

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



Contaminación por microplásticos en la superficie del Lago Atitlán, Sololá

Trabajo de graduación presentado
por Ninoshka Analí López Xalín
para optar el grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala
2018

Contaminación de microplásticos en la superficie del Lago Atitlán, Sololá

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

Contaminación por microplásticos en la superficie del Lago Atitlán, Sololá

Trabajo de graduación presentado
por Ninoshka Analí López Xalín
para optar el grado académico de Licenciada en Biología


Guatemala
2018

Vo. Bo. :

(f) 

(Dra. Margaret Dix)

Tribunal Examinador:

(f) 

(Dra. Margaret Dix)

(f) 

(M. Sc. Gabriela Alfaro)

(f) 

(Ing. Sergio Izquierdo)

Fecha de aprobación: Guatemala, 15 de junio de 2018.

PREFACIO

La vida me ha llevado por diversos caminos, pero me ha puesto en los correctos, el trabajar en uno de los lagos más bellos de Guatemala, ha sido uno de ellos. Para tomar la decisión de trabajar en el lago de Atitlán con microplásticos, primero Dios tuvo que ponerme en el camino perfecto para conocer a las personas correctas. Por tal motivo, agradezco a Sergio Izquierdo y Marcus Eriksen por adentrarme en el mundo del microplástico. Les agradezco por brindarme la red de arrastre. A Marcus, experto en el tema, agradezco su guía a distancia y darme los conocimientos básicos para emprender esta aventura. A Sergio, le agradezco los contactos y medios para difundir la información de la investigación.

Como todo estudiante, tenía la limitante económica para invertir en la tesis. Dios, una vez más me concedió conocer al Lic. Mauricio Méndez, alcalde de San Pedro La Laguna. El alcalde ha trabajado en beneficio del lago y buscado soluciones prácticas para disminuir el consumo de plástico. Por lo que al oír del tema de investigación, me abrió las puertas a su municipio y me apoyó económicamente para realizar los muestreos en el lago. Sin embargo, aquí no se acabaron las dificultades para trabajar la investigación.

Tenía la principal herramienta para comenzar con el trabajo, la red de arrastre y un experto en el tema, y tenía solucionado el problema económico. Sin embargo, al ser un nuevo tema en el país no había quién me asesorara en el tema. Se preguntarán por qué Marcus no se convertía en mi asesor, pero tenía la limitante del idioma ya que únicamente habla inglés. Buscando, me encontré con la Dra. Margaret Dix, experta en el Lago de Atitlán, quien muy interesadamente aceptó ser mi asesora. Por tal motivo, le agradezco el apoyo, conocimiento y guía a lo largo de todo el trabajo, porque a pesar de las dificultades ha estado allí.

Al estar ya adentrada y con todas las herramientas principales para comenzar a trabajar, me di cuenta que iba a necesitar el apoyo de personas esenciales y excepcionales que complementarían mi trabajo. Agradezco a M. Sc. Gabriela Alfaro, directora del Departamento de Biología, por su insaciable apoyo y siempre estar al pendiente de cada paso. A Ericka Santos, secretaria del Departamento de Biología, por apoyarme con los trámites dentro de la universidad y darles seguimiento. A Licda. Priscila Juárez, encargada de bodega del Departamento de Biología, por prestarme y conseguirme todo lo necesario para llevar a cabo la investigación. Al Lic. Ovidio García, investigador del Centro de Estudios Atitlán, por su apoyo en el análisis de datos y paciencia para enseñarme.

Quiero agradecer también a personas que fueron importantes durante el proceso. Freddy y Mynor de bodega del Departamento de Biología. Juan Abajay y Juan Gabriel Cuc, capitanes de las lanchas que me llevaron a muestrear. A la familia López Orellana por darme alojamiento en Panajachel durante los muestreos. A mis amigos, convertidos en hermanos, Cecilia Pira, Erick Andrade y Diego Martínez, por apoyarme en el trabajo de campo. A Melissa Villatoro por su asistencia en laboratorio y apoyo moral durante todo el trabajo. Un especial agradecimiento a mi hermana, Ivanova López, por ayudarme de igual manera en el trabajo de campo. Asimismo, agradezco a mis amigos por el apoyo a lo largo del proceso, con consejos, palabras de aliento y acompañamiento en general.

Agradezco a la Universidad del Valle de Guatemala por darme los conocimientos básicos durante 4.5 años para poder realizar una investigación científica y por prestarme sus instalaciones para llevar a cabo el análisis de laboratorio. Especialmente, al Departamento de Biología por darme su apoyo incondicional y al Departamento de Ingeniería Civil por prestarme los tamices. A AMSCLAE por autorizar mi investigación en el lago de Atitlán y brindarme datos esenciales que me permitieron analizar mis resultados. Al Centro de Estudios de Atitlán de la Universidad del Valle de Guatemala por facilitarme el contacto con sus investigadores y demás personal.

Por último, pero lo más importante, agradecer a Dios por siempre darme la fuerza y la luz para terminar el trabajo. Por ponerme en los caminos correctos y trabajar con las personas perfectas. Asimismo, agradecer a mi mamá, Heidy Xalín, por su apoyo incondicional en todos los aspectos. Por guiar mis pasos y alentarme a seguir adelante, porque sin ella nada de esto hubiera sido posible ya que es el pilar de todo. A mi papá, Hugo López, a pesar de ya no estar físicamente, por ser mi ángel guardián y prepararme para la vida.

ÍNDICE

PREFACIO	ix
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
A. Desechos plásticos	3
B. Microplásticos	3
1. Origen de microplásticos	4
2. Impacto en el ambiente y vida acuática	5
3. Presencia de microplásticos en agua dulce	7
4. Estudios existentes.....	7
C. Lago Atitlán	8
1. Servicios ambientales.....	10
2. Desechos sólidos y líquidos	12
3. Legislación ambiental sobre desechos sólidos.....	13
III. JUSTIFICACIÓN	15
IV. OBJETIVOS	17
A. General	17
B. Específico	17
V. MÉTODOS	19
A. Tipo de alcance del estudio	19
B. Permisos de colecta	19
C. Sitio de estudio	19
D. Toma de muestras	20

E.	Análisis de muestras.....	21
F.	Análisis de datos	23
1.	Abundancia de microplástico.....	23
2.	Composición del microplástico	23
3.	Efectos de la época de muestreo en la abundancia de microplástico.....	23
4.	Distribución de microplástico	23
VI.	RESULTADOS	27
VII.	DISCUSIÓN	35
VIII.	CONCLUSIONES.....	41
IX.	RECOMENDACIONES.....	43
X.	LITERATURA CITADA	47
XI.	ANEXOS.....	53

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Usos del Lago de Atitlán.....	12
2.	Nombre de los transectos.....	21
3.	Definiciones y fuentes potenciales de los tipos de microplásticos.....	22
4.	Abundancia promedio y proporción de microplástico por tipo y tamaño en época lluviosa.....	32
5.	Abundancia promedio y proporción de microplástico por tipo y tamaño en época seca.....	32
6.	Valores de prueba de signos de muestras pareadas para comparar época lluviosa y seca.....	32
7.	Características de lagos y abundancia de micropolástico de todos los lagos estudiados en microplástico superficial.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Cuenca del lago de Atitlán.....	9
2.	Subzonificación del lago de Atitlán dentro de la cuenca Atitlán.....	10
3.	Transectos de muestreo de microplásticos en ambas épocas del año en lago de Atitlán, Sololá.....	20
4.	Red de arrastre utilizada para el muestreo de microplásticos.....	21
5.	Juego de tamices.....	22
6.	Estaciones meteorológicas del lago de Atitlán.....	25
7.	Ejemplo de la medición del ángulo entre la dirección del viento (línea roja) y el punto de muestreo (línea amarilla).....	25
8.	Abundancia de microplástico superficial por transecto y densidad poblacional de los municipios colindantes al lago.....	28
9.	Abundancia de microplástico por transecto y época.....	29
10.	Promedio de abundancias de ambas épocas en términos de tipo de plástico.....	30
11.	Fotos tipos de plástico bajo estereoscopio con magnitud 30X.....	31
12.	Correlación de Spearman: abundancia de micropolástico (No./km ²) - viento para ambas épocas, con datos de viento de dos meses anterior al muestreo.....	33
13.	Imagen satelital del florecimiento de cianobacterias en el lago Atitlán en 2009.....	40

RESUMEN

La presencia de microplástico en los océanos ha sido altamente investigada, contrario a lo sucedido en los cuerpos de agua dulce. Este estudio es el primero en evaluar la abundancia, composición y distribución de microplástico en un cuerpo de agua en Guatemala. Se evaluó la presencia de microplástico en la superficie del lago de Atitlán, Sololá, encontrando una abundancia promedio de microplástico de 128, 763 partículas/km², lo que representa un nivel alto de contaminación por microplástico. Los fragmentos fueron el tipo de microplástico con mayor abundancia; el tipo micro-esfera y espuma fueron mínimos. Los microplásticos de tamaño menor a 1.00 mm fueron los más abundantes. La distribución de microplástico en el lago, solo se pudo explicar a través del viento para época lluviosa. Existen otros factores que deben ser evaluados. Las autoridades pertinentes deben generar estrategias que permitan tratar la contaminación del lago por microplástico.

ABSTRACT

In the oceans, the presence of microplastic has been well studied, contrary to the situation for freshwater bodies. This study is the first to evaluate the abundance, composition and distribution of microplastic in any water body in Guatemala. The presence of microplastics on the surface of Lake Atitlán, Sololá was evaluated. With an average microplastic abundance of 128, 763 particles / km², Lake Atitlán presents a high level of microplastic contamination. Fragments were the type of microplastic with greatest abundance; the pellet and foam types were minimal. Microplastics smaller than 1.00 mm were the most abundant. The distribution of microplastics in the lake can be explain to the data of rainy season. A lot of other factors need to be evaluated. The pertinent authorities must carry out strategies that treat contamination by microplastics in Lake Atiltan.

I. INTRODUCCIÓN

Los desechos de plástico se reconocen como uno de los principales problemas a nivel mundial para la conservación ambiental. Encontrándose plásticos de diversos tamaños, desde visibles para el ojo humano hasta microscópicos. El plástico microscópico (<5 mm), conocido como microplástico, se ha encontrado en todo tipo de ecosistemas acuáticos: marinos, agua dulce y costas. La contaminación por microplásticos se ha estudiado a gran escala en los ambientes marinos, pero la investigación en agua dulce hasta ahora es poco desarrollada, sin embargo recientemente ha comenzado a tomar auge.

En Guatemala no se tiene ningún conocimiento del impacto de los microplásticos en sus ecosistemas. Se desconoce la presencia de microplástico en nuestros cuerpos de agua. El Lago Atitlán, al ser uno de los principales lugares turísticos del país y ser parte de la cuenca Atitlán, uno de los reservorios de agua dulce más grandes a nivel mesoamericano, es un sitio de interés científico. El conocer su estado en este problema ambiental permitiría generar estrategias de manejo adecuado tanto de la cuenca como del lago para que las poblaciones humanas y la biota no se vean afectadas, permitiendo que el equilibrio ecológico del ecosistema se mantenga o mejore.

El objetivo de la investigación fue evaluar la presencia de microplástico superficial en el Lago Atitlán, Sololá, estimando su abundancia, composición y distribución. Se muestreó en época lluviosa (octubre 2017) y época seca (marzo 2018), tomando muestras superficiales de agua con una red de arrastre en ocho transectos establecidos a lo largo del lago. Las muestras se trabajaron en el laboratorio, obteniendo únicamente el microplástico y separándolo en tres tamaños: 1) 0.300 – 0.999 mm., 2) 1.00 – 4.749 mm. y 3) > 4.75 mm. Se observó bajo el estereoscopio clasificando las partículas en tipo de microplástico: 1) Fragmento, 2) Espuma, 3) Línea/fibra, 4) Micro-esfera y 5) Film. Se evaluó la variable viento para demostrar su incidencia en la distribución del microplástico superficial.

Se encontró una abundancia promedio de microplástico superficial de 128, 763 partículas/km², posicionando al lago Atitlán como el segundo lago más contaminado de los estudiados hasta la fecha. Los fragmentos fueron el tipo de microplástico con mayor abundancia. Los microplásticos que van de 0.300 – 0.999 mm. fueron los más abundantes. La distribución de microplástico en el lago se explicó por el viento, únicamente, para época lluviosa, sin embargo existen otros factores que deben evaluarse. Las autoridades y población, en general, deben contribuir a la disminución y manejo de desechos plásticos para evitar que sean una fuente de microplásticos para el lago Atitlán.

II. ANTECEDENTES

A. Desechos plásticos

Los desechos marinos se encuentran compuestos principalmente por plástico. Se ha registrado que en todo el mundo 75% de los residuos en las costas son plásticos (Derraik 2002). El plástico está compuesto de polímeros orgánicos sintéticos que se originan de la polimerización de monómeros extraídos con gas o aceite (Derraik, 2002; Thompson *et al.* 2009a). Sus características lo hacen muy apreciado a nivel industrial: es relativamente barato, ligero, fuerte, durable, resistente a corrosión, resistente a altas temperaturas, y tiene propiedades de aislamiento eléctrico. Sin embargo, algunos plásticos contienen monómeros potencialmente dañinos y químicos aditivos, incluyendo retardantes y plastificantes, que tienen efectos sobre la salud humana (Thompson *et al.* 2009b). No solo son contaminantes, sino que también tienen la capacidad de adsorber contaminación del ambiente. Por tal motivo, al desecharlos en los distintos ambientes, estos se ven expuestos a complejos procesos naturales, llevándolos a su degradación. Consecuentemente, las moléculas dañinas quedan expuestas en el ambiente, llevando a que los organismos tengan contacto con ellas (Teuten *et al.* 2009).

Los desechos plásticos se han convertido en uno de los principales problemas ambientales (UNEP 2005), pudiendo afectar la capacidad de los seres humanos para conservar la diversidad biológica a futuro (Sutherland *et al.* 2009). Al tener grandes implicaciones ambientales, es necesario considerarlas cuidadosamente para evitar liberación inadvertida, magnificación y transporte de contaminantes a los ambientes (Thompson *et al.* 2009a,b).

A pesar de ello, la producción y uso de plástico va en aumento, especialmente en ciudades económicamente desarrolladas. Globalmente se usa un exceso de 260 millones de toneladas de plástico por año (Thompson *et al.* 2009a), provocando que existan desechos plásticos por todo el mundo. Existe una estimación de 5.25 trillones de partículas de desechos plásticos flotando en el océano (Eriksen *et al.* 2014). Se han encontrado de todos los tamaños, desde visibles para el ojo humano hasta microscópicos. De esta manera, el plástico microscópico, conocido como microplástico, se ha convertido en algo común en los hábitats marinos, costas (UNEP 2005) y cuerpos de agua dulce; como se ha demostrado en estudios recientes (Eerkes-Medrano *et al.* 2015).

B. Microplásticos

Los microplásticos se definen como partículas de plástico menores a 5 mm de tamaño (Arthur *et al.* 2009). Se registraron por primera vez en los océanos en los años 70s (Carpenter y Smith 1972), sin embargo fue hasta mediados del año 2000 que se les dio el nombre de microplásticos. Un estudio realizado por Sutherland *et al.* (2009) presentan los microplásticos como uno de los 15 principales problemas a nivel global para la conservación. En las últimas cuatro décadas, la concentración de dichas partículas ha

aumentado en la superficie oceánica, por lo que la preocupación a nivel internacional por el tema ha subido (Thompson *et al.* 2004). Existe una estimación que sugiere que hay 4.85 trillones de partículas de microplástico en el océano (Eriksen *et al.* 2014). Por esta razón, se ha involucrado a investigadores científicos y público en general, creando una gran presión sobre los tomadores de decisiones con el fin de encontrar soluciones.

Se han establecido diferentes técnicas para evaluar la presencia de microplásticos, entre ellas: sedimentos, redes de arrastre y muestras biológicas. Las muestras de sedimento permiten obtener material bentónico de playas, estuarios y del suelo del cuerpo de agua (Claessens *et al.* 2011). Las redes de arrastre permiten obtener microplásticos de la columna de agua a través de mallas finas. Para la superficie se usan redes de arrastre, a nivel medio del agua se usan redes de bongo y en el fondo del mar se usan redes bénticas (Browne *et al.* 2010; Ryan *et al.* 2009; Thompson *et al.* 2004). Por su parte las muestras biológicas permiten examinar los fragmentos de plástico consumidos por la biota (Cole *et al.* 2011).

Las distintas técnicas se han generado con fin de aprender y comprender los microplásticos, ya que pueden convertirse en un problema mucho mayor. Esto debido a que pueden degradarse en partículas más pequeñas, nanoplasticos (la partícula más pequeña que se ha registrado en el océano es de 1.6µm de diámetro) (Galgani *et al.* 2010). Si sabemos que los nanoplasticos vienen de los microplásticos, surge la duda del origen exacto de los microplásticos, el alcance que han tenido y pueden llegar a tener, y la importancia del tema.

1. Origen de microplásticos. Los microplásticos tienen dos orígenes: primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son aquellos que se han fabricado con un tamaño microscópico. Generalmente, son utilizados en limpiadores faciales, cosméticos y tecnología de chorro de aire. Los limpiadores faciales y cosméticos han remplazado los ingredientes naturales por microplástico en sus productos para la exfoliación. Se les ha llamado micro-esferas o micro-exfoliantes; variando en forma y composición. En la tecnología de chorro de aire, los microplásticos se usan para eliminar óxido y pintura, llevando a que este tipo de plástico tenga contacto y se contamine con metales pesados (Derraik 2002; Gregory 1996).

Los microplásticos secundarios son todos aquellos pequeños plásticos, derivados de la fragmentación de plástico más grande. A pesar de estar compuestos por plastificantes, que son aditivos del plástico y se agregan durante su manufactura para poder cambiar sus propiedades o extender su tiempo de vida, proveyendo resistencia al calor, oxidación y degradación microbial (Browne *et al.* 2007; Thompson *et al.* 2009a); se pueden llegar a fragmentar. Esto se debe a procesos físicos, biológicos y químicos que permiten el cambio de estructura del plástico (Browne *et al.* 2007). Entre ellos está la exposición a largos períodos de sol creando una foto-degradación del plástico y la radiación ultravioleta causando oxidación de los polímeros que lo componen. El plástico no sufre desintegración por los aditivos que lo componen, ya que le proveen durabilidad y resistencia a la corrosión

llevándolos únicamente a la fragmentación (Andrady 2011; Barnes *et al.* 2009; Browne *et al.* 2007).

Una solución propuesta para evitar este tipo de contaminación ha sido los plásticos biodegradables, pero solo son un recurso más para la aparición de microplásticos (Thompson *et al.* 2004). Es cierto que son biodegradables, pero bajo plantas industriales de descomposición con condiciones adecuadas (Moore 2008). Sin embargo, la descomposición es parcial ya que muchos de los polímeros sintéticos no se descomponen. Así al llegar el plástico biodegradable al agua y no haber presencia de microbios terrestres, aumentará la probabilidad de que el plástico sufra procesos de degradación por UV y se liberen microplásticos al ambiente (Andrady 2011; Moore 2008; Roy *et al.* 2011)

2. Impacto en el ambiente y vida acuática

a. Fuentes de contaminación. El plástico, en general, tiene un alto impacto en los ecosistemas y la biota, lo cual se ha demostrado en diversos estudios. A pesar de que el trabajo de investigación se centra en microplásticos, también se abordará el tema de plástico para poder comprender ampliamente los impactos y alcance que tiene en el ambiente y biodiversidad.

El plástico puede llegar de diversas maneras a los ecosistemas, y la actividad antropogénica es una de las principales. El turismo, recreación, pesca comercial, embarcaciones marinas e industrias marinas son fuentes de contaminación para el ambiente marino (Andrady 2011; Derraik 2002) y acuático, en general. Las plantas de tratamiento pueden detener macroplásticos, pero puede ser que una gran proporción de microplásticos pasen a través de sus sistemas de filtración (Browne *et al.* 2007; Gregory 1996). Los microplásticos utilizados en cosméticos y tecnologías de chorros pueden entrar al agua a través de sistemas de drenajes domésticos o industriales (Derraik 2002).

