

# Identificação de polímeros de microplásticos encontrados no trato digestivo de peixes do Lago de Amatitlán, Guatemala

Gabriela Regina Quevedo-López<sup>1</sup>  Bessie Evelyn Oliva-Hernández<sup>1</sup>  Juan Francisco Pérez-Sabino<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Química, Universidad de San Carlos de Guatemala – USAC. Ciudad de Guatemala, Guatemala.

Email: quevedoa6@gmail.com

## Resumo

O objetivo desta pesquisa foi a identificação, por meio de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier combinada com reflectância total atenuada (FTIR-ATR), de microplásticos extraídos do trato gastrointestinal de peixes coletados no Lago de Amatitlán, para determinar os principais polímeros e a possível origem da contaminação por esses materiais. Foram analisados 68 microplásticos, correspondendo a 10% do total de microplásticos extraídos. Estes originaram-se de 36 espécimes, sendo 35 da espécie *Oreochromis niloticus* e um de *Parachromis managuensis*, dos quais foram analisados de 1 a 5 microplásticos por espécime. Os polímeros identificados foram polipropileno (PP), nylon, polietileno de alta densidade (HDPE), tereftalato de polietileno (PET), látex, poliestireno (PE), polietileno de baixa densidade (LDPE) e poliuretano (PU). O polipropileno (32), o polietileno de alta densidade (13) e o nylon (10) foram os polímeros mais frequentes. Os possíveis itens plásticos que podem ter originado os microplásticos incluem brinquedos, equipamentos de laboratório, baldes, embalagens de alimentos, tubulações, isolamento para cabos, têxteis, cordas e móveis que são produzidos na indústria do plástico, localizada principalmente na vertente sul da cidade da Guatemala. Além disso, as espécies de peixes do presente estudo sustentam pescarias importantes, o que levanta problemas de saúde humana, uma vez que a ingestão de peixes que consomem plásticos tem o potencial de aumentar a carga corporal de substâncias químicas perigosas, pois estas aderem superficialmente aos plásticos no ambiente e são posteriormente bioacumuladas.

**Palavras-chave:** FTIR-ATR. Lago de Amatitlán. Microplásticos. Peixes. Polímeros.

## INTRODUÇÃO

O Lago de Amatitlán é o quarto maior corpo de água doce da Guatemala (15,2 km<sup>2</sup>), sendo um dos recursos hídricos mais importantes do país, já que é utilizado para recreação principalmente do turismo local, para irrigação de cultivos agrícolas na bacia, para transporte e para a pesca, e para esportes aquáticos, entre outras atividades econômicas e sociais. Localizado no Departamento de Guatemala, a 27 km ao sul da cidade da Guatemala, sua importância é

acentuada pela grande população circundante, abrangendo os municípios de Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales e Amatitlán<sup>1,2</sup> que somam mais de dois milhões de habitantes.

O lago referido encontra-se em estado eutrofico e altamente contaminado por vários poluentes, como metais pesados<sup>3</sup> e cianotoxinas<sup>4</sup>. Além disso, armazena elevada quantidade de resíduos sólidos. Estima-se que anualmente, cerca de 48.350 m<sup>3</sup> de resíduos sólidos flutuantes

sejam retirados deste lago. Nesta classe de resíduo, poucos foram os estudos sobre os microplásticos, tanto no aspecto quantitativo, como qualitativo. As altas concentrações de matéria orgânica, bem como de nutrientes que vêm de descargas de águas residuais têm favorecido o desequilíbrio ecológico do lago e da cadeia trófica, aumentando as populações de fitoplâncton e plantas aquáticas, o que tem levado à sua eutrofização. Essa superpopulação de microalgas e macrófitas no lago afeta o equilíbrio de seu ecossistema, causando danos aos recursos hidrobiológicos e às pessoas que deles se beneficiam<sup>3</sup>.

