



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS

REF.IIQB.96.04.2021

Guatemala, 05 de abril del 2021

Señor Director Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera Director General de Investigación Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para adjuntar el informe final del proyecto: "Determinación de microplásticos y tierras raras en agua y peces del lago de Amatitlán" con código B12-2020, coordinado por la Licda. Bessie Evelyn Oliva Hernándezy avalado por el Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Asimismo, la coordinadora del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por DIGI del **informe final y del manuscrito científico.** El manuscrito científico debe enviarse, por la coordinadora del proyecto, para publicación, al menos, en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

"Id y enseñad a todos"

Licda. Bessie Eyelyn Oliva Hernández Coordinadora del Proyecto

Directora
Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

María Eunice Enríquez Cottón

c.c. archivo MEEC/tvch.





Universidad de San Carlos de Guatemala Dirección General de Investigación Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Informe final

Determinación de microplásticos y tierras raras en agua y peces del lago de Amatitlán

Equipo de investigación

Licenciada Bessie Evelyn Oliva Hernández, Coordinadora

Manuel Alejandro Muñoz Wug, Investigador Doris Jannette García, Investigadora María de los Ángeles Rosales Melgar, Investigadora Francis Mariel Santos Ruiz, Auxiliar de Investigación II.

Guatemala, Febrero 2021

Grupo de Investigación Ambiental Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC





Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera Director General de Investigación

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

Ing. Saul Guerra Gutiérrez Coordinador del Programa de Investigación Recursos Naturales y Ambiente

Licda. Bessie Evelyn Oliva Hernández Coordinador del proyecto B12-2020

Lic. Manuel Alejandro Muñoz Wug Investigador

Licda. Doris Jeannette García Menéndez Investigadora

Licda. María de los Ángeles Rosales Melgar Investigadora

Bachiller Francis Mariel Santos Ruiz Auxiliar de Investigación II

Agradecimiento a los investigadores que trabajaron en el proyecto:

Dr. Juan Francisco Pérez Sabino Licenciada María Gabriela Chaulón Vélez Bachiller Pedro Pablo Molina Jauregui Bachiller René Alberto Arreola Tobar

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2020. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través del proyecto B12-2020, durante el año 2020 en el Programa Universitario de Investigación de Recursos Naturales y Ambiente





Índice de contenido general

Co	ntei	nido Página						
<i>1</i> .	Resumen							
2.	Palabras clave							
<i>3</i> .	A	<i>bstract</i>						
4.	In	ntroducción8						
<i>5</i> .	P	lanteamiento del problema10						
6.	P	reguntas de investigación11						
<i>7</i> .	D	elimitación en tiempo y espacio11						
8.	M	larco teórico11						
8	8.1	Ubicación geográfica del lago de Amatitlán11						
8	8.2	Procesos de eutrofización11						
8	8.3	Microplásticos12						
8	8.4	Metales						
8	8.5	Nutrientes en agua17						
8	8.6	Sólidos, oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno18						
9.	\boldsymbol{E}	stado del arte19						
10.	•	Objetivo general21						
11.	•	Objetivos específicos21						
12.		Hipótesis (si aplica)21						
13.	•	Materiales y métodos21						
14.	•	Vinculación, difusión y divulgación28						
15.	•	Resultados:29						
:	15.1	Localización de sitios de muestreo29						
:	15.2	Microplásticos y mediciones físicas en peces31						
	15 2	Sólidos 38						





15.4	Parámetros medidos en el campo:	42
15.5	Demanda Química de Oxígeno	48
15.6	Nutrientes en el lago de Amatitlán	49
15.7	Metales en el lago de Amatitlán	54
<i>16</i> .	Análisis y discusión de resultados:	56
<i>17</i> .	Conclusiones	61
<i>18</i> .	Impacto esperado	62
19.	Referencias	62
Índice	de cuadros	
No.	Título	Página
1	Operacionalización de las variables o unidades de análisis	23
2	Métodos de muestreo, procesamiento y análisis de plásticos en agua y peces. MP = (Micropartícula; QA / QC = Garantía de calidad / Control de Calidad; SEM = Microscopia electrónica de barrido).	27
3	Localización geográfica de los puntos de muestreo en el lago de Amatitlán	29
4	Altitud de los puntos de muestreo en el lago de Amatitlán	30
Índice	de tablas	
No.	Título	Página
1	Determinación de peso, longitud, especie e índice de condición de peces colectados en el lago de Amatitlán de las especies Oreochromis niloticus, Linnaeus, 1758 (tilapia). Parachromis managuensis, Günther, 1867 (guapote).	32
2	Tipo de microplásticos encontrados en tracto digestivo de peces del lago de Amatitlán de las especies Oreochromis niloticus, Linnaeus, 1758 (tilapia) y Parachromis managuensis, Günther, 1867 (guapote).	35
3	Determinación de sólidos sedimentables en muestras de agua del lago de Amatitlán	38
4	Determinación de sólidos totales disueltos en muestras de agua del lago de Amatitlán	39
5	Determinación de sólidos en suspensión en muestras de agua del lago de Amatitlán	40





6	Determinación de sólidos totales en muestras de agua del lago de Amatitlán				
7	Determinación in situ de la temperatura ambiental en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán	42			
8	Determinación de la conductividad en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán	43			
9	Determinación de salinidad en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán	44			
10	Determinación del potencial de óxido-reducción en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán	45			
11	Determinación del pH en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán	46			
12	Determinación del oxígeno disuelto en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán	47			
13	Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) en muestras de agua del lago de Amatitlán	48			
14	Determinación de nitrógeno de amonio en muestras de agua del lago de Amatitlán.	49			
15	Determinación de nitrógeno de nitritos en muestras de agua del lago de Amatitlán.	50			
16	Determinación de nitrógeno de nitratos en muestras de agua del lago de Amatitlán.	51			
17	Determinación de orto-fosfatos en muestras de agua del lago de Amatitlán.	52			
18	Determinación de sulfatos en muestras de agua del lago de Amatitlán.	53			
19	Determinación de Plomo en muestras de agua del lago de Amatitlán.	54			
20	Determinación de Cadmio en muestras de agua del lago de Amatitlán.	54			
21	Determinación de Cromo total en muestras de agua del lago de Amatitlán.	55			
22	Sinónimos de Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758)	72			
23	Sinónimos de Parachromis managuensis (Günther, 1867)	75			
Índice	de figuras (fotografías, gráficas, diagramas)				
No.	Título	Página			
1	Ubicación de los puntos de muestreo en el lago de Amatitlán, Google Maps	30			
2	Ubicación de los puntos de muestreo en el lago de Amatitlán, Google Earth	31			
3	Fotografía de la extracción del sistema digestivo de un pez colectado en el lago de Amatitlán para determinación de microplásticos. Fotografía tomada por Francis Santos	66			
4	tomada por Francis Santos. Imagen obtenida por microscopio de microplásticos presentes en el tracto	66			
7	digestivo de pez de la figura 4. Fotografía tomada por Francis Santos.	00			





5	Fotografía de la medición de un pez colectado en el lago de Amatitlán. Fotografía tomada por Manuel Muñoz	66
6	Colecta de muestra de agua en desembocadura del río El Rincón, en el lago de Amatitlán durante octubre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez	67
7	Fotografía de investigador (Manuel Muñoz, derecha) realizando mediciones de campo en el lago de Amatitlán durante un muestreo. Fotografía tomada por Dr. Francisco Pérez	67
8	Investigador (Manuel Muñoz, derecha) realizando mediciones de campo en el lago de Amatitlán durante el muestreo de octubre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.	67
9	Río Villalobos en la cercanía a la desembocadura en el lago de Amatitlán, en diciembre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.	67
10	Lago de Amatitlán. Punto en la Lagunilla/Playa de Oro en octubre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.	68
11	Lago de Amatitlán. Punto en la Lagunilla/Playa de Oro en diciembre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.	68
12	Medición de sólidos sedimentables en agua del centro este lago de Amatitlán en enero de 2021. Puede observarse elevada cantidad de hiemana de fitantantes. Estagrafía tomada por Dr. Engueiros Pérez-	68
13	biomasa de fitoplancton. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez. Medición de sólidos sedimentables en agua del centro este lago de Amatitlán en enero de 2021. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.	69
14	Investigador (Manuel Muñoz, derecha) realizando mediciones de campo en el lago de Amatitlán durante el muestreo de enero de 2021. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.	69
15	Colecta de agua en el río Villalobos en la cercanía a la desembocadura en el lago de Amatitlán, en enero de 2021. Puede observarse la disminución del nivel de agua en comparación con las fotografías de octubre y diciembre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.	70
16	Colaboradora (Licda. Gabriela Chaulón), preparando el digestor de microondas para digerir muestras de tejido de pescado colectado en el lago de Amatitlán. Fotografía tomada por Pedro Pablo.	70
17	Auxiliar de investigación (Francis Santos) analizando por microscopio material filtrado de la digestión alcalina de un sistemas digestivos de pez, en busca de microplásticos. Fotografía tomada por Gabriela Chaulón.	70
18	Colaborador (Pedro Pablo) digitalizando resultados en tabla electrónica de Excel para su posterior análisis. Fotografía tomada por Gabriela Chaulón.	71





DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS Y TIERRAS RARAS EN AGUA Y PECES DEL LAGO DE AMATITLÁN

1. Resumen

El interés por los microplásticos en el medio ambiente ha crecido en los últimos años, ya que representan un contaminante ambiental que se ha encontrado en el agua y en organismos acuáticos en estudios recientes. En Guatemala, el lago de Amatitlán es uno de los lagos más contaminado al recibir las descargas de aguas residuales, tratadas y no tratadas, así como otros residuos, de la ciudad de Guatemala y otras poblaciones urbanas. El objetivo de esta investigación fue determinar la contaminación por microplásticos y la calidad del agua en el lago de Amatitlán. Tres muestreos de agua y peces fueron realizados en octubre y diciembre de 2020, y enero de 2021, determinándose también en el campo el pH, conductividad y oxígeno disuelto. Los análisis de nutrientes se realizaron en el Laboratorio de Investigación Química y Ambiental -LIQA- y en el laboratorio de la Unidad de Análisis Instrumental –UAI- de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Los peces colectados de las especies Oreochromis niloticus y Parachromis managuensis, fueron diseccionados, encontrándose microplásticos en el tracto digestivo, principalmente del tipo línea/fibra en el 97.14% de peces muestreados. También se encontró que las concentraciones de fósforo (arriba de 0.05 mg/l) en el agua del lago corresponden a lagos eutróficos, siendo el río Villalobos una de las principales fuentes de contaminación. La presencia de microplásticos en peces del lago de Amatitlán, que se reporta en este estudio por primera vez, representa un riesgo para la población que los consume, requiriendo la atención de las autoridades ambientales.

2. Palabras clave

Calidad del agua, contaminantes emergentes, eutrofización, nutrientes, tilapia.

3. Abstract

Concern for the presence in microplastics in the environment has grown in recent years, as they represent an environmental pollutant that has been found in water and aquatic organisms in recent studies. In Guatemala, Lake Amatitlán is the most polluted lake as it receives discharges of treated and untreated wastewater, as well as other waste, from Guatemala City and other urban populations. The objective of this research was to determine the contamination by microplastics and the quality of the water in Lake Amatitlán. Three water and fish samplings were carried out in October and December 2020, and January 2021, also determining the pH, conductivity and





dissolved oxygen in the field. Nutrient analysis was carried out in the Environmental Chemistry Research Laboratory –LIQA- and in the laboratory of the Instrumental Analysis Unit –UAI-. The fish collected (*Oreochromis niloticus* and *Parachromis managuensis*) were dissected, finding microplastics in the digestive tract, mainly of the line / fiber type in 97.14% of the fish sampled. It was also found that the concentrations of nitrogen (above 0.50 mg/l) and phosphorus (above 0.05 mg/l) in lake water correspond to eutrophic lakes, the Villalobos river being one of the main sources of contamination. The presence of microplastics in fish from Lake Amatitlán, which is reported in this study for the first time, represents a risk for the population that consumes them, requiring the attention of environmental authorities.

Keywords

Water quality, emerging pollutants, eutrophication, nutrients, tilapia.

4. Introducción

Uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial es la contaminación del agua, que inutiliza muchas fuentes para el consumo, la recreación o la agricultura. En Guatemala, la contaminación de los cuerpos de agua se ha producido como efecto de las descargas directas de aguas residuales, el uso indiscriminado de plaguicidas y las descargas de la industria, que han provocado la contaminación con nutrientes, plaguicidas y metales pesados. Uno de los cuerpos principalmente afectados, es el lago de Amatitlán, en el cual se han encontrado niveles elevados de los contaminantes mencionados, que han provocado la eutrofización del lago y el incremento en el riesgo de enfermedades para el ser humano (Basterrechea, 1997; Knedel, Chiquín, Pérez, & Rosales, 1999; van Tuylen, 2021;). La importancia de la determinación de nitrógeno y fósforo se debe a que sus concentraciones elevadas facilitan la proliferación de algas y por consiguiente la eutrofización. Tradicionalmente se ha considerado que el fósforo es el principal nutriente limitante del crecimiento de algas en los lagos, sin embargo recientemente se ha encontrado que también el nitrógeno puede actuar como nutriente limitante cuando el valor del cociente N;P disminuye (Camargo & Alonso, 2007), lo cual se ha encontrado en Guatemala en el lago de Atitlán, en el cual se reportaron relaciones menores a 10 en 2009 (Oliva, Pérez, del Cid, Martínez, & Valladares, 2009). Así mismo, metales pesados como el plomo y el cadmio, pueden causar toxicidad a los organismos cuando se encuentran en concentraciones elevadas (Esteves, 1988).

Desde los años 1990 se han tomado diferentes medidas para reducir la contaminación del lago, desde la regulación de las descargas de aguas residuales hasta el tratamiento de las mismas, entre varias acciones adoptadas (López, 2012; Gobierno de Guatemala, 2006). Esto ha disminuido el flujo de los contaminantes tradicionales, sin embargo, no se habían contemplado los contaminantes





emergentes, de los cuales varios han contaminado el agua desde hace décadas, pero hasta recientemente se les comenzó a poner atención (Geissen, Mol, 2015). Entre estos contaminantes se encuentran los microplásticos y las tierras raras, de los cuales se desconocen sus niveles y su composición química en los cuerpos de agua de Guatemala.

Se ha demostrado en diferentes estudios que el lago de Amatitlán está altamente contaminado por metales pesados, encontrándose recientemente arsénico, mercurio y cadmio en músculo de peces del lago (Cano, 2018) y también recientemente se han reportado niveles cuantificables de cianotoxinas, como las microcistinas (Romero-Oliva, Contardo-Jara, Block & Pflugmacher, 2014), sin embargo no se han realizado estudios para identificar y cuantificar las tierras raras ni los microplásticos. La importancia del estudio de estos contaminantes emergentes, se debe a que se desconoce por una parte en qué componentes ambientales se encuentran, siendo así importante la detección, identificación y cuantificación de los contaminantes emergentes y sus productos de transformación en los diferentes compartimentos ambientales, para entender su ocurrencia y destino (Oliveira, Correa, & Smith, 2020). Por otra, los efectos que pueden estar causando en el ecosistema acuático y el riesgo para la salud de la población humana, en contacto con el agua (Pastor & Agulló, 2019) o que consume peces extraídos de los cuerpos de agua contaminados. En estudios realizados en diferentes países se ha encontrado la presencia de microplásticos y ftalatos en peces de agua dulce y de agua salada (Baiani et al., 2017). Así mismo, hasta recientemente se están generando datos sobre la presencia de tierras raras en ecosistemas acuáticos, (Udie, Otele, & Ndidi, 2018) consistentes en los elementos lantánidos, el escandio y el itrio, y que son liberados a partir del llamado "ewaste" conformado por los desechos de productos electrónicos y eléctricos de alta tecnología. Por este mismo desconocimiento, no se han incluido aún en las normas de calidad del agua ni en la regulación de aguas residuales o de alimentos, niveles permitidos para estos contaminantes, siendo necesario investigar la presencia e identidad de los mismos para poder realizar propuestas para la mejor disposición de los desechos plásticos y de productos de alta tecnología.

Por lo anterior, en el presente proyecto se planteó la evaluación de microplásticos en agua y peces del lago de Amatitlán, complementada con determinación de diferentes parámetros de la calidad del agua, como nutrientes. Para lo anterior, se realizaron tres muestres de agua y peces, de manera de obtener información sobre la calidad del agua y poder determinar los microplásticos en peces con un tamaño mayor a 15.0 cm que son consumidos en el lago de Amatitlán, correspondiendo a las especies *O. niloticus* (tilapia del Nilo) y *Parachromis managuensis* (guapote). A partir de los resultados se obtuvo información sobre la presencia de microplásticos en peces del lago de Amatitlán que podrá considerarse por la autoridad ambiental (AMSA) y las municipalidades de la cuenca en la toma de decisiones relacionadas con la educación ambiental, la disposición de residuos de plásticos, y sobre todo para poder determinar la toxicidad del agua y el riesgo para la población,





para realizar propuestas para el mejoramiento de las normas y regulaciones sobre la calidad del agua.