Por su parte, los propios ecosistemas o fenómenos naturales pueden formar parte de la contaminación. Los ríos son un transporte directo hacia otros cuerpos de agua (Browne *et al.* 2010). Las inundaciones y tormentas aumentan la transferencia de basura de la tierra a los cuerpos de agua (Lattin *et al.* 2004; Moore *et al.* 2002).

b. Problemática. La presencia de plástico en el ambiente marino presenta problemas estéticos con repercusiones económicas en industrias de turismo y otras industrias marinas (Barnes *et al.* 2009; Derraik 2002). Asimismo, se ha encontrado pesca fantasma y enredos en tortugas, pingüinos, ballenas, leones marinos, focas, manatíes, dugones, peces, crustáceos, nutrias y aves marinas; generando problemas a la propia pesca y poniendo en peligro la vida silvestre marina (Gregory 2009).

Los fragmentos de plástico fueron identificados por primera vez en los intestinos de aves marinas en 1960 (Thompson *et al.* 2009a). A partir de ellos se han encontrado en diversos organismos. Especies con distintos modos de alimentación incluyendo filtradores,

detrítvoros y otros pueden ingerir plástico. Es un problema generado en distintas especies por la confusión del plástico con su comida (Thompson *et al.* 2009b).

Los pequeños pedazos de plástico en la superficie son confundidos por peces y aves. Las tortugas comen bolsas plásticas suspendidas en el océano ya que las confunden por medusas. Por su lado, los mamíferos comen indirectamente porque se alimentan de especies que han ingerido plástico (Eriksson y Burton 2003).

c. Efectos de ingestión en la biota. Los plásticos al adsorber contaminación del ambiente son una vía de transferencia para los organismos, así la ruta más eficiente depende del organismo y las propiedades físico-químicas del contaminante. En la mayoría de especies la transferencia de contaminantes se da por la vía de ingestión del plástico (Teuten *et al.* 2009). Los químicos adsorbidos por el plástico pueden ser liberados a los fluidos digestivos y pueden ser transferidos a los tejidos de los organismos al pie de la cadena trófica. Para los organismos de nivel alto de la cadena trófica es más complejo el proceso ya que no solo hay adsorción de contaminantes transportados por el plástico sino que también hay biomagnificación. Por tal motivo, los daños por ingestión de desechos plásticos se ha identificado como un problema de carácter global (Gregory 2009).

Por su tamaño los microplásticos son considerados biodisponibles para los organismos a través de la red trófica. Su composición y su área superficial los hacen propensos a que contaminantes en el agua se adhieran a ellos y que haya lixiviación de plastificantes, que son tóxicos. Por tal motivo, la ingestión de microplásticos puede llevar a la introducción de toxinas a través de la cadena alimenticia, llevando a la bioacumulación (Cole *et al.* 2011; Teuten *et al.* 2009). Los consumidores primarios son susceptibles a la ingestión de microplásticos ya que son alimentadores generalistas con poca habilidad para diferenciar entre las partículas de plástico y la comida (Moore 2008).

Se ha visto que la ingestión de microplástico y plástico, en general, causa diversos problemas en los organismos, sin embargo varios organismos tienen la capacidad de remover cualquier material de su cuerpo sin causar ningún daño (Andrady 2011; Thompson 2006). A pesar de esto, cabe la posibilidad que durante el paso del microplástico por el sistema digestivo, este pueda ser adsorbido por translocación; tal como se ha demostrado en mejillones (Browne *et al.* 2008). Entre los problemas que causa el plástico son: asfixia, heridas internas o externas, úlceras, bloqueo del tracto digestivo, falsa sensación de saciado, incapacidad de alimentación, inanición, debilidad, evitación limitada de depredadores o muerte (Gregory 2009).

Investigaciones en laboratorios y en campo han demostrado la ingestión de microplásticos por la biota marina. Sin embargo, aún no es claro cómo la ingestión de microplásticos por sí sola puede resultar en efectos adversos para la salud o cómo el contaminante puede pasar a lo largo de la cadena alimenticia (Cole *et al.* 2011).

3. Presencia de microplásticos en agua dulce. La mayoría de investigaciones se ha centrado en las consecuencias del plástico en el ambiente marino, pero poco ha sido lo que se ha trabajado en hábitats terrestres y agua dulce (Thompson *et al.* 2009b). Los microplásticos han comenzado a detectarse en cuerpos de agua dulce en Europa (Faure *et al.* 2012; Imhof *et al.* 2013), Norte América (Eriksen *et al.* 2013) y Asia (Free *et al.* 2014). Asimismo, ya se ha registrado microplásticos en organismos de agua dulce (Biginagwa *et al.* 2015; Sanchez *et al.* 2014).

Se ha encontrado que los sistemas de agua dulce no solo funcionan como recurso de contaminación a los ambientes marinos, sino que presentan similitud en el transporte y prevalencia de microplástico, enfoques utilizados para la detección, identificación y cuantificación, y los posibles impactos. Sin embargo, hay ciertas diferencias: proximidad a las fuentes de contaminación, el tamaño del cuerpo de agua, y diferencias espaciales y temporales en el transporte de partículas por fuerzas físicas (Eerkes-Medrano *et al.* 2015).

El origen de microplásticos secundarios en los cuerpos de agua dulce se desconoce. Por ejemplo, el microplástico de origen secundario en el océano surge por fuerzas físicas como tormentas y mareas. En cuerpos de agua dulce éstas son menores, aunque se experimentan en cierto grado, pero también existen las fuerzas químicas de degradación (Andrady 2011). En el lago Hovsgol y otros lagos ultra-oligotróficos el aumento de penetración UV y la reducción de bioincrustación facilitan la fragmentación del plástico (Andrady 2011; Free *et al.* 2014). Se ha visto que las partículas en agua dulce sufren patrones de degradación en la superficie similares a los que se ha visto en aguas marinas (Imhof *et al.* 2013; Zbyszewski y Corcoran 2011).

Se ha indicado que existe una asociación entre los tipos de microplásticos y las actividades antropogénicas. Así la cuantificación de microplásticos en los ambientes de agua dulce depende de diversos factores: densidad poblacional, proximidad a cascos urbanos, tiempo de residencia del agua, tamaño del cuerpo de agua, el manejo de residuos, cantidad de flujo de aguas residuales (Eriksen *et al.* 2013; Free *et al.* 2014; Moore *et al.* 2011; Zbyszewski *et al.* 2014). Por su parte, las investigaciones en lagos han explicado la distribución del microplástico a través de las pequeñas mareas que se forman, vientos, drenaje de ríos y corrientes (Eriksen *et al.* 2013; Free *et al.* 2014).

4. Estudios existentes. La investigación de microplásticos en agua dulce es reducida, toda vez que el foco de investigación se ha establecido en aguas marinas, sin embargo en los últimos años ha tomado auge. Actualmente, se conoce la publicación de 14 estudios, que han trabajado en sedimentos, muestras de agua superficial y muestras biológicas. Se mencionará únicamente los estudios que se han llevado a cabo en lagos, por la importancia que tienen para esta investigación.

En Asia, Free *et al.* (2014) evaluaron la presencia de microplástico superficial en el Lago Hovsgol. Se basó en tres tamaños: 0.355 – 0.999 mm, 1.00 – 4.749 mm y >4.75 mm.

Encontraron una media de 20, 264 partículas por km², en donde la abundancia incluía todo tipo de partículas y el 81% estaba representado por partículas menores a 4.75 mm.

En África, Biginagwa *et al.* (2015) evaluaron la presencia de plástico en el sistema gastro intestinal de peces locales del Lago Victoria, percha de Nilo (*Lates niloticus*) y tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*). A través de espectroscopía ATR-FTIR, detectaron en 20% de las muestras de cada una de las especies la presencia de plástico. Se identificaron varios tipos de polímeros que provienen del casco urbano ya que son recursos de uso humano.

En Europa se ha trabajado en el Lago Geneva (Faure *et al.* 2012) y el Lago Garda (Imhof *et al.* 2013). En el Lago Geneva se encontraron partículas menores a 5mm. En cada una de las muestras de sedimento habían nueve partículas de plástico y en las muestras de agua 48, 146 partículas por km². Por su parte en el Lago Garda, se evaluaron únicamente sedimentos. Encontraron un máximo de 1, 108 partículas de plástico por km² y todas de tamaño menor a 5mm.

En América del Norte se han realizado dos estudios de microplásticos en agua superficial, Lagos Superior, Huron y Erie (Eriksen *et al.* 2013), y Lago Michigan (Mason *et al.* 2016). En los Lagos Superior encontraron una media de abundancia de microplásticos de 43, 157 partículas/km², las cuales pertenecían a todo tipo de partículas y el 98% eran menor a 4.75mm. Por su parte, en el Lago Michigan encontraron una media de abundancia de aproximadamente de 17, 000 partículas/km², en su mayoría menores a 1mm.

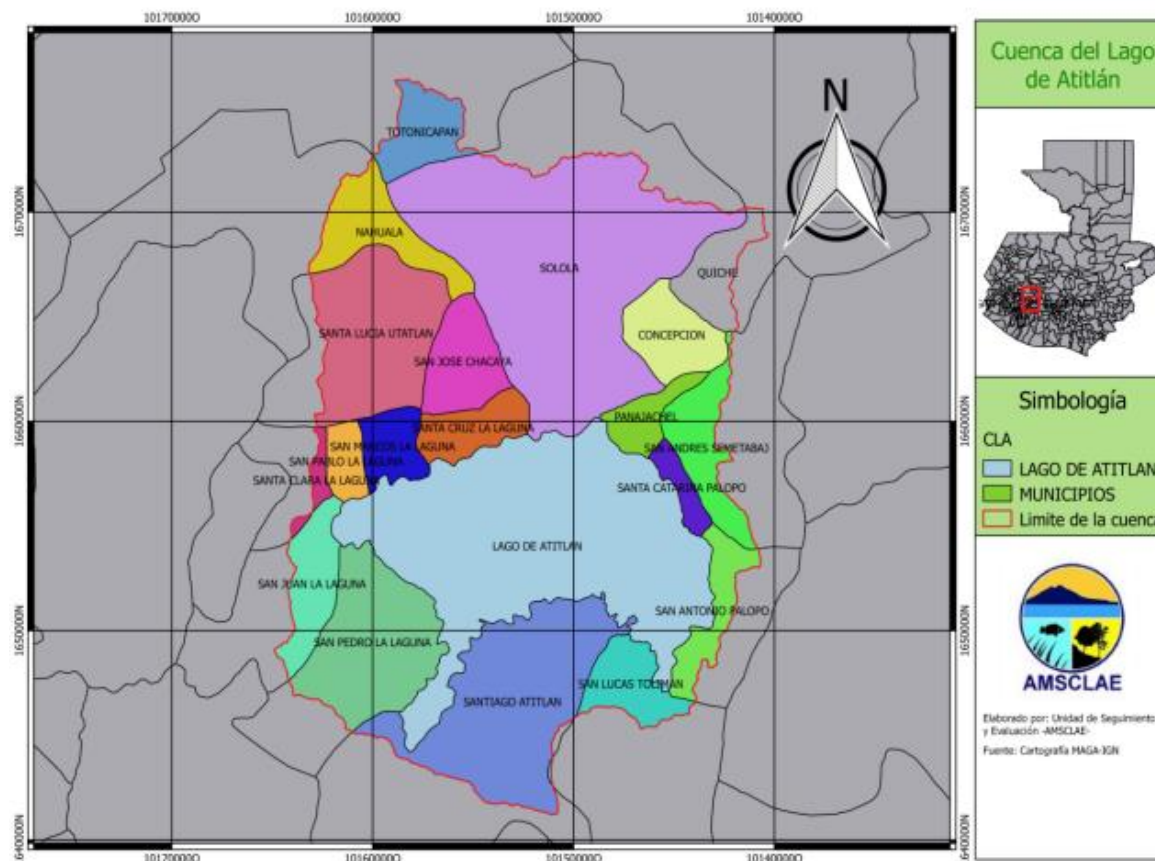
La densidad de microplásticos presentes, en los lagos evaluados, son similares a los encontrados en los océanos, y tomando en cuenta que son cuerpos más pequeños, los números de partículas son altos. Varias de las partículas registradas tienen un origen antropogénico, y los lagos evaluados se encuentran rodeados de comunidades. Sin embargo, el Lago Hovsgol alejado de presencia humana, presenta partículas de microplástico que son acarreadas por el viento de comunidades aledañas. Se puede ver que una de las principales causas de contaminación directa es la presencia humana, sin embargo, hay otras variables que deben evaluarse ya que tienen un impacto en la presencia del contaminante en los lagos. Aunque el tema se ha empezado a estudiar y hay datos científicos que confirmen la presencia de microplásticos en lagos, aún se desconoce el efecto que puedan estar teniendo en el ecosistema, en la biota y en las comunidades que dependen de ellos.

C. Lago Atitlán

El lago Atitlán pertenece a la RUMCLA, que abarca toda la cuenca del lago. Se encuentra categorizada como Reserva de Uso Múltiple (CONAP 2007). La cuenca del lago Atitlán y su entorno tiene presencia de 19 municipalidades, de las cuales 15 pertenecen al departamento de Sololá. Únicamente 11 tienen contacto directo con el lago: Sololá, Panajachel, Santa Catarina Palopó, San Antonio Palopó, San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán, San Pedro La Laguna, San Juan La Laguna, San Pablo La Laguna, San Marcos La

Laguna y Santa Cruz La Laguna (Figura 1). Se toman en cuenta tanto para el Plan Maestro de la cuenca Atitlán, como para el manejo por parte de AMSCLAE a 15 municipios de Sololá, como se puede ver en la figura 1 (AMSCLAE 2017; CONAP 2007).

Figura 1. Cuenca del Lago de Atitlán



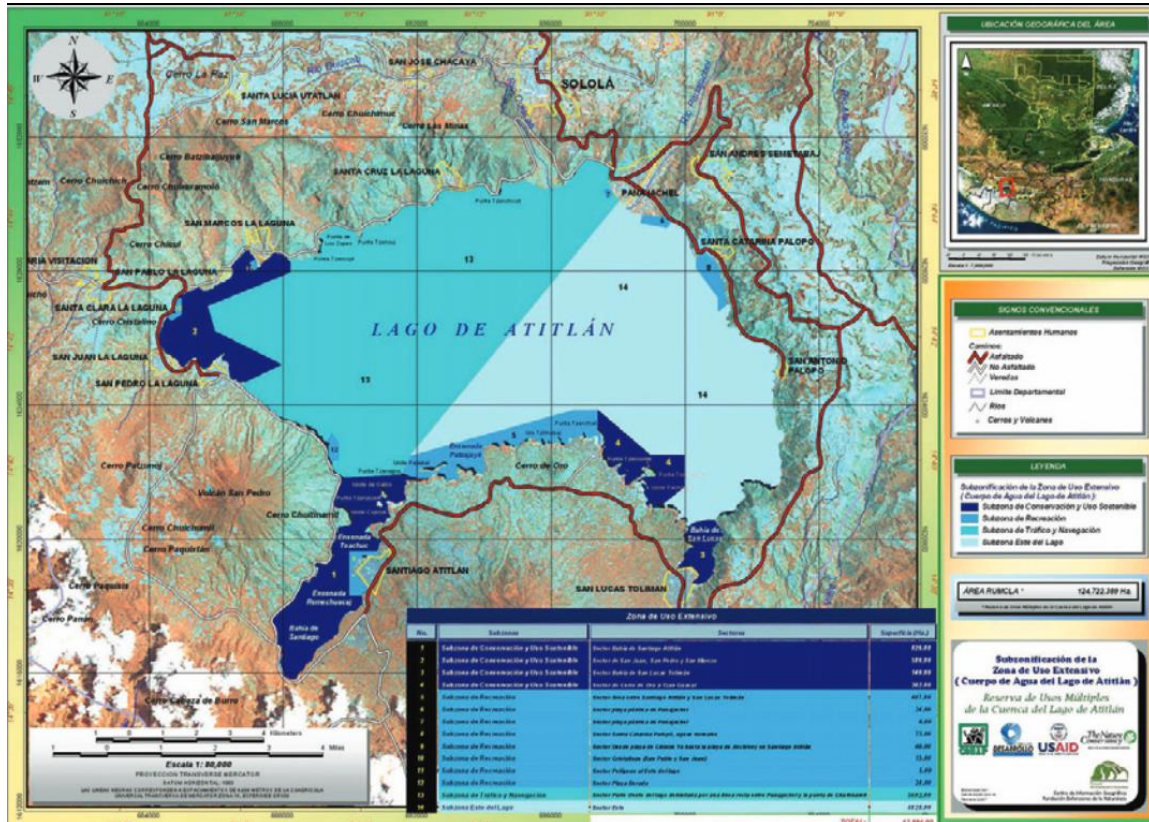
(Fuente: AMSCLAE)

El lago dentro de la cuenca se encuentra dentro de la zona de uso extensivo. Al mismo tiempo se encuentra subzonificado, basándose en características del área y uso que recibe. (1) Subzona de conservación y uso sostenible (azul), donde hay reproducción de flora y fauna importante, y se realiza la mayor parte de la pesca. (2) Subzona de recreación (celeste oscuro), la cual posee áreas con playa con atractivos de aguas termales o se realiza deportes acuáticos. (3) Subzona de tráfico y navegación (celeste medio), donde existe la mayoría de rutas de tránsito masivo y tráfico pesado. (4) Subzona este del lago (celeste claro), donde se realizan actividades de navegación no intensas, por lo que se busca que sea una zona para la práctica de deportes como vela, remo y otros de manera segura (Figura 2) (CONAP 2007).

El Decreto 133-96 establece y faculta a la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del lago de Atitlán y su entorno (AMSCLAE), como el ente rector de la planificación, coordinación y ejecución de medidas y acciones del sector público y privado

que sean necesarias para conservar, preservar y resguardar el ecosistema del lago de Atitlán y sus áreas circunvecinas (Congreso de la República 1996). Asimismo, existen otras instituciones que tienen un rol dentro del lago: CONAP, MARN, DIPESCA-MAGA, Asociación Amigos del Agua, Vivamos Mejor y UVG (CONAP 2007), dependiendo el tema de incidencia.

Figura 2. Subzonificación del lago de Atitlán dentro de la Cuenca Atitlán.



(Fuente: CONAP 2007)

1. Servicios ambientales. El medio ambiente tiene un valor en sí mismo, y al mismo tiempo cumple funciones con efectos positivos en el bienestar de las personas que dependen de él. Por tal motivo, los recursos naturales tienen un valor intrínseco que no es cuantificable monetariamente, sin embargo debido a su degradación es necesario asignarle un valor económico para garantizar su gestión correcta y uso eficiente (Romero 2009); permitiendo que a nivel global cobre un valor de importancia para la sociedad.

La cuenca de Atitlán es un área rica en tradiciones mayas y se ha convertido en un punto focal para la población local y como atractivo turístico nacional e internacional (Dix *et al.* 2003). Se ha considerado un destino turístico importante para el país, encontrándose solo detrás de Antigua Guatemala. Asimismo, representa un recurso geopolíticamente estratégico ante la amenaza de cambio climático y variabilidades climáticas extremas, ya que contiene 25.46 km³ de agua, convirtiéndolo en el reservorio de agua más grande de

Mesoamérica (AMSCCLAE 2014) y principalmente en un área de zona de recarga hídrica de suma importancia a nivel nacional (CONAP 2007). El lago ha permitido generar diversas actividades económicas productivas: café, turismo, artesanías, hortalizas, fruticultura y manejo forestal (CONAP 2007). En áreas cercanas al lago los habitantes siembran hortalizas como cebolla, zanahoria, tomate y chile verde. Asimismo, realizan pesca de subsistencia, siendo una actividad no exclusiva ya que la combinan con agricultura y otros oficios (Dix *et al.* 2003).