Na bacia existem aproximadamente 900 indústrias, entre têxteis, agroquímicas, químicas, galvanoplastia, metalúrgicas, alimentícias, curtumes, de sabões, cosméticos e cerâmicas, entre outras, distribuídas principalmente no sul da Cidade da Guatemala e no município de Villa Nueva. Porém, os sistemas de tratamento de águas residuais industriais e resíduos perigosos provenientes dos diferentes processos de produção (cromo VI, arsênio, chumbo, cianeto, etc.) são escassos, pelo que todos estes chegam ao lago, contaminando-o<sup>2</sup>. Desta forma, o Lago de Amatitlán está altamente contaminado com poluentes como metais pesados, uma vez que recentemente foram encontrados arsênio e mercúrio em músculo de peixes do lago<sup>3</sup>. Da mesma forma, foram relatados níveis quantificáveis de cianotoxinas, como microcistinas<sup>4</sup>.

Os microplásticos, partículas plásticas com tamanho igual ou inferior a 5 mm, foram descobertos na década de 1970 na América do Norte e foram encontrados em massas d'água, como oceanos, mares, lagos e rios<sup>5,6</sup>. Existem dois tipos de microplásticos: os primários (fabricados com tamanho igual ou inferior a 5 mm) e os secundários derivados da degradação química (oxidação), física (calor, luz UV, ação mecânica) e/ou degradação microbiana de grandes objetos de plástico<sup>7</sup>.

Uma vez que os microplásticos entram nos ecossistemas, os principais riscos associados a eles são sua biodisponibilidade em organismos aquáticos<sup>8</sup>. Em 2019, foram relatados 295 microplásticos em núcleos de sedimentos do

Lago de Amatitlán, identificados como linhas, fragmentos e filmes<sup>9</sup>. Oliva-Hernández *et al.*<sup>10</sup>. encontraram microplásticos no trato digestivo de 97% dos peixes coletados no Lago de Amatitlán, a partir dos quais amostras de microplásticos foram analisadas por FTIR-ATR no presente estudo. A técnica FTIR-ATR permite a identificação dos grupos funcionais presentes em uma molécula através dos comprimentos de onda em que ela apresenta absorção de radiação infravermelha, fornecendo um espectro característico para cada polímero<sup>11</sup>.

A presença de microplásticos tem sido relatada em diferentes corpos de água. Em um estudo sobre microplásticos, realizado em Monterrico, Guatemala, foram encontrados 644 microplásticos em 295 peixes pertencentes a 15 espécies. As partículas encontradas foram classificadas como fibras, fragmentos e filmes<sup>12</sup>. No estuário do Rio Amazonas, Brasil, foram encontrados 228 microplásticos em 26 peixes de 14 espécies, sendo os principais polímeros identificados por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier combinada com reflectância total atenuada (FTIR-ATR) poliamida, rayon e polietileno<sup>13</sup>. No Golfo do México, relatou-se que 8% dos peixes de água doce e 10% dos peixes de estuário ingeriram microplásticos, com 535 espécimes classificados como fibras, fragmentos e filmes<sup>14</sup>. Em uma praia urbana do Brasil, constatou-se que 55% de 214 peixes ingeriram microplásticos, principalmente fibras de poliéster<sup>15</sup>. No Pacífico central da Costa Rica, 100% dos peixes filtradores analisados (30 indivíduos) continham microplásticos (em média, 36,7 peças), principalmente fibras<sup>16</sup>. Também foram encontrados microplásticos nos estômagos de crustáceos comerciais no Chile, com uma frequência de ocorrência de 27%<sup>17</sup>.

A ingestão de microplásticos é prejudicial para a biodiversidade aquática. Nos organismos os microplásticos podem danificar células, obstruir intestinos, afetar brânquias, causar danos neurotóxicos, reduzir a imunidade e afetar a reprodução dos peixes<sup>7,18</sup>. Além disso, podem transportar espécies invasoras e adsorver con-

taminantes como pesticidas e metais pesados, aumentando sua toxidez<sup>19,20</sup>, e a possibilidade de serem bioacumulados e biomagnificados, afetando as populações de espécies em diferentes níveis da rede trófica. Portanto, além das consequências para o meio ambiente do Lago de Amatitlán, esses efeitos se estendem aos seres vivos que consomem os organismos contaminados, incluído o ser humano.