5. Planteamiento del problema

El lago de Amatitlán se encuentra altamente contaminado a causa de las descargas de aguas residuales de la industria y de la población asentada en la vertiente sur de la ciudad de Guatemala (Lopez, 2013; van Tuylen, 2021), a través del río Villalobos que es el principal afluente del lago. Es así como en el lago se han encontrado niveles elevados de metales pesados y plaguicidas, así como se ha observado el problema grave de eutrofización (Basterrechea, 1997; Knedel, Chiquín et al., 1999; van Tuylen, 2021), por lo que siendo uno de los principales sitios de atracción turística hasta los años 1970, en la actualidad su atractivo ha decaído notoriamente. A pesar que por medio de la legislación se ha tratado de disminuir la contaminación del agua en la cuenca, no se han considerado hasta ahora diferentes contaminantes de los llamados emergentes. El tema de microplásticos ha cobrado especial interés por las grandes masas de desechos plásticos, por su escasa biodegradabilidad y por el hecho de que se han acumulado en los mares y en diferentes cuerpos de agua afectando a diferentes organismos indispensables para el equilibrio ecológico. Se han encontrado microplásticos en diferentes especies acuáticas (Baiani et al., 2017; Boerger, Lattin, Moore & Moore, 2010; Possatto et al., 2011)

Por lo anterior, el principal problema abordado en el proyecto, fue el desconocimiento sobre los niveles en que se encuentran los microplásticos en los ecosistemas acuáticos de Guatemala, siendo el caso del lago de Amatitlán de relevancia por ser el lago que recibe descargas de aguas residuales de la ciudad de Guatemala. Recientemente se han iniciado estudios sobre microplásticos en el agua, sin embargo estos son a escala cualitativa, solo identificando por microscopio la presencia de microplásticos en el agua, sin considerarse el tipo y composición, importantes para evaluar el riesgo toxicológico de estos contaminantes ni su bioacumulación en organismos acuáticos.

De esta forma se carecía de información básica para evaluar el riesgo toxicológico de la contaminación por microplásticos, de utilidad para la toma de decisiones de manejo relacionadas con la alerta temprana y la mejor disposición de los desechos, para la regulación de la disposición de desechos de productos plásticos con el fin de mitigar el problema, y sobre todo para considerar la inclusión de niveles permisibles en el agua, en las normas de calidad de agua, en un momento en que se está comenzando con el proceso de actualización de la norma de agua potable y que se debe evaluar el reglamento de aguas residuales vigente.





6. Preguntas de investigación

¿Existen niveles cuantificables de microplásticos en el agua y peces del lago de Amatitlán?

¿En qué concentraciones se encuentran los microplásticos en agua y peces del lago de Amatitlán?

¿Cuáles son las características fisicoquímicas del lago de Amatitlán en los puntos contaminados con microplásticos?

7. Delimitación en tiempo y espacio

- 7.1 Delimitación en tiempo: El proyecto tuvo una duración de 12 meses, del 1 de febrero de 2020 al 31 de enero de 2021. Se realizaron tres muestreos mensuales de agua y peces en el lago de Amatitlán, en los meses de octubre y diciembre 2020 y enero 2021.
- 7.2 Delimitación espacial: El estudio abarcó el lago de Amatitlán, en el departamento de Guatemala, así como la desembocadura de su principal afluente, el río Villalobos y su efluente río Michatoya. Los análisis de laboratorio se realizaron en los laboratorios de la Escuela de Química, del Departamento de Análisis Inorgánico y de Unidad de Análisis Instrumental.

8. Marco teórico

8.1 Ubicación geográfica del lago de Amatitlán

El Lago de Amatitlán se encuentra localizado a 25 km de la ciudad de Guatemala a 1118 msnm, en la parte norte del municipio de Amatitlán (14°28' latitud norte y 90°37' longitud oeste). Tiene una extensión aproximada de 15 km². El lago de Amatitlán se encuentra rodeado de los municipios de Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa y Amatitlán, siendo su principal tributario el Río Villalobos.

8.2 Procesos de eutrofización

El concepto de estado trófico fue introducido originalmente por limnólogos suecos y alemanes, basándose en dos factores relacionados: la cantidad de producción en las aguas superficiales y las condiciones en el hipolimnio de las aguas estratificadas (Horne, 1994). La eutrofización consiste en la superproducción de algas motivadas por incrementos notables de los niveles de nutrientes, lo





cual en el mediano plazo provoca reducciones en los niveles de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua. Esto provoca la muerte de los organismos acuáticos.

Cheung y Wong (2006), estudiaron la bioacumulación de metales pesados en peces y camarón en la Reserva Natural Mai Po, en Hong Kong. En el estudio se encontraron niveles altos de nutrientes en los sedimentos colectados, así como niveles elevados de zinc, cromo, cobre, plomo, níquel y cadmio. En el estudio, fueron encontradas concentraciones de cromo en tilapia (*Oreochromis mossambicus*) (0.68-1.10 mg/kg, peso húmedo), cercanos al nivel guía de 1 mg/kg establecido por la reglamentación para la adulteración de alimentos de Hong Kong.

Los autores encontraron altos niveles de plomo en camarón (*Metapenaeus ensis*), excediendo la concentración máxima permitida, por lo que recomendaron que el camarón de esa área no debía consumirse en grandes cantidades. También indicaron que los altos niveles de cromo encontrados en el cuerpo de la tilapia pueden llegar a ser dañinos, ya que es una fuente de alimento para aves migratorias que visitan el área.

Por otra parte, Gonzáles-Mendoza *et al.* (2006) realizaron un estudio de plantas *Avicennia germinans* (mangle negro), con diferencias en la arquitectura radical, a las cuales expusieron bajo condiciones hidropónicas a cadmio (Cd), en concentración de 95 ppm por un período de 24 h. Posteriormente las raíces, tallos y hojas del mangle fueron analizadas por espectrofotometría de absorción atómica. Se encontró que la raíz del mangle acumuló mayor concentración de Cd que el tronco y hojas. Por otra parte, encontraron que el mangle que presenta una estructura más compleja de raíces acumuló el Cd en mayor concentración.

Bundy y Berzins, utilizaron la polarografía de pulso diferencial (voltamperometría), para el análisis de plomo y cromo en aguas de Luisiana (Bundy y Berzins, 1998). En la investigación los autores usaron la técnica polarográfica para el análisis de agua, sedimentos y muestras de animales en el Pantano del diablo cerca de Baton Rouge, Luisiana. El enfoque del trabajo fue la detección de plomo y cromo, habiéndose encontrado que el plomo estaba distribuido uniformemente en las diferentes fracciones del sedimento con un valor medio de 18.7 μg/g y en el agua de alrededor de 15 μg/L. Resultados preliminares de estudios en ranas, indicaron que la mayor parte del cromo y del plomo se encuentran presentes en el músculo y hueso de ranas, y para cada metal, hay una concentración mayor en el músculo que en el hueso. La concentración media en el tejido muscular fue de 550 μg/kg lo cual indica que ocurre bioacumulación del metal en las ranas.

8.3 Microplásticos

Los microplásticos, son partículas de plástico menores a 5 mm provenientes principalmente de la fragmentación de los mesoplásticos (5-25 mm) que provienen a su vez de la degradación de





artefactos de plástico de mayor tamaño (Jabeen et al., 2017). Hasta hace poco, la mayoría de las investigaciones que se realizaban sobre microplásticos se hacían en ecosistemas marinos, donde se encontró inicialmente la acumulación de desechos plásticos, siendo considerados como el destino final de dichos contaminantes. Según Yuan et al. (2019), aún en el presente año los estudios sobre microplásticos en las aguas dulces continentales son insuficientes, y sugieren considerar programas integrales de monitoreo de microplásticos en ambientes de agua dulce.

Por otra parte, los ésteres de ácidos ftálicos (PAE), conocidos como ftalatos, son una clase de productos químicos que varían mucho en términos de usos, propiedades y toxicidad. Los ftalatos de uno a 4 átomos de carbono se utilizan en productos comerciales en productos no-vinílicos y en productos farmacéuticos, mientras que los ftalatos de 8 a 10 átomos de carbono se utilizan como aditivos que imparten flexibilidad a resinas vinílicas (Staples, Guinn, Kramarz, & Lampi, 2011). Según dichos autores, se han realizado diferentes estudios exponiendo peces o invertebrados en todas las etapas sensibles de desarrollo, obteniéndose resultados que indican que las poblaciones de organismos acuáticos, ya sean peces o invertebrados, pueden afectarse negativamente por la exposición a ftalatos de uno a cuatro átomos de carbono, mientras que no son afectadas negativamente por exposición a ftalatos de ocho o más átomos de carbono

8.4 Metales

Metales tóxicos bioacumulables

Constituyen parte integrante del ambiente y de la materia viva, ocurriendo naturalmente en pequeñas concentraciones, en el orden de partes por billón (ppb) a partes por millón (ppm). Entre estos, el zinc, el hierro, el manganeso, el cobre, el cobalto y el molibdeno, los cuales son esenciales para los organismos, aunque en cantidades mínimas, pues participan de procesos fisiológicos como la cadena respiratoria (Fe y Cu integran los citocromos); otros elementos, como el mercurio, el plomo y cadmio, pueden causar toxicidad a los organismos cuando se encuentran en concentraciones elevadas (Esteves, 1988).

Los metales traza pertenecen a la clase B o a la categoría límite, según Nieboer y Richardson (*apud* Phillips y Rainbow, 1993). Estos iones metálicos tienen alta afinidad por moléculas que contienen átomos de nitrógeno y azufre, enlazándose con relativa facilidad a proteínas y macromoléculas celulares. Así, su toxicidad se debe principalmente a su capacidad de interferir en reacciones enzimáticas (bloqueando o desplazando el ion esencial, o modificando la conformación activa de las biomoléculas como proteínas y enzimas) y también a su baja movilidad, causada por las pequeñas dimensiones y la presencia de cargas dobles y triples (número de oxidación). Esta





movilidad débil hace que se acumulen, modificando profundamente el metabolismo del organismo (Connell & Millar, 1984).

Los metales también pueden enlazarse covalentemente a átomos de carbono en un grupo orgánico, como el grupo metilo (-CH₃), originando los llamados compuestos organometálicos. Los compuestos organometálicos neutros tienden a ser liposolubles, propiedad que facilita su movimiento a través de membranas biológicas, permaneciendo intactos durante ese paso y permitiendo su distribución en esos sistemas. Este proceso de metilación ocurre naturalmente y es responsable de gran parte de la movilidad ambiental de algunos metales pesados. Entre los elementos que presentan formas metiladas en el ambiente, se destacan el mercurio y el plomo.

Cadmio

Es un elemento metálico, que tiene un color azulado similar a la plata, es blando, dúctil y maleable. A causa de su reactividad no se encuentra nativo en la corteza terrestre, y se encuentra asociado a minerales de zinc. El cadmio se utiliza principalmente en galvanoplastía y como constituyente de pigmentos y estabilizantes de plásticos, también es muy empleado en la fabricación de pilas. También son fuentes de este metal en cantidades considerables, los fertilizantes fosfatados artificiales y el drenaje de minas (zinc y plomo). El comportamiento del metal en agua depende de su especiación, sin embargo a menor valor de pH mayor será su solubilidad. Las aguas superficiales suelen tener menos de 1 μg/l de Cd (Marín, 2003).

El cadmio es un metal altamente tóxico a diferentes formas de vida, acumulándose en microorganismos, tejidos vegetales y animales. Ensayos de bioconcentración con peces, utilizando cloruro de cadmio como sustancia de ensayo, permitieron constatar que la acumulación de este metal aumenta en función de su concentración en el agua; con todo, la transferencia de los organismos para el agua no contaminada promovió el rápido decaimiento del cadmio acumulado, aunque un residual significativo haya permanecido hasta el día 42, cuando se compararon con organismos control (CETESB, 1990).

El cadmio se bioacumula en los tejidos de los organismos de agua dulce (Mason, 1991; Wren *et al.*, 1995). Factores de bioconcentración medios en macrófitas son inferiores a 50 y en peces, menores que 100. Para algunos moluscos se han registrado factores entre 2000 y 4000. Esa distribución y acumulación de cadmio en los tejidos es dependiente de la especie y vía de exposición (alimento o agua). En peces, una gran proporción del cadmio retenido se acumula en las branquias, hígado y riñones. Un ejemplo son las truchas en ríos suecos contaminados con cadmio, las cuales presentan residuos en el hígado de 6 a 8 veces superiores cuando se comparan con peces de lugres exentos de contaminación con ese metal (Mason, 1991).





El cadmio puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por el lodo, y este lodo puede llegar a contaminar aguas superficiales y suelos. Este metal es fuertemente absorbido por la materia orgánica del suelo. En ecosistemas acuáticos, el cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, camarones, langostas y peces. Los animales que comen o beben cadmio algunas veces tienen la presión sanguínea alta, daños en el hígado y daños en nervios y cerebro. De los metales pesados el cadmio junto al arsénico son los metales que presentan una mayor toxicidad y tendencia a la bioacumulación (ATSDR, 1999). El órgano diana al que es transportado el cadmio por la sangre es el riñón, provocando una acumulación crónica en la corteza renal lo que conduce a disfunciones y pérdida de proteínas, aminoácidos y glucosa en la orina. La toxicidad del cadmio provoca problemas de reproducción, cáncer, enfermedades cardiovasculares e hipertensión y está clasificado como carcinógeno humano (Prasad, 2008).

Plomo

El plomo es un metal pesado de baja temperatura de fusión (327.4°C), de color gris-azulado, que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre, combinado con otros dos o más elementos, generalmente en forma de carbonatos y sulfuros. Es fácil de moldear y tallar, y puede combinarse con otros metales para formar aleaciones, especialmente con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio; de importancia industrial. El plomo y las aleaciones son componentes comunes de baterías, tuberías, pesas, proyectiles y municiones, soldaduras suaves, revestimientos de cables, láminas utilizadas para protección de la radiación y pigmentos. El plomo es utilizado en la fabricación y manejo del ácido sulfúrico. Su principal uso es en baterías para automóviles. El nitruro de plomo (Pb(N₃)₂, es el detonador estándar de explosivos. Los arsenatos de plomo se emplean en grandes cantidades como insecticidas para la protección de los cultivos. También es utilizado en las industrias de tintes y como aditivo en derivados del petróleo (Marín, 2003; ATSDR, 1999).

El plomo existe en formas inorgánicas como [Pb(II)] y, menos frecuentemente, en orgánicas [Pb(IV)]. Sus formas físicas y químicas influyen en su distribución y comportamiento en el ambiente, así como su potencial de absorción y toxicidad en los organismos vivos. Así, su asimilación en ecosistemas acuáticos parece ser determinada por su biodisponibilidad, generalmente más baja cuando hay presencia de materia orgánica o partículas minerales. Además, la temperatura, la salinidad, el pH y el contenido de ácidos húmicos y fúlvicos son factores que influyen en la acumulación de plomo a partir del agua y del sedimento (OMS, 1989).

Una gran variedad de organismos acuáticos pueden asimilar y acumular altas concentraciones de plomo, y el tiempo de residencia parece estar relacionado a la ruta de absorción. Compuestos orgánicos de este elemento, sobre todo formas metiladas como el tetralquilplomo, son más lipofílicos, siendo absorbidos y acumulados más rápidamente, siendo así más tóxicos que sus





compuestos inorgánicos, elevándose la intensidad de la toxicidad con el grado de alquilación (Pain, 1995).

Un estudio detallado de la distribución del plomo en macrófitas en Lake Shoal, Canadá, evidenció que las concentraciones acumuladas variaron considerablemente entre las especies. En ese estudio, mientras *Potamogeton mineus* contenía 45 mg/kg de peso seco, otras especies de *Potamogeton* contenían menos de 20 mg/kg; otros géneros de macrófitas contenían concentraciones aún más bajas. Invertebrados de ríos de planicies, con niveles generalmente más bajos de contaminación, tenían factores de bioconcentración entre 32 y 360, no relacionados a la posición trófica (Mason & Barak 1990).

Se sabe que el plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, y es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto nocivo sobre la salud. El plomo se acumula en los organismos acuáticos y organismos del suelo, causándoles efectos en la salud debido al envenenamiento por plomo. El plomo limita la síntesis de clorofila en las plantas. Aguas con concentraciones de plomo pueden afectar las funciones del fitoplancton, que es una fuente importante de producción de oxígeno, y al ser consumido por otros organismos, esta contaminación puede influir en los balances globales (ATSDR, 1999).

