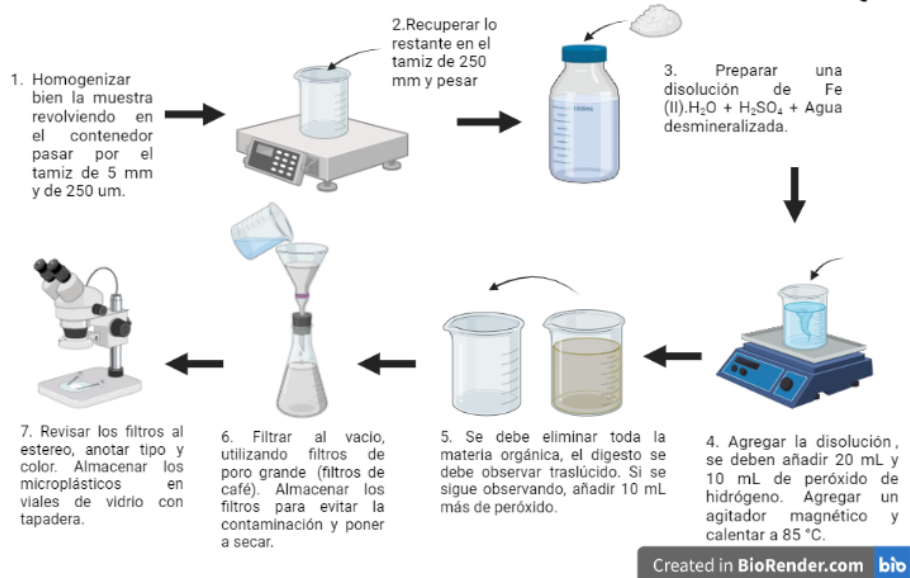


Fuente: elaboración propia.

14.1.4 Figura 5.

Infografía de la metodología para determinar microplásticos en agua superficial.

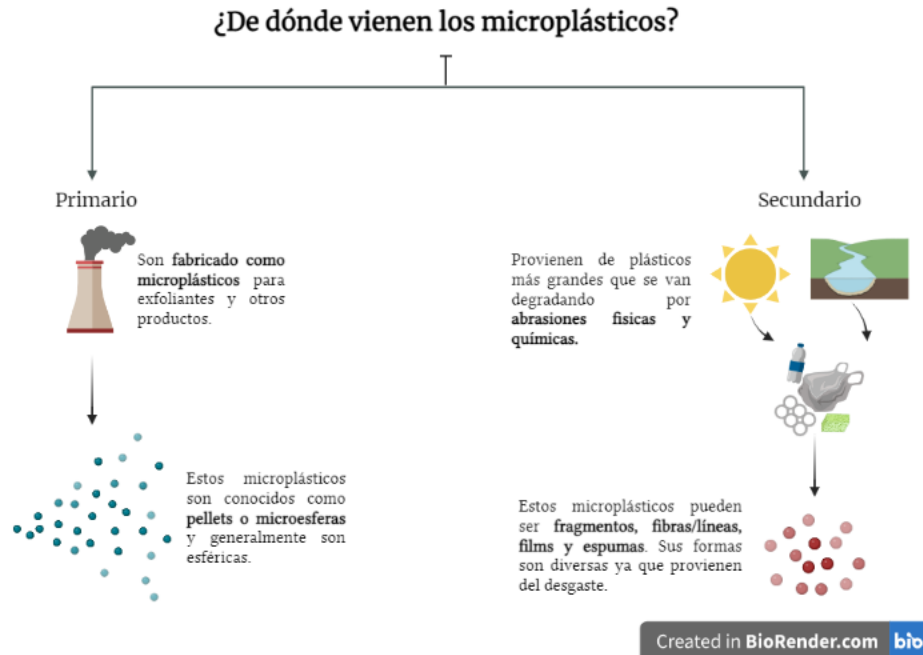
DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN AGUAS SUPERFICIALES - LIQA



Fuente: elaboración propia.

14.1.5 Figura 6.

Infografía del origen de los microplásticos.



Fuente: elaboración propia.

15 Aspectos éticos y legales (si aplica)

No aplica.

16 Vinculación

Durante el desarrollo de la investigación fue posible mantener los vínculos con el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, quien colaboró con el transporte acuático, durante los cuatro muestreos realizados. También se tuvo vinculación con los pescadores de El Remate, departamento de Petén, quienes colaboraron durante los muestreos en la colecta de los peces, y están interesados en los resultados obtenidos en el presente proyecto.

17 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Los resultados de esta investigación se presentaron durante la de Evaluación Intermedia de proyectos de investigación ejecutados en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente (PUIRNA), durante el mes de octubre de 2022.

Se realizaron también varias infografías para exponer la información del proyecto, de forma gráfica y comunicar información compleja, que es de fácil lectura y destaca información importante.


18 Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:

Con el presente estudio, se investigó el impacto de los microplásticos en el ecosistema acuático, con el propósito de generar información científica útil a las autoridades de la región, y que ayuden en la toma de decisiones para reducir los niveles actuales de contaminación, que pueden relacionarse con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 “Agua limpia y Saneamiento”. Por medio de la gestión sostenible de los recursos hídricos, se puede gestionar una mejor producción de alimentos y preservar los ecosistemas hídricos además de la diversidad biológica. La información generada sirve para concienciar a la población sobre la gestión de residuos sólidos y mejorar la sostenibilidad y la integridad de los recursos naturales. Es importen informar a la población y crearles conciencia sobre el riesgo que representan estos contaminantes y a las autoridades para que adopten las medidas necesarias para mejorar la calidad de vida y el ecosistema en general.

Informe final proyecto de investigación 2022


Dirección General de Investigación –DIGI-

19 Orden de pago final (incluir únicamente al personal con contrato vigente)

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Francis Mariel Santos Ruiz	Auxiliar de Investigación II	20190919	Si	

20 Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.


Bessie Evelyn Oliva Hernández Coordinadora del proyecto de investigación	 Firma
Fecha: 27/03/2023	

21 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario


De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto **Determinación de contaminantes emergentes (fármacos y microplásticos) en el lago Petén Itzá** en mi calidad de Directora del Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas -IIQB-, mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.


Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Vo.Bo. Dra. María Eunice Enríquez Cotton Directora, Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas – IIQB-	 Dra. María Eunice Enríquez Directora Firma
Fecha: 27/03/2023	

22 Visado de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Inga. Andrea Eunice Rodas Morán Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales -PUIRNA-	 Firma
Fecha: 27/03/2023	

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación	 Firma Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez Coordinador General de Programas de Investigación, Digi-Usac
Fecha: 27/03/2023	