Visto que há uma lacuna de informação sobre a contaminação por microplásticos no Lago de Amatitlán, é importante identificar e conhecer as possíveis fontes destes contaminantes no lago, pois compreender o tipo e a abundância de microplásticos no ecossistema ajudará nos esforços para identificar e mitigar as fontes de

contaminação por plástico na vida aquática. Os estudos sobre a contaminação diante da importância crítica do Lago de Amatitlán como recurso hídrico vital na Guatemala e dos desafios significativos relacionados à sua contaminação por poluentes diversos, como a presença de microplásticos emerge como uma preocupação adicional e pouco explorada. Este estudo visa preencher essa lacuna de conhecimento ao identificar e quantificar os microplásticos no Lago de Amatitlán, com especial atenção aos polímeros envolvidos. Compreender a extensão da contaminação por microplásticos neste ecossistema fornecerá informação essencial para a preservação da vida aquática e contribuirá para estratégias eficazes de mitigação da poluição plástica no lago.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Coleta de peixes*

Os peixes foram coletados com a ajuda de pescadores artesanais, que os capturaram em vários locais do Lago de Amatitlán, usando uma rede de pesca. As coletas foram realizadas entre as 5h e as 10h do período matutino, selecionando-se espécimes com mais de 15 cm de comprimento total. As amostragens foram realizadas nos meses de outubro e dezembro de 2020 e janeiro de 2021, obtendo-se um total de 70 indivíduos, sendo 65 da espécie *Oreochromis niloticus* (tilápia) e cinco indivíduos da espécie *Parachromis managuensis* (guapote). Os peixes foram transportados para o laboratório, onde foram armazenados congelados para posterior processamento. As medidas biométricas dos peixes analisados se apresentam na Tabela 1A do Material Suplementar.

### *Extração e purificação de microplásticos do trato digestivo dos peixes*

O trato digestivo foi pesado, dissecado e transferido para um Becker de vidro de 250 ml. Para decomposição da matéria orgânica, foram adicionados 25 ml de uma solução NaOH 1 mol l<sup>-1</sup> que foi aquecida a 50°C por 8 horas. Se após esse procedimento restasse matéria orgâ-

nica, acrescentavam-se mais 10 ml de solução de NaOH em diferentes porções sucessivas até se obter a dissolução completa da amostra. As amostras foram misturadas com uma haste de agitação de vidro para facilitar a digestão alcalina. Cada amostra foi diluída com 125 ml de água ultrapura e filtrada a vácuo por um filtro de fibra de vidro marca *Whatman*, com 47 mm de diâmetro e 45 µm de porosidade<sup>21</sup>.

### *Seleção de microplásticos*

A seleção dos microplásticos analisados foi feita com base em seu tamanho, tendo-se como critério as potencialidades da técnica instrumental utilizada (FTIR-ATR), a qual para a leitura, faz-se necessário cobrir o cristal de reflectância total atenuada (cristal de ATR) de 1 mm. Portanto, foram analisados apenas 68 microplásticos com tamanho superior a este limite, correspondendo a 10% do total de microplásticos encontrados nos peixes coletados no Lago de Amatitlán. Esses microplásticos originaram-se de 36 espécimes, sendo 35 da espécie *Oreochromis niloticus* e um da espécie *Parachromis managuensis*.

### *Identificação de microplásticos*

Os microplásticos foram analisados em um

equipamento de FTIR-ATR, marca *PerkinElmer Precisely* e modelo *Spectrum One FTIR Spectrometer* com o acessório universal ATR (*PerkinElmer, Inc., Estados Unidos da América*). Os microplásticos foram manipulados com pinças de precisão de aço inoxidável e colocados no cristal de ATR para leitura. Os espectros foram obtidos em porcentagem de transmitância, com intervalo espectral de 4.000 a 600  $\text{cm}^{-1}$  através de 4 varreduras. Cada ciclo analítico teve a duração de 2

minutos. Todos os resultados foram devidamente armazenados em um *pen drive*. Foi utilizado o software *PerkinElmer Spectrum IR Versão 10.6.1* e a biblioteca de polímeros *PerkinElmer*. Para a análise espectral a composição de cada microplástico foi identificada com base nos trabalhos realizados por Jung *et al.*<sup>22</sup> e Li *et al.*<sup>23</sup>. Os microplásticos analisados foram fotografados com um microscópio digital USB de 1000x da marca *Steren (Eletrônica Steren, S.A. de C.V., México)*.