Se ha encontrado que en aguas superficiales, los ríos contienen una media de 3 a 30 ppb de plomo. En aguas naturales, no contaminadas, el contenido de plomo total (disuelto, coloidal y asociado a partículas) oscila entre 50 y 10 μ g/l o ppb; mientras que la fracción de plomo disuelto no suele superar los 10 ppb. En varios ríos en los Estados Unidos se ha encontrado que la concentración de plomo disuelto era de 0.2 ppb (Marín, 2003). El fitoplancton puede contener de 5-10 ppm de plomo, en base seca, los peces de agua dulce de 0.5-1000 ppb aproximadamente y las ostras aproximadamente 50 ppb (Lenntech, 1993).

Generalmente los efectos por envenenamiento por plomo son neurológicos o teratógenos. Las mujeres son más susceptibles al envenenamiento que los hombres, y los niños más susceptibles que los adultos, hasta en un 40%. Los síntomas incluyen coeficientes intelectuales menores (CI), cambios en el comportamiento y desorden en la concentración (Lenntech, 1993). El plomo es un elemento no esencial y posee carácter tóxico. El plomo provoca la enfermedad conocida como saturnismo, la cual se caracteriza por la acumulación de este metal en los huesos, en los nervios y en el sistema renal e hígado, se aloja principalmente en los tejidos grasos o adiposos. Presenta carácter carcinógeno. El plomo al igual que el mercurio, es excretado lentamente (Marín, 2003).





Nutrientes en agua

Nitrógeno total

El nitrógeno total está constituido por el nitrógeno que forma parte de los compuestos presentes en una muestra y que puede ser determinado como tal. La diferencia entre el nitrógeno total y el nitrógeno de especies inorgánicas constituye el nitrógeno orgánico, el cual representa una reserva para la conversión a formas más asequibles para la cadena trófica y por lo mismo, para los procesos de eutrofización de cuerpos de agua. El nitrógeno orgánico no contemplado en amoníaco puede convertirse a amoníaco por las bacterias saprofitas, siendo entonces una fuente energética para bacterias autótrofas (nitrificantes) que lo transforman en iones nitrito (NO₂-) y nitrato (NO₃-) las cuales requieren cantidades de oxígeno del orden de 4.5 veces más de la concentración que requiere el amoniaco, por lo que sus efectos sobre el oxígeno disuelto pueden aparecer más tarde, siendo por lo tanto su detección de interés en los planes de saneamiento (Colegio de Ingenieros, 1995).

Nitrógeno de amonio

Este se puede encontrar en solución acuosa y está constituido por el nitrógeno que forma el ion amonio y el amoníaco, existe en la naturaleza como producto de procesos metabólicos, agrícolas e industriales (Sierra, 2011; Organización Mundial de la Salud, [OMS], 1995). La concentración en aguas naturales superficiales se encuentra generalmente por debajo de 0.2 mg/l. El amoníaco es considerado como un indicador de la contaminación del agua por bacterias, aguas residuales o desechos de origen animal. Aunque sus efectos toxicológicos se observan solamente en exposiciones mayores a 200 mg/kg de peso corporal, su presencia puede originar la formación de nitritos y ocasionar problemas de sabor y de olor en el agua (OMS, 1995).

Nitrógeno de nitrato y nitrógeno de nitrito

Las concentraciones de nitratos en aguas naturales son normalmente de unos pocos miligramos por litro, observándose en algunos lugares incrementos debido a las prácticas agrícolas con fertilizantes nitrogenados. En cuanto al nitrógeno de nitritos, la OMS ha propuesto un valor guía para el nitrito de 3 mg/l (OMS, 1995).

Fósforo total

El fósforo total es la suma del fósforo contenido en todas las especies presentes en una muestra. La diferencia entre el fósforo total y el fósforo de ortofosfatos constituye la reserva de fósforo que puede ser convertido a su forma más asequible para la cadena trófica, el ortofosfato, el cual se considera como uno de los principales nutrientes en el agua y por lo tanto, causante de eutrofización en cuerpos de agua cuando se encuentra en cantidades grandes. El fósforo en sus diferentes formas





produce un incremento del crecimiento de las algas, ya que es un elemento esencial para crecimiento de plantas y organismos. Normalmente se encuentra en cantidades limitadas, y por ser un factor limitante para el crecimiento, es un elemento clave en la mayoría de los procesos de eutrofización. (Colegio de Ingenieros, 1995)

Fósforo de ortofosfato

El fósforo de ortofosfato es la forma asequible del fósforo para intervenir en los procesos bioquímicos en el agua. Básicamente es el factor limitante de la productividad en cuerpos de agua, por lo que su evaluación es importante para evaluar los procesos de eutrofización y contaminación en aguas naturales (Colegio de Ingenieros, 1995).

8.5 Sólidos, oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno

Sólidos sedimentables

Es el material que se deposita a partir de una muestra de agua, en un período definido. Su medición se realiza en conos de Imhoff, permitiendo que el material se deposite por una hora (APHA, 1998). En ríos, proporcionan información sobre la carga de sedimentos transportadas por el mismo.

Sólidos totales

Los sólidos totales son el residuo luego de la evaporación de una muestra de agua y su posterior secado en un horno a una temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos totales que son los sólidos totales retenidos por un filtro, y los sólidos disueltos totales que es la porción que pasa por dicho filtro (APHA, 1998).

Sólidos disueltos

Son los sólidos que pasan a través de un filtro con un tamaño de poro de 2.0 micrómetros o menor, bajo condiciones especificadas. Proporcionan información sobre la cantidad de sales y otros compuestos solubles (APHA, 1998).

Sólidos suspendidos

Son los sólidos que se quedan retenidos en un filtro de fibra de vidrio con un tamaño de poro de 2.0 micrómetros o menor, bajo condiciones especificadas. Proporcionan información sobre el material suspendido en el agua (APHA, 1998).





Potencial de hidrógeno (pH)

El pH está relacionado con la acidez o alcalinidad de un vertido, y describe la concentración del ion hidronio, H⁺, representado por el logaritmo de su inversa Es útil para determinar la acción corrosiva sobre estructuras de abastecimiento, distribución, que resultan en adiciones de elementos metálicos al agua potable (hierro, cadmio, plomo, cinc) tendiendo además a disolver metales (a bajo pH el agua sabe ácida). Valores extremos de pH o cambios súbitos pueden provocar situaciones limitantes o acabar con la vida de organismos acuáticos (Colegio de Ingenieros, 1995). Extremos en el pH pueden ocasionar la muerte rápida de los peces, alteraciones drásticas en la flora y la fauna, y reacciones peligrosas secundarias, (p.e. cambios en la solubilidad de los nutrientes, formación de precipitados, etc.). El pH debe mantenerse dentro de un rango "normal" para la vida biológica, entre 6.5-8.0 (Reglamento de requisitos mínimos, 1989).

Oxígeno disuelto (OD)

Cualidad del agua, que en concentraciones apropiadas, es esencial, no sólo para mantener los organismos vivos, sino también para mantener los niveles de reproducción de especies, su vigor y desarrollo. La reducción de OD, afecta a la población de peces a través de retrasos en la suelta de huevos, embriones reducidos en tamaño y vigor, deformaciones en jóvenes, interferencias con digestión, aceleración de coagulación en la sangre, disminución de tolerancia a tóxicos, utilización de alimentos, crecimiento y velocidad. Otros organismos están afectados igualmente; su eliminación total conduce a la muerte. Se considera que 5 ppm (75%) es un valor deseable para un medio adecuado, requiriéndose OD más elevado para cientos de receptores (Colegio de Ingenieros, 1995).

9. Estado del arte

Estudios recientes en el lago de Amatitlán

En un estudio reciente realizado por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA) se evaluaron diferentes contaminantes en cinco puntos principales de dicho lago, siendo estos: Oeste centro, Este centro, Bahía Playa de Oro, Afluente (Desembocadura del Río Villalobos) y Efluente (Inicio del Río Michatoya). En el estudio se reportaron valores promedio de transparencia de 0.64 m en el lado oeste y 0.70 m en el lado este del lago, reportándose sobresaturación de oxígeno disuelto en los meses de maro, abril y agosto cuando se alcanzaron concentraciones de hasta 12.75 mg/l de dicho parámetro. En el hipolimnio se registraron condiciones de hipoxia, con concentraciones tan bajas como 1.2 mg/l. En cuanto a los nutrientes, se encontraron niveles promedio de fósforo de ortofosfatos de 0.46 mg/l en el lado oeste y de 0.16 mg/l en el lado oeste del lago; el nitrógeno de nitratos se encontró en niveles promedio de 1.05





mg/l en el lado oeste y de 0.53 mg/l en el lado este del lago. Por su parte, el nitrógeno de amonio se encontró en concentraciones promedio de 2.03 mg/l en el lado oeste y de 0.66 mg/l en el lado este del lago. Se reportó también la presencia de arsénico, cadmio, plomo, hierro, zinc, cromo, mercurio, cobre y níquel en el agua del lago. Según la autora del estudio, el lago de Amatitlán se encontró en un estado entre supereutrófico e hipereutrófico durante los meses de enero a noviembre de 2020 (Van Tuylen, 2020)

Microplásticos

El plástico es uno de los materiales más comúnmente producidos y utilizados en el mundo debido a sus características. Sin embargo, su mala gestión en los residuos ha provocado impactos negativos en los ecosistemas. Esto ha provocado que su degradación en el ambiente genere partículas con un tamaño menor a 5 mm, lo que es definido como microplásticos. Tienen una amplia dispersión en ambientes acuáticos y sus efectos ecotoxicológicos potenciales no son claros (Bellasi et al., 2020). Según Campanale (2020) muchos científicos los usan como indicadores clave de contaminación del período reciente y contemporáneo.

Purificación de Microplásticos

La purificación de microplásticos dentro de una matriz orgánica se puede realizar por medio de una extracción multietapas, partiendo por diferencias de densidades (soluciones acuosas con diferentes concentraciones de sales), métodos enzimáticos para eliminar grasa, por ejemplo, luego una digestión alcalina, y por último separar físicamente mediante el empleo de una pinza y un estereoscopio. Aislado el microplástico este se puede identificar y caracterizar por espectroscopia Raman y espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) (Alesio, 2018). Para la colecta de muestra de agua superficial. Koelmans (2019) recomienda filtrar no menos de 1000 litros de agua empleando un filtro tenga un poro que retenga partículas menores a 300 micrómetros, el lavado del filtro se tiñe con rosa de bengala, (lo que no se tiñe se considera microplástico) permitiendo distinguir el microplástico del filtro (Kosuth, 2018)

Determinación de Ftalatos

Para la determinación de ftalatos tales como: ftalato de dimetilo (DMP), ftalato de dietilo (DEP), ftalato de di-n-butilo (DBP), ftalato de bencilo y butilo (BBP), ftalato de di-2-etilhexilo (DEHP) y ftalado de di-n-octilo (DnOP), se pueden aislar de la matriz orgánica mediante extracción líquido-líquido, la muestra se homogeniza con acetonitrilo:agua 1:1, luego se adiciona hexano, el hexano se evapora y el residuo se disuelve en isooctano, la solución se analiza por cromatografía de gases con detector de masas (García, 2018). Farahani (2017) considera que aplicando ultrasonido en la extracción con hexano mejora la extracción en factores de enriquecimiento entre 100 y 330.





10. Objetivo general.

Evaluar los niveles de microplásticos en agua y peces del lago de Amatitlán.

11. Objetivos específicos

Determinar las concentraciones de microplásticos en agua y peces del lago de Amatitlán

Determinar los principales parámetros fisicoquímicos en el agua del lago de Amatitlán y su relación con los niveles de microplásticos

12. Hipótesis (si aplica).

Existen niveles cuantificables de microplásticos en el agua y peces del lago de Amatitlán.

13. Materiales y métodos

- 13.1 Enfoque y tipo de investigación: enfoque cuantitativo. Tipo de investigación: descriptiva y explicativa.
- 13.2 Recolección de información:
 - 13.2.1 Universo: fue constituido por las concentraciones de los microplásticos en peces del lago de Amatitlán. Se realizaron tres muestreos de agua y de peces colectándose *Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758 (Tilapia del Nilo), y *Parachromis managuensis*, Günther, 1867 (Guapote). Se colectaron muestras de agua en ocho puntos en el lago, predeterminados por estudios anteriores, así como en el afluente del río Villalobos y el efluente del río Michatoya. Las localidades de muestreo se registraron por medio de coordenadas geográficas.
 - 13.2.2 Muestreo: La selección de los puntos de muestreo fue por conveniencia. Se realizaron tres muestreos para colecta de agua, dos especies de peces de consumo del lago. Se colectaron muestras de agua en ocho puntos en el lago predeterminados por estudios anteriores así como en el afluente del río Villalobos y el efluente del río Michatoya. Para el análisis de microplásticos en peces se





- colectaron 70 peces de 2 especies, *Oreochromis niloticus* (Tilapia), y *Parachromis managuensis* (Guapote).
- 13.3 Para investigación cuantitativa: el diseño de muestreo fue no probabilístico, se muestrearon ocho puntos de muestreo en el lago que han sido utilizados para colecta de muestras en estudios anteriores considerando la cercanía con posibles fuentes de contaminación por ocupación humana, y en el afluente del río Villalobos y el efluente del río Michatoya.
- 13.4 Para investigación cualitativa: no aplica.
- 13.5 Técnicas e instrumentos:
- 13.5.1 Muestreo: sé colectaron muestras de agua en tres muestreos en los meses de octubre y diciembre de 2020 y enero de 2021, en ocho puntos de muestreo en el lago de Amatitlán, y uno en el afluente de río Villalobos y otro en el efluente del río Michatoya. Se midieron en el campo los parámetros pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, potencial de oxidorreducción y salinidad. Se muestrearon 70 individuos de dos especies de peces del lago de Amatitlán, en tres muestreos (octubre y diciembre 2020 y enero 2021). Los peces sé identificados taxonómicamente en el CEMA.
- 13.5.2 Preparación preliminar de la muestra: las muestras de agua se filtraron antes de los análisis fisicoquímicos. Los peces se pesaron y midieron en longitud, se tomaron las vísceras de los peces para el análisis de microplásticos.
- 13.5.3 Determinación de nutrientes y otros parámetros de calidad del agua: las especies de nitrógeno (nitratos, nitritos, amonio y nitrógeno total) y fósforo (ortofosfatos y fósforo total) sé determinaron por medio de espectrofotometría UV/Vis y cromatografía de iones. Las cuantificaciones se realizaron por medio de curva de calibración. Se midieron también sulfatos por espectrofotometría UV/Vis, según metodología de APHA/AWWA.
- 13.5.4 Determinación de microplásticos en peces del lago de Amatitlán: para la determinación de microplásticos, las fibras y fragmentos obtenidos por extracción del sistema digestivo completa de los peces, las muestras de cada pez se colocaron en un matraz cónico y se trataron con 50 ml de hidróxido de potasio al 10% (1:10 p/v) por 48 h, luego se digirió a temperatura ambiente con 10 ml de H₂O₂ al 30% durante la noche para degradar cualquier materia orgánica restante. Para su clasificación los microplásticos fueron analizados en el microscopio y cuantificados gravimétricamente.





13.6 Operacionalización de las variables o unidades de análisis:

Cuadro 1

Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Objetivos específicos	Variables o unidades de	Forma en que se
	análisis que fueron	midieron, clasificaron
	consideradas	o cualificaron
Determinar las	Tipo y concentración de	Color, tamaño, forma.
concentraciones de	microplásticos en peces	Identidad química.
microplásticos en agua y	del lago.	mg/kg, mg/l
peces del lago de		
Amatitlán.		
Determinar los principales	Concentración y valores	mg/l
parámetros fisicoquímicos	de los parámetros	Se midieron <i>in situ</i> y
en el agua del lago de	fisicoquímicos	en el laboratorio según
Amatitlán y su relación	evaluados.	metodología de
con los niveles de	Similitud entre sitios de	APHA, AWWA
microplásticos.	muestreo y correlaciones	(1996) con medidor
	entre parámetros	multiparamétrico y
	fisicoquímicos del agua	métodos
	del lago.	espectrofotométricos.
		Los microplásticos se
		clasificaron según tipo
		(fibra, fragmento, film
		o microesfera) y color.
		Los resultados se
		clasificaron en tablas,
		obteniéndose
		promedios por sitio y
		muestreo.

13.7 Procesamiento y análisis de la información: los datos sé procesaron en una hoja electrónica de Excel. El resumen descriptivo se realizó con estadísticos de tendencia central, estadísticos de dispersión, tablas y gráficas. Los intervalos de confianza aplicados fueron del 95% para la media poblacional de las concentraciones de cada sustancia.





Metodología

Microplásticos

La determinación de los tipos y las concentraciones de microplásticos en agua y peces del lago de Amatitlán se puede realizar de la siguiente manera: a) microplásticos en agua; estos se colectaron mediante un filtro de malla de 60 µm para microplásticos <0.5 mm, (Oliveira, Correa, & Smith, 2020). b) para peces; extracción de microplásticos del sistema digestivo, para lo cual se realizó la disección empezando por la parte anal hasta llegar la región de las aletas pectorales, los microplásticos se pueden clasificar visualmente por medio de un estereomicroscopio, para la clasificación se puede realizar por tamaño de la partícula entre 1 y 5 mm (Oliveira, Correa, & Smith, 2020).