Otros servicios ambientales que presenta son la belleza escénica, exuberante naturaleza y gran riqueza cultural de pueblos indígenas (Tz'utujil, K'iche' y Kaqchikel). Asimismo, representa un gran significado histórico, que posee ocupación prehispánica desde el período post-clásico; convirtiéndolo en un área arqueológica de alto impacto. Además cobra importancia dentro de los fenómenos geológicos, al formar parte de una caldera (CONAP 2007).

El lago cuenta con paisajes naturales de bosques de coníferas, seco, latifoliados y mixtos. Es hábitat para diversas especies de flora y fauna tanto de importancia turística como de subsistencia. Existen grupos de aves acuáticas y migratorias que hacen uso de él. A pesar de que existe un gran vacío sobre crustáceos, moluscos e insectos acuáticos, se sabe del aprovechamiento del cangrejo blanco (*Raddaus bocourti*) y del cangrejo negro (*Potamocarcinus guatemalensis*) (Wehrtmann *et al.* 2014), y del molusco introducido (*Pomacea flagellata*). Por su parte, para la comunidad icticia se reportan tres especies nativas: mojarra (*Archocentrus nigrofrasciatus*), gulumina (*Profundulus guatemalensis*), pescadito (*Poecilia sphenop*); introducción de especies de mojarra, pepemechón, lobina negra, trucha y otras. Otros vertebrados son mosquitero fajeado (*Xenotrichus callizone*), tacuazín de agua (*Chironectes minimus*) y nutria (*Lutra longicaudis*). La flora, presenta una especie de importancia como el tul (*Typha domingensis*), por el aprovechamiento por parte de las comunidades para artesanías. Además, de la presencia de diversos grupos de algas verdes filamentosas (Dix *et al.* 2003).

Un estudio de valoración económica hecha por Romero (2009) indica que nueve de cada diez personas, que viven dentro de la cuenca, hacen algún uso del lago. Entre los usos más importantes se encuentra: recreación, transporte, agua potable y comercio (Cuadro 1).

El autor definió un valor económico total para el lago que va entre los Q54.28 millones/año y Q62.85 millones/año. Con el fin de mantener la calidad de agua cada persona debe presentar un valor de Q17.87 al mes. El autor recalca que el valor económico total se ve afectado y reducido por la contaminación del agua del lago, degradación de la cuenca y paisaje, y falta de políticas, estrategias y acciones para protegerlo.

Cuadro 1. Usos del Lago de Atitlán

Uso	Proporción estratificada (%)
Recreación	65.12
Transporte	28.59
Agua potable	24.50
Comercio	11.35
Deporte	7.31
Pesca	6.25
Agua para riego	3.82
Religión	2.95
Turismo	1.09
Producción de tul	0.54
Lavado de ropa	0.27

(Romero 2009)

2. Desechos sólidos y líquidos. El lago es considerado como el principal cuerpo de agua del país y que permite reflejar todo lo que sucede en su cuenca. Lo anterior debido a que no posee ríos de salida, permitiendo que acumule todos los sedimentos y materiales de la subcuencas fluviales (Padilla, *et al.* 2010). El lago se ha visto alterado por actividades antropogénicas, afectado por la contaminación por aguas negras y servidas, agroquímicos, afluentes de beneficios de café y desechos sólidos. Este tipo de contaminación afecta la salud humana y biodiversidad (Dix *et al.* 2003).

AMSCLAE (2017) en su plan operativo anual presenta que los mayores problemas para el manejo de los desechos sólidos son los basureros clandestinos, deficiencia municipal para generar políticas, estrategias y medidas para su buen manejo, y falta de voluntad e interés para encontrar soluciones. Así se estima que el lago recibe 1, 928. 26 Tm/año de basura equivalente al 3.4 % total que se produce en toda la cuenca. Por su parte esta institución realiza campañas de sensibilización y concientización a través de capacitación de manejo de desechos sólidos y líquidos, resaltando el valor espiritual y económico del lago hacia las comunidades que forman parte de la cuenca.

Por su parte, el río Quiscab constituye la unidad hidrogeológica de captación de aguas superficiales y subterráneas de mayor importancia. Se estima un aproximado de 190 toneladas métricas de basura y más de 287,000 m³ de agua residuales tienen contacto con el río e ingresan al lago anualmente (Romero 2005). Padilla *et al.* (2010) al estudiar el

mismo río en parámetros físico-químicos y bacteriológicos encontraron que sus aguas son posibles fuentes para consumo humano y de riego. Sin embargo, no es apta para consumo directo, sin antes pasar por algún método de tratamiento. Asimismo, el uso en riego debe ser restringido a cultivos que no sufren cocción y frutales. Pérez-Sabino *et al.* (2015), muestran niveles cuantificables de arsénico y mercurio en el lago, siendo los de arsénico concentraciones muy superiores a los establecidos para el agua potable.

A partir de los estudios que se han realizado a lo largo de la cuenca se puede ver que los desechos sólidos y aguas residuales son un problema persistente de contaminación. Por tal motivo deben desarrollarse y continuar con los planes de manejo de desechos sólidos y acciones a corto plazo que manejen todo tipo de contaminación. Asimismo, generar estrategias de acción urgentes, efectivas y eficientes que permitan a las municipalidades, con incidencia en el lago, generar soluciones.

3. Legislación ambiental sobre desechos sólidos. La legislación a nivel nacional juega un papel importante ya que es más efectiva. Una actitud fundamental es “pensar globalmente y actuar localmente”, para tratar el problema (Thompson *et al.* 2009a). Las políticas según Thompson *et al.* (2009b), deben enfocarse en problemas específicos como la seguridad de polímeros, reducción de materiales, reutilización y reciclaje; los biopolímeros, polímeros biodegradables y compostables, y el vertido y derrame industrial.

A nivel nacional existe la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos que se basa en el Acuerdo Gubernativo 281 – 2015. Ésta busca implementar y fortalecer la gestión de residuos y desechos sólidos con los actores y sectores involucrados con el fin de generar un desarrollo sostenible en Guatemala. Por su parte, el Plan Maestro de la Cuenca de Atitlán establece en uno de sus objetivos reducir la contaminación causada por aguas servidas, desechos sólidos y agroquímicos en las cuencas de Atitlán (en 60%), Madre Vieja y Nahuala (CONAP 2007).

Ciertas municipalidades con incidencia en el lago cuentan con plantas de tratamiento, pero no todas están en funcionamiento. Lo anterior debido al alto costo de mantenimiento. Asimismo, no se han generado políticas a nivel municipal que velen por el manejo de los desechos sólidos y líquidos, a excepción de la municipalidad de San Pedro La Laguna, quién ha tomado acciones legales para el manejo de ciertos desechos sólidos. A partir del Acuerdo Municipal 111-2016, que establece: “Prohibir el uso, venta y distribución de bolsas plásticas, duroport, pajillas y derivados, en el municipio de San Pedro la Laguna, Sololá, a fin de minimizar los graves perjuicios que el exceso de este tipo de productos está generando en el ambiente y el Lago de Atitlán”.

III. JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial, para el 2015, se produjeron 269 millones de toneladas de plástico (Plastic Europe 2016). En Guatemala para el 2016, según datos del Banco de Guatemala, se exportaron aproximadamente 170 mil toneladas de plástico (Pérez 2017) e importaron 425 mil toneladas, segundo puesto a nivel centroamericano (Central America Data 2017). Mucho de este plástico llega a los océanos y resto de cuerpos de agua. El dato exacto de la cantidad de plástico que llega a los océanos varía (Jambeck *et al.* 2015), pero todos concuerdan en que la cantidad continuará aumentando si no se toman medidas adecuadas y de manera rápida.

Se han realizado un vasto número de estudios que permiten demostrar la presencia de plástico en los océanos (Cole *et al.* 2011; Giacomo *et al.* 2016). Por el contrario, los ecosistemas de agua dulce han sido poco estudiados en el tema ya que recién comienza la investigación en ellos (Eerkes-Medrano *et al.* 2015). Los cuerpos de agua dulce son nuestro recurso diario de agua (Nanda y Pring 2013), por lo que es importante manejarlos adecuadamente.

En Guatemala no existe ningún estudio sobre la contaminación de plástico, por lo que se desconoce el impacto del problema en nuestras aguas, tanto marinas como dulces. Por tal motivo, esta investigación es pionera a nivel nacional, permitiendo ser una base para investigaciones posteriores en la temática. Asimismo, contextualizar la contaminación por microplásticos en uno de los lagos más importantes para el país.

El lago Atitlán representa una base para las poblaciones de la región por el turismo que atrae, generando alrededor de USD\$ 12, 750, 000 al año (AMSCLAE 2014). Al ser un atractivo turístico para el país es importante conocer su estado, ya sea para mantenerlo o mejorarlo. Los efectos del plástico sobre este no solo pueden afectar el turismo sino que también la calidad de vida de la fauna y las comunidades aledañas, por su característica de bioacumulador y los efectos que puede tener en la cadena trófica (Teuten *et al.* 2009). El estudio de la presencia de microplástico en el lago permitiría tener una base sobre su estado en este aspecto y datos científicos que evidencien el problema. Así los gobiernos municipales que tienen una incidencia sobre el lago pueden unir esfuerzos y generar iniciativas que permitan un manejo adecuado de los desechos plásticos, tal como lo ha hecho el municipio de San Pedro La Laguna a partir del acuerdo municipal 111 – 2016 (España 2016). Dichas acciones permitirían preservar, conservar y proteger el equilibrio ecológico del Lago Atitlán y su entorno.

IV. OBJETIVOS

A. General

Evaluar la presencia de microplástico superficial en el Lago Atilán, Sololá.

B. Específico

1. Estimar la abundancia de microplástico superficial en el Lago Atilán.
2. Determinar la composición de microplástico superficial en el Lago Atilán.
3. Determinar la distribución de microplástico superficial en el Lago Atilán.

V. MÉTODOS

A. Tipo de alcance del estudio

La investigación presenta un enfoque mixto donde se integra un enfoque cualitativo y cuantitativo. Presenta un alcance exploratorio y descriptivo, ya que es información que no se ha evaluado en ningún cuerpo de agua de Guatemala y permite contextualizar el estado de contaminación de uno de los lagos más importantes del país. Por último, muestra un diseño no experimental y transversal.

B. Permisos de colecta

No se necesitó ningún tipo de permiso de colecta ya que no se trabajó con organismos vivos, sino que únicamente se colectaron muestras de plástico. Sin embargo, se trabajó con licencia No. 01 – 2018 (Anexo 1), emitida por AMSCLAE, para acceder a datos climáticos generados por el ente y dejar un registro de la investigación realizada en el área.

C. Sitio de estudio

Se trabajó en el Lago Atitlán, el cual se ubica en el departamento de Sololá. Dicho departamento se encuentra en el puesto cuatro a nivel nacional con mayor densidad demográfica. Asimismo, es un lugar donde cohabitan cuatro grupos etnolingüísticos (Kaqchikel, Tz'utujil, K'icheé y ladino), además de los residentes extranjeros y turistas de diversas nacionalidades (Dix et al. 2003).

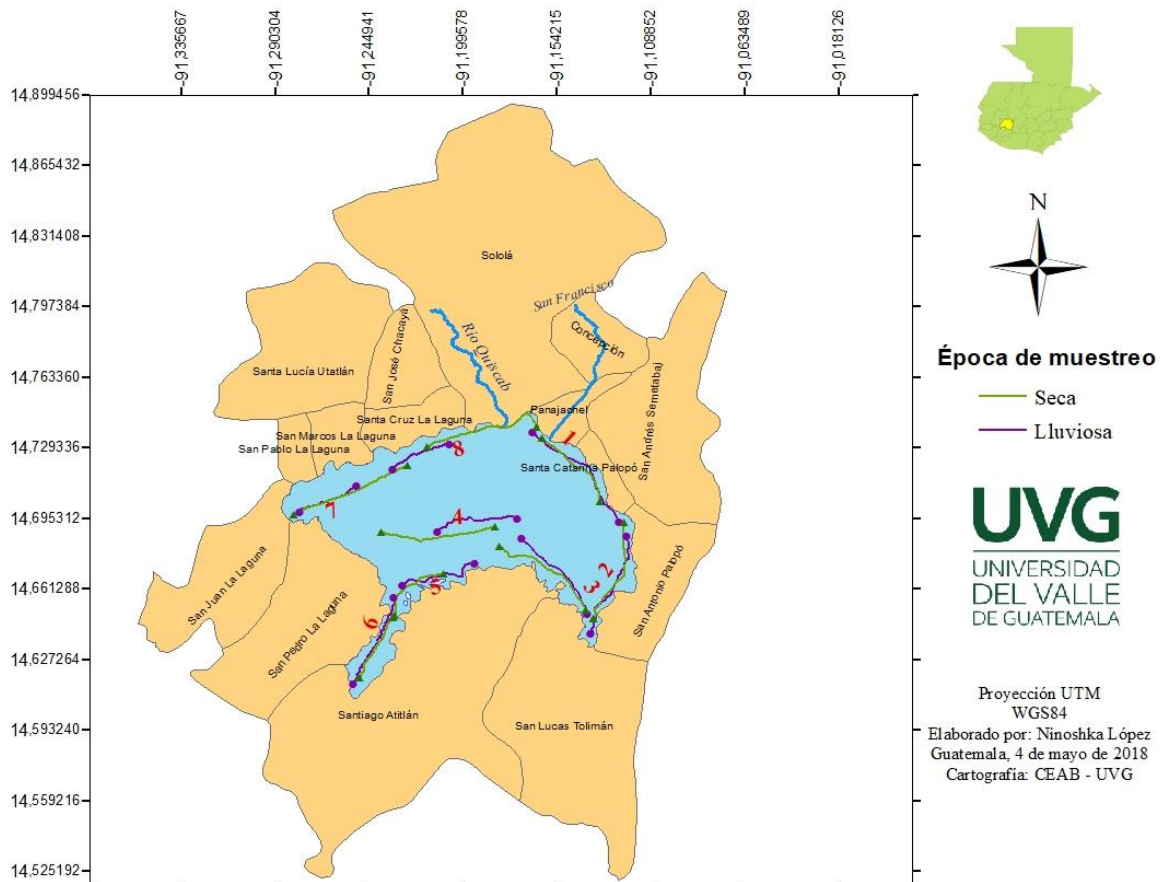
El lago Atitlán es una caldera de origen volcánico con forma ovalada y dos bahías que recorren en dirección al sur, a los lados de los volcanes Tolimán y Atitlán. Se encuentra a una altitud de 1562 msnm a una distancia de 145 km de la ciudad de Guatemala, en la región de la cadena volcánica que atraviesa el país (LaBastille 1988). Presenta 900 m de profundidad, de los cuales 300 m están ocupados por sedimento lacustre y material eruptivo de los volcanes del lago, 300 m de agua y los restantes la altura actual visible de la caldera, entre el terreno circundante y la superficie del agua (CONAP 2007). Cuenta con un área de 130km² (Dix et al. 2003).

El lago, actualmente, tiene un estado oligotrófico en transición a mesotrófico. El área donde se encuentra, presenta una humedad relativamente baja (AMSCLAE 2014). Cuenta con dos ríos permanentes de mayor importancia que depositan sus aguas en el lago, Quiscab y Panajachel (también conocido como San Francisco) teniendo un largo de 22.25 km y 15.6 km, respectivamente. El volumen anual de escurrimiento es aproximadamente de 76.94 millones de m³ (Dix et al. 2003). En base a características químicas se ha demostrado que el agua del lago se mueve lentamente de manera subterránea hacia el Río Madre Vieja (Weiss 1971).

D. Toma de muestras

Se tomaron muestras superficiales de microplástico en ambas épocas presentes en el país, lluviosa y seca (octubre 2017 y marzo 2018, respectivamente). Se evaluaron ocho transectos a lo largo del lago, los cuáles se intentó que fueran los mismos en ambas épocas, sin embargo tuvieron leves variaciones por las condiciones climáticas (Figura 3, coordenadas en Anexo 2). Los transectos se eligieron con el fin de abarcar todo el lago y áreas con diferentes características, a los cuales se les colocó un nombre dependiendo su ubicación cercana a los municipios (Cuadro 2). Cada transecto se realizó durante una hora a una velocidad de dos nudos, por lo que la distancia varió debido a las condiciones del lugar (Anexo 3 y 4). Las muestras se colectaron usando una red de arrastre con una apertura rectangular de 16 cm de alto por 61 cm de ancho y una longitud de 3 m con una red de 333 μm de apertura con una bolsa de colecta de 30 * 10 cm^2 (Figura 4). La red se remolcó a lo largo de la superficie amarrada con lazos al estribor de la lancha (Anexo 5). Las muestras colectadas se colocaron en frascos de 1L, para su transporte y manejo en el laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala. Se obtuvo un total de 16 muestras, incluyendo ambas épocas.

Figura 3. Transectos de muestreo de microplásticos en ambas épocas del año en lago de Atitlán, Sololá



Cuadro 2. Nombre de los transectos.

No. transecto	Nombre	Abreviación
1	Panajachel-Santa Catarina Palopó	P-SCP
2	San Antonio Palopó-San Lucas Tolimán	SAP-SLT
3	San Lucas Tolimán- Santiago Atitlán	SLT-SA
4	Centro	C
5	Santiago Atitlán	SA
6	Bahía Santiago Atitlán	BSA
7	San Pedro La Laguna – Santa Cruz La Laguna	SPLL-SCLL
8	Santa Cruz La Laguna -Panajachel	SCLL-P

Figura 4. Red de arrastre utilizada para el muestreo de microplásticos

E. Análisis de muestras

Las muestras preservadas se procesaron usando un protocolo modificado de la NOAA (Masura *et al.* 2015), como se detalla a continuación (Anexo 6). Las muestras se lavaron a través de un juego de tamices, clasificando el material en tres tamaños: 0.300 – 0.999 mm,

1.00 – 4.749 mm y mayor a 4.75 mm (Figura 5). Los tamaños de los tamices se eligieron para poder comparar con otros estudios (Eriksen *et al.* 2013; Free *et al.* 2014; Mason *et al.* 2016), a excepción del primer tamaño (0.300 mm) que se eligió por disponibilidad de material.

Figura 5. Juego de tamices. De izquierda a derecha: 4.75 mm, 1.00 mm y 0.300 mm.



A cada clasificación de tamaño, se le realizó una digestión orgánica utilizando peróxido de hidrógeno al 30% en presencia de un catalizador de hierro (II) 0.05M (sulfato de hierro hepta hidratado + agua + ácido sulfúrico), solución para eliminar materia orgánica. Lo anterior debido a que la basura plástica es resistente a la oxidación de peróxido húmeda (WPO). La mezcla de WPO se expuso a una separación por densidad del material, y obtener únicamente los desechos plásticos a través de flotación. Las partículas colectadas se observaron bajo un estereoscopio con magnificación de 30X y se separó las partículas de plástico del material que no se digirió y que no se separó por densidad. Para realizar una correcta separación se observó que la partícula soportara ser aplastada por la pinza sin romperse. Por último, cada partícula se contó y categorizó como: fragmento, espuma, línea/fibra, micro-esfera o film (Cuadro 3).

Cuadro 3. Definiciones y fuentes potenciales de los tipos de microplásticos

Tipo de microplástico	Definición	Fuente potencial
Fragmento	Partícula dura de plástico.	Botellas, plásticos duros y resistentes.
Espuma	Ligero, plástico similar a una esponja.	Poliestireno, amortiguación.
Línea/fibra	Plástico recto, y fino o fibroso	Líneas o redes de pesca, ropa o textiles.
Micro-esferas	Partículas duras y redondas.	Pellets de fábrica, limpiadores faciales.
Film	Plástico delgado y suave	Bolsas de plástico, envoltorios.