## RESULTADOS

Foram encontrados microplásticos em 97% dos 70 peixes coletados. Foram analisados 68 microplásticos, correspondendo a 10% do total de microplásticos extraídos. Esses microplásticos originaram-se de 36 espécimes, sendo 35 da espécie *Oreochromis niloticus* e um da espécie *Parachromis managuensis*, dos quais foram analisados de 1 a 5 microplásticos por peixe.

Na Tabela 1, é apresentada a composição de cada microplástico analisado por FTIR-ATR; a identificação foi realizada com base nas prin-

cipais bandas de absorção, que em conjunto são específicas para cada tipo de polímero, e que também melhor correspondeu com os arquivos existentes na biblioteca de polímeros do espectrômetro *PerkinElmer*. Oliva-Hernández *et al.*<sup>10</sup> classificaram morfológicamente os microplásticos encontrados nos peixes em estudo, por meio da avaliação da forma das partículas isoladas maiores de 1 mm vistas no microscópio<sup>10</sup> e sua distribuição entre as cinco categorias principais utilizadas pelos pesquisadores<sup>24</sup>; essa informação é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1** - Identificação de polímeros de microplásticos encontrados no trato digestivo de peixes do Lago de Amatitlán por espectroscopia no infravermelho (FTIR-ATR). Cidade da Guatemala – Guatemala, 2023.

Nº do peixe	Morfologia do microplástico <sup>1</sup>	Bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ )	Identificação do tipo de polímero <sup>2</sup>
1	Linha/Fibra	3290, 2940, 2860, 1640, 1540, 680	Nylon
1	Fragmento	2955, 2910, 2830, 1460, 1380, 1170	PP
1	Fragmento	2955, 2910, 2840, 1460, 1380, 1160	PP
3	Linha/Fibra	3298, 2935, 2870, 1640, 1540, 690	Nylon
3	Linha/Fibra	3298, 2925, 2855, 1630, 1540, 1460	Nylon
3	Filme	2915, 2845, 1470, 1460, 730, 720	HDPE
3	Fragmento	2950, 2910, 2830, 1460, 1380, 1170	PP
3	Fragmento	2915, 2845, 1475, 1465, 730, 720	HDPE
4	Linha/Fibra	2950, 2915, 2840, 1460, 1380, 1170	PP
5	Espuma	2915, 2845, 1470, 1460, 730, 720	HDPE

continua...

... continuação Tabela 1

Nº do peixe	Morfologia do microplástico <sup>1</sup>	Bandas de absorção (cm <sup>-1</sup> )	Identificação do tipo de polímero <sup>2</sup>
5	Linha/Fibra	2950, 2915, 2835, 1460, 1380, 970	PP
5	Fragmento	2950, 2915, 2835, 1460, 1380, 970	PP
6	Filme	2910, 2845, 1470, 1460, 730, 720	HDPE
6	Fragmento	2950, 2910, 2835, 1455, 1380, 1170	PP
8	Fragmento	2950, 2915, 2835, 1455, 1380, 1170	PP
9	Fragmento	2910, 2845, 1475, 1475, 1465, 730	HDPE
9	Fragmento	2960, 2915, 2855, 1670, 1450, 1380	Látex
10	Filme	2915, 2845, 1470, 1460, 730, 720	HDPE
10	Filme	2915, 2850, 1470, 1460, 730, 715	HDPE
10	Filme	2915, 2845, 1470, 1460, 730, 720	HDPE
10	Filme	2915, 2845, 1475, 1465, 735, 720	HDPE
11	Fragmento	2950, 2910, 2840, 1460, 1380, 1170	PP
13	Fragmento	2915, 2850, 1465, 1460, 1375, 715	LDPE
14	Linha/Fibra	1710, 1240, 1100, 720	PET
14	Linha/Fibra	2950, 2915, 2835, 1455, 1380, 1165	PP
17	Fragmento	2950, 2915, 2835, 1455, 1380, 805	PP
19	Fragmento	2950, 2910, 2835, 1455, 1375, 1170	PP
19	Fragmento	2950, 2915, 2835, 1460, 1380, 1170	PP
22	Linha/Fibra	2950, 2915, 2840, 1460, 1380, 1170	PP
22	Fragmento	2950, 2915, 2835, 1460, 1370, 1170	PP
22	Fragmento	2950, 2915, 2835, 1460, 1370, 1170	PP
22	Fragmento	2915, 2845, 1470, 1460, 730, 720	HDPE
23	Linha/Fibra	3298, 2930, 2860, 1630, 1540, 1470	Nylon
26	Linha/Fibra	1715, 1240, 1100, 730	PET
30	Filme	2915, 2845, 1470, 1460, 730, 715	HDPE
31	Linha/Fibra	3298, 2930, 2860, 1635, 1540, 1465	Nylon
31	Fragmento	2950, 2915, 2840, 1460, 1380, 1165	PP
32	Fragmento	2950, 2915, 2835, 1460, 1380, 1170	PP
32	Fragmento	2950, 2910, 2835, 1455, 1375, 1170	PP
34	Espuma	2870, 1730, 1535, 1460, 1220	PU
34	Linha/Fibra	1715, 1250, 1105, 730	PET