Las muestras colectadas con red de microplásticos se tamizaron con un tamiz de acero inoxidable de 500 µm. Se realizó una digestión con una solución de hierro 0.05 M y H₂O₂ al 35%. Después se debe separar por densidad con una disolución de NaCl y finalmente separar por filtración con papel filtro de 0.45 µm y 45 mm. A continuación las muestras se observan bajo estereoscopio. Se utiliza agua destilada como control (Masura, Baker, Foster, & Arthur, 2015).

Parámetros fisicoquímicos

Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos, el pH, la conductividad, oxígeno disuelto y temperatura se midieron en el campo por medio de un medidor multiparamétrico, introduciendo las sondas a una profundidad de 20 cm.

Para el análisis de nutrientes y otros parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio, se colectaron muestras de un litro de agua, utilizando botellas de polipropileno de 1.0 L, las cuales fueron enjuagadas previamente tres veces con agua del punto de muestreo y luego se colectó la muestra introduciendo la botella hasta una profundidad de 30 cm bajo la superficie del agua. Las muestras fueron almacenadas en hieleras con hielo para su transporte al laboratorio.

La determinación de nutrientes, metales, las especies de nitrógeno (nitratos, nitritos, amonio y nitrógeno total) y fósforo (fosfatos y fósforo total) sé determinaron por medio de espectrofotometría UV/Vis, para lo cual se tomó una porción de la muestra y se adicionó cromóforo para obtener la coloración respectiva a la longitud de onda de medición preparándose estándares de cada uno de los parámetros a cinco diferentes concentraciones para obtener la curva de calibración, realizándose así las cuantificaciones por medio de la curva de calibración. Se midieron también sulfatos por espectrofotometría UV/Vis (APHA, AWWA, & WEF, 1998). Los sólidos (sólidos sedimentables, sólidos en suspensión fueron determinados en cono de Immhoff, mientras que los sólidos totales disueltos fueron medidos utilizando filtros tarados de fibra de vidrio de





45mm los cuales se secaron y pesaron para obtener la masa por diferencia. Para la determinación de los sólidos totales, se midieron 100 mL en una cápsula de porcelana y se colocaron a evaporación en horno a 100°C por 24 h, según metodología de (APHA, AWWA, & WEF, 1998).

El nitrógeno (Amoníaco) se midió utilizando el método de Nessler 4500 NH₃. Este método es sensible a 20 μg de NH₃-N/L hasta 5 mg de NH₃-N/L. Se realizó una curva patrón con concentraciones de 0.1 a 0.10 mg/L y se leyeron a 410 nm en un espectrofotómetro UV-VIS con celda de 1 cm. Se comparó el valor de la absorbancia obtenida en la muestra contra la curva patrón para cuantificar la concentración de amoníaco.

El nitrógeno de nitrito NO₂⁻, se midió utilizando el método 4500-NO₂⁻ Método Colorimétrico utilizando sulfanilamida diazotizada y clorhidrato de N-(1naftil)-etilendiamida (NED). El rango de aplicación del método es de 10 a 1000 μg de NO₂⁻N/l y leer a 543 nm en un espectrofotómetro UV-VIS con celda de 1 cm. Se preparó una curva patrón con concentraciones de 1 a 20 μg de NO₂⁻ N/l. Se comparó el valor de la absorbancia obtenida de cada muestra contra la curva patrón para cuantificar la concentración de nitrógeno de nitrito.

El nitrógeno de nitratos NO₃-, se midió utilizando el método 4500-NO₃-, método del salicilato de sodio. Este método tiene un rango de aplicación entre 0.1 y 2 mg de NO₃-N/l. Se preparó una curva patrón de 0.1 a 1 mg de NO₃-N/l a partir de una disolución madre de nitrato de potasio. Se leyó a 420 nm en un espectrofotómetro UV-VIS con celda de 1 cm. El valor de absorbancia obtenida de cada muestra se comparó con la curva patrón para cuantificar la concentración de nitrógeno de nitratos en la muestra.

Nitrógeno total: el método a utilizar es el mismo que para el nitrógeno de nitratos, realizando como preparación de muestra una digestión con persulfato de potasio, 0.0620 gramos por cada 6 mL de muestra. Para prepararlo se disolvió el persulfato en un tubo de ensayo con tapón de rosca y se calentó a 115°C durante un periodo de tiempo de 30 minutos. Y se procedió con la medición, como en el procedimiento anterior.

La medición de fósforo de ortofosfatos se realizó por el método 4500-P E, método del ácido ascórbico, en el cual el primer paso fue convertir la forma fosforada en ortofosfato y a continuación determinar colorimétricamente el ortofosfato disuelto. Se preparó una curva patrón con concentraciones de 20 µg/L a 5 mg/l. Leer a 880 nm en un espectrofotómetro UV-VIS. Para este método la concentración mínima detectable fue de 10 µg P/l. En este método el molibdato amónico y el tartrato antimonílico de potasio reaccionaron en medio ácido con ortofosfato formando un ácido heteropoliácido fosfomolíbdico que se redujo a azul de molibdeno, el cual presentó un color intenso por el ácido ascórbico.





La medición de fósforo total se realizó utilizando la metodología anterior y realizando un pretratamiento con persulfato de potasio para provocar la oxidación de todo el fósforo presente en la muestra a ortofosfato, el cual se cuantifica con la metodología descrita anteriormente.

El oxígeno disuelto se cuantificó por medio del método 4500-O Método de Winkler modificado con azida de sodio. Esta metodología es una titulación con tiosulfato de sodio estandarizada de concentración 0.025M la cual utiliza almidón como indicador, proporcionando un color azul intenso cuando se ha pasado el punto estequiométrico de la reacción. En esta metodología cada ml de tiosulfato 0.025 M es igual a 1mg de OD/l. Esta metodología fue utilizada para medir el oxígeno disuelto cuando se cuantifica la demando bioquímica de oxígeno de 5 días, para la cual se incuba una muestra de agua, durante 5 días a una temperatura de 25°C determinando el oxígeno disuelto antes de incubar y después de incubada la muestra. Esa diferencia es la cantidad de oxígeno que la muestra necesita para oxidar el material oxidable dentro de la muestra.

Los sólidos totales se realizaron utilizando el método 2540B, con 100 ml de muestra correctamente mezclada en una cápsula de porcelana pesada y secada a peso constante y secada a 103-105 °C, durante una hora. Enfriada la cápsula en desecadora se pesó hasta llevar a peso constante.

Los sólidos totales en suspensión se realizaron siguiendo el método 2540C, filtrando una muestra bien mezclada por un filtro de fibra de vidrio estándar. El residuo retenido en el filtro se secó por calentamiento a 103-105 °C por una hora. El aumento del peso en el filtro representó los sólidos totales en suspensión.

Los sólidos totales disueltos se determinaron utilizando el filtrado de los sólidos totales en suspensión. Se evaporó la muestra en una cápsula de porcelana siguiendo el mismo procedimiento 2540B.

Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie se realizaron mediante una prueba volumétrica con un cono de Imhoff según el método 2540F. Se llenó un cono de Imhoff hasta la marca de 1L con una muestra bien mezclada, se dejó sedimentar por 45 minutos, removiendo las paredes del cono suavemente con una varilla y dejando en reposo por 15 minutos más, registrándose el volumen de sólidos sedimentables del cono como milímetros por litro.





Cuadro 2. Métodos de muestreo, procesamiento y análisis de plásticos en agua y peces. MP = (Micropartícula; QA / QC = Garantía de calidad / Control de Calidad; SEM = Microscopia electrónica de barrido).

	Muestreo Proces		Análisis	Reporte
Agua Natural	Método de	La separación	Visual (con o	Número de MPs
	muestreo de	visual es la más	sin	por 1/m ³ de
	superficie	comúnmente	microscopio) lo	muestra
Biota		utilizada para	más común es	Número de Mps
		partículas	describir la	por g de tejido /
		grandes.	morfología de	por individuo
		Separación por	las partículas	
		densidad para	(forma, tamaño,	
		sedimentos	color)	
		Remoción de		
		materia		
		orgánica cuando		
		exista alto		
		contenido		
		orgánico		
		La biota se		
		disecciona para		
		tejidos diana		
		(blanco) o		
		procesada		
		totalmente,		
		algunas veces se		
		depura antes de		
D C	A 1	ser procesada.	C 1 4/ 1	T 1'C 4
Desafíos y	A menudo no se	Pérdida de	Cada técnica	Las diferentes
limitaciones	valida	partículas debido a los	tiene sus propias	unidades de
	utilizando	debido a los métodos de	ventajas y limitaciones. La	reporte hacen dificil las
	muestras enriquecidas y	procesamiento.	visual solo es	
	enriquecidas y tasas de	procesamiento.	adecuada para	comparaciones
	recuperación,		partículas	
	las redes de		mayores a 500	
	muestreo		-	
	predefinen el		μm, y existe un	
	predefinen el		riesgo de	





	tamaño de		identificación	
	muestra		errónea.	
QA / QC	Difícil control	Las limitaciones	El análisis	Las
	de la	de los métodos	visual es	extrapolaciones
	contaminación	escogidos no se	subjetivo del	son comunes
	en el campo	discuten y por lo	usuario y puede	para el tamaño
		tanto no pueden	variar entre	de muestra de g
		ser comparados	investigadores.	a kg
		a través de los		
		estudios		

Referencia: Utne et al, 2019.

14. Vinculación, difusión y divulgación

La Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, mantiene relaciones de cooperación con la Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán (AMSA), fortaleciéndose al generarse información de utilidad para el manejo de la cuenca del lago de Amatitlán.

Se logró vinculación de las actividades del proyecto con AMSA, que brindó apoyo logístico en los muestreos en el lago de Amatitlán.

Se preparó un artículo científico para publicación en la revista Ciencia, Tecnología y Salud, publicada por la Digi.

Se presentarán resultados en el simposio internacional de limnología que organiza AMSCLAE cada dos años. Se presentarán resultados en las Comisiones Intersectoriales de Medio Ambiente y Ciencias de la Tierra, Océano y Espacio de la SENACYT, en las cuales participa la Escuela de Química.





15. Resultados:

15.1 Localización de sitios de muestreo

En los cuadros 3, 4 y en las Figuras 1 y 2, se presentan los datos de localización geográfica de los 10 puntos de muestreo en el lago de Amatitlán. Cuatro sitios se localizaron en el lóbulo este, cuatro en el lóbulo oeste, uno en el río Villalobos y otro en la Lagunilla/Playa de Oro.

Cuadro 3
Localización geográfica de los puntos de muestreo en el lago de Amatitlán

Nambra dal punta da	Coordenadas	Coordenadas	Coordenadas
Nombre del punto de	geográficas, Octubre	geográficas,	geográficas, Enero
muestreo	2020	Diciembre 2020	2021
Contro Esta	N 14°25'39.3''	N 14°25'40.2''	N 14°25'34.7''
Centro Este	W 90°32'30.2''	W 90°32'23.4''	W 90°32'24.1''
D/- E1 Din-/-	N 14°26'41.1''	N 14°26'41.3''	N 14°26'41.2''
Río El Rincón	W 90°31'47.9''	W 90°31'47.5''	W 90°31'47.6''
C11, Ct1-	N 14°27′10.8′′	N 14°27′12.3′′	N 14°27′11.1′′
Club Guatemala	W 90°33'37.9''	W 90°33'37.9''	W 90°33'38.0''
D 4 . 1 . 1 . E . 4 .	N 14°27′09.7′′	N 14°27′09.7''	N 14°27′10.2′′
Puente lado Este	W 90°33′57.3"	W 90°33′59.6''	W 90°33′58.3"
La Lagunilla /Playa	N 14°29'11.9''	N 14°29'11.7''	N 14°29'12.0''
de Oro	W 90°34'12.2''	W 90°34'12.2''	W 90°34'12.1''
Afluente	N 14°28′57.1′′	N 14°28′56.7"	N 14°28′56.8′′
Villalobos/Muelle	W 90°34'23.9''	W 90°34'21.3''	W 90°34'21.3''
D/- 17:11-1-1	N 14°29'16.7''	N 14°28'52.5''	N 14°28'52.3''
Río Villalobos	W 90°36'38.9''	W 90°34'20.5''	W 90°34'20.5''
Cautus Osats	N 14°28'36.4''	N 14°28'37.5''	N 14°28'34.7''
Centro Oeste	W 90°35'10.4''	W 90°35'18.5''	W 90°35'17.5''
Efluente Río	N 14°29'12.0''	N 14°29'12.4''	N 14°29'12.3''
Michatoya	W 90°36'42.6''	W 90°36'42.3''	W 90°36'42.9''
•	N 14°29'17.0''	N 14°29'16.7''	N 14°29'16.7''
Playa Pública	W 90°36'37''	W 90°36'38.9''	W 90°36'39.1''

Fuente: proyecto B12-2020





Cuadro 4
Altitud de los puntos de muestreo en el lago de Amatitlán

Nombre del punto de	Altitud, msnm	Altitud, msnm	Altitud, msnm
muestreo	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021
Centro Este	1192	1193	1196
Río El Rincón	1205	1193	1195
Club Guatemala	1194	1196	1195
Puente lado Este	1197	1194	1195
La Lagunilla /Playa de Oro	1195	1192	1194
Afluente Villalobos/Muelle	1196	1195	1189
Río Villalobos	1196	1196	1194
Centro Oeste	1198	1192	1184
Efluente Río Michatoya	1207	1193	1192
Playa Pública	1193	1195	1185

Fuente: proyecto B12-2020

En la Figura 1 y 2 se presentan mapa del lago de Amatitlán con la localización de los puntos de muestreo.

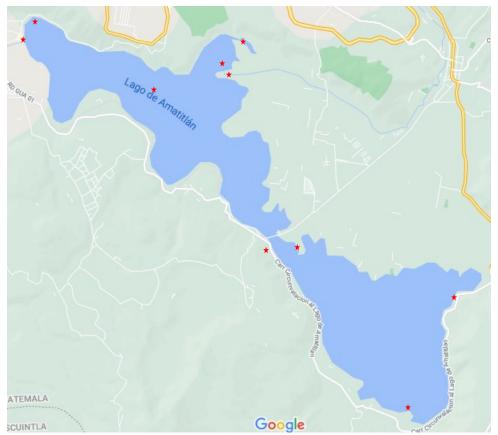


Figura 1 Ubicación de los puntos de muestreo en el lago de Amatitlán

Fuente: Google Maps y proyecto B12-2020







Figura 2 *Ubicación de los puntos de muestreo en el lago de Amatitlán*Fuente: Google Earth y proyecto B12-2020

15.2 Microplásticos y mediciones físicas en peces

En la tabla 1 se presentan los resultados de especie, sexo peso y longitud de los peces colectados en el lago de Amatitlán en los meses octubre y diciembre de 2020, y enero de 2021. Puede observarse que de 70 especímenes, 65 correspondieron a tilapia y 5 fueron guapotes. La longitud de los peces se encontró entre 15.60 y 24.0 cm y el peso entre 67.12 g y 287.09 g, Entre las tilapias 51 fueron hembras y 14 machos, mientras que los guapotes, tres fueron hembras y dos machos. El peso promedio fue de 145.71 y la longitud promedio de 19.28 cm, con un índice de condición promedio de 1.95 (g/cm³).





Tabla 1
Determinación de peso, longitud, especie e índice de condición de peces colectados en el lago de Amatitlán de las especies Oreochromis niloticus, Linnaeus, 1758 (tilapia). Parachromis managuensis, Günther, 1867 (guapote).