(Free *et al.* 2014)

F. Análisis de datos

Dentro de análisis de datos no se tomó en cuenta únicamente las partículas de plástico menores a 5 mm, como lo especifica la definición de microplástico. Sino que se tomó en cuenta las tres categorías de tamaño evaluadas con el fin de generar información más completa y utilizar todas las muestras recabadas en campo. Asimismo, se quería tener un panorama más amplio del problema y el alcance que puede tener, por las implicaciones negativas que tienen en un ecosistema.

1. Abundancia de microplástico. La abundancia de partículas (no. de partículas/km²) se obtuvo multiplicando el número de partículas contabilizadas por el largo del transecto (km) por el ancho del área superficial de la red (0.00061km).

$$Abundancia = \frac{no. de partículas}{largo transecto (km) * 0.00061km}$$

Ecuación 1. Abundancia de partículas por transecto (No./km²).

2. Composición del microplástico. Para cada uno de los tipos de plástico y tamaños evaluados se obtuvo la abundancia promedio. Asimismo, se calculó los porcentajes para cada uno de ellos. Las estimaciones no se realizaron por transecto, sino que se promediaron los datos de los ocho transectos para ambas épocas (Anexo 3 y 4).

3. Efectos de la época de muestreo en la abundancia de microplástico. Se contabilizó la abundancia de microplástico para cada época tomando en cuenta los transectos, el tipo de microplástico y el tamaño de microplástico, como se mencionó en el numeral a y b del análisis de datos. Se buscaba una diferencia entre las épocas por la variación climática.

Se utilizó un estadístico no paramétrico ya que los datos de abundancia por transecto, por tipo de microplástico y por tamaño de microplástico no siguen una distribución normal. Se eligió analizar los datos con una prueba de signos con muestras pareadas por la falta simetría de en los datos. La prueba se realizó en el programa IMB SPSS Statistics 22.

4. Distribución de microplástico. Se usaron datos de viento (dirección y velocidad), proporcionados por AMSCLAE, de las estaciones meteorológicas cercanas al lago (San Juan La Laguna, Panajachel y San Lucas Tolimán) (Figura 6). Se analizaron los datos de dirección y velocidad del viento de un mes anterior a cada uno de los muestreos (época lluviosa: 27 de septiembre – 27 de octubre de 2017; época seca: 19 de febrero – 19 de marzo de 2018) para evaluar las condiciones previas (Anexo 7). Para determinar las fechas de datos de viento a utilizar, se probaron datos de dos meses, un mes (Anexo 11) y una semana (Anexo 12) anteriores al muestreo ya que se desconoce el tiempo en que tardan en moverse

las partículas en el lago. Se utilizaron únicamente los datos de dos meses anterior al muestreo por el significado de los resultados para la investigación. Los datos de viento permitieron evaluar si la distribución del microplástico en el lago actúa en función de la variable viento.

Para cada una de las épocas, se obtuvo la dirección promedio del viento de las tres estaciones. Dado que los datos de las tres estaciones eran muy variables, tal como se observa en los gráficos de rosa de viento (Anexo 8), se calculó un promedio.

Los datos de dirección de viento fueron proporcionados en puntos cardinales. Por tal motivo, se convirtieron a un valor numérico (ángulo), estableciendo el norte como ángulo cero. Posteriormente, se obtuvo la dirección en eje x (norte-sur) y en eje y (este-oeste) a través de la siguiente ecuación:

$$D = \sum_{direcciones} v_i * \cos\theta$$

Ecuación 2. Dirección del viento respecto a eje x y eje y .

Donde, D es la dirección promedio del viento respecto al eje x y al eje y , v_i es la velocidad promedio de cada una de las direcciones, y la función $\cos \Theta$ hace referencia al ángulo de la dirección. Posteriormente, se realizó una sumatoria de vectores de las tres estaciones para obtener una dirección promedio del lago.

Para facilitar el análisis, cada transecto se tomó como un punto de muestreo, colocándolo al centro del transecto. El centro del lago (punto rojo) se tomó como punto pivote para sacar las direcciones del viento en el lago. A partir de él también se midió el ángulo formado entre la dirección del viento (línea roja) y el punto de muestreo (tachuela amarilla y línea amarilla), (Figura 7). Con el ángulo obtenido se calculó las funciones $\cos \Theta$ y $\sin \Theta$. Se evaluaron ambas funciones para explicar los datos tanto en vector x como en vector y . Estadísticamente, se esperaba que el ángulo, el $\cos \Theta$ y/o el $\sin \Theta$ fueran proporcionales a la abundancia de partículas. Para ellos se realizó una correlación de Spearman entre la abundancia de microplástico por transecto y cada uno de los ángulos obtenidos (ángulo, $\cos \Theta$ y $\sin \Theta$) en IBM SPSS Statistics 22. Se hicieron gráficas de dispersión de los datos en Excel 2013. Se utilizó esta correlación ya que los datos no presentaban una distribución normal.

Figura 6. Estaciones meteorológicas del lago de Atitlán.



(Fuente: AMSCLAE)

Figura 7. Ejemplo de la medición del ángulo entre la dirección del viento (línea roja) y el punto de muestreo (línea amarilla).



VI. RESULTADOS

Se evaluó la presencia de microplástico superficial en el lago de Atitlán en época lluviosa y época seca. Se analizó la composición de microplástico, para lo que se obtuvo abundancias promedio y proporciones de microplástico por tipo y tamaño. Se calculó la abundancia de microplástico (No. partículas/km²) de los ocho transectos muestreados. Los datos globales se presentan en el anexo 3 y 4. Se analizó el efecto de la época de muestreo para la abundancia de microplástico por transectos, tipo y tamaño. Finalmente, se analizó el efecto del viento en la distribución de microplástico.

El promedio de abundancia de microplástico para el lago de Atitlán fue de 128, 763 partículas/km². La cuenca de Atitlán tiene una población de 368, 250 individuos, según una estimación del INE para el 2017 publicada en AMSCLAE (2017). La densidad poblacional es de 2, 833 individuos/km², obtenida de la población de la cuenca y el área del lago, por la incidencia que puede tener toda la población de la cuenca en el cuerpo de agua (Cuadro 7).

Para ambas épocas, todos los transectos presentaron microplástico, sin embargo, la abundancia varió entre ellos (Figura 8, basada en Anexo 9). En la Figura 8 se presenta la abundancia por rangos de cada una de las épocas y los puntos de muestreo. Asimismo, se presenta la población a nivel municipal de los municipios colindantes al lago, según datos del INE (2013).

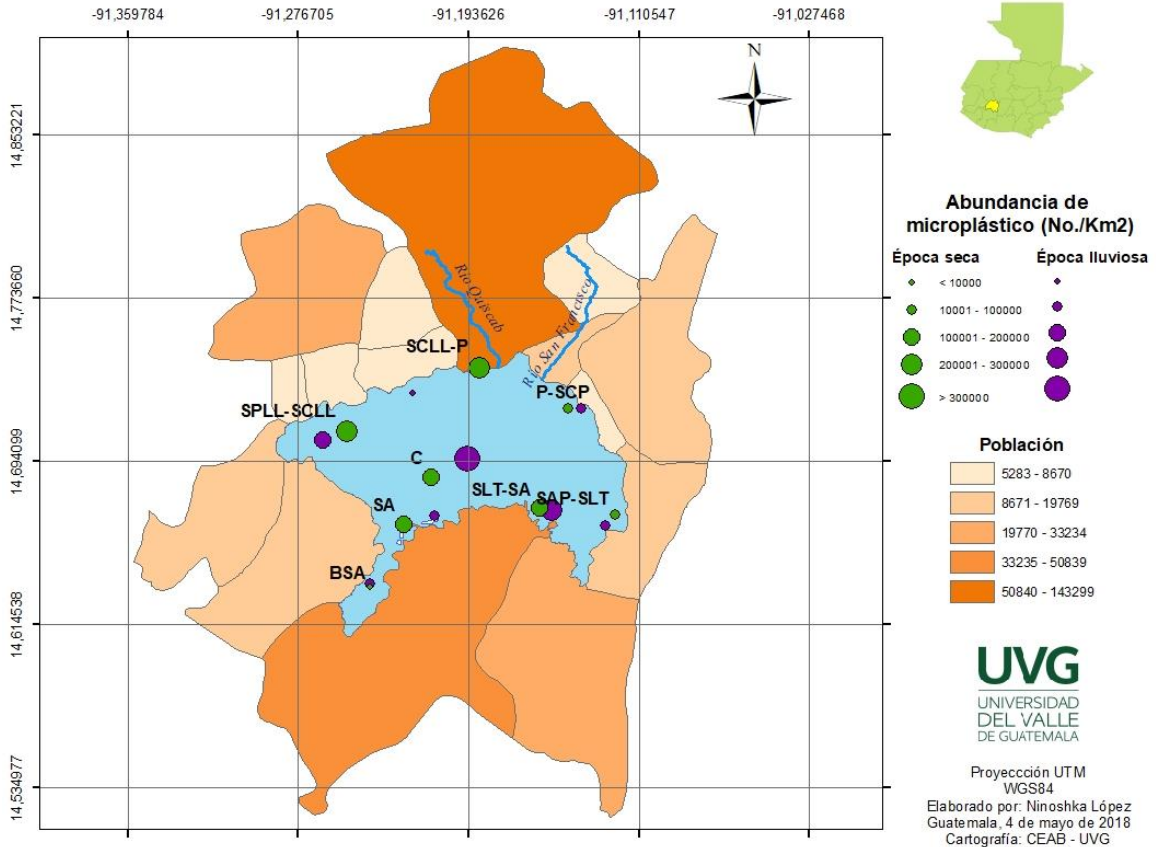
Para época lluviosa el transecto con mayor abundancia de plástico fue el C con 541, 208 partículas/Km² y el transecto con menor abundancia fue el SCLL-P con 7, 407 partículas/Km². Por su lado, para época seca el transecto con mayor abundancia de plástico fue el SCLL-P con 241, 903 partículas/Km² y el transecto con menor abundancia fue el BSA con 9, 450 partículas/Km² (Figura 8; Figura 9 basada en Anexo 9).

La composición de microplástico se evaluó por tipo de plástico (Figura 11) y tamaño de la partícula (Cuadro 4 y 5 basados en anexos 3 y 4, respectivamente). Respecto al tipo de plástico, el que tuvo mayor incidencia fue el fragmento con 72.25% (95, 565 partículas/Km²) para época lluviosa y un 52.61% (64, 730 partículas/Km²) para época seca (Figura 10). Por el contrario, para época lluviosa el tipo de plástico con menor incidencia fueron las micro-esferas con un 0.04% y para época seca la espuma con 0.30% (Figura 10). Respecto al tamaño de la partícula, en las dos épocas se tuvo el mismo comportamiento de los datos. Las partículas menores a 1.000 mm dominaron con un 63.93% para época lluviosa y un 68.36 % para época seca (Cuadro 4 y 5). Por su parte, las partículas mayores a 4.750 mm fueron las que se encontraron en menor cantidad (lluviosa = 6.19% y seca = 2.54%) (Cuadro 4 y 5).

La abundancia promedio de microplástico fue mayor para época lluviosa con 134, 484 partículas/Km² que para época seca con 123, 041 partículas/Km² (Cuadro 3 y 4). Existen

variaciones de abundancia por transectos, por tipo de microplástico y por tamaño de microplástico entre épocas. Sin embargo, estas variaciones no fueron significativas según prueba de signos de muestras pareadas, analizadas con un valor de significancia de 0.05. Los valores para la prueba se observan en el Cuadro 6. Se observa que los valores son mayores a 0.05 por lo que se rechaza la H_0 , que indica que las abundancias entre época son diferentes.

Figura 8. Abundancia de microplástico superficial por transecto y densidad poblacional de los municipios colindantes al lago Atitlán.



(Datos INE 2017)

Se evaluaron datos de viento de dos meses anteriores al muestreo y se correlacionaron con la abundancia de los transectos muestreados, encontrándose únicamente una relación entre las variables para época lluviosa (Figura 12 basada en Anexo 10). Para cada gráfico de dispersión se colocó la línea de tendencia monótonica, el valor de correlación de Spearman (r) y el valor de p , con una significancia de 0.05. En época lluviosa, se encontró una correlación entre los datos para el $\cos \Theta$, con un valor de r de 0.786 y un valor de p de 0.021 (Figura 12B). El resto de correlaciones no mostraron una relación. En época lluviosa la gráfica de ángulo mostró un r de -0.333 (Figura 12A) y para la función seno Θ un r de 0.167 (Figura 12C). En época seca, la gráfica de ángulo mostró un r de 0.071 (Figura 12D), para la función $\cos \Theta$ un r de 0 (Figura 12E) y para la función seno Θ un r de 0.452 (Figura

12F). Las gráficas que no mostraron una correlación, tuvieron valores de p mayor al nivel de significancia, explicando que no hay una asociación entre la abundancia y el viento (Figura 12).

Figura 9. Abundancia de microplástico por transecto y época (lluviosa: octubre 2017; seca: marzo 2018).

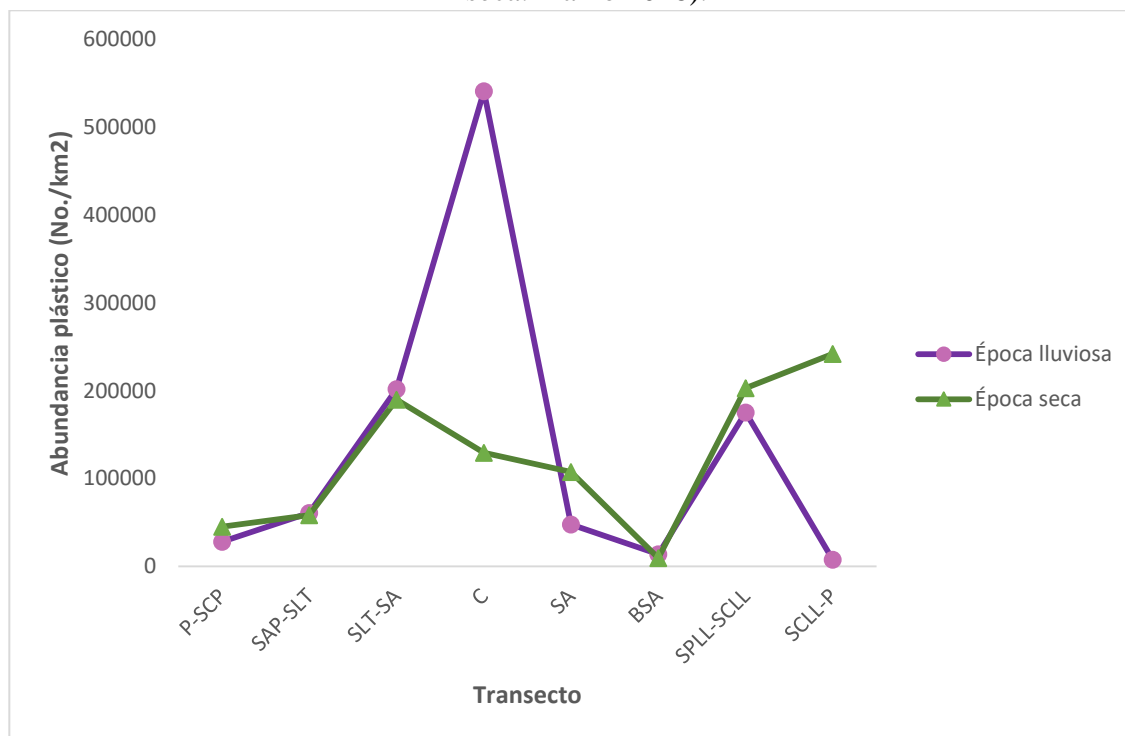


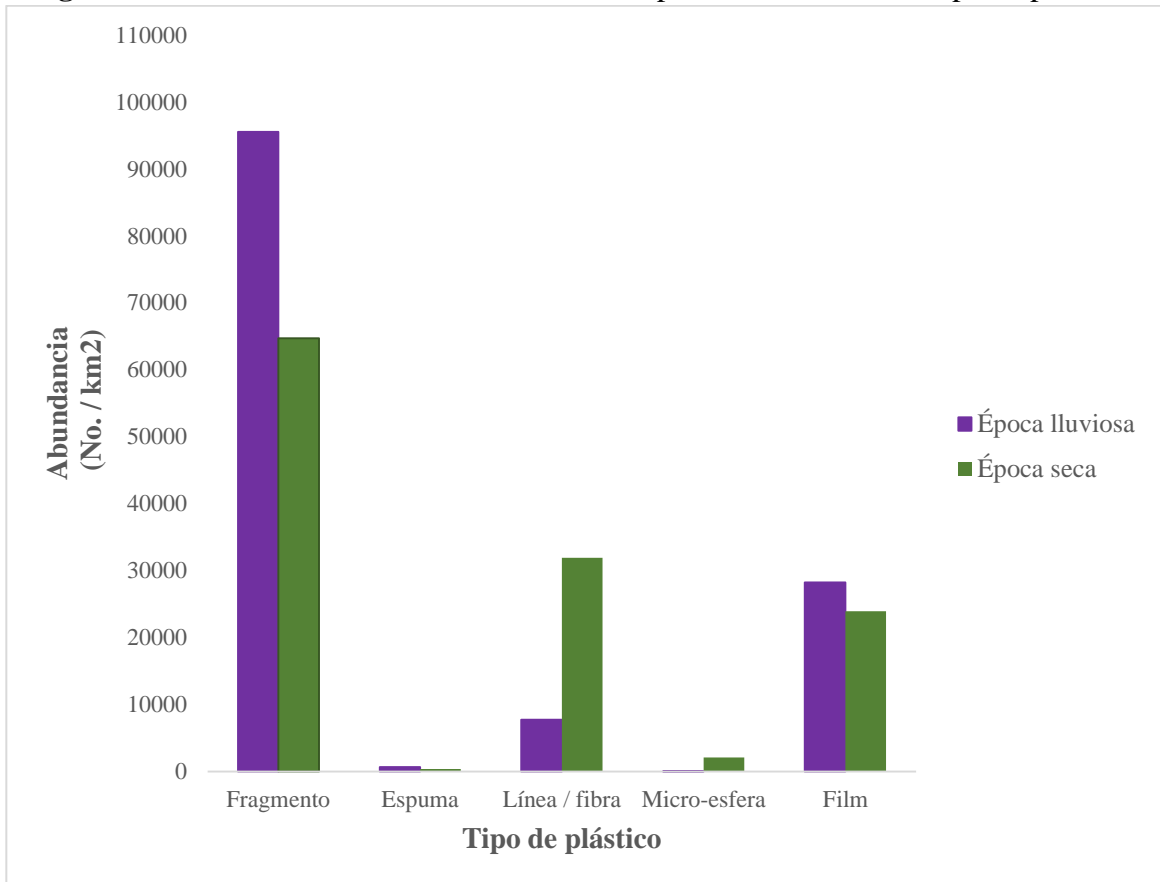
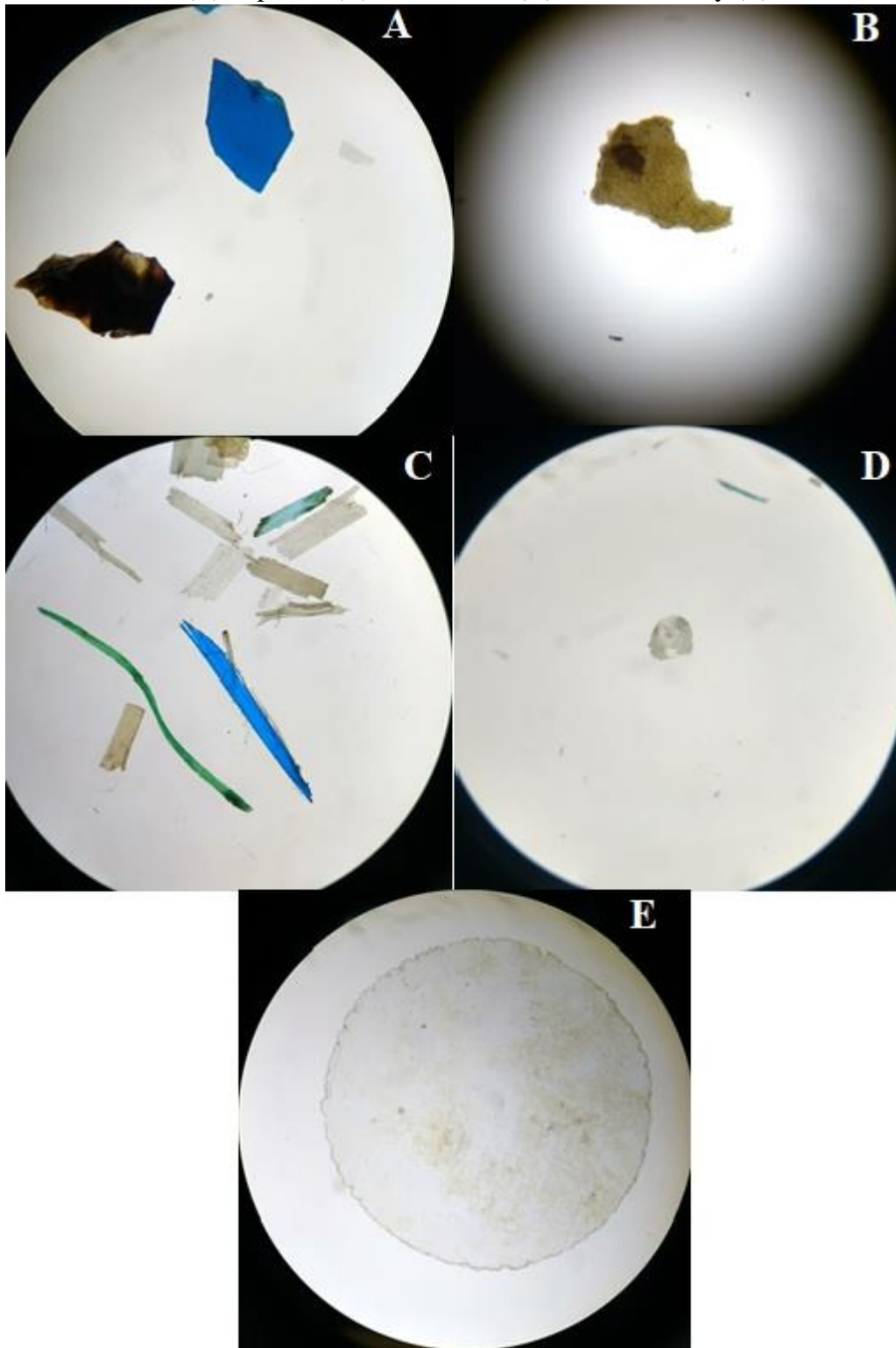
Figura 10. Promedio de abundancias de ambas épocas en términos de tipo de plástico.