continua...

... continuação Tabela 1

Nº do peixe	Morfologia do microplástico <sup>1</sup>	Bandas de absorção (cm <sup>-1</sup> )	Identificação do tipo de polímero <sup>2</sup>
34	Fragmento	2965, 2915, 2855, 1670, 1445, 1380	Látex
39	Linha/Fibra	3300, 2930, 2865, 1635, 1540, 1465	Nylon
40	Fragmento	2950, 2915, 2835, 1460, 1380, 1170	PP
40	Fragmento	2955, 2910, 2830, 1455, 1380, 1170	PP
41	Linha/Fibra	1715, 1250, 1100, 720	PET
43	Linha/Fibra	2950, 2915, 2835, 1460, 1380, 1170	PP
45*	Fragmento	2950, 2915, 2835, 1460, 1375, 1175	PP
46	Linha/Fibra	3299, 2830, 2860, 1635, 1535, 1465	Nylon
47	Fragmento	2970, 2910, 2850, 1660, 1450, 1380	Látex
49	Fragmento	2950, 2915, 2835, 1460, 1380, 1160	PP
51	Fragmento	3025, 2845, 1600, 1495, 1455, 1030	PS
52	Filme	2950, 2915, 2840, 1460, 1380, 1170	PP
53	Filme	2915, 2845, 1475, 1465, 730, 715	HDPE
53	Filme	2915, 2850, 1475, 1465, 730, 715	HDPE
53	Fragmento	3020, 2850, 1600, 1495, 1450, 695	PS
54	Filme	2950, 2915, 2835, 1455, 1375, 1165	PP
54	Filme	2950, 2915, 2835, 1460, 1380, 1170	PP
59	Linha/Fibra	3300, 2920, 2860, 1640, 1540, 1470	Nylon
59	Fragmento	2950, 2915, 2840, 1455, 1385, 1170	PP
59	Fragmento	2950, 2910, 2835, 1455, 1375, 1170	PP
60	Linha/Fibra	3300, 2930, 2860, 1630, 1540, 1470	Nylon
60	Linha/Fibra	2950, 2915, 2840, 1455, 1370, 1170	PP
60	Filme	2955, 2910, 2840, 1460, 1380, 1170	PP
65	Linha/Fibra	2960, 2910, 2840, 1455, 1380, 1170	PP
65	Linha/Fibra	3295, 2930, 2860, 1630, 1540, 1460	Nylon
66	Fragmento	2910, 2845, 1470, 1460, 1370, 730	LDPE
66	Fragmento	3030, 1600, 1495, 1450, 1030, 695	PS

<sup>1</sup>De "Microplastics in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from Lake Amatitlán", por B.E. Oliva, F.M. Santos-Ruiz, M.A. Muñoz-Wug y J.F. Pérez-Sabino, 2021, Revista Ambiente & Água, 16 (5), (<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2754>).