No. Pez	Especie	Sexo	Peso (g)	Longitud (cm)	Índice de condición K (g/cm³)
1	Tilapia	Hembra	121.51	19.5	1.64
2	Tilapia	Hembra	139.98	20.0	1.75
3	Tilapia	Hembra	89.98	16.3	2.08
4	Tilapia	Hembra	173.69	20.6	1.99
5	Tilapia	Macho	125.27	18.7	1.92
6	Tilapia	Hembra	91.16	17.3	1.76
7	Tilapia	Hembra	73.33	15.6	1.93
8	Tilapia	Macho	119.18	18.5	1.88
9	Tilapia	Hembra	143.20	19.3	1.99
10	Tilapia	Hembra	104.94	17.0	2.14
11	Tilapia	Macho	111.09	17.8	1.97
12	Tilapia	Hembra	150.14	19.2	2.12
13	Tilapia	Hembra	167.82	21.0	1.81
14	Tilapia	Hembra	172.74	20.4	2.03
15	Tilapia	Hembra	217.07	23.3	1.72
16	Guapote	Hembra	86.43	17.6	1.59
17	Tilapia	Hembra	215.25	21.7	2.11
18	Tilapia	Hembra	186.71	21.0	2.02
19	Tilapia	Hembra	210.58	21.1	2.24
20	Tilapia	Hembra	178.06	21.6	1.77
21	Guapote	Hembra	74.99	16.0	1.83
22	Tilapia	Hembra	212.55	22.0	2.00





No. Pez	Especie	Sexo	Peso (g)	Longitud (cm)	Índice de condición K (g/cm³)
23	Tilapia	Hembra	180.56	21.5	1.82
24	Tilapia	Hembra	228.94	21.8	2.21
25	Tilapia	Hembra	273.87	23.0	2.25
26	Tilapia	Hembra	181.33	22.0	1.70
27	Tilapia	Hembra	198.36	21.0	2.14
28	Tilapia	Hembra	205.08	22.5	1.80
29	Tilapia	Hembra	197.38	21.5	1.99
30	Tilapia	Macho	168.06	20.5	1.95
31	Tilapia	Hembra	170.46	20.7	1.92
32	Tilapia	Hembra	284.80	24.0	2.06
33	Tilapia	Hembra	195.18	21.5	1.96
34	Tilapia	Hembra	67.12	17.8	1.19
35	Tilapia	Hembra	234.50	22.9	1.95
36	Tilapia	Macho	160.04	20.5	1.86
37	Guapote	Macho	107.77	19.0	1.57
38	Tilapia	Hembra	173.01	20.2	2.10
39	Tilapia	Hembra	181.84	20.5	2.11
40	Tilapia	Hembra	186.36	20.5	2.16
41	Tilapia	macho	123.83	16.5	2.76
42	Tilapia	macho	287.09	24.2	2.03
43	Tilapia	Hembra	132.26	18.5	2.09
44	Tilapia	Hembra	154.58	19.9	1.96
45	Guapote	Macho	203.40	23.5	1.57
46	Tilapia	Macho	211.56	22.0	1.99
47	Tilapia	Hembra	203.99	21.6	2.02





No. Pez	Especie	Sexo	Peso (g)	Longitud (cm)	Índice de condición K (g/cm³)
48	Tilapia	Hembra	97.00	17.5	1.81
49	Tilapia	Hembra	112.61	17.8	2.00
50	Tilapia	Hembra	89.59	16.5	1.99
51	Tilapia	Hembra	116.69	18.0	2.00
52	Tilapia	Hembra	118.45	18.3	1.93
53	Tilapia	Macho	99.21	17.0	2.02
54	Tilapia	Hembra	110.50	17.7	1.99
55	Tilapia	Hembra	102.25	17.9	1.78
56	Tilapia	Macho	121.99	17.5	2.28
57	Tilapia	Hembra	95.92	17.0	1.95
58	Tilapia	Macho	91.26	16.7	1.96
59	Tilapia	Hembra	99.15	16.5	2.21
60	Tilapia	Macho	76.90	16.5	1.71
61	Tilapia	Hembra	83.81	16.1	2.01
62	Tilapia	Hembra	93.20	17.4	1.77
63	Tilapia	Hembra	98.30	17.0	2.00
64	Tilapia	Macho	105.86	17.8	1.88
65	Tilapia	Hembra	94.28	17.1	1.89
66	Tilapia	Hembra	106.18	17.4	2.02
67	Tilapia	Macho	101.43	16.0	2.48
68	Tilapia	Hembra	88.33	17.8	1.57
69	Tilapia	Hembra	92.90	17.0	1.89
70	Guapote	Hembra	127.01	18.2	2.11
	Promedio		145.71	19.28	1.95

Fuente: proyecto B12-2020





En la tabla 2 se presentan los resultados del tipo de microplásticos encontrados en los peces colectados en el Lago de Amatitlán. Puede observarse que 68 de los 70 de los peces analizados se encontraron microplásticos, con un promedio de 9.46 microplásticos por individuo, siendo un espécimen de tilapia hembra el que presentó el mayor número de microplásticos con 28 unidades. Las líneas o fibras fueron el tipo de microplásticos más común, encontrándose en 68 de los 70 especímenes analizados, presentando desde 1 hasta 27 líneas o fibras por espécimen, con un promedio de 8.23 líneas o fibras por espécimen. Por otra parte, en 30 especímenes se encontraron de uno a cinco fragmentos y en 12 especímenes de uno a dos films. En ningún espécimen se encontraron microesferas. En 18 especímenes se encontraron de uno a 4 microplásticos de espuma.

Tabla 2

Tipo de microplásticos encontrados en tracto digestivo de peces del lago de Amatitlán de las especies Oreochromis niloticus, Linnaeus, 1758 (tilapia) y Parachromis managuensis, Günther, 1867 (guapote).

Numero de pez	Especie	Peso del TD (g)	Líneas/Fibras	Fragmentos	Film	Microesferas	Espumas	Total
1	Tilapia	2.6	11	1	0	0	0	12
2	Tilapia	2.45	18	1	1	0	0	20
3	Tilapia	2.62	9	1	1	0	0	11
4	Tilapia	1.45	23	0	0	0	0	23
5	Tilapia	2.39	11	1	0	0	0	12
6	Tilapia	2.2	18	0	0	0	0	18
7	Tilapia	2.29	3	0	0	0	0	3
8	Tilapia	2.26	6	1	0	0	0	7
9	Tilapia	2.48	8	1	0	0	0	9
10	Tilapia	2.55	12	0	0	0	0	12
11	Tilapia	3.39	7	0	0	0	0	7
12	Tilapia	7.84	22	2	1	0	0	25
13	Tilapia	4.8	22	1	2	0	0	25
14	Tilapia	8.99	16	1	0	0	0	17
15	Tilapia	2.94	5	0	0	0	0	5





Numero de pez	Especie	Peso del TD (g)	Líneas/Fibras	Fragmentos	Film	Microesferas	Espumas	Total
16	Guapote	0.59	7	0	0	0	0	7
17	Tilapia	7.03	9	2	0	0	0	11
18	Tilapia	5.23	5	3	0	0	1	9
19	Tilapia	7.58	27	1	0	0	0	28
20	Tilapia	4.28	8	0	0	0	0	8
21	Guapote	1.88	4	0	0	0	0	4
22	Tilapia	7.98	4	0	0	0	0	4
23	Tilapia	3.7	8	0	0	0	0	8
24	Tilapia	6.99	7	0	0	0	0	7
25	Tilapia	10.78	14	0	0	0	0	14
26	Tilapia	5.08	10	0	0	0	0	10
27	Tilapia	5.57	10	0	0	0	0	10
28	Tilapia	5.33	20	0	0	0	0	20
29	Tilapia	4.15	9	0	1	0	0	10
30	Tilapia	5.95	7	0	0	0	0	7
31	Tilapia	7.18	18	0	0	0	0	18
32	Tilapia	8.41	9	0	0	0	0	9
33	Tilapia	8.39	15	0	0	0	0	15
34	Tilapia	2.83	4	1	0	0	1	6
35	Tilapia	3.20	10	1	0	0	2	13
36	Tilapia	2.44	8	2	0	0	0	10
37	Guapote	7.65	5	0	1	0	0	6
38	Tilapia	5.12	4	0	0	0	1	5
39	Tilapia	3.80	2	0	0	0	0	2
40	Tilapia	3.90	4	0	0	0	0	4





Numero de pez	Especie	Peso del TD (g)	Líneas/Fibras	Fragmentos	Film	Microesferas	Espumas	Total
41	Tilapia	9.14	4	0	1	0	3	8
42	Tilapia	5.26	12	1	0	0	0	13
43	Tilapia	3.82	4	0	0	0	1	5
44	Tilapia	6.72	0	0	0	0	0	0
45	Guapote	6.14	5	1	2	0	0	8
46	Tilapia	7.43	3	2	0	0	0	5
47	Tilapia	6.28	7	0	0	0	0	7
48	Tilapia	3.3	4	1	1	0	1	7
49	Tilapia	1.94	4	0	0	0	0	4
50	Tilapia	3.34	3	1	0	0	1	5
51	Tilapia	4.50	6	0	0	0	1	7
52	Tilapia	2.98	11	1	0	0	0	12
53	Tilapia	3.86	7	0	0	0	3	10
54	Tilapia	1.91	16	1	0	0	0	17
55	Tilapia	4.48	14	3	0	0	1	18
56	Tilapia	9.25	3	0	0	0	0	3
57	Tilapia	2.29	0	0	0	0	0	0
58	Tilapia	3.26	5	1	0	0	1	7
59	Tilapia	7.23	3	0	0	0	0	3
60	Tilapia	3.97	5	1	0	0	4	10
61	Tilapia	3.45	3	5	0	0	1	9
62	Tilapia	2.83	2	0	0	0	1	3
63	Tilapia	3.84	6	1	0	0	1	8
64	Tilapia	4.32	6	0	0	0	0	6
65	Tilapia	3.10	5	1	1	0	0	7





Numero de pez	Especie	Peso del TD (g)	Líneas/Fibras	Fragmentos	Film	Microesferas	Espumas	Total
66	Tilapia	5.38	5	2	1	0	2	10
67	Tilapia	1.87	3	0	0	0	0	3
68	Tilapia	3.52	1	3	0	0	0	4
69	Tilapia	2.68	4	0	1	0	1	6
70	Guapote	1.65	6	0	0	0	0	6
	Promedio	4.35	8.23	0.64	0.20	0.00	0.39	9.46

Fuente: proyecto B12-2020

TD: Tracto digestivo

15.3 Sólidos

En la tabla 3, se presentan los resultados de sólidos sedimentables en los diferentes puntos de muestreo en el lago de Amatitlán. Únicamente en el sitio localizado en el río Villalobos fueron cuantificables estos sólidos, encontrándose una concentración de 0.4 mg/l en los muestreos realizados en octubre 2020, diciembre de 2020 y enero 2021.

Tabla 3

Determinación de sólidos sedimentables en muestras de agua del lago de Amatitlán

Punto de muestreo / parámetro	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
sólidos sedimentables	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Centro Este	< 0.1	<0.1	< 0.1	<0.1
Río El Rincón	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Club Guatemala	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Puente lado Este	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
La Lagunilla/Playa de Oro	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Afluente Villalobos/Muelle	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Río Villalobos	0.4	0.4	0.4	0.4
Centro Oeste	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Efluente Río Michatoya	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Playa Pública	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Promedio	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1

Fuente: proyecto B12-2020





En la tabla 4 se presentan los resultados de sólidos totales disueltos en los diferentes puntos del lago de Amatitlán. En todos los sitios los sólidos totales disueltos fueron mayores a 1,000 mg/l, siendo el sitio del río Villalobos el que presentó la mayor concentración promedio de estos sólidos con 1,482.0 mg/l.

Tabla 4
Determinación de sólidos totales disueltos en muestras de agua del lago de Amatitlán

Punto de muestreo / parámetro	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
sólidos totales disueltos	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Centro Este	1042.0	1125.0	1113.0	1093.3
Río El Rincón	1030.0	1101.0	854.0	995.0
Club Guatemala	1030.0	1101.0	351.0	827.3
Puente lado Este	1031.0	1143.0	1127.0	1100.3
La Lagunilla/Playa de Oro	N.D.	1105.0	1096.0	1100.5
Afluente Villalobos/Muelle	1123.0	1138.0	1201.0	1154.0
Río Villalobos	1075.0	1601.0	1772.0	1482.7
Centro Oeste	1119.0	1161.0	558.0	946.0
Efluente Río Michatoya	1116.0	1145.0	1213.0	1158.0
Playa Pública	1121.0	1149.0	1211.0	1160.3
Promedio	1076.3	1176.9	1049.6	1101.8

Fuente: proyecto B12-2020





En la tabla 5 se presentan los resultados de la medición de sólidos en suspensión en muestras de agua del lago de Amatitlán. El sitio más contaminado fue el río Villalobos con concentraciones de 43.0 mg/l en diciembre de 2020 y de 128.0 mg/l en octubre de 2020. De los puntos ubicados en el Lago de Amatitlán, el sitio más contaminado fue el Centro Este con 32.0 mg/l de promedio.

Tabla 5 Determinación de sólidos en suspensión en muestras de agua del lago de Amatitlán

Punto de muestreo / parámetro sólidos en suspensión	Octubre 2020 mg/l	Diciembre 2020 mg/l	Enero 2021 mg/l	Promedio mg/l
Centro Este	56.0	8.0		32.0
Río El Rincón	0.0	10.0		5.0
Club Guatemala	16.0	5.0		10.5
Puente lado Este	84.0	8.0		46.0
La Lagunilla/Playa de Oro	N.D.	17.0		17.0
Afluente Villalobos/Muelle	4.0	8.0		6.0
Río Villalobos	128.0	43.0		85.5
Centro Oeste	36.0	11.0		23.5
Efluente Río Michatoya	0.0	15.0		7.5
Playa Pública	0.0	6.0		3.0
Promedio	36.0	13.1		23.6

Fuente: proyecto B12-2020





En cuanto a los resultados de la determinación de sólidos totales en el agua del lago de Amatitlán, en la tabla 6 puede apreciarse que el sitio más contaminado fue el río Villalobos, con una concentración de 1,704.0 mg/l en octubre 513.0 mg/l en diciembre de 2020 y 939 mg/l en enero 2021. El sito menos contaminado fue el localizado frente al Muelle en la estación del río Villalobos de AMSA, con un valor promedio de 247.7 mg/l.

Tabla 6 Determinación de sólidos totales en muestras de agua del lago de Amatitlán

Punto de muestreo / parámetro	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
sólidos totales	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Centro Este	240.0	340.0	319.0	299.7
Río El Rincón	264.0	366.0	302.0	310.7
Club Guatemala	372.0	372.0	327.0	357.0
Puente lado Este	360.0	321.0	327.0	336.0
La Lagunilla/Playa de Oro	N.D.	425.0	407.0	416.0
Afluente Villalobos/Muelle	84.0	267.0	392.0	247.7
Río Villalobos	1704.0	513.0	939.0	1052.0
Centro Oeste	660.0	381.0	362.0	467.7
Efluente Río Michatoya	292.0	378.0	376.0	348.7
Playa Pública	684.0	349.0	341.0	458.0
Promedio	517.8	371.2	409.2	429.3

Fuente: proyecto B12-2020





15.4 Parámetros medidos en el campo:

En la tabla 7 se puede apreciar los valores de la medición de la temperatura ambiental durante los muestreos realizados en el lago de Amatitlán. La temperatura promedio durante el primer muestreo realizado en octubre de 2020 fue de 26.4 °C mientras que la temperatura ambiental promedio durante el muestreo de diciembre del mismo año fue de 23.1 °C y en enero 2021 la temperatura promedio fue de 22.2 °C, debido a la disminución de temperatura ambiente que se manifiesta en Guatemala a finales de año por la entrada del invierno en el hemisferio norte.

Tabla 7 Determinación in situ de la temperatura ambiental en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán

Punto de muestreo / parámetro	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
Temperatura ambiental	°C	°C	°C	°C
Centro Este	24.0	22.0	20.0	22.0
Río El Rincón	26.0	26.0	23.0	25.0
Club Guatemala	26.0	23.0	20.0	23.0
Puente lado Este	26.0	25.0	24.0	25.0
La Lagunilla/Playa de Oro	27.0	26.0	25.0	26.0
Afluente Villalobos/Muelle	27.0	26.0	25.0	26.0
Río Villalobos	27.0	29.0	28.0	28.0
Centro Oeste	27.0	18.0	18.0	21.0
Efluente Río Michatoya	27.0	18.0	19.0	21.3
Playa Pública	27.0	18.0	18.0	21.0
Promedio	26.4	23.1	22.2	23.8





En la Tabla 8 se presentan los resultados de las mediciones de conductividad en el lago de Amatitlán. En todos los sitos este valor se encontró en valores superiores a 500 y menores a 600 μ S/cm, con excepción del punto ubicado en el Rio Villalobos en el cual se encontró una conductividad de 829 μ S/cm en enero 2021. En general, la conductividad promedio fue ligeramente superior para los muestreos, en el mes de diciembre, cuando se observó un valor promedio de 573.2 μ S/cm.

Tabla 8 Determinación de la conductividad en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán

Punto de muestreo / parámetro	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
conductividad	μS/cm	μS/cm	μS/cm	μS/cm
Centro Este	520.0	581.0	531.0	544.0
Río El Rincón	519.0	531.0	390.0	480.0
Club Guatemala	529.0	531.0	166.4	408.8
Puente lado Este	531.0	555.0	534.0	540.0
La Lagunilla/Playa de Oro	559.0	550.0	539.0	549.3
Afluente Villalobos/Muelle	571.0	558.0	583.0	570.7
Río Villalobos	559.0	740.0	829.0	709.3
Centro Oeste	569.0	562.0	268.0	466.3
Efluente Río Michatoya	560.0	562.0	575.0	565.7
Playa Pública	575.0	562.0	576.0	571.0
Promedio	549.2	573.2	499.1	540.5

Fuente: proyecto B12-2020





Los resultados de la determinación de salinidad pueden observarse en la tabla 9. La salinidad presentó un valor constante de 0.20 g/kg en todos los sitios ubicados en el lago de Amatitlán en los dos muestreos efectuados, mientras que en el río Villalobos se observó un valor de 0.40 g/kg en el mes de diciembre de 2020 y enero 2021, la salinidad del lago permaneció constante en los dos muestreos efectuados.