Figura 11. Fotos tipos de plástico bajo estereoscopio con magnitud 30X. (A) Fragmento, (B) Espuma, (C) Línea/fibra, (D) Micro-esfera y (E) Film.



Cuadro 4. Abundancia promedio y proporción de microplástico por tipo y tamaño en época lluviosa.

ÉPOCA LLUVIOSA					
Tipo de plástico	Promedio de abundancia de microplástico (partículas/km²)				
	0.300 - 0.999 mm	1.000 - 4.749 mm	> 4.750 mm	Total	Porcentaje (%)
Fragmento	64810	27758	2998	95565	72.25
Espuma	289	383	0	672	0.51
Línea / fibra	6494	1207	43	7744	5.86
Micro-esfera	8	47	0	54	0.04
Film	12956	10122	5150	28228	21.34
Total	84556	39517	8191	134484	
Porcentaje (%)	63.93	29.88	6.19		

Cuadro 5. Abundancia promedio y proporción de microplástico por tipo y tamaño en época seca.

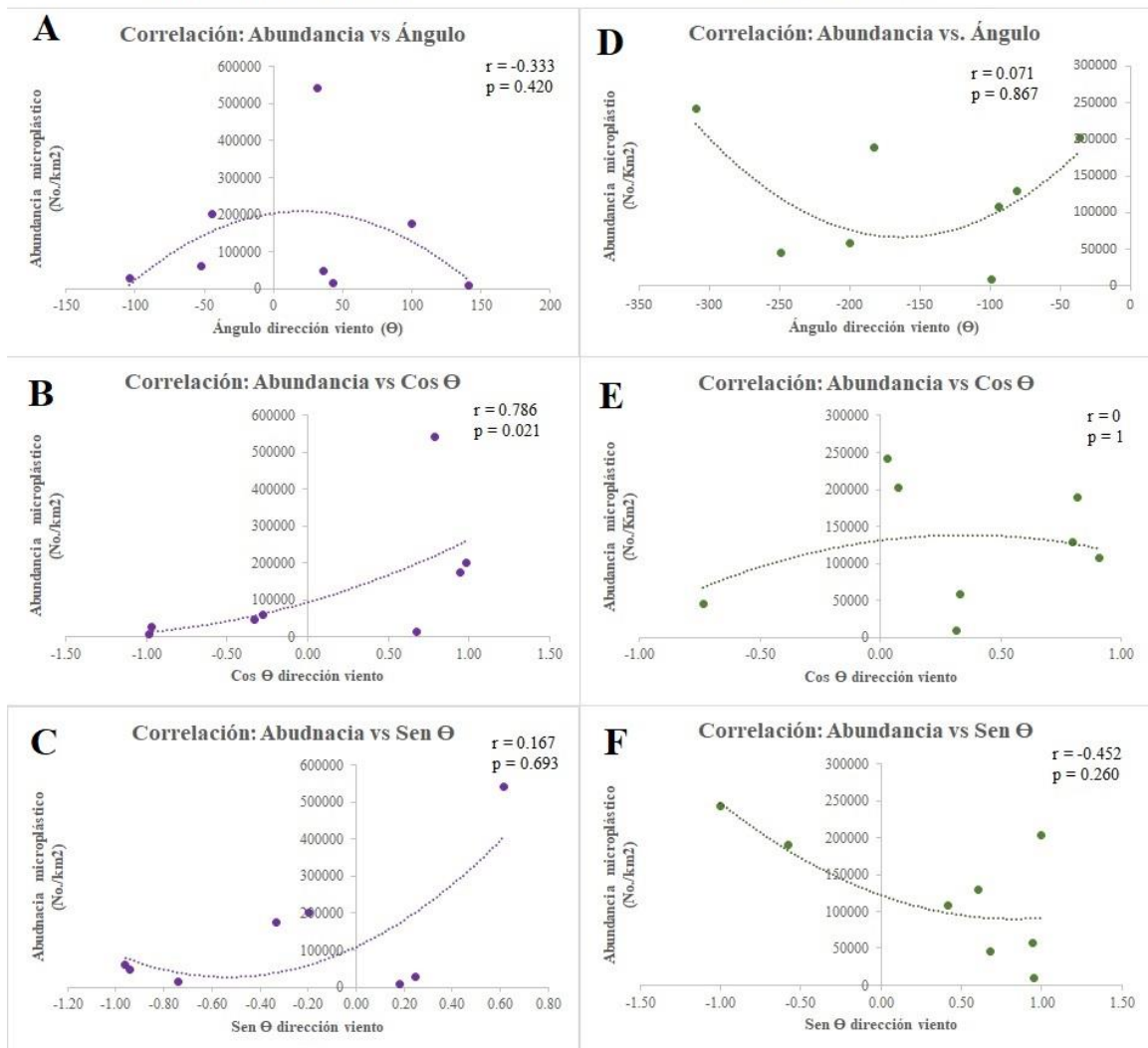
ÉPOCA SECA					
Tipo de plástico	Promedio de abundancia de microplástico (partículas/km²)				
	0.300 - 0.999 mm	1.000 - 4.749 mm	> 4.750 mm	Total	Porcentaje (%)
Fragmento	55205	9158	367	64730	52.61
Espuma	237	131	0	368	0.30
Línea / fibra	17813	13022	1082	31917	25.94
Micro-esfera	2089	0	0	2089	1.70
Film	8763	13498	1677	23938	19.46
Total	84106	35809	3126	123041	
Porcentaje (%)	68.36	29.10	2.54		

Cuadro 6. Valores de prueba de signos de muestras pareadas para comparar época lluviosa y seca.

	Abundancia de microplástico por transecto (No./km²)	Abundancia por tipo de microplástico (No./km²)	Abundancia por tamaño de microplástico (No./km²)
Valor prueba de signos de muestras pareadas.	1.000	1.000	0.250

*Valor de $\alpha = 0.05$.

Figura 12. Correlación de Spearman: abundancia de microplástico (No./km²) - viento para ambas épocas, con datos de viento de dos meses anterior al muestreo.
ÉPOCA LLUVIOSA **ÉPOCA SECA**



VII. DISCUSIÓN

Se presenta el primer estudio que evalúa la contaminación de microplástico superficial en el Lago de Atitlán y en cualquier cuerpo de agua de Guatemala. Se buscaba generar datos científicos que validaran la presencia de microplástico y al mismo tiempo evaluar el tamaño y el tipo de microplástico presente. Por último se quería analizar si la distribución de microplástico se puede explicar por la variable viento.

Se evaluaron ambas épocas del año (lluviosa [octubre 2017] y seca [marzo 2018]) ya que las variables climáticas y el comportamiento del lago varía, por lo que los datos podían mostrar diferencias. Se trabajó con los datos de ambas épocas por separado para facilitar el análisis de la información (Anexo 3 y 4). Al explicar la distribución del plástico era más fácil trabajarlo por época, por las diferencias de viento y evitar crear una variación grande en los datos.

El Lago de Atitlán con un promedio de 128, 763 partículas/km², se encuentra más contaminado con microplástico que todos los lagos evaluados en el mundo (Eriksen *et al.* 2013; Faure *et al.* 2012; Free *et al.* 2014; Mason *et al.* 2016), a excepción del Lago Erie (Eriksen *et al.* 2013) (Cuadro 6). Por su parte, varios de los océanos estudiados se encuentran más contaminados que el Lago de Atitlán (Faure *et al.* 2015; Law *et al.* 2010, 2014; Moore *et al.* 2001; Yamashita y Tanimura 2007). El Lago de Atitlán presenta un nivel alto de contaminación por microplástico en comparación de los otros lagos estudiados.

Cuadro 7. Características de lagos y abundancia de microplástico de todos los lagos estudiados en microplástico superficial.

Lago, País	Área del lago (Km ²)	Población cuenca ⁴	Densidad poblacional (No. individuo / km ²)*	Tamaño evaluado (mm)	Promedio abundancia plástico (No./Km ²)	Tipo de plástico dominante
Lago Erie, USA ¹	25, 655	12, 400, 000	483	>0.355	421, 568	Micro-esfera
Lago Huron, USA ¹	59, 565	3, 000, 000	50	>0.355	2, 779	Micro-esfera
Lago Superior, USA ¹	82, 097	673, 000	8	>0.355	5, 391	Micro-esfera
Lago Michigan, USA ²	57, 800	8, 000, 000	138	>0.355	17, 000	Fragmento
Lago Geneva, Suiza ³	584	950, 000	1, 627	>0.300	27, 897	Fragmento
Lago Hovsgol, Mongolia ⁴	2760	6, 000	2	>0.333	20, 264	Fragmento
Lago de Atitlán, Guatemala	130	368, 250 ⁵	2, 833	>0.300	128, 763	Fragmento

¹(Eriksen *et al.* 2013), ²(Mason *et al.* 2016), ³(Faure *et al.* 2012), ⁴(Free *et al.* 2014) ⁵(Datos INE 2017 - AMSCLAE 2017).

*La densidad poblacional se obtuvo de la población de la cuenca/área del lago, por su incidencia en el cuerpo de agua.

La pequeña área de superficie del lago Atitlán, relativa a los otros lagos estudiados, puede explicar la concentración de abundancia de microplástico (Cuadro 7). Se ha

encontrado que plástico de consumo, por su baja densidad química, se concentra en la superficie del cuerpo de agua (Cole *et al.* 2011), lo que evita que se distribuya a lo largo de la columna de agua y le permita flotar en la superficie. Las abundancias de microplástico del lago Geneva (Faure *et al.* 2012) y el lago Hovsgol (Free *et al.* 2014) son mayores que en los lagos Huron y Superior (Eriksen *et al.* 2013), lo cual puede deberse a flotabilidad del plástico presente en ellos (Cuadro 7). Sin embargo, al no ser todos los microplásticos flotantes (Kukulka *et al.* 2012), existen otros factores incidentes en la alta abundancia de microplástico en los cuerpos de agua. No se puede afirmar que la alta abundancia de microplástico en el lago Atitlán se deba a la flotabilidad del microplástico ya que no se estudió su composición química, que permitiría conocer su densidad y saber qué cantidad del microplástico tiene una baja densidad para que pueda flotar, pero es un punto a evaluar en investigaciones posteriores.

El lago Atitlán tiene una alta densidad poblacional, al compararlo con los otros lagos (Cuadro 7). Varios estudios han propuesto que la densidad poblacional tiene una relación con el número de partículas de plástico (Barnes 2005; Eriksen *et al.* 2013; Free *et al.* 2014; Nel *et al.* 2016; Zhao *et al.* 2014) y Browne *et al.* (2011) han logrado demostrar esta relación. La alta densidad poblacional del lago Atitlán distribuida por todo el lago puede ser una causa de la alta abundancia de microplástico encontrado. Con los datos obtenidos no puede hablarse de una relación directa entre el punto de muestreo y la densidad poblacional cercana a él, por lo que se requiere una investigación que evalúe dichas variables ya que la población varía entre los municipios colindantes al lago (Figura 8). Así no solo existe una alta densidad poblacional, sino que también es un lugar altamente turístico, lo que aumenta la presencia humana en el lugar. Esto puede tener un efecto directo en el consumo de productos plásticos y el descarte de los mismos, provocando un aumento en la presencia de microplástico en el lago Atitlán. Por su parte, los locales se dedican a distintas actividades que pueden incrementar la presencia de microplástico, como se detalla a continuación.

Las personas locales lavan a orillas del lago, lo que puede ser un ingreso de microplástico. Estudios han identificado el desprendimiento de fibras sintéticas de textiles mediante el lavado de ropa doméstico (Browne *et al.* 2011). Una tercera parte de las familias del lago de Atitlán se dedican a la pesca (PREPAC 2007), lo que puede ser un recurso de microplástico por las artes de pesca utilizadas. Se ha encontrado que un aproximado del 18% de los desechos plásticos marinos en el océano se atribuyen a la industria pesquera (Andrady 2011). Se ha estudiado la degradación de equipo de pesca por la luz solar (Al-Oufi *et al.* 2004), así al perder o descartar las redes en el lago pueden sufrir degradación y ser fuente de microplástico. La agricultura también es un factor importante por los empaques que utilizan con sus productos, provocando desechos que pueden llegar a convertirse en microplástico. En la Unión Europea encontraron que la agricultura es uno de los principales usos que se le da al plástico por las bolsas para empaquetar los productos y cubrir sus cultivos (Lusher *et al.* 2017; Mahon *et al.* 2017). Al ser la agricultura una fuente de ingreso para las comunidades en la cuenca Atitlán (Dix *et al.* 2003), puede que el

material que utilicen sea un ingreso de microplástico al lago. Un factor de incidencia directa es el manejo de desechos sólidos, ya que muchos de ellos son desechados en el lago o en territorios colindantes al lago, que pueden llegar al lago por escorrentía. Estos factores no solo pueden aumentar la abundancia de microplástico en el lago Atitlán, sino que pueden ayudar a determinar el tipo y tamaño de microplástico presente en el cuerpo de agua.

El tipo de plástico dominante para el lago de Atitlán fueron los fragmentos para ambas épocas, seguido del tipo film (Cuadro 4 y 5; Figura 10; Figura 11A y E), los cuales tienen un origen secundario. Los datos son similares a los encontrados en los lagos Michigan, Hovsgol y Geneva (Cuadro 7). Free *et al.* (2014) e Imhof *et al.* (2013), sugieren que el microplástico secundario viene de la degradación y de la descomposición de plástico de origen doméstico. Al ser el lago de Atitlán un lugar altamente poblado y con muchos visitantes, es posible que todos esos microplásticos vengan de los poblados, chalets, restaurantes y hoteles de los alrededores. Por el contrario, las micro-esferas fueron el tipo de microplástico con menor incidencia (Cuadro 4 y 5; Figura 10; Figura 11D), a diferencia de los lagos Erie, Huron y Superior en donde fueron las dominantes (Cuadro 7). Este tipo de microplástico tiene un origen primario que puede venir en limpiadores faciales o directamente de los sitios de producción de plástico (Eriksen *et al.* 2013; Zbyszewski y Corcoran 2011; Zbyszewski *et al.* 2014). Asimismo, pueden provenir de fertilizantes a base de lodo de aguas residuales, que pueden contener micro-esferas, que se usan en agricultura y tierras públicas (Saruhan *et al.* 2010). En el lago de Atitlán, no hay presencia de industrias de plástico, y la presencia de microplástico, se puede deber al nivel económico y tradiciones naturales, siendo mínimo o nulo el uso de limpiadores faciales con micro-esferas. Por su lado, es poco desarrollado el uso de lodo de aguas residuales como fertilizante. Por tal motivo, las micro-esferas tienen poca presencia en el lago de Atitlán. Así se puede ver que existe una asociación entre el tipo de plástico y las actividades humanas (Eerkes-Medrano *et al.* 2015), habiendo un alto impacto de ellas sobre la contaminación en los cuerpos de agua.

El tamaño de microplástico dominante para ambas épocas fue 0.300 – 0.999 mm (Cuadro 4 y 5), lo cual coincide con estudios en los Grandes Lagos (Eriksen *et al.* 2013; Mason *et al.* 2016) y el lago Hovsgol (Free *et al.* 2014). El tamaño tiene influencia en el transporte del microplástico; se ha encontrado que a menor tamaño hay mayor retención de partículas en el cuerpo de agua (Besseling *et al.* 2016; Nizzetto *et al.* 2016). Al ser el tamaño el más pequeño de los evaluados el más abundante, puede que se transporte menos en el lago y que se concentre en ciertas áreas. Por su parte, este tamaño presenta mayor área para posible adsorción de contaminantes y mayor accesibilidad para ser ingerido por organismos (Mason *et al.* 2016).

Dentro del lago de Atitlán se encuentran contaminantes como arsénico y mercurio, donde ambos son cuantificables y el arsénico está por arriba de los niveles aptos para el consumo humano (Pérez-Sabino *et al.* 2015). Estos metales pueden ser adsorbidos por el microplástico, y éstos, a su vez, ingeridos por los organismos; introduciendo el

contaminante a la cadena trófica. Por tal motivo, es importante realizar estudios en los organismos acuáticos del lago, principalmente de las especies de importancia pesquera para evitar que la contaminación llegue a los humanos. Asimismo, es importante conocer si los componentes del microplástico generan un daño fisiológico, neurológico u otro en los organismos. Aunque se conoce la presencia de microplásticos en organismos de agua dulce (Biginagwa *et al.* 2015; Sanchez *et al.* 2014) y marinos (Giacomo *et al.* 2016), no son claras las consecuencias que pueden desencadenar.

La abundancia de microplástico no fue constante en todos los transectos, presentando variaciones (Figura 8 y 9). Se ha encontrado que existen diferentes factores que inciden en la distribución, transporte y dispersión del microplástico. Algunos de estos factores coinciden con los encontrados en ambientes marinos (Ballent *et al.* 2012; Kukulka *et al.* 2012; Law *et al.* 2010). Estudios en agua dulce, encontraron que la energía de las olas era un predictor significativo para la distribución del microplástico, como en el lago Hovsgol (Free *et al.* 2014). En el lago Garda en Italia sugieren que el viento explica los patrones de distribución de microplástico (Imhof *et al.* 2013). En el lago Erie los patrones de abundancia de partículas se explican debido a la convergencia de corrientes entre los sitios de muestreo (Eriksen *et al.* 2013). Por su lado, en el Río Los Angeles (USA) la abundancia de microplástico fue mayor en muestras colectadas en época lluviosa, en medio del río y cerca de la superficie; que las muestras colectadas en época seca, a las orillas del río, y en medio o al fondo de la columna (Moore *et al.* 2011).