Tabla 9 Determinación de salinidad en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán

Punto de muestreo / parámetro	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
Salinidad	g/kg (‰)	g/kg (‰)	g/kg (‰)	g/kg (‰)
Centro Este	0.20	0.20	0.20	0.20
Río El Rincón	0.20	0.20	0.20	0.20
Club Guatemala	0.20	0.20	0.00	0.13
Puente lado Este	0.20	0.20	0.20	0.20
La Lagunilla/Playa de Oro	0.20	0.20	0.20	0.20
Afluente Villalobos/Muelle	0.20	0.20	0.30	0.23
Río Villalobos	0.20	0.40	0.40	0.33
Centro Oeste	0.20	0.20	0.10	0.17
Efluente Río Michatoya	0.20	0.20	0.30	0.23
Playa Pública	0.20	0.20	0.30	0.23
Promedio	0.20	0.22	0.22	0.21





En la tabla 10 se presentan los resultados del potencial de óxido-reducción obtenidos en el lago de Amatitlán en los tres muestreos realizados, observándose valores negativos en todos los puntos de muestreo durante los muestreos, indicando que el agua del lago de Amatitlán posee condiciones reductoras. En octubre el valor promedio del potencial Redox fue de -83.52 mV, en diciembre el valor promedio fue de -44.98 mV y en enero el valor promedio fue de -40.81 mV.

Tabla 10

Determinación del potencial de óxido-reducción en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán

Punto de muestreo / parámetro	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
potencial redox	mV	mV	mg/L	mV
Centro Este	-84.50	-61.70	-61.90	-69.37
Río El Rincón	-92.30	-56.00	-50.10	-66.13
Club Guatemala	-119.30	-57.40	-34.20	-70.30
Puente lado Este	-131.00	-50.00	-33.70	-71.57
La Lagunilla/Playa de Oro	-93.90	-48.50	-48.50	-63.63
Afluente Villalobos/Muelle	-50.00	-42.00	-44.40	-45.47
Río Villalobos	-93.90	-29.20	-27.20	-50.10
Centro Oeste	-55.90	-29.00	-24.40	-36.43
Efluente Río Michatoya	-61.80	-39.40	-41.70	-47.63
Playa Pública	-52.60	-36.60	-42.00	-43.73
Promedio	-83.52	-44.98	-40.81	-56.44





En la tabla 11 se presentan los resultados de pH medidos en el lago de Amatitlán durante los tres muestreos efectuados. En todos los puntos de muestreo el pH fue básico, sin embargo en el muestreo de octubre, se observaron valores de pH inferiores a 8.0 siendo los ubicados en el Muelle de la estación de AMSA en el río Villalobos (7.75), en la entrada del Río Michatoya (7.92) y en la Playa Pública (7.76). En el mes de diciembre, por otra parte, en todos los sitios de muestreo el pH se encontró entre 7.35 y 7.93, con un valor promedio de 7.64, en enero 2021 el pH se encontró entre 7.27 y 7.93 siendo así el agua de un carácter menos básico que en octubre.

Tabla 11 Determinación del pH en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán

Punto de muestreo / parámetro	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
pН				
Centro Este	8.58	7.93	7.93	8.15
Río El Rincón	8.42	7.83	7.70	7.98
Club Guatemala	8.94	7.86	7.47	8.09
Puente lado Este	9.12	7.72	7.42	8.09
La Lagunilla/Playa de Oro	8.52	7.70	7.66	7.96
Afluente Villalobos/Muelle	7.75	7.60	7.60	7.65
Río Villalobos	8.52	7.36	7.34	7.74
Centro Oeste	8.03	7.35	7.27	7.55
Efluente Río Michatoya	7.92	7.54	7.58	7.68
Playa Pública	7.76	7.50	7.56	7.61
Promedio	8.36	7.64	7.55	7.85





En la tabla 12 se presentan los resultados de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el agua superficial del lago de Amatitlán. En general el porcentaje de saturación de oxígeno fue bajo, con valores promedio de 52.5 % en octubre 2020, de 44.2 % en diciembre de 2020 y de 37.1 % en enero 2021. El menor valor de los tres muestreos fue el obtenido en el río Villalobos en enero 2021 con 4 % de saturación. El sitio que presentó el mayor valor promedio de saturación de oxígeno disuelto fue el Centro Este, con 73.9 %.

Tabla 12

Determinación del oxígeno disuelto en los puntos de muestreo del lago de Amatitlán

Punto de muestreo /	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
parámetro O2 disuelto	%	%	mg/L	%
Centro Este	63.6	65.0	73.9	67.5
Río El Rincón	39.4	37.6	45.2	40.7
Club Guatemala	39.0	48.0	24.6	37.2
Puente lado Este	68.4	29.2	11.7	36.4
La Lagunilla/Playa de Oro	N.D.	69.6	66.1	67.9
Afluente Villalobos/Muelle	20.6	43.2	39.9	34.6
Río Villalobos	94.8	16.0	4.0	38.3
Centro Oeste	52.8	37.6	15.0	35.1
Efluente Río Michatoya	46.8	45.2	46.8	46.3
Playa Pública	46.8	50.8	43.4	47.0
Promedio	52.5	44.2	37.1	45.1

Fuente: proyecto B12-2020





15.5 Demanda Química de Oxígeno

En la tabla 13 se presentan los resultados de demanda química de oxígeno (DQO) en el agua del lago de Amatitlán. El mayor valor promedio entre los tres muestreos se observó en octubre de 2020 con 122.2 mg/l, mientras que entre los sitos de muestreo el mayor valor promedio se observó en el río Villalobos con 271.7 mg/l. En los puntos ubicados en el lago de Amatitlán, el mayor valor promedio ser observó en el lado este del Puente sobre el lago, con 105.0 mg/l. El menor valor promedio de DQO en los sitos en el lago se observó en los puntos en el río Michatoya y en la Playa Pública, con 66.7 mg/l.

Tabla 13

Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) en muestras de agua del lago de Amatitlán

Punto de muestreo /	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
parámetro DQO	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Centro Este	115.0	80.0	55.0	83.3
Río El Rincón	80.0	65.0	65.0	70.0
Club Guatemala	105.0	75.0	55.0	78.3
Puente lado Este	155.0	85.0	75.0	105.0
La Lagunilla/Playa de Oro	N.D.	135.0	60.0	97.5
Afluente Villalobos/Muelle	90.0	125.0	70.0	95.0
Río Villalobos	315.0	160.0	340.0	271.7
Centro Oeste	95.0	90.0	60.0	81.7
Efluente Río Michatoya	75.0	65.0	60.0	66.7
Playa Pública	70.0	70.0	60.0	66.7
Promedio	122.2	95.0	90.0	101.6

Fuente: proyecto B12-2020





15.6 Nutrientes en el lago de Amatitlán

Los resultados de las determinaciones de las especies de nitrógeno, de fósforo y sulfatos en los tres muestreos efectuados en el lago de Amatitlán, se presentan en las tablas 14 a 18.

En la Tabla 14 se presentan los resultados de los análisis de nitrógeno de amonio en las muestras de agua colectadas en el Lago de Amatitlán en los meses de octubre 2020, diciembre de 2020 y enero 2021. El nitrógeno de amonio se encontró especialmente en el mes de octubre cuando la concentración promedio fue de 3.39 mg/l, observándose concentraciones tan elevadas como 5.89 y 4.87 mg/l de nitrógeno de amonio en los puntos de muestreo en la salida del lago al río Michatoya y en la Playa Pública, respectivamente. Por otra parte, en el río Villalobos se encontró durante dicho mes una concentración de 5.68 mg/l. En el mes de diciembre, la concentración promedio fue de 0.24 mg/l, para todos los sitios de muestreo, siendo el río Michatoya el punto en que se encontró la concentración más elevada, con 0.67 mg/l, mientras que en el lago de Amatitlán la mayor concentración se encontró en el muelle de Villalobos con 0.39 mg/l. La concentración más baja se presentó en el punto de río El Rincón, con 0.06 mg/l. En cuanto a los puntos de muestreo más contaminados, el río Villalobos presentó la mayor concentración promedio para los tres muestreos con un valor promedio de 3.47 mg/l de nitrógeno de amonio, mientras que en el lago fue el punto en la salida hacia el río Michatoya, con 2.25 mg/l.

Tabla 14.

Determinación de nitrógeno de amonio en muestras de agua del lago de Amatitlán.

Punto de muestreo /	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
parámetro amonio	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Centro Este	0.55	0.26	1.08	0.63
Río El Rincón	3.43	0.06	0.78	1.43
Club Guatemala	2.92	0.08	0.26	1.09
Puente lado este	0.75	0.15	0.90	0.60
La Lagunilla/Playa de oro	N.D.	0.09	0.54	0.31
Afluente Villalobos/Muelle	3.07	0.39	0.90	1.46
Río Villalobos	5.68	0.67	4.07	3.47
Centro Oeste	3.33	0.19	0.46	1.33
Efluente Río Michatoya	5.89	0.24	0.62	2.25
Playa Pública	4.87	0.29	0.64	1.93
Promedio	3.39	0.24	1.03	1.45

Fuente: proyecto B12-2020





En la tabla 15 se presentan los resultados de concentración de nitrógeno de nitritos en el agua del lago de Amatitlán durante el muestreo realizado en octubre de 2020. El nitrógeno de nitritos se encontró en concentraciones elevadas en varias muestras en las que la concentración fue superior a 0.010 mg/l, como en el punto en Muelle de Villalobos, con 0.074 mg/l, en el río Villalobos con 0.041 mg/l, así como en el río Michatoya (0.048 mg/l), en la Playa Pública (0.024 mg/l) y en el Centro Oeste (0.017 mg/l), probablemente por descomposición reciente de materia orgánica.

Tabla 15 Determinación de nitrógeno de nitritos en muestras de agua del lago de Amatitlán.

Punto de muestreo /	Octubre 2020
parámetro nitritos	mg/l
Centro Este	0.001
Río El Rincón	0.004
Club Guatemala	0.003
Puente lado Este	0.001
La Lagunilla/Playa de Oro	N.D.
Afluente Villalobos/Muelle	0.074
Río Villalobos	0.041
Centro Oeste	0.017
Efluente Río Michatoya	0.048
Playa Pública	0.024
Promedio	0.021

Fuente: proyecto B12-2020





En la tabla 16 se presentan los resultados de las concentraciones de nitrógeno de nitratos encontradas en el agua del lago de Amatitlán durante el muestreo realizado en el mes de octubre de 2020. En todos los sitios de muestreo se encontraron niveles de nitrógeno de nitratos que corresponden a cuerpos de agua en estado eutrófico, al presentarse concentraciones superiores a 0.050 mg/l. El punto de muestreo que presentó la mayor concentración de este parámetro fue el río Villalobos con 0.406 mg/l seguido del Centro Este con 0.380 mg/l y río El Rincón con 0.371 mg/l.

Tabla 16
Determinación de nitrógeno de nitratos en muestras de agua del lago de Amatitlán.

Punto de muestreo /	Octubre 2020
parámetro nitratos	mg/l
Centro Este	0.380
Río El Rincón	0.371
Club Guatemala	0.282
Puente lado Este	0.259
La Lagunilla/Playa de Oro	N.D.
Afluente Villalobos/Muelle	0.144
Río Villalobos	0.406
Centro Oeste	0.158
Efluente Río Michatoya	0.141
Playa Pública	0.148
Promedio	0.254

Fuente: proyecto B12-2020





La tabla 17 contiene los resultados de fósforo de ortofosfatos para los dos muestreos efectuados en el lago de Amatitlán en 2020. En la mayor parte de puntos de muestreo la concentración fue superior a 0.050 mg/l, lo que corresponde al estado eutrófico del lago de Amatitlán. El punto que mostró la mayor concentración promedio de nitrógeno total fue el río Villalobos con 0.10 mg/l, mientras que en el lago de Amatitlán los puntos que presentaron la mayor concentración de este parámetro fueron la Playa Pública y el Centro Oeste con 0.09 mg/l. Entre los dos muestreos, se observó una mayor concentración promedio en diciembre, con 0.08 mg/l.

Tabla 17
Determinación de orto-fosfatos en muestras de agua del lago de Amatitlán.

•			
Punto de muestreo /	Octubre 2020	Diciembre 2020	Promedio
parámetro orto-fosfatos	mg/l	mg/l	mg/l
Centro Este	0.03	0.04	0.04
Río El Rincón	0.01	0.05	0.03
Club Guatemala	0.02	0.05	0.03
Puente lado Este	0.03	0.05	0.04
La Lagunilla/Playa de Oro	N.D.	0.05	0.02
Afluente Villalobos/Muelle	0.08	0.08	0.08
Río Villalobos	0.03	0.18	0.10
Centro Oeste	0.11	0.08	0.09
Efluente Río Michatoya	0.07	0.09	0.08
Playa Pública	0.09	0.09	0.09
Promedio	0.05	0.08	0.06

Fuente: proyecto B12-2020





Los resultados de la determinación de sulfatos en el agua del lago de Amatitlán pueden observarse en la tabla 18. La concentración más elevada de sulfatos se encontró en el río Villalobos en el mes de diciembre de 2020 con 107.58 mg/l, mientras que entre los puntos del lago de Amatitlán el sito que presentó la mayor concentración promedio fue el del río Michatoya con 37.51 mg/l. El valor más bajo fue encontrado en el río El Rincón con 18.86 mg/l de sulfatos.

Tabla 18 Determinación de sulfatos en muestras de agua del lago de Amatitlán.

Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
29.47	22.73	30.53	27.58
4.25	20.98	31.34	18.86
26.24	20.78	29.92	25.65
23.73	22.07	29.62	25.14
N.D.	21.73	25.16	23.45
30.80	31.19	44.70	35.56
31.32	107.58	50.69	63.20
33.58	25.15	45.91	34.88
33.47	31.75	47.30	37.51
33.20	29.85	40.31	34.45
27.34	33.38	37.55	32.63
	mg/l 29.47 4.25 26.24 23.73 N.D. 30.80 31.32 33.58 33.47 33.20	mg/l mg/l 29.47 22.73 4.25 20.98 26.24 20.78 23.73 22.07 N.D. 21.73 30.80 31.19 31.32 107.58 33.58 25.15 33.47 31.75 33.20 29.85	mg/l mg/l mg/l 29.47 22.73 30.53 4.25 20.98 31.34 26.24 20.78 29.92 23.73 22.07 29.62 N.D. 21.73 25.16 30.80 31.19 44.70 31.32 107.58 50.69 33.58 25.15 45.91 33.47 31.75 47.30 33.20 29.85 40.31

Fuente: proyecto B12-2020





15.7 Metales en el lago de Amatitlán

Los resultados de las determinaciones de los metales analizados en los tres muestreos efectuados en el lago de Amatitlán, se presentan en las tablas 19 a la 21.

En la tabla 19 se presentan los resultados de la determinación de plomo en muestras de agua del lago de Amatitlán. En general se observan valores entre 0.17 y 0.61 mg/l de Pb, en diciembre 2020 se obtuvo el mayor valor promedio con 0.47 mg/l de Pb. El sitio de muestreo más contaminado corresponde a Playa Pública con un valor de 0.61 mg/l de Pb y el de menor valor Centro Este con 0.17 mg/l de Pb.

Tabla 19
Determinación de Plomo en muestras de agua del lago de Amatitlán.

				- 1:
Punto de muestreo /	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
parámetro sulfatos	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Centro Este	0.17	0.56	0.32	0.35
Río Villalobos	0.23	0.24	0.53	0.33
Centro Oeste	0.19	0.59	0.49	0.42
Playa Pública	0.61	0.49	0.45	0.52
Promedio	0.30	0.47	0.45	0.41

Fuente: proyecto B12-2020

En la tabla 20 se presentan los resultados de cadmio en muestras de agua del lago de Amatitlán, para todos los puntos de los muestreos los resultados se encuentran por debajo del límite de detección.

Tabla 20 Determinación de Cadmio en muestras de agua del lago de Amatitlán.

	U	~		
Punto de muestreo /	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
parámetro sulfatos	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Centro Este	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.
Río Villalobos	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.
Centro Oeste	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.
Playa Pública	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.
Promedio	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.

Fuente: proyecto B12-2020

D.L.D.: debajo del límite de detección Límite de detección: 0.0050 mg/l Cadmio Límite de cuantificación: 0.015 mg/l Cadmio





En la tabla 21 se presentan los resultados de cromo total en muestras de agua del lago de Amatitlán, para todos los puntos de los muestreos los resultados se encuentran por debajo del límite de detección.

Tabla 21 Determinación de Cromo total en muestras de agua del lago de Amatitlán.

Punto de muestreo /	Octubre 2020	Diciembre 2020	Enero 2021	Promedio
parámetro sulfatos	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Centro Este	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.
Río Villalobos	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.
Centro Oeste	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.
Playa Pública	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.
Promedio	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.

Fuente: proyecto B12-2020

D.L.D.: debajo del límite de detección. Límite de detección: 0.005 mg/l Cr Límite de cuantificación: 0.02 mg/l Cr





16. Análisis y discusión de resultados:

Los microplásticos son todas las partículas plásticas menores a 5 mm que se encuentran en el medio ambiente, ya sea por su descarga directa o por la degradación de materiales de plástico de mayor tamaño. Los microplásticos se encuentran clasificados como contaminantes emergentes y han llamado la atención pública en años recientes, considerándose que pueden causar problemas en la salud de los organismos acuáticos y el ser humano. Durante el desarrollo de la investigación, se colectaron 70 especímenes de peces, correspondiendo 65 individuos a tilapia (*Oreochromis niloticus*) y cinco al pez guapote (*Parachromis managuensis*) (Tabla 1). De los anteriores especímenes se encontraron microplásticos en el tracto digestivo en 68 de los 70 peces presentándose los resultados en la Tabla 2. En la clasificación de los tipos de microplásticos encontrados, se encontró que estos contaminantes correspondieron principalmente a líneas/fibras, las cuales se encontraron 68 de los 70 especímenes analizados en un rango de 2 a 27 líneas/fibras por espécimen, con un promedio de 8.23 líneas/fibras por individuo. Así mismo, se encontraron fragmentos en los tractos digestivos de 30 especímenes, espuma en 18 especímenes y films en 12 especímenes, no habiéndose encontrado microesferas en ningún espécimen.

Los resultados muestran que el lago de Amatitlán presenta microplásticos que ingresan con facilidad a los organismos acuáticos y que pueden llegar al ser humano por el consumo de los mismos, ya que por ejemplo la tilapia es uno de los principales productos de la pesca en Amatitlán y es vendido para el consumo por pobladores del área. De esta forma la hipótesis de que existen niveles cuantificables de microplásticos en los peces del lago de Amatitlán fue comprobada. En un estudio reciente, se reportaron los microplásticos encontrados en un núcleo de sedimentos del lago de Amatitlán, siendo las líneas los microplásticos más abundantes en el sedimento (n = 221), seguido por fragmentos y films (n = 37) (Romero, López, Aguilar, & Santos, 2020), lo cual concuerda con la frecuencia con que se encontraron los microplásticos en los peces. Es así como estos contaminantes se encuentran en el ambiente, disponibles para su ingreso en la cadena trófica y representan una riesgo para la salud pública, ya que los plásticos sintetizados a partir del petróleo así como sus componentes y derivados de que están constituidos los microplásticos, pueden ser cancerígenos al ser humano (Pastor & Agulló, 2019).

La presencia de microplásticos en el lago de Amatitlán puede asociarse a las concentraciones altas de sólidos que son arrastradas por el río Villalobos así como otras posibles descargas directas al lago. Así por ejemplo, el agua del río Villalobos presentó 128.0 mg/l de sólidos en suspensión en el mes de octubre y 43.0 mg/l de los mismos sólidos en el mes de diciembre de 2020 (Tabla 7), que pueden representar una alta carga de microplásticos, ya que estos tienden a flotar y a ser consumidos por los peces junto con su alimento. Otros sitios que presentaron altas concentraciones





de sólidos en suspensión fueron el punto del puente del lado este con 84.0 mg/l, el Centro Este con 56.0 mg/l y en Centro Oeste con 36.0 mg/l de sólidos en suspensión en el mes de octubre de 2020.

En cuanto a los sólidos disueltos totales, todos los sitios presentaron concentraciones superiores a 1,000 mg/l, con excepción los puntos en Río El Rincón, Club Guatemala y Centro Oeste que presentaron concentraciones de solidos disueltos totales menores a 1,000 mg/l en enero de 2021 (Tabla 6). La alta concentración de sólidos disueltos totales explica los altos valores de conductividad, y que refleja también la contaminación que recibe el lago de Amatitlán de los municipios que descargan aguas residuales tratadas y no tratadas al río Villalobos y al lago de Amatitlán directamente. En el lago de Güija por ejemplo, se han observado valores de conductividad menores a 400 mg/l en un estudio reciente (Pérez Sabino et al, 2020). Los sólidos sedimentables por otra parte no fueron cuantificables en los sitios localizados en el lago de Amatitlán, siendo menores a 0.1 ml/l (Tabla 5). Sin embargo, el río Villalobos presentó concentraciones de sólidos sedimentables de 0.4 ml/l en los tres muestreos realizados, lo que evidencia que el arrastre de sólidos que contribuyen a una posible alta tasa de sedimentación aún a la fecha, producto de la erosión y la descarga de materiales a la cuenca, a pesar de los esfuerzos de las autoridades ambientales para disminuir la entrada de este tipo de contaminantes al lago.

En cuanto a los resultados de la determinación de sólidos totales en el agua del lago de Amatitlán, en la tabla 8 puede apreciarse que el sitio más contaminado fue el río Villalobos, con una concentración de 1,704.0 mg/l en octubre, 513.0 mg/l en diciembre de 2020 y 939 mg/L en enero 2021. El sito menos contaminado fue el localizado frente al Muelle en la estación del río Villalobos de AMSA, con un valor promedio de 247.7 mg/l. Durante el período de estudio, el lago de Amatitlán presentó valores de conductividad relativamente altos, ocasionados por diferentes sales disueltas, superándose en todos los puntos el valor de 500 μS/cm (Tabla 10), con excepción de tres puntos de muestreo (Río El Rincón, Club Guatemala y Centro Oeste) que presentaron valores de conductividad menores a 500 μS/cm en enero de 2021.

En las tablas 11 y 12 pueden observarse los resultados de pH y oxígeno en el lago de Amatitlán para los tres muestreos realizados en diez puntos de muestreo localizados en el lago de Amatitlán, en el río Villalobos próximo a su desembocadura y en la entrada del río Michatoya (ver localización en Tabla 2 y Figura 1). El pH resultó alcalino en los tres muestreos con valores tan altos como 9.12 en octubre de 2020 en el punto en el Puente lado este. La alcalinidad del agua es común en los lagos de Guatemala, sin embargo, en el mes de diciembre el pH fue a nivel general más bajo que en octubre. Igualmente, para el oxígeno disuelto se encontró que el agua superficial del lago se encuentra pobremente oxigenada, con valores menores al 50 % de saturación en varios sitios. El menor porcentaje de saturación para todos los sitos se observó en el río Villalobos en enero de 2021, cuando presentó 4% de saturación de oxígeno. El menor porcentaje de saturación de oxígeno promedio para todos los sitos se observó en enero de 2021 con 37.1 % encontrándose una menor





oxigenación en el mes de octubre, coincidiendo con el menor valor medio para el pH de 7.55 y las mayores condiciones reductoras del agua del lago en dicho mes (Tabla 12).

Por otra parte, la demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro importante, ya que da información sobre la cantidad de materia orgánica que puede ser oxidada en un cuerpo de agua. En octubre se presentó el mayor valor promedio de DQO para todos los puntos de muestreo con 122.2 mg/l (Tabla 15), lo cual pudo deberse al arrastre de material erosionable por las lluvias además de un mayor caudal de agua procedente de las poblaciones de las que se drenan las aguas residuales. El punto más contaminado fue el del río Villalobos con una DQO promedio de 271.7 mg/l, confirmándose como una de las principales fuentes de contaminación del lago. Los valores de DQO encontrados en el lago de Amatitlán, son superiores a los encontrados recientemente en el lago de Güija, donde el valor más alto encontrado en un estudio realizado entre 2017 y 2019, fue de 31.3 mg/l de DQO en septiembre de 2017, muy por debajo de los valores de DQO encontrados en todos los puntos de muestreo del lago de Amatitlán en los tres muestreos realizados, con lo cual se confirma que el lago de Amatitlán continúa siendo un cuerpo de agua que recibe altas cargas de contaminación.

El estado eutrófico del lago de Amatitlán se confirmó con los resultados de nutrientes en las muestras de agua colectadas. El nitrógeno de amonio está formado por el nitrógeno presente en el ion amonio y en el amoníaco, existiendo en la naturaleza como producto de procesos metabólicos, agrícolas e industriales. En aguas naturales superficiales el nitrógeno de amonio se encuentra generalmente por debajo de 0.2 mg/l (OMS, 2006). El amoníaco se considera como un indicador de la contaminación del agua por bacterias, aguas residuales o desechos de origen animal. En el presente estudio se encontraron concentraciones elevadas de nitrógeno de amonio principalmente en los muestreos de octubre de 2020 y enero de 2021, cuando la concentración promedio para todos los puntos de muestreo fue de 3.39 y 1.03 mg/l, respectivamente, mientras que en diciembre la concentración promedio fue de 0.25 mg/l (Tabla 14). En un estudio realizado también en 2020 (Van Tuylen, 2020), se encontraron concentraciones de amonio similares a las encontradas en octubre en la presente investigación, presentándose también una mayor concentración de nitrógeno de amonio en el centro oeste que en el este. En la presente investigación se encontró una concentración promedio de nitrógeno de amonio de 1.33 mg/l en el centro oeste y de 0.63 mg/l en el centro este, sin embargo, la concentración en el centro oeste reportada por Van Tuylen en octubre fue superior a 1.5 mg/l y en noviembre superior a 2.0 mg/l y en el centro este inferior a 0.1 mg/l en octubre e inferior a 0.5 mg/l en noviembre. Es importante mencionar que para el decenio 1985-1995 Basterrechea (1997) reportó una concentración promedio de 0.088 mg/l para 13 muestreos realizados en el lago de Amatitlán, por lo que se evidencia un notorio incremento en la concentración de esta especie de nitrógeno.





En el presente estudio, en octubre todos los sitios de muestreo presentaron concentraciones de nitrógeno de amonio superiores a 0.5 mg/l, mientras que únicamente en dos puntos de muestreo la concentración de dicho elemento fue menor a 2.0 mg/l (Tabla 16). La mayor concentración en el centro oeste del lago se explica por la descarga del agua del río Villalobos en ese lado del lago ya que el flujo del agua continúa hacia el río Michatoya en el oeste del lago. La elevada contaminación del lago de Amatitlán se evidencia al comparar las concentraciones con resultados de nitrógeno de amonio obtenidos en el lago de Güija, donde la mayor concentración de nitrógeno de amonio entre 2017 y 2018, fue de 0.229 mg/l en un punto en el norte del lago, estando las concentraciones en los otros puntos de muestreo por debajo de 0.1 mg/l (Pérez, Oliva, & Donado, 2020), mientras que en un estudio realizado en el lago de Atitlán en 2009, la concentración promedio de nitrógeno de amonio para 11 puntos de muestreo durante los cinco muestreos fue de 0.046 mg/l mientras que la mayor concentración promedio para un muestreo fue de 0.058 mg/l en el mes de marzo de 2009 y el punto que presentó la mayor concentración en un muestreo fue en Santiago Atitlán, con 0.173 mg/l en julio de 2009, siendo solo tres puntos los que presentaron concentraciones promedio superiores a 0.050 mg/l para todos los muestreos (Oliva, Pérez, del Cid, Martínez, & Valladares, 2009).

Los resultados de la concentración de nitrógeno de nitritos en el agua del lago de Amatitlán durante el muestreo realizado en octubre de 2020 (Tabla 17), revelan que existe contaminación reciente en el lago, habiéndose encontrado concentraciones superiores a 0.010 mg/l en diferentes puntos, entre ellos en el Muelle de Villalobos (0.074 mg/l), en el río Villalobos (0.041 mg/l) y río Michatoya (0.048 mg/l). Estas concentraciones también son más elevadas que las reportadas por Basterrechea (1997) para el decenio 1995-1995, en que el promedio para nitrógeno de nitritos en el lago de Amatitlán fue de 0.013 mg/l.

En todos los sitios de muestreo las concentraciones de nitrógeno de nitratos, uno de los principales nutrientes y la forma más asequible del nitrógeno para ingresar en la red trófica, fueron superiores a 0.050 mg/l (Tabla 18), valor que ha sido fijado por diferentes autores como correspondiente a cuerpos de agua eutróficos. Al haberse observado la mayor concentración de nitratos en el río Villalobos (0.406 mg/l) se confirma que el río aporta una carga considerable de este nutriente al lago. Los niveles de nitratos encontrados en el lago también corresponden a cuerpos de agua eutróficos como se confirma por los niveles de este parámetro en el Centro Este (0.380 mg/l) y en el punto frente al río El Rincón (0.371 mg/l). Los resultados obtenidos en este estudio contrastan con los reportados por Van Tuylen (2020) quien reportó concentraciones de aproximadamente 0.1 mg/l de nitrógeno de nitratos en los centros oeste y este del lago de Amatitlán en los meses de octubre y noviembre de 2020. Sin embargo, Van Tuylen reportó una concentración superior a 2.0 mg/l en abril en el centro oeste y de 0.1 mg/l en el centro este en marzo. En dichos meses no se realizaron muestreos en el presente proyecto, a causa de las restricciones decretadas por el gobierno de Guatemala a causa de la pandemia del Covid-19. Es de destacar que en el estudio realizado en





el decenio 1985-1995, la concentración promedio para todos los muestreos fue de 0.305 mg/l, por lo que varios niveles encontrados en este estudio son superiores al promedio reportado por Basterrechea (1997).

En cuanto a las especies de fósforo, la mayor parte de las concentraciones encontradas de fósforo de fosfatos correspondieron a cuerpos de agua eutróficos, especialmente en diciembre, al superarse el valor de 0.05 mg/l que es considerado indicativo de estado eutrófico. El nivel más alto de fósforo de fosfatos se encontró en el río Villalobos en diciembre con 0.18 mg/l (Tabla 18), siendo así dicho río una de las principales fuentes de contaminación por fosfatos, el cual se considera como el nutriente limitante más común en lagos, por lo que las altas concentraciones encontradas en el lago de Amatitlán explican la presencia de altas concentraciones de fitoplancton, y la natilla verde y olor que se perciben en las orillas del lago. El fósforo puede provenir de actividades agrícolas, así como de descargas de aguas residuales e industriales. En el estudio de Van Tuylen (2020), se encontraron concentraciones de amonio similares a las encontradas en octubre en la presente investigación, presentándose también una mayor concentración de nitrógeno de amonio en el centro oeste que en el este. En el presente estudio se encontró una concentración promedio de fósforo de ortofosfatos de 0.09 mg/l en el centro oeste y de 0.04 mg/l en el centro este, sin embargo, la concentración en el centro oeste reportada por Van Tuylen en octubre y noviembre (0.40 mg/l) es significativamente mayor a la encontrada en este estudio, por lo que pudo haber existido alguna diferencia metodológica, que explique porqué la diferencia tan marcad entre los puntos en los centros oeste y este, y con los resultados en este estudio.

Los resultados de niveles de sulfatos en el lago de Amatitlán obtenidos en este estudio se presentan en el cuadro 20. Los minerales de sulfato se encuentran distribuidos ampliamente en la naturaleza, siendo la mayor parte de los compuestos de sulfato fácilmente solubles en agua, con excepción de los sulfatos de calcio y plata, que son moderadamente solubles, y los sulfatos de bario, mercurio, plomo y estroncio que son insolubles (Oliva et al., 2010). Los sulfatos son una fuente de oxígeno para las bacterias y de esta forma, en condiciones anaeróbicas, las bacterias reductoras de sulfatos lo reducen a H₂S, precipitado como sales insolubles, o incorporado en organismos vivos, lo cual provoca olores fétidos en aguas que reciben altos contenidos de sulfatos, especialmente las provenientes de aguas residuales o en humedales, como es el caso del lago de Amatitlán a través del río Villalobos. La oxidación de los sulfuros retorna el azufre a la forma sulfato (Oliva et al., 2010). Cómo puede observarse, en los tres muestreos la mayor concentración promedio para este parámetro se observó en enero de 2021 (37.55 mg/l). Entre los sitios de muestreo, el río Villalobos presentó la mayor concentración en diciembre (107.58 mg/l) y la mayor concentración promedio (63.20 mg/l) siendo muy superior al resto de sitios de muestreo, lo que confirma que este río es una de las principales fuentes de contaminación del lago. Entre los puntos de muestreo en el lago, la mayor concentración promedio se observó en la salida del lago hacia el río Michatoya con 37.51 mg/l. Puede observarse también que la concentración promedio en el centro oeste (34.88 mg/l) fue





mayor que la concentración promedio en el centro este (27.58 mg/l). Con respecto a los niveles de sulfatos encontrados en otros lagos de Guatemala, en un estudio del lago de Atitlán realizado en 2009 se encontraron concentraciones máximas de 36 y 38 mg/l (Oliva *et al.*, 2010), siendo estas similares a las encontradas en los puntos de muestreo en el lago de Amatitlán en este estudio.