En la presente investigación se analizó las variables de época de muestreo y viento. No se pudo analizar variables de oleaje o corrientes que se formen en el lago, debido a que no existen datos cuantitativos que expliquen dichos fenómenos en el lago. Por tal motivo, es importante generar este tipo información ya que permite evaluar la incidencia que tienen dichas variables en este tema y otros temas de interés para el manejo adecuado de la cuenca.

El muestreo en época seca y lluviosa (Cuadro 4 y 5) no mostró una diferencia significativa en la abundancia de microplástico por transecto, tipo y tamaño de microplástico (Cuadro 5). Al variar las condiciones climáticas entre épocas, principalmente la lluvia, se esperaba que hubiera una diferencia significativa entre los resultados, como lo encontrado por Moore *et al.* (2011). A pesar de no ser significativos estadísticamente los resultados en esta investigación (Cuadro 6), se pueden observar variaciones en la abundancia de microplástico por transecto (Figura 9), por lo que puede deberse a la forma en que se transportan las partículas y no a la cantidad de microplástico que entra al lago. Sin embargo, no se descarta el hecho de que la época lluviosa traiga mayor cantidad de microplástico al lago; se necesita de un estudio más a fondo que evalúe esta variable.

La variable viento permitió explicar la distribución de microplástico en el lago Atitlán, únicamente para época lluviosa (Figura 12B). El viento es una variable que ha ayudado a explicar la distribución del microplástico en el lago Garda (Imhof *et al.* 2013) y en los océanos, similar a lo encontrado en este estudio. Las variaciones en la velocidad del viento

en el lago Atitlán conforme a la época pueden causar que haya un mayor efecto del viento en época lluviosa que en época seca, explicando el hecho de que no se encontró una relación entre las variables para época seca. La variable viento permitió explicar los datos en el eje x (Figura 12B), es decir datos de viento de norte a sur, los cuales son dominantes en el lago (vientos alisios del norte y Xocomil, que se explican más adelante). A pesar de no poderse explicar la distribución del viento en época seca a través del viento (Figura 12 D – F), no se descarta la posibilidad de la influencia del viento en la distribución de microplástico, toda vez que la cantidad de datos es pequeña. Por tal motivo, puede que se necesite un mayor esfuerzo de muestreo. Es decir, que los transectos se muestreen un mayor número de veces en cada época para obtener una mayor cantidad de datos.

Margaret Dix (com. pers. 2018), experta en el Lago Atitlán, comenta que hay dos vientos que tienen influencia sobre el lago: viento Xocomil y vientos alisios. El Xocomil es un viento adiabático diario que depende del calentamiento de la planicie del Pacífico, provocando que el aire se mueva de sur a norte. Los vientos alisios del norte tienen incidencia en el lago de octubre a febrero, los cuales son más fuertes que el Xocomil. Todo viento provoca un giro, el cual se mueve por la fuerza de Coriolis y el margen terrestre, tal como sucede en los océanos (Reyna *et al.* 2013). A pesar de ello no hay datos cuantitativos que demuestren el comportamiento del Xocomil y el giro en el lago, y los efectos que puedan tener en el ecosistema. Por tal motivo se dificulta analizar estas variables en la distribución de microplástico en el lago. Sin embargo, a partir de imágenes satelitales de la NASA se observó el comportamiento del florecimiento de cianobacterias en el 2009 (Figura 13), donde se puede observar la concentración de cianobacteria en el centro del lago. Asimismo, por observaciones de Dix (comp. pers. 2018), luego de la tormenta Agatha en el 2010, se encontraron bolsas de detritos concentrados en el centro del lago y en cercanías a San Antonio Palopó y San Lucas Tolimán. Estos datos de concentración de cianobacterias, que por su tamaño son similares a los del microplástico, y los desechos de la tormenta Agatha, coinciden con el muestreo de época lluviosa. Donde la mayor abundancia de microplástico se concentró en el centro del lago (Figura 8 y 9), sin embargo, es una suposición ya que se necesita tener datos cuantitativos del Xocomil y del giro para correlacionarlos con las abundancias de microplástico y concluir si tienen o no relación.

Existen otros factores físicos en el lago que pueden tener incidencia tanto en la abundancia como en la distribución del microplástico. El lago Atitlán cuenta con dos ríos permanentes, Quiscab y San Francisco, los cuales pueden acarrear desechos sólidos (Figura 8), tal como lo hacen con los nutrientes (Chandra *et al.* 2013). Posteriormente, estos desechos pueden ser una fuente de ingreso de microplástico. En la investigación no se evaluó el caudal ni la cantidad de desechos que ingresan al lago por estos ríos. Sin embargo, considero importante el analizarlo ya que es un factor de incidencia en la abundancia y distribución de microplástico (Kessarkar *et al.* 2010; Moatar *et al.* 2006). En época lluviosa el caudal es más fuerte a diferencia de época seca, pudiendo ingresar una mayor cantidad de desechos, tal como se ha encontrado en los nutrientes (Bocanegra 2013; Corman *et al.* 2015). Con los datos obtenidos, se observó que en época seca hubo mayor abundancia de

plástico cercana a la desembocadura de los ríos que en época lluviosa. Una posible explicación es que en época seca el caudal es más débil provocando que el microplástico pueda movilizarse menos o más lentamente hacia dentro del lago. A diferencia de época lluviosa, donde el caudal es fuerte y permite que el microplástico llegue más lejos. Por tal motivo, es que en época seca los microplásticos se encontraron mayormente concentrados en las cercanías a estos ríos, a diferencia de época lluviosa que se encontraron más hacia el sureste (Figura 8 y 9). Sin embargo, es necesario analizar la variable de caudal y corriente que forman los ríos, para explicar sus efectos en la abundancia y distribución del microplástico.

Figura 13. Imagen satelital del florecimiento de cianobacterias en el lago Atitlán el 22 de noviembre de 2009.



(Fuente: NASA Earth Observatory imagen por Jesse Allen)

Las actividades antropogénicas también juegan un papel importante en la distribución de microplástico. En el lago de Atitlán, un transporte muy utilizado son las lanchas que se mueven entre los distintos pueblos que se encuentran alrededor del lago. A partir de las rutas que utilizan, puede que el movimiento de las lanchas genere ciertas corrientes que transporten el microplástico de un lugar a otro. Sin embargo, nunca se ha trabajado en el impacto que tiene el movimiento de las lanchas en el comportamiento del lago y los efectos que puede tener en el ecosistema.

El desarrollo estructural para el manejo de materiales de desecho es importante para disminuir la presencia de microplástico en los ecosistemas (Lambert y Wagner 2018). En

el lago de Atitlán uno de los principales problemas de contaminación son los basureros no autorizados (Ujpán y Reyes 2016), principal fuente de desechos sólidos que pueden llegar al lago, y que pueden acarrear microplástico. Para el 2016 se tenía un registro de 126 mil basureros clandestinos en toda la cuenca Atitlán (Julajuj 2017). Por su parte existen once plantas de tratamiento de desechos líquidos, de las cuales solo una, ubicada en Santa Catarina Palopó, ha cumplido con los valores máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Gubernativo No. 12-2011 (Barreno y Reyes 2015), por lo que no es una solución para la disminución de contaminantes en el lago y el tratamiento de desechos sólidos. El trabajo municipal y de las comunidades requiere de un mayor esfuerzo para el manejo de sus desechos, con el fin de evitar la entrada de contaminantes al lago. Así no solo la entrada de microplástico sino que también de contaminantes, que puedan ser adsorbidos por el microplástico.

La legislación debe jugar un papel importante para el uso y manejo adecuado de desechos plásticos. Es importante que las municipalidades que tienen incidencia en el lago Atitlán se adapten a la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos (Acuerdo Gubernativo 281-2015) y lo establecido al Plan Maestro de la Cuenca de Atitlán. Asimismo, cumplir con los estándares que deben manejar las plantas de tratamiento establecidos en el Reglamento de Descarga de Aguas Residuales en la Cuenca del Lago de Atitlán (Acuerdo Gubernativo 12-2011). Por su parte la alcaldía de San Pedro La Laguna, a partir del Acuerdo Municipal 111-2016, tomó acciones legales en el uso de ciertos desechos plásticos. Esta acción debería ser un ejemplo para las municipalidades aledañas para que pueda ser un esfuerzo en conjunto. Todos los pueblos de la Cuenca de Atitlán tienen incidencia en el lago de una u otra manera, por lo que las estrategias y acciones deben ser replicadas para ver resultados significativos.

La comunicación entre las municipalidades es clave para el manejo integrado del lago, ya que al final todos dependen de él por sus servicios ecosistémicos. Siendo el lago uno de los lugares turísticos más importantes de Guatemala y el principal ingreso para los pueblos que colindan con el lago, se debe buscar un manejo integrado que mantenga o mejore el estado del lago. Por tal motivo, es un reto para la población guatemalteca cuidar el lago y disminuir la contaminación por microplástico, para que siga siendo una belleza escénica e ingreso económico para el país.

VIII. CONCLUSIONES

El lago Atitlán presenta un nivel alto de contaminación superficial de microplástico. Se obtuvo una abundancia promedio de microplástico de 128, 763 partículas/km². La composición de microplástico tuvo comportamiento similar a estudios previos realizados en distintos lagos del mundo. El microplástico tipo fragmento fue el dominante en las muestras (lluviosa = 72.25% y seca = 52.61%), y los tipos micro-esfera y espuma fueron los menos incidentes (lluviosa = 0.04%; 0.51% y seca = 0.30% y 1.70%, respectivamente). Las partículas de microplástico de 0.300 – 0.999 mm fueron la más abundantes (lluviosa = 63.93% y seca = 68.36%).

La abundancia de microplástico mostró variaciones entre época lluviosa y seca, sin embargo, no fue significativa a nivel estadístico. Los valores de la prueba de signos de muestras pareadas para las abundancias por transecto, tipo de microplástico y tamaño de microplástico entre épocas, fueron mayores al nivel de significancia (0.05). Así los datos no mostraron una diferencia significativa entre épocas.

El microplástico se encontró ampliamente distribuido por todo el lago, sin embargo, únicamente para época lluviosa se pudo explicar su distribución a través de la variable viento. La Correlación de Spearman en todos los casos de época seca fue menor al 0.5, obteniéndose valores de p mayores al nivel de significancia (0.05), negando una asociación entre las variables de abundancia y viento.

IX. RECOMENDACIONES

La presencia de microplástico en el lago Atilán es alarmante, sobre todo por los altos niveles de abundancia. Al ser este el primer estudio de microplástico, aparecen nuevas interrogantes de investigación en el tema y nuevos retos de manejo por parte de las autoridades en el área. Quedan vacíos de información que evitan comprender el comportamiento del microplástico en el lago y los efectos que puede tener en este ecosistema.

Para futuras investigaciones en el tema, se recomienda aumentar el esfuerzo de muestreo por época; aumentando la cantidad de veces que se muestree cada uno de los transectos. A pesar de no estar en las manos del investigador, se recomienda a las autoridades pertinentes tener un mayor número de estaciones climáticas que permitan comprender mejor el comportamiento de las variables climáticas en el lago. Al tener una información climática mayor se pueden generar modelos que permitan explicar fenómenos y comportamientos de temas estudiados en el lago correlacionados a variables climáticas. Asimismo, es importante no despreciar el oleaje que se pueda formar en el lago. Sino más bien obtener datos de ello para una posible explicación de la distribución o dispersión de diferentes organismos u objetos en el lago, como es el caso del microplástico por su pequeño tamaño. Por su parte, el ingreso de agua al lago por los ríos es un factor de suma importancia de estudio por la cantidad de desechos que pueden acarrear y el impacto que pueden tener en la abundancia de microplástico al lago. Las actividades antropogénicas también son un tema a considerar: movimiento de lanchas, manejo de desechos sólidos, densidad poblacional, turismo.

Se necesita estudiar el efecto que tiene el transporte de lanchas en el lago, creando corrientes que pueden tener incidencia en la dispersión de semillas, animales, nutrientes, contaminantes, etc. Evaluar la cantidad de desechos sólidos de cada municipio es importante para analizar si estos pueden llegar al lago y cuánto llega por escorrentía u otras formas. Se necesitan datos actualizados y reales de la densidad poblacional y del turismo, por el impacto que puede tener en el equilibrio ecológico del lago.

Es necesario realizar investigaciones que permitan evaluar la incidencia e impacto de microplástico en organismos acuáticos del lago. Asimismo, analizar si existe adsorción de contaminantes en el lago por el microplástico y, que posteriormente, puedan ser transferidos a lo largo de la cadena trófica.

Un aspecto dentro de la investigación a resaltar es el apoyo que se tuvo por parte de la Municipalidad de San Pedro La Laguna. Sin embargo, es necesario tener una comunicación más activa y correspondida entre investigadores y autoridades, donde se pueda trabajar de

la mano. Por tal motivo, debe buscar que las actividades tengan un cronograma similar para evitar contratiempos y falta de comunicación.

Por último, se recomienda a las municipalidades, con incidencia en el lago, en conjunto con las autoridades pertinentes, tomar en cuenta los resultados de la investigación para generar un plan de manejo de microplástico. Así no solo del microplástico, sino que de todas aquellas fuentes que puedan dar origen a este contaminante. El tener una comunicación activa y un esfuerzo en conjunto es vital, por la incidencia que tienen sobre el lago. Acciones, como las tomadas por el municipio de San Pedro La Laguna, deben ser replicadas en los municipios aledaños para obtener resultados significativos en el lago.

X. LITERATURA CITADA

- Al-Oufi, H., E. McLean, A. Kumar, M. Claerebodt y M. Al-Habsi (2004). *The effects of solar radiation upon breaking strength and elongation of fishing nets*. Fisheries Research, 66: 115–119.
- AMSCLAE. (2014). *Plan estratégico institucional 2015 - 2020*. AMSCLAE.
- AMSCLAE. (2017). *Plan operativo anual, plan operativo multianual 2017*. AMSCLAE.
- Andrady, A. (2011). *Microplastics in the marine environment*. Marine Pollution Bulletin, 62: 1596–1605.
- Arthur, C.; J. Baker y H. Bamford. (2009). *Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects and fate of microplastic marine debris*. Sept. 9-11, 2008. NOAA Technical Memorandum NOS-OF&R-30.
- Ballent, A.; P. Purser, P. Mendes, S. Pando y L. Thomsen. (2012). *Physical transport properties of marine microplastic pollution*. Biogeosciences Discuss, 9: 18755–18798.
- Barnes, D. (2005). *Remote islands reveal rapid rise of Southern Hemisphere Sea debris*. The Scientific World Journal, 5: 915–921.
- Barnes, D.; F. Gagani, R. Thompson y M. Barlaz. (2009). *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments*. Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences, 364: 1985–1998.
- Barreno, F., y E. Reyes. (2015). *Muestreo de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la cuenca del lago de Atitlán 2012 - 2015*. Guatemala: AMSCLAE. 22p.
- Besseling, E., J. Quik, M. Sun y A. Koelmans. (2016). *Fate of nano- and microplastic in freshwater systems: a modeling study*. Environmental Pollution, 30: 1–9.
- Biginagwa, F.; B. Sosthenes y Y. Shashoua. (2015). *First evidence of microplastics in the African Great Lakes: recovery from Lake Victoria Nile perch and Nile tilapia*. Journal of Great Lakes Research, 30: 1–4.
- Bocanegra, K. (2013). *Bioensayo para la medición del efecto de los ríos San Francisco y Quiscab en la productividad primaria en el Lago Atitlán, Sololá* (Licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Browne, M.; T. Galloway y R. Thompson. (2007). *Microplastic - an emerging contaminant of potential concern?* Integrated Environmental Assessment and Management, 3: 449–561.
- Browne, M.; A. Dissanayake, T. Galloway, D. Lowe y R. Thompson. (2008). *Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, Mytilus edulis (L.)*. Environmental Science & Technology, 42: 5026–5031.

- Browne, M.; T. Galloway, y R. Thompson. (2010). *Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines*. Environmental Science & Technology, 44: 3404–3409.
- Browne, M.; P. Crump, S. Niven, E. Teuten, A. Tonkin, T. Galloway y R. Thompson. (2011). *Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks*. Environmental Science & Technology, 45: 9175–9179.
- Carpenter, E. y K. Smith. (1972). *Plastic on the Sargasso sea surface*. Science, 175 (4027): 1240–1241.
- Central America Data. (2017, 4 de mayo). *El mercado de plástico en Centroamérica*. Recuperado a partir de: http://www.centralamericadata.com/es/article/home/El_mercado_de_plstico_en_Centroamerica. [Fecha de consulta: noviembre 2017]
- Chandra, S.; M. Dix, E. Rejmánková, V. Mosquera, N. Giron y A. Heyvaert. (2013). *Current ecological state of lake Atitlan and the impact of sewage inflow: a recommendation to export sewage out of the basin to restore the lake*. Guatemala: USAID, Universidad de Nevada, UVG, Universidad de California, URL y DRI. 15pp.
- Claessens, M.; S. Meester, L. Landuyt, K. Clerck y C. Janssen. (2011). *Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast*. Marine Pollution Bulletin, 62: 2199–2204.
- Cole, M.; P. Lindeque, C. Halsband y T. Galloway. (2011). *Microplastics as contaminants in the marine environment: a review*. Marine Pollution Bulletin, 62 (12): 2588 - 2597
- CONAP. (2007). *Plan maestro de la Reserva de Uso Múltiple Cuenca del Lago de Atitlán*. CONAP.
- Congreso de la República. *Ley de Creación de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno - AMSCALE*, Decreto número 133-96 (1996).
- Corman, J.; E. Carlson, M. Dix, N. Girón, A. Roegner, J. Veselá, S. Chandra, J. Elser y E. Rejmánková. (2015). *Nutrient dynamics and phytoplankton resource limitation in a deep tropical mountain lake*. Inland Waters, 5: 371–386.
- Derraik, J. (2002). *The pollution of the marine environment by plastic debris: a review*. Marine Pollution Bulletin, 44, 842–852.
- Dix, M.; O. Medinilla, E. Castellanos, L. Ríos e I. Fortín. (2003). *Diagnóstico ecológico - social en la Cuenca de Atitlán*. Universidad del Valle de Guatemala/The Nature Conservancy.

- Eerkes-Medrano, D., Thompson, R., & Aldridge, D. (2015). *Microplastics in freshwater system as: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs*. *Water Research*, 75: 63 - 82.
- Eriksen, M.; S. Mason, S. Wilson, C. Box, A. Zellers, W. Edwards, H. Farley y S. Amato. (2013). *Microplastic pollution in the surface water of the Laurentian Great Lakes*. *Marine Pollution Bulletin*, 77: 177–182.
- Eriksen, M.; C. Lebreton, H. Carson, M. Thiel, C. Moore, J. Borerro, F. Galgani, P. Ryan y J. Reisser. (2014). *Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250 tons afloat at sea*. *PLoS ONE*, 9 (12): 1 - 15.
- Eriksson, C. y H. Burton. (2003). *Origins and biological accumulation of small plastic particles in fur seals from Macquarie Island*. *Ambio*, 32: 380–384.
- España, M. (2016, noviembre 14). *Mauricio Méndez, el hombre 111 de San Pedro La Laguna*. *Diario Digital*. Recuperado a partir de <http://diariodigital.gt/2016/11/mauricio-mendez-hombre-111-san-pedro-la-laguna/> [Fecha de consulta: noviembre 2017]
- Faure, F.; M. Corbaz, H. Baecher y L. de Alencastro. (2012). *Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean Sea*. *Archives des Sciences*, 65: 157–164.
- Faure, F.; C. Saini, G. Potter, F. Galgani, L. De Alencastro y P. Hagmann. (2015). *An evaluation of surface micro and mesoplastic pollution in pelagic ecosystem of the Western Mediterranean Sea*. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (16): 12190–12197.
- Free, C.; O. Jensen, S. Mason, M. Eriksen, N. Williamson y B. Boldgiv. (2014). *High - levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake*. *Marine Pollution Bulletin*, 85 (1): 156–163.
- Galgani, F.; D. Fleet, J. Van Franeker, S. Katsanevakis, T. Maes, J. Mouat, L. Oosterbaan, I. Poitou, G. Hanke, R. Thompson, E. Amato, A. Birkun y C. Janssen. (2010). *Marine strategy framework directive: task group 10 report: marine litter*. JRC, Ifremer e ICES-CIEM.
- Giacomo, C.; S. Gorbi y F. Regoli. (2016). *Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat*. *Marine Environmental Research*, 30: 1–10.
- Gregory, M. (1996). *Plastic “scrubbers” in hand cleansers: a further (and minor) source for marine pollution identified*. *Marine Pollution Bulletin*, 32: 867–871.
- Gregory, M. (2009). *Review: environmental implication of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364: 2013–2025.