En cuanto a los niveles de metales tóxicos en el lago de Amatitlán, estos se determinaron en cuatro sitios de muestreo, habiéndose encontrado concentraciones elevadas de plomo en el lago de Amatitlán (Tabla 21), mientras que el cadmio y el cromo no fueron detectados, para los cuales el límite de detección del método utilizado es de 0.005 mg/l (Tablas 22 y 23). La mayor concentración promedio en un muestreo se encontró en diciembre de 2020 con 0.47 mg/l mientras que la menor concentración promedio se observó en octubre de 2020 con 0.30 mg/l. El sitio que presentó la mayor concentración promedio para los tres muestreo fue el de la Playa Pública con 0.52 mg/l, valor superior al encontrado en el río Villalobos con 0.33 mg/l, lo cual aunado con la mayor concentración promedio encontrada en el centro oeste (0.35 mg/l) comparada con el centro este (0.35 mg/l), indican que el lado oeste del lago se encuentra más contaminado. Por su parte, Van Tuylen (2020) reportó concentraciones de 0.030 mg/L de plomo en el centro oeste y de 0.026 mg/l en el centro este en el agua superficial del lago sin reportarse el mes en que se colectaron las muestras, valores que son un orden de magnitud inferior a los reportados en este estudio.

17. Conclusiones

El 97.14% de los peces muestreados en el lago de Amatitlán presentaron microplásticos en el tracto digestivo. Estos contaminantes están constituidos por polímeros sintetizados a partir del petróleo, así como sus derivados, que representan un riesgo para la salud de los consumidores.

Las concentraciones elevadas de nitrógeno y fósforo, así como de sólidos, en al gua del lago de Amatitlán, confirman que este cuerpo de agua se encuentra altamente contaminado en estado eutrófico.

Los peces del lago de Amatitlán presentan niveles cuantificables de microplásticos, los cuales se encuentran principalmente en el tracto digestivo de estos organismos. Los microplásticos encontrados están compuestos principalmente por líneas/fibras, seguidos por fragmentos y por films, no presentando microesferas.

El rio Villalobos transporta altas concentraciones de nutrientes al lago de Amatitlán, por lo que es una de las principales fuentes de contaminación química del lago.





18. Impacto esperado

El Proyecto ha generado nuevas capacidades para los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, ya que se ha implementado metodología que permite la evaluación de microplásticos en cuerpos de agua y organismos acuáticos, lo cual permitirá investigar estos contaminantes emergentes en otros lagos de Guatemala, para los cuales se desconoce los niveles de estos contaminantes. También se generaron resultados que permitirán a las autoridades ambientales como AMSA, considerar la implementación de medidas para la reducción de estos contaminantes, que aún no están regulados en Guatemala. Así mismo, se fortalecieron las capacidades humanas, pues se involucraron a estudiantes universitarios de ciencias naturales, especialmente de Química y Biología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, en la investigación de la contaminación de los ecosistemas acuáticos, que les será de utilidad en el ejercicio de su futura profesión.

19. Referencias

- Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). (1999). *Resumen de Salud Pública*. ATSDR, División de Toxicología y Medicina Ambiental. Recuperado dewww.atsdr.cdc.gov
- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Basterrechea, M. (1997). El Lago de Amatitlán: Década de estudios limnológicos 1985-1995. Guatemala: Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Guatemala.
- 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. *Environments*. 7(4), 30; https://doi.org/10.3390/environments7040030
- Camargo, J.A. & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas*. *16*(2), 98-110.





- Companhia Ambiental do Estado de Sao Paulo (1990). *Implantação de Métodos para Avaliação da bioconcentração de agentes químicos en peixes. Resultados iniciais*. Relatório Técnico CETESB, São Paulo.
- Esteves, F.A. (1988). Fundamentos de Limnologia. São Paulo: Finep.
- Farahani, A., Ramezani, M., Hassan, J., & Niazi, A. (2017). In tube ultrasonic and air assisted liquid-liquid microextraction-gas chromatography-mass spectrometry determination: a novel method for the determination of phthalate esters in aqueous samples. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28(6), 967-974. https://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20160247
- Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2020. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (12/2020).
 - https://www.fishbase.de/Nomenclature/SynonymsList.php?ID=2&SynCode=58305&Genus Name=Oreochromis&SpeciesName=niloticus
 - https://www.fishbase.de/Nomenclature/SynonymsList.php?ID=4684&SynCode=64679&GenusName=Parachromis&SpeciesName=managuensis
- Garcia Lara, B., Enciso Donis, I., Wrobel, K., & Wrobel, K. (2018). Determination of six priority phthalates and di(ethylhexyl) adipate in maize tortilla by gas chromatography tandem mass spectrometry in multiple reaction monitoring mode. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 62(2), 270-281. https://doi.org/10.29356/jmcs.v62i2.359
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg, M., van de Zee, S.A.T.M., & Ritsema, C.J. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International soil and water conservation research*. *3*, 57-65.
- Gobierno de Guatemala (2006). Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Guatemala.
- Horne, A.J. (1994). Limnology. 2nd. Ed. McGraw Hill. California, USA.
- Hurst, C., Knudsen, G.R., Mc Inerney, M.J., Stetzenbach, L.D., & Walter, M.V. (1997) *Manual of environmental microbiology*. American Society for Microbiology. Washington DC
- Knedel, W., Chiquín, J.C., Pérez, J., Rosales, S. (1999). Estudio de los niveles de residuos de plaguicidas en la cuencas de Amatitlán y del Motagua. (Informe Final. FODECYT 08-97). Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad del Valle de Guatemala.





- Koelmans, A. A., Mohamed Nor, N. H., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & De France, J. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water research*, *155*, 410–422. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054
- Kosuth, M., Mason, S. A., Wattenberg E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLOS One*. *13*(4), 1-18. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970
- Lenntech B.V. (1993). *Water treatment solutions*. Universidad Técnica de Delft, Holanda. Recuperado de www.lenntech.es
- López, R. (2013). Tratamiento de aguas industriales residuales vertidas en el lago de Amatitlán y su cuenca. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Marín Galvín, R. (2003). Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Díaz Santos, S.A. España.
- Mason, C.F. (1991). Biology of freshwater pollution. 2 Ed. John Willey and Sons, New York.
- Mason, C.F.; Barak, N.A.E. (1990). A catchment survey for heavy metals using the eel (*Anguilla anguilla*). *Chemosphere*, 21, 695-699.
- 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.
- Oliva, B., Pérez, J.F., Del Cid, M., Martínez, F.J., & Valladares, B. (2010) Estudio de contaminantes ecotóxicos en agua y organismos acuáticos del Lago de Atitlán (Inf-2009-064). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Dirección General de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Oliveira, C.W., Correa, C., & Smith, W. (2020). Food ecology and presence of microplastic in the stomach content of neotropical fish in an urban river of the upper Paraná River Basin. *Revista Ambiente & Água.* 15(4), 1-15.
- Organización Mundial de la Salud (1995). *Guías para la Calidad del Agua Potable*. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Organización Mundial de la Salud (2006). Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1. Recomendaciones. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.





- Pain, D.J. (1995). *Lead in the environment*. En Handbook of Ecotoxicology. Eds. Hoffmann, D.J., Rattner, B.A. Burton, G.A., Carins Jr., J.
- Pastor, C.B., & Agulló, D.V. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*. 93, 1-10.
- Prasad, M. (2008). Trace Elements as Contaminants and Nutrients: Consequences in Ecosystems and Human Health. John Wiley and Sons, Inc. ISBN: 978-0-470-18095-2. Hoboken, New Jersey USA.
- Sierra, C. (2011). Calidad del agua. Evaluación y Diagnóstico. Universidad de Medellín. Colombia.
- Van Tuylen, S. (2020). Estado de los cuerpos de agua del lago de Amatitlán 2020 (Inf. 2020) Guatemala: Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán.
- Vitenskapskomiteen for mat og miljo (VKM) (2019) *Microplastics; occurrence, levels and implications for environment and human health related to food* VKM report 2019. Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM), Oslo, Noruega.
- Wren, C., Harris, S., Harttrup, N. (1995). *Ecotoxicology of mercury and cadmium*, in Handbook of Ecotoxicology. Hoffmann, D., Rattner, B., Burton, G., Jr., and Carins, J., Jr. (Eds.), Lewis Publishers, Boca Raton, FL.





Apéndice

Figura 3. Fotografía de la extracción del sistema digestivo de un pez colectado en el lago de Amatitlán para determinación de microplásticos. Fotografía tomada por Francis Santos	
Figura 4. Imagen obtenida por microscopio, de microplásticos presentes en el tracto digestivo del pez de la figura 4. Fotografía tomada por Francis Santos	
Figura 5. Fotografía de la medición de un pez colectado en el lago de Amatitlán. Fotografía tomada por Manuel Muñoz	91 51 71 61 71 11 01 6 8 4 9 5 7 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 19 19 20



Figura 6.

Colecta de muestra de agua en desembocadura del río El Rincón, en el lago de Amatitlán durante octubre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.



Figura 7.

Investigador (Manuel Muñoz, derecha) realizando mediciones de campo en el lago de Amatitlán durante el muestreo de diciembre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.



Figura 8.

Río Villalobos en la cercanía a la desembocadura en el lago de Amatitlán, en octubre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.



Figura 9.

Río Villalobos en la cercanía a la desembocadura en el lago de Amatitlán, en diciembre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.





Figura 10.

Lago de Amatitlán. Punto en la Lagunilla/Playa de Oro en octubre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.



Figura 11.

Lago de Amatitlán. Punto en la Lagunilla/Playa de Oro en diciembre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.



Figura 12.

Medición de sólidos sedimentables en agua del centro este lago de Amatitlán en enero de 2021. Puede observarse elevada cantidad de biomasa de fitoplancton. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.







Figura 13.

Medición de sólidos sedimentables en agua del centro este lago de Amatitlán en enero de 2021. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.



Figura 14.

Investigador (Manuel Muñoz, derecha) realizando mediciones de campo en el lago de Amatitlán durante el muestreo de enero de 2021. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.







Figura 15.

Colecta de agua en el río Villalobos en la cercanía a la desembocadura en el lago de Amatitlán, en enero de 2021. Puede observarse la disminución del nivel de agua en comparación con las fotografías de octubre y diciembre de 2020. Fotografía tomada por: Dr. Francisco Pérez.



Figura 16.

Colaboradora (Licda. Gabriela Chaulón), preparando el digestor de microondas para digerir muestras de tejido de pescado colectado en el lago de Amatitlán. Fotografía tomada por Pedro Pablo Molina.



Figura 17.

Auxiliar de investigación (Francis Santos) analizando por microscopio material filtrado de la digestión alcalina de un sistemas digestivos de pez, en busca de microplásticos. Fotografía tomada por Gabriela Chaulón.







Figura 18.

Colaborador (Pedro Pablo Molina) digitalizando resultados en tabla electrónica de Excel para su posterior análisis. Fotografía tomada por Gabriela Chaulón.







Tabla 22. Sinónimos de Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758)

[n = 37]

	Sinónimo	Autor	CoL Status	Válido	Sinonimia	Combinación
	Oreochromis niloticus	(Linnaeus, 1758)	Aceptado	Si	senior	nuevo
	Tilapia crassispina	Arambourg, 1948	Sinónimo	No	junior	original
	Perca nilotica	Linnaeus, 1758	Sinónimo	No	senior	original
	Chromis nilotica	(Linnaeus, 1758)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	Chromis niloticus	(Linnaeus, 1758)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	Oreochromis nilotica	(Linnaeus, 1758)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	Oreochromis niloticus niloticus	(Linnaeus, 1758)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	Sarotherodon niloticus	(Linnaeus, 1758)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	Tilapia nilotica	(Linnaeus, 1758)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	Tilapia nilotica nilotica	(Linnaeus, 1758)	Sinónimo	No	senior	nuevo
!	Oreochromis nilotics	(Linnaeus, 1758)	Sinónimo	No	senior	nuevo
!	Tilapia nilotious	(Linnaeus, 1758)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	Chromis guentheri	Steindachner, 1864	Sinónimo	No	junior	original
	Tilapia eduardiana	Boulenger, 1912	Sinónimo	No	junior	original
	Oreochromis niloticus eduardianus	(Boulenger, 1912)	Sinónimo	No	junior	nuevo
	Tilapia nilotica eduardiana	Boulenger, 1912	Sinónimo	No	junior	otro rank
!	Oreochromis niloticus edwardianus	(Boulenger, 1912)	Sinónimo	No	junior	nuevo
!	Tilapia esduardiana	Boulenger, 1912	Sinónimo	No	junior	original
	Tilapia cancellata	Nichols, 1923	Sinónimo	No	junior	original





	Sinónimo	Autor	CoL Status	Válido	Sinonimia	Combinación
	Oreochromis cancellatus cancellatus	(Nichols, 1923)	Sinónimo	No	junior	nuevo
	Oreochromis niloticus cancellatus	(Nichols, 1923)	Sinónimo	No	junior	nuevo
	Tilapia nilotica cancellata	Nichols, 1923	Sinónimo	No	junior	otras especies
!	Oreochromis niloticus lancellatus	(Nichols, 1923)	Sinónimo	No	junior	nuevo
	Tilapia calciati	Gianferrari, 1924	Sinónimo	No	junior	original
	Tilapia regani	Poll, 1932	Sinónimo	No	junior	original
	Tilapia nilotica regani	Poll, 1932	Sinónimo	No	junior	otro rank
	Tilapia inducta	Trewavas, 1933	Sinónimo	No	junior	original
	Tilapia vulcani	Trewavas, 1933	Sinónimo	No	junior	original
	Oreochromis niloticus vulcani	(Trewavas, 1933)	Sinónimo	No	junior	nuevo
	Oreochromis vulcani	(Trewavas, 1933)	Sinónimo	No	junior	nuevo
	Oreochromis niloticus baringoensis	Trewavas, 1983	Sinónimo	No	junior	original
	Oreochromis niloticus filoa	Trewavas, 1983	Sinónimo	No	junior	original
	Oreochromis cancellatus filoa	Trewavas, 1983	Sinónimo	No	junior	otras especies
!	Oreochromis nilotica filoa	Trewavas, 1983	Sinónimo	No	junior	original
	Oreochromis niloticus sugutae	Trewavas, 1983	Sinónimo	No	junior	original





Sinónimo	Autor	CoL Status	Válido	Sinonimia	Combinación
Oreochromis niloticus tana	Seyoum & Kornfield, 1992	Sinónimo	No	junior	original
Chromis tristrami	(non Günther, 1860)	misapplied	No	misapplied	nuevo

^{! -} Marca errores ortográficos de los nombres de las especies que no deben utilizarse.

CoL: Catalogue of Life.

Fuente: Frose & Pauli 2020





Tabla 23. Sinónimos de *Parachromis managuensis* (Günther, 1867) [n = 8]

	Sinónimo	Autor	CoL	Válido	Sinonimia	Combinación
			Status			
	Parachromis	(Günther, 1867)	Aceptado	Si	senior	nuevo
	managuensis					
	Heros managuensis	Günther, 1867	Sinónimo	No	senior	original
	Cichlasoma	(Günther, 1867)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	managuense					
	Herichthys	(Günther, 1867)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	managuense					
	Nandopsis	(Günther, 1867)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	managuense					
!	Cichlasoma	(Günther, 1867)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	managueuse					
!	Cichlosoma	(Günther, 1867)	Sinónimo	No	senior	nuevo
	managuense					
	Parachromis gulosus	Agassiz, 1859	Ambiguo	No	otro	original

^{! -} Marca errores ortográficos de los nombres de las especies que no deben utilizarse.

CoL: Catalogue of Life.

Fuente: Frose & Pauli 2020

Observaciones

Dentro del proyecto de investigación (B12-2020) se planteó la determinación de tierras raras y ftalatos en agua y peces del lago de Amatitlán las cuales se analizarían en la Universidad de Aveiro, Portugal. Debido a la enfermedad SARS2 y su enfermedad asociada COVID19, no se pudo enviar las muestras a Portugal para su análisis, debido al cierre de las fronteras.



Listado de los integrantes del equipo de investigación (en una sola hoja)

Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre	Firma
Bessie Evelyn Oliva Hernández	Calvignata C
María Gabriela Chaulón Velez	
Pedro Pablo Molina Jauregui	pool.
René Alberto Arreola Tobar	
Juan Francisco Pérez Sabino	(automospo

Contratados por la Dirección General de Investigación

Contratados por la Dirección General de Investigación						
Nombre	Categoría	Registro de Personal	PAGO DIGI Si No		Firma	
Manuel Alejandro Muñoz Wug	Investigador	20090848		X	Thy	
Doris Jeannette García Menéndez	Investigador	20091357		X	AMM	
María de los Ángeles Rosales Melgar	Investigador	20201110		X	Mampum)	
Francis Mariel Santos Ruiz	Auxiliar de Investigación II	20190919		X	Juny)	

Guatemala, 05 de abril de 2021

Licda. Bessie Evelyn Oliva Hernández Coordinadora Proyecto de Investigación

Ing. Agr. Saul Guerra GutiérrezPrograma Universitario de Investigación

ng. MARN (tillo Burn - Salazar Pérez Coordinador General de Programas Digi USAC

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