- Imhof, H.; N. Ivleva, J. Schmid, R. Niessner y C. Laforsch. (2013). *Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles*. *Current Biology*, 23 (19): R867–R868.
- INE. (2013). *Caracterización Departamental Sololá 2012*. INE.
- Jambeck, J.; R. Geyer, C. Wilcox, T. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, N. Ramani y Law, K. (2015). *Plastic waste inputs from a land into the ocean*. *Science*, 347 (6223): 668–771.
- Julajuj, Á. (2017). *Lago de Atitlán recibe 3 mil toneladas de basura en época lluviosa*. Prensa Libre.
- Kessarkar, P.; V. Rao, R. Shynu, P. Mehra y B. Viegas. (2010). *The nature and distribution of particulate matter in the Mandovi Estuary, Central West Coast of India*. *Coastal and Estuarine Research Federation*, 33: 30–44.
- Kukulka, T.; G. Proskurowski, S. Morét_Ferguson, D. Meyer y K. Law. (2012). *The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris*. *Geophysical Research Letters*, 39: 1–6.
- LaBastille, A. (1988). *Lago de Atitlán*. Nueva York: West of the Wind Publications.
- Lambert, S. y M. Wagner. (2018). *Microplastics are contaminants of emerging concern in freshwater environments: an overview*. En *Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants?* (Vol. 58). Cham: Springer.
- Lattin, G.; C. Moore, C. Zellers, A. Moore y S. Weisberg. (2004). *A comparison of neustonic plastic and zooplankton at different depths near the southern California shore*. *Marine Pollution Bulletin*, 49: 291–294.
- Law, K., S. Morét_Ferguson, N. Maximenko, G. Proskurowski, E. Peacock, J. Hafnery C. Reddy. (2010). *Plastic accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre*. *Science*, 329: 1185–1188.
- Law, K., S. Morét_Ferguson, D. Goodwin, E. Zettler, E. DeForce, T. Kukulka y G. Proskurowski. (2014). *Distribution of surface plastic debris in the Eastern Pacific Ocean from an 11-year data set*. *Environmental Science & Technology*, 48: 4732–4738.
- Lusher, A.; P. Hollman y J. Mendoza-Hill. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 126pp.
- Mahon, A.; R. Officer, R. Nash e I. O'Connor. (2017). *Scope, fate, risks and impacts of microplastic pollution in Irish freshwater systems*. Irlanda: Environmental Protection Agency. 72pp.

- Mason, S.; L. Kammin, M. Eriksen, G. Aleid, S. Wilson, C. Box, N. Williamson y A. Riley. (2016). *Pelagic plastic pollution within the surface waters of Lake Michigan, USA*. *Journal of Great Lakes Research*, 30: 1–7.
- Masura, J.; J. Baker, G. Foster, C. Arthur y C. Herring. (2015). *Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendation of quantifying synthetic particles in waters and sediments*. NOAA.
- Moatar, F., G. Person, M. Meybeck, A. Coynel, H. Etcheber y P. Crouzet. (2006). *The influence of contrasting suspended particulate matter transport regimes on the bias and precision of flux estimates*. *Science of the Total Environment*, 370: 515–531.
- Moore, C.; S. Moore, M. Leecaster y S. Weisberg. (2001). *A comparison of plastic and plankton in the North Pacific Central Gyre*. *Marine Pollution Bulletin*, 42: 1297–1300.
- Moore, C.; S. Moore, S. Weisberg, G. Lattin y A. Zellers. (2002). *A comparison of neustonic plastic and zooplankton abundance in southern California's coastal waters*. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 1035–1038.
- Moore, C. (2008). *Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat*. *Environmental Research*, 108: 131–139.
- Moore, C., G. Lattin y A. Zellers. (2011). *Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal water and beaches of Southern California*. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11 (1): 65–73.
- Nanda, V. y G. Pring. (2013). *International Environmental Law and Policy for the 21st Century* (2a ed.). Boston: Martinus Nijhoff Publishers.
- Nel, H.; J. Hean, X. Noundou y P. Froneman. (2016). *Do microplastic loads reflect the population demographics along the southern African coastline?* *Marine Pollution Bulletin*, 30: 1–5.
- Nizzetto, L., G. Bussi, M. Futter, D. Butterfield y P. Whitehead. (2016). *A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments*. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18: 1050–1059.
- Padilla, T.; N. García y W. Pérez. (2010). *Caracterización físico-química y bacteriológica en dos épocas del año, de la subcuencia del río Quiscab, Guatemala*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19 (3): 43–46.
- Pérez, C. (2017). *El plástico, una de las principales amenazas para los océanos*. Prensa Libre. Recuperado a partir de: <http://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala/plasticos-atentan-contras-ecosistemas-marinos>. [Fecha de consulta: noviembre 2017]

- Pérez-Sabino, F.; B. Valladares-Jovel, E. Hernández, B. Oliva, M. Del Cid y P. Jayes-Reyes. (2015). *Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atitlán*. Ciencia, Tecnología y Salud, 2 (2): 127–134.
- Plastic Europe. (2016). *Plastics - The facts 2016: An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Bruselas, Bélgica. 35pp.
- PREPAC. (2007). *Plan de manejo del lago de Atitlán con énfasis en la pesca y acuicultura*. Guatemala: OSPESCA, TAIWAN, OIRSA. 70pp.
- Reyna, J.; A. Devis, J. Cantera, E. Cárdenas, E. Vernaza, J. Lozano, J. Montealegre, A. Ramírez, O. Rojas y Z. Pardo. (2013). *El océano: Maravilla terrestre*. Bogotá: Secretaría Ejecutiva Comisión Colombiana del Océano.
- Romero, M. (2005). *Escenario de la situación actual del lago de Atitlán*. Canadá: Universidad de Calgary.
- Romero, M. (2009). *Valoración económica del lago de Atitlán, Sololá, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Roy, P.; M. Hakkarainen, L. Varma y A. Albertsson. (2011). *Degradable polyethylene: fantasy or reality*. Environmental Science & Technology, 45: 4217–4227.
- Ryan, P.; C. Moore, J. Van Franeker y C. Moloney. (2009). *Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364: 1999–2012.
- Sanchez, W.; C. Bender y J. Porcher. (2014). *Wild gudgeons (Gobio gobio) from French rivers are contaminated by microplastics: preliminary study and first evidence*. Environmental Research, 128: 98–100.
- Saruhan, V.; I. Gul e I. Aydin. (2010). *The effects of sewage sludge used as fertilizer on agronomic and chemical features of bird's foot trefoil (Lotus corniculatus L.) and soil pollution*. Scientific Research and Essays, 5 (17): 2567–2573.
- Sutherland, W.; M. Clout, I. Coté, P. Daszak, M. Depledge, L. Fellman, E. Fleishman, R. Garthwaite, D. Gibbons, J. De Lurio, A. Impery y F. Lickorish. (2009). *A horizon scan of global conservation issues for 2010*. Trends in Ecology and Evolution, 25 (1): 1–7.
- Teuten, E.; J. Saquing, D. Knappe, M. Barlaz, S. Jonsson, A. Björn, S. Rowland, R. Thompson, T. Galloway, R. Yamashita, O. Daisuke, Y. Watamki, C. Moore, P. Hung, T. Seang, M. Prudente, R. Boonyatumanond, M. Zakari, K. Akkhavong, Y. Ogata, H. Hirai, S. Iwasa, K. Mizukawa, Y. Hagino, A. Imamura, M. Saha y H. Takada. (2009). *Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife*. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 364: 2027–2045.

- Thompson, R.; Y. Olsen, R. Mitchell, A. Davis, S. Rowland, A. John, D. McGonigal y A. Russell. (2004). *Lost at sea: where is all the plastic?* Science, 304 (5672): 838.
- Thompson, R. (2006). *Plastic debris in the marine environment: consequences and solutions*. Federal Agency for Nature Conservation.
- Thompson, R.; S. Swan, C. Moore y F. vom Saal. (2009a). *Our plastic age*. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 364: 1973–1976.
- Thompson, R.; C. Moore, F. vom Saal y S. Swan. (2009b). *Review: plastics, the environment and human health: current consensus and future trends*. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 364: 2153–2166.
- Ujpán, D. y E. Reyes. (2016). *Inspecciones oculares de puntos de contaminación*. Guatemala: AMSCLAE. 9pp.
- UNEP. (2005). *Marine litter, an analytical overview*. UNEP.
- Wehrtmann, I.; C. Magalhaes y M. Orozco. (2014). *Freshwater crabs in Lake Atitlán, Guatemala: Not a single-species fishery*. Journal of Crustacean Biology, 34 (1): 123–125.
- Weiss, C. (1971). *Water quality investigation in Guatemala. Lake Atitlan 1968-1970*. University of North Carolina/ ERIS.
- Yamashita, R. y A. Tanimura. (2007). *Floating plastic in the Kuroshio Current area, western North Pacific Ocean*. Marine Pollution Bulletin, 54: 464–488.
- Zbyszewski, M. y P. Corcoran. (2011). *Distribution and degradation of fresh water plastic particles along the beaches of Lake Huron, Canada*. Water Air Soil Pollution, 220: 365–372.
- Zbyszewski, M.; P. Corcoran y A. Hockin. (2014). *Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America*. Journal of Great Lakes Research, 40: 288–299.
- Zhao, S.; L. Zhu, T. Wang y D. Li. (2014). *Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: First observation on occurrence, distribution*. Marine Pollution Bulletin, 86: 562–568.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Licencia de investigación emitida por AMSCLAE

**AMSCLAE**

Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del
Lago de Atitlán y su Entorno

LICENCIA DE INVESTIGACIÓN

No. 01-2018

Nombre del Investigador: Ninoska Anall López Xalín

Nacionalidad: Guatemalteca Identificación: 2539 35415 0101

Institución Universidad del Valle de Guatemala, Departamento de biología

Título de la Investigación Contaminación por microplásticos en la superficie del lago de Atitlán, Sololá

Institución que avala la investigación: Universidad del Valle de Guatemala

Departamento de biología

El solicitante ha sido autorizado por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su entorno, para realizar la investigación científica arriba mencionada.

Fecha de Emisión 5 de abril de 2018

Fecha de Vencimiento 4 de abril de 2019


Ing. Heber Barrios de León
Subdirección Técnica
AMSCLAE


Luisa Cifuentes de Gramajo
Dirección Ejecutiva
AMSCLAE



Anexo 2. Coordenadas de transectos para ambas épocas.

Transecto	Época lluviosa				Época seca			
	Inicio		Fin		Inicio		Fin	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	14.736817	-91.166073	14.693666	-91.124100	14.734321	-91.161002	14.703960	-91.133143
2	14.686945	-91.120302	14.640027	-91.138017	14.693817	-91.121632	14.647392	-91.136135
3	14.649082	-91.139650	14.685613	-91.171399	14.647271	-91.136133	14.682178	-91.182082
4	14.695194	-91.173546	14.689166	-91.211735	14.691412	-91.184135	14.688868	-91.238971
5	14.673815	-91.194163	14.662925	-91.228976	14.668904	-91.208641	14.648715	-91.232378
6	14.657111	-91.232842	14.615446	-91.252769	14.647863	-91.233347	14.618841	-91.249291
7	14.698499	-91.278542	14.710986	-91.251113	14.697273	-91.281096	14.721356	-91.226112
8	14.719259	-91.233510	14.731170	-91.206047	14.730007	-91.216751	14.739844	-91.164016

Anexo 3. Matriz de datos de microplástico de época lluviosa.

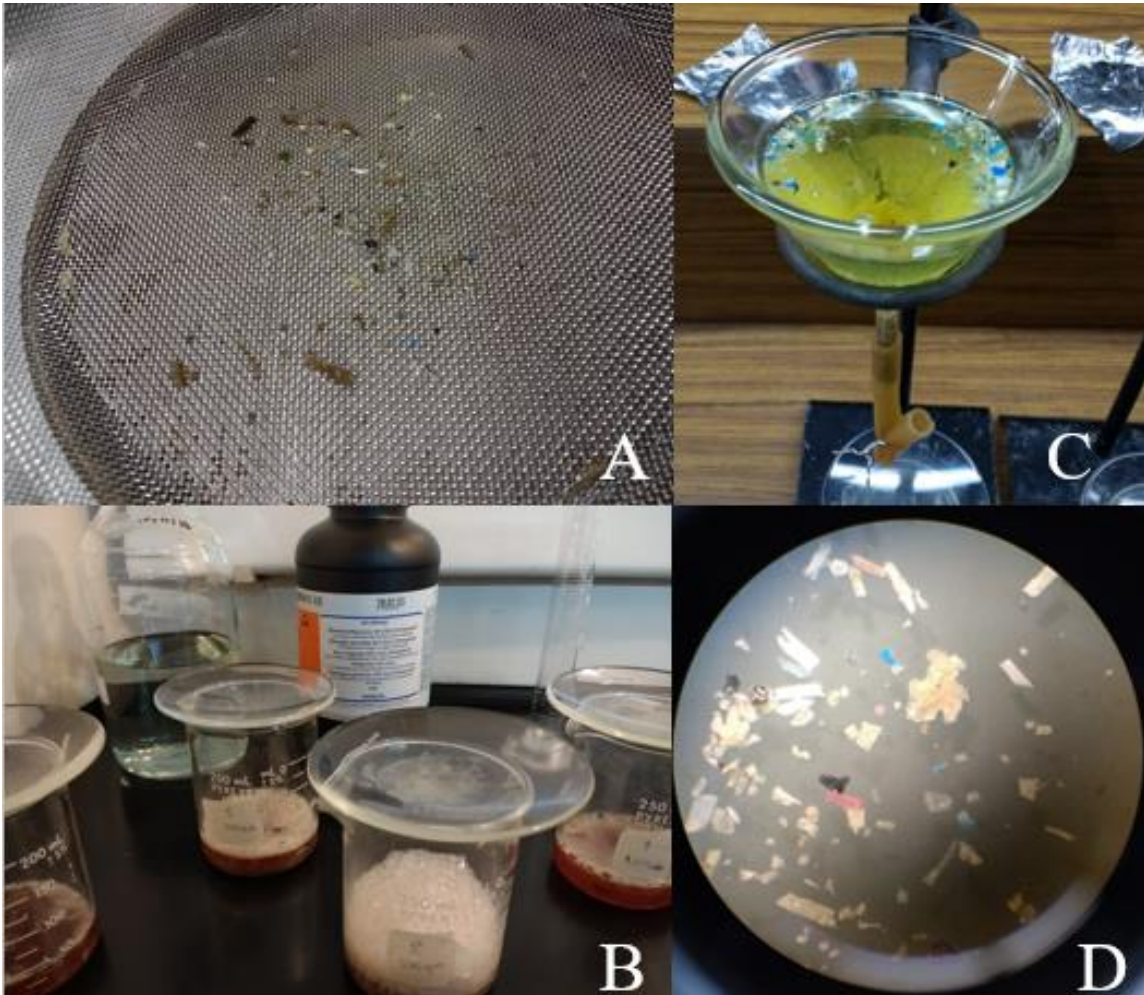
No. de transecto	Tamaño microplástico (mm)	Fragmento	Abundancia fragmento (No./km2)	Espuma	Abundancia espuma (No./km2)	Línea/fibra	Abundancia línea/fibra (No./km2)	Micro-esfera	Abundancia micro-esfera (No./km2)	Film	Abundancia film (No./km2)	Total por tamaño	Total por transecto	Longitud de transecto (km)	Abundancia (No./km2)
1	0.300 - 0.999	36	8553	0	0	23	5464	3	713	11	2613	73	117	6.9	27798
	1.00 - 4.749	2	475	1	238	0	0	0	0	5	1188	8			
	> 4.75	36	8553	0	0	0	0	0	0	0	0	36			
2	0.300 - 0.999	38	10667	3	842	35	9825	1	281	33	9263	110	216	5.84	60633
	1.00 - 4.749	29	8141	1	281	7	1965	0	0	66	18527	103			
	> 4.75	0	0	0	0	0	0	0	0	3	842	3			
3	0.300 - 0.999	304	90942	0	0	23	6880	55	16453	57	17052	439	675	5.48	201927
	1.00 - 4.749	116	34701	0	0	1	299	0	0	74	22137	191			
	> 4.75	10	2992	0	0	0	0	0	0	35	10470	45			
4	0.300 - 0.999	808	302418	3	1123	51	19088	1	374	140	52399	1003	1446	4.38	541208
	1.00 - 4.749	289	108167	6	2246	9	3369	1	374	40	14971	345			
	> 4.75	31	11603	0	0	0	0	0	0	67	25077	98			
5	0.300 - 0.999	55	18902	1	344	8	2749	0	0	12	4124	76	139	4.77	47771
	1.00 - 4.749	24	8248	0	0	6	2062	0	0	25	8592	55			
	> 4.75	1	344	0	0	1	344	0	0	6	2062	8			
6	0.300 - 0.999	19	5757	0	0	2	606	0	0	10	3030	31	46	5.41	13939
	1.00 - 4.749	7	2121	1	303	0	0	0	0	6	1818	14			
	> 4.75	0	0	0	0	0	0	0	0	1	303	1			
7	0.300 - 0.999	165	80744	0	0	15	7340	0	0	31	15170	211	358	3.35	175190
	1.00 - 4.749	119	58233	0	0	3	1468	0	0	19	9298	141			
	> 4.75	1	489	0	0	0	0	0	0	5	2447	6			
8	0.300 - 0.999	1	494	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15	3.32	7407
	1.00 - 4.749	4	1975	0	0	1	494	0	0	9	4444	14			
	> 4.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Total:		2095.00		16		185		61		655			3012	Promedio:	134484

Anexo 4. Matriz de datos de microplástico por transecto de época seca.

No. de transecto	Tamaño microplástico (mm)	Fragmento	Abundancia Fragmento (No./km ²)	Espuma	Abundancia espuma (No./km ²)	Linea/fibra	Abundancia Linea/fibra (No./km ²)	Micro-estera	Abundancia micro-estera (No./km ²)	Film	Abundancia film (No./km ²)	Total por transecto	Longitud de transecto (km)	Abundancia (No. / km ²)
1	0.300 - 0.999	86	29494	0	0	9	3087	2	686	9	3087	106	4.78	45271
	1.00 - 4.749	6	2058	0	0	2	686	0	0	18	6173	26		
	> 4.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	0.300 - 0.999	97	27369	1	1	28	7900	4	1129	29	8183	159	5.81	58125
	1.00 - 4.749	10	2822	1	1	282	282	0	0	32	9029	44		
	> 4.75	0	0	0	0	3	846	0	0	0	0	3		
3	0.300 - 0.999	349	93792	5	1344	132	35474	11	2956	40	10750	537	6.1	189734
	1.00 - 4.749	71	19081	0	0	40	10750	0	0	45	12094	156		
	> 4.75	10	2687	0	0	2	537	0	0	1	269	13		
4	0.300 - 0.999	232	62247	1	268	83	22269	3	805	24	6439	343	6.11	129323
	1.00 - 4.749	27	7244	1	268	57	15293	0	0	47	12610	132		
	> 4.75	0	0	0	0	6	1610	0	0	1	268	7		
5	0.300 - 0.999	134	53973	0	0	28	11278	9	3625	14	5639	185	4.07	107544
	1.00 - 4.749	14	5639	0	0	29	11681	0	0	30	12084	73		
	> 4.75	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3625	9		
6	0.300 - 0.999	6	2465	0	0	6	2465	0	0	3	1233	15	3.99	9450
	1.00 - 4.749	1	411	0	0	3	1233	0	0	3	1233	7		
	> 4.75	0	0	0	0	1	411	0	0	0	0	1		
7	0.300 - 0.999	306	76586	0	0	139	34789	27	6758	94	23526	566	6.55	202978
	1.00 - 4.749	53	13265	0	0	76	19021	0	0	94	23526	223		
	> 4.75	0	0	0	0	7	1752	0	0	15	3754	22		
8	0.300 - 0.999	383	95712	0	0	101	25240	3	750	45	11246	532	6.56	241903
	1.00 - 4.749	91	22741	2	500	181	45232	0	0	125	31238	399		
	> 4.75	1	250	0	0	14	3499	0	0	22	5498	37		
Total		1877		11		948		59		700			Promedio:	123041

Anexo 5. Foto de remolque de red de arrastre en la superficie del lago Atitlán



Anexo 6. Análisis de muestras

Las fotos anteriores muestran la metodología utilizada para el análisis de muestras. A) Tamizado. B) Digestión orgánica. C) Separado por densidad. D) Observación estereoscopio.

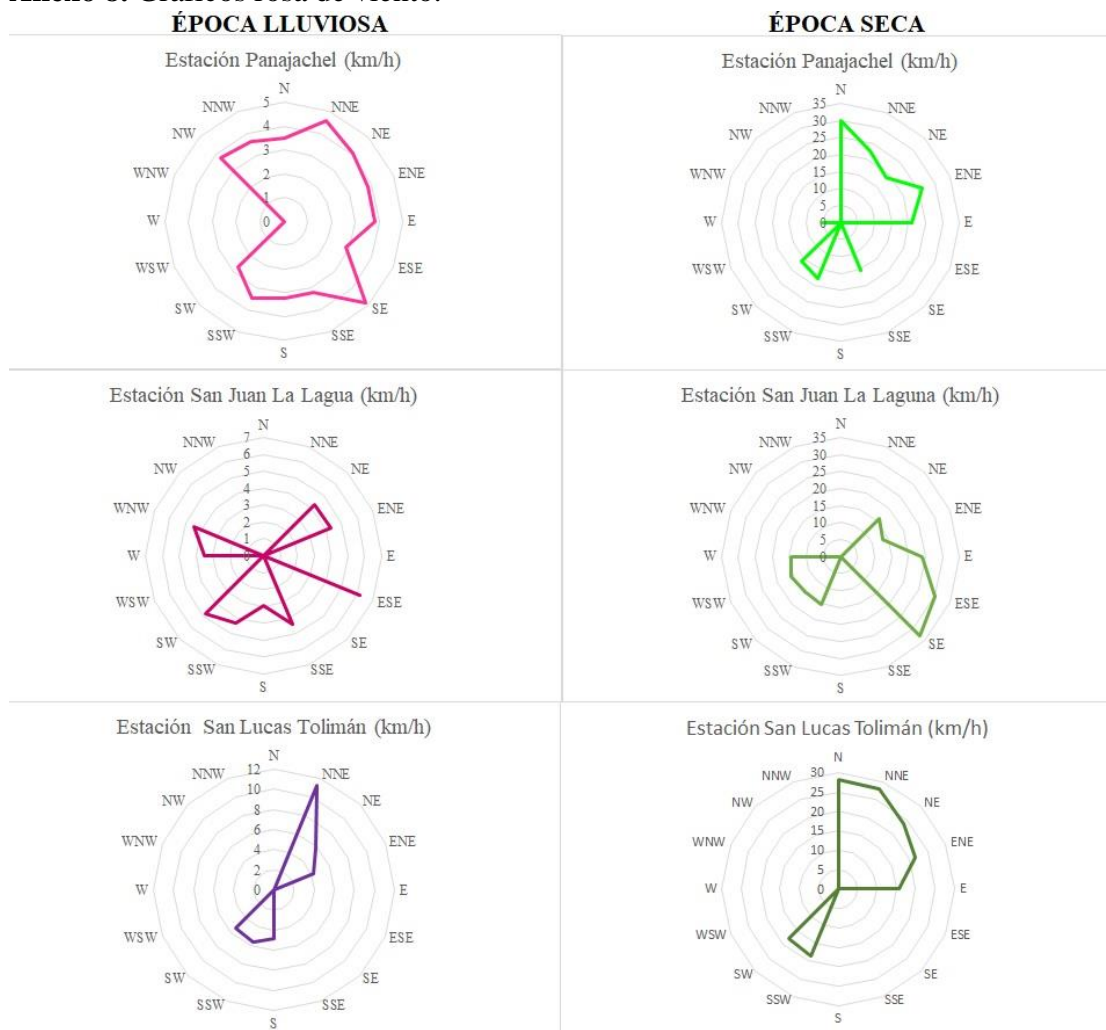
Anexo 7. Datos de dos meses anteriores de muestreo de dirección promedio y velocidad del viento de estaciones climáticas del lago Atitlán proporcionadas por AMSCLAE de ambas épocas evaluadas

Fecha	Estación climática Panajachel		Estación climática San Juan La Laguna		Estación climática San Lucas Tolimán	
	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento
01/09/2017	3.69	NNE	3.53	SSW	3.88	SSW
02/09/2017	3.87	ENE	3.73	ENE	4.54	SSW
03/09/2017	3.67	SSE	4.74	SSW	5.09	SSW
04/09/2017	3.80	NE	5.28	SSW	6.82	SSW
05/09/2017	4.74	NE	5.55	SSW	5.89	SSW
06/09/2017	4.20	NE	5.87	ENE	4.95	SW
07/09/2017	4.27	WE	4.80	SSW	5.69	SSW
08/09/2017	3.33	WE	4.00	ENE	5.16	SSW
09/09/2017	3.60	NNW	5.28	SSW	5.42	SW
10/09/2017	4.67	SE	5.41	SSW	5.48	SSW
11/09/2017	3.20	S	4.88	SW	5.42	SW
12/09/2017	2.67	WE	3.60	ESE	5.42	SW
13/09/2017	3.34	SSE	3.74	S	5.95	SW
14/09/2017	2.67	ESE	3.80	SSW	4.75	SW
15/09/2017	3.60	SSE	4.60	SSW	5.43	SSW
16/09/2017	4.27	SSE	4.47	SSW	5.69	SSW
17/09/2017	3.47	ENE	4.73	SSW	6.09	SSW
18/09/2017	2.53	E	4.68	SSW	6.08	SSW
19/09/2017	3.07	E	3.73	SSW	5.55	SW
20/09/2017	3.60	NW	4.93	SSW	5.28	SW
21/09/2017	3.87	NW	4.60	SSW	4.88	SSW
22/09/2017	3.47	SSE	4.67	SSW	6.03	SSW
23/09/2017	2.87	ENE	3.67	W	5.55	SSW
24/09/2017	2.93	ESE	3.20	W	5.97	SSW
25/09/2017	3.67	S	3.33	SSW	6.75	SW
26/09/2017	4.22	SSW	4.42	SSE	5.48	SW
27/09/2017	3.33	SSE	3.74	SSW	4.67	SW
28/09/2017	3.53	SSW	5.62	WNW	5.07	SSW
29/09/2017	2.80	SSW	3.47	ENE	5.88	SW
30/09/2017	1.93	NE	2.00	S	4.87	SSW
01/10/2017	2.54	ESE	3.47	S	5.48	SSW
02/10/2017	2.88	S	3.54	SW	5.28	SW
03/10/2017	2.07	ENE	2.73	S	5.94	SSW

Fecha	Estación climática Panajachel		Estación climática San Juan La Laguna		Estación climática San Lucas Tolimán	
	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento
04/10/2017	2.73	SW	4.34	SSW	5.33	SSW
05/10/2017	3.47	N	4.74	WNW	6.36	SSW
06/10/2017	2.13	SSE	3.20	SW	6.09	SSW
07/10/2017	2.00	SSE	2.53	SSW	6.84	SW
08/10/2017	3.00	ESE	4.41	SSW	6.09	SSW
09/10/2017	3.00	NE	3.47	SSW	5.55	SSW
10/10/2017	3.07	NE	4.33	ENE	5.35	SSW
11/10/2017	4.80	E	4.74	SSW	4.88	S
12/10/2017	3.13	ENE	4.34	SSW	5.08	SSW
13/10/2017	3.40	E	4.27	NE	5.82	SSW
14/10/2017	3.33	NE	4.67	SSW	5.34	NNE
15/10/2017	3.81	ENE	4.67	SSW	5.48	SSW
16/10/2017	7.59	NE	8.31	ESE	4.20	ENE
17/10/2017	5.49	NNE	5.34	SW	5.69	SSW
18/10/2017	4.81	ENE	5.14	SSW	5.55	SSW
19/10/2017	6.57	ENE	7.16	ESE	4.81	SSW
20/10/2017	5.63	E	5.62	ESE	5.89	NE
21/10/2017	2.13	ESE	4.33	SSW	4.41	SSW
22/10/2017	2.07	NE	4.20	W	4.88	SSW
23/10/2017	3.20	E	3.80	SSW	4.41	SW
24/10/2017	3.33	SSE	3.60	SSW	4.60	SW
25/10/2017	8.99	NE	7.36	SW	17.10	NNE
26/10/2017	5.01	SE	4.00	SSW	7.10	SSW
27/10/2017	3.00	ESE	2.87	W	5.82	SSW
28/10/2017	2.60	NE	3.60	SSW	5.41	SW
29/10/2017	3.40	ESE	2.93	WNW	4.48	SW
30/10/2017	4.27	E	3.93	SSW	5.69	SSW
31/10/2017	3.47	NE	4.53	WNW	6.76	SSW
19/01/2018	31.32	ENE	25.95	SE	27.23	NNE
20/01/2018	15.70	NE	12.83	SW	22.66	SSW
21/01/2018	13.35	NE	12.75	SSW	20.26	SSW
22/01/2018	15.03	NE	12.00	SSW	14.87	SSW
23/01/2018	24.00	NNE	22.02	ESE	22.06	NNE
24/01/2018	31.45	ENE	33.66	ESE	28.78	NNE
25/01/2018	33.39	NE	37.08	ESE	29.25	NE
26/01/2018	36.28	NE	37.15	ESE	30.78	NE

Fecha	Estación climática Panajachel		Estación climática San Juan La Laguna		Estación climática San Lucas Tolimán	
	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento
28/01/2018	24.55	NE	18.25	SSW	20.11	SSW
29/01/2018	35.48	ENE	30.11	ESE	25.15	NNE
30/01/2018	49.70	ENE	48.49	ESE	50.56	NNE
31/01/2018	44.33	NE	34.40	SE	38.15	NNE
01/02/2018	5.28	W	12.97	SSW	21.89	SSW
02/02/2018	25.47	ENE	24.09	ESE	23.47	ENE
03/02/2018	30.71	NNE	36.95	SE	25.81	NNE
04/02/2018	15.70	NE	14.82	SW	18.38	SSW
05/02/2018	17.37	NE	14.08	SSW	19.82	SSW
06/02/2018	21.73	ENE	19.38	SSW	27.08	SSW
07/02/2018	15.63	NE	13.78	SW	19.59	ENE
08/02/2018	22.80	ENE	22.81	ESE	25.54	NNE
09/02/2018	19.27	ENE	24.80	ESE	22.40	SSW
10/02/2018	17.43	NE	14.37	ENE	15.69	NNE
11/02/2018	14.77	NNE	12.40	SSW	13.33	SSW
12/02/2018	24.49	N	24.03	E	24.67	NNE
13/02/2018	30.71	N	34.54	ESE	34.93	N
14/02/2018	34.94	N	41.37	ESE	37.63	NNE
15/02/2018	34.14	NNE	31.86	ESE	32.86	NE
16/02/2018	26.68	NNE	23.52	ESE	26.20	SSW
17/02/2018	18.30	NE	16.64	WSW	21.86	SSW
18/02/2018	15.70	NE	14.50	SW	15.76	SSW
19/02/2018	15.42	SSW	14.43	SW	16.63	SW
20/02/2018	15.62	NE	14.22	SSW	13.27	SSW
21/02/2018	15.16	NE	12.35	SW	17.30	SSW
22/02/2018	13.95	NE	14.68	WSW	18.98	SSW
23/02/2018	17.64	ENE	14.90	SW	18.03	N
24/02/2018	14.76	NE	13.02	ENE	14.28	SSW
25/02/2018	17.97	SSW	15.90	NE	14.47	SSW
26/02/2018	16.36	NE	13.95	WSW	13.73	SSW
27/02/2018	20.72	ENE	20.65	ESE	22.40	SSW
28/02/2018	16.50	SSW	14.50	SW	16.09	SSW
01/03/2018	15.68	NNE	12.53	SW	13.99	NE
02/03/2018	20.92	NE	21.19	SSW	21.79	SW
03/03/2018	23.61	ENE	30.18	ESE	29.90	NE
04/03/2018	24.01	NNE	19.85	WSW	20.78	SSW

Fecha	Estación climática Panajachel		Estación climática San Juan La Laguna		Estación climática San Lucas Tolimán	
	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento	Velocidad promedio del viento (km/h)	Dirección del viento
06/03/2018	17.03	NE	14.43	W	16.02	SSW
07/03/2018	16.10	NNE	18.05	SW	19.98	SSW
08/03/2018	25.68	NNE	27.36	SE	31.38	N
09/03/2018	15.75	NE	12.52	ENE	16.70	NE
10/03/2018	15.96	SW	13.61	WSW	14.95	NNE
11/03/2018	14.97	NE	13.65	ENE	15.81	E
12/03/2018	15.23	NE	15.23	SSW	16.97	SSW
13/03/2018	24.08	SSW	16.69	SSW	19.50	SSW
14/03/2018	21.80	ENE	19.25	SSW	15.61	SSW
15/03/2018	21.12	E	16.43	SW	18.90	SSW
16/03/2018	15.56	NNE	13.90	SSW	15.42	SSW
17/03/2018	14.89	SSW	12.88	SSW	14.48	NE
18/03/2018	14.76	NE	11.13	SSW	15.81	SW
19/03/2018	15.30	SSE	13.22	ENE	17.56	SSW

Anexo 8. Gráficos rosa de viento.**Anexo 9. Datos de abundancia de plástico por transecto y época.**

No. transecto	Abundancia de plástico (No. / km ²)	
	Época lluviosa	Época seca
1	27798	45271
2	60633	58125
3	201927	189734
4	541208	129323
5	47771	107544
6	13939	9450
7	175190	202978
8	7407	241903
Promedio	134484	123041

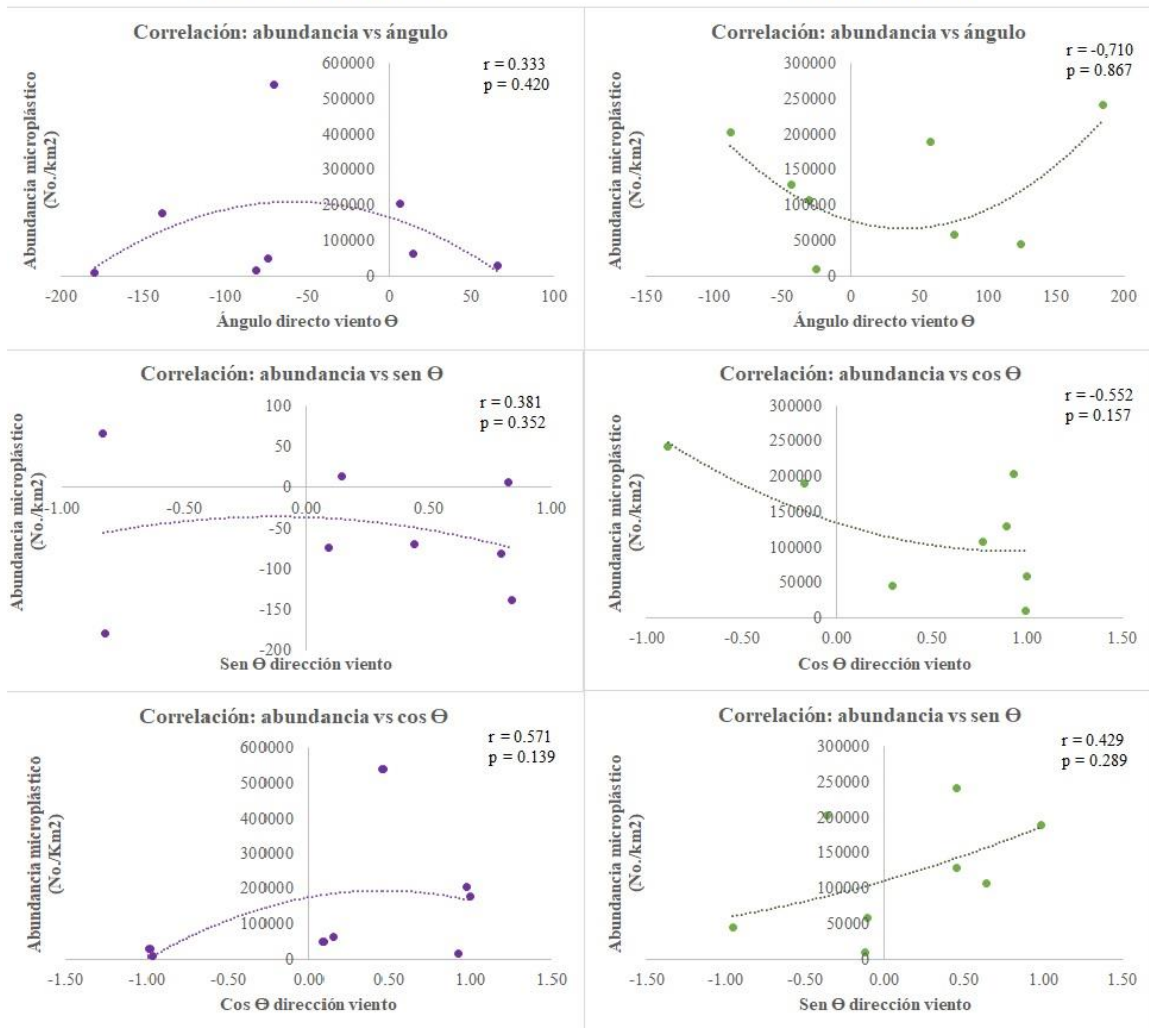
Anexo 10. Datos de abundancias, y ángulos y sus funciones respectivas por transecto para ambas épocas

Transecto	Época lluviosa				Época seca			
	Abundancia (No./km ²)	Ángulo	Cos O	Sen O	Abundancia (No./km ²)	Ángulo	Cos O	Sen O
1	27798	-103.92	-0.97	0.24	45270	-248.93	-0.74	0.68
2	60633	-52.12	-0.28	-0.96	58124	-199.83	0.33	0.94
3	201927	-44.18	0.98	-0.20	189734	-182.83	0.82	-0.58
4	541208	32.08	0.79	0.62	129323	-81.03	0.8	0.61
5	47771	35.79	-0.33	-0.94	107544	-93.82	0.91	0.41
6	13939	43.15	0.67	-0.74	9449	-0.28	0.31	0.95
7	175190	100.19	0.94	-0.33	202978	-36.2	0.07	1.00
8	7407	141.19	-0.98	0.18	241903	-309.42	0.03	-1.00

Anexo 11. Correlación de Spearman: abundancia de micropolástico (No./km²) - viento para ambas épocas, con datos de viento de una semana anterior al muestreo.

ÉPOCA LLUVIOSA

ÉPOCA SECA



Anexo 12. Correlación de Spearman: abundancia de micropolástico (No./km²) - viento para ambas épocas, con datos de viento de un mes anterior al muestreo.