<sup>2</sup>HDPE= Polietileno de alta densidade; LDPE= Polietileno de baixa densidade o LDPE lineal; PET= Tereftalato de polietileno; PP= Polipropileno; PU= Poliuretano.

\*O peixe n° 45 é o único pertencente a espécie *Parachromis managuensis*.

Dos 68 microplásticos analisados, 21 foram classificados morfologicamente como linhas, 32 como fragmentos, 13 como filmes e 2 como espumas. No peixe número 3, foi analisado o máximo de microplásticos, identificando-se 2 microplásticos como nylon, 2 como polietileno de alta densidade (HDPE) e 1 como polipropileno (PP). Este indivíduo, em sua totalidade, tinha

9 fibras, 1 fragmento e 1 filme. Na Tabela 2, é possível visualizar a distribuição de microplásticos por tipo de polímero e morfologia. Dessa forma, observou-se uma maior identificação de nylon para linhas, polipropileno (PP) para fragmentos, polietileno de alta densidade (HDPE) para filmes e a única presença de poliuretano (PU) para espumas.

**Tabela 2** - Distribuição por tipo de polímero e morfologia de microplásticos menores a 1 mm encontrados no trato digestivo de peixes do Lago de Amatitlán - Guatemala, 2020-2021.

	HDPE	Látex	LDPE	Nylon	PET	PP	PS	PU	Total
Linhas/ Fibras	-	-	-	10	4	7	-	-	21
Fragmentos	3	3	2	-	-	21	3	-	32
Filme	9	-	-	-	-	4	-	-	13
Espumas	1	-	-	-	-	-	-	1	2
Total <sup>1</sup>	13	3	2	10	4	32	3	1	68

<sup>1</sup>Tipos de polímeros: HDPE= Polietileno de alta densidade; LDPE= Polietileno de baixa densidade ou LDPE lineal; PET= Tereftalato de polietileno; PP= Polipropileno; PU= Poliuretano.

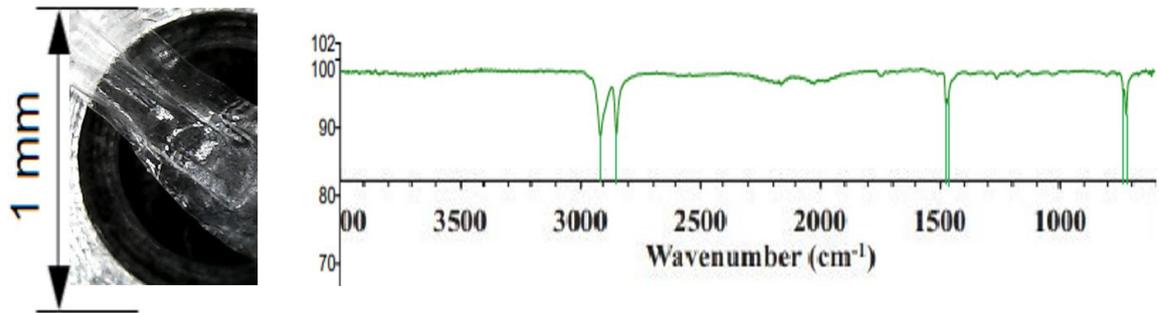
Através da técnica de espectroscopia FTIR-ATR, foram identificados os polímeros que compõem os microplásticos encontrados no trato digestivo dos peixes em estudo. Do total de microplásticos encontrados nos peixes coletados no Lago de Amatitlán, apenas 10% puderam ser analisados devido ao fato de que o equipamento FTIR-ATR somente possibilita analisar microplásticos com tamanho superior a 1 mm. Esta limitação não permitiu identificar a maioria dos microplásticos achados nos peixes analisados, não sendo possível assim determinar a composição completa dos polímeros nas partículas de menor tamanho e que podem ter maior toxicidade por apresentarem maior área superficial.

#### **Espectros característicos de microplásticos**

#### **cos de cada polímero encontrado**

As Figuras 1 a 8 apresentam fotografias e espectros no infravermelho de microplásticos representativos da amostra de estudo, com a descrição das bandas características dos grupos funcionais dos polímeros identificados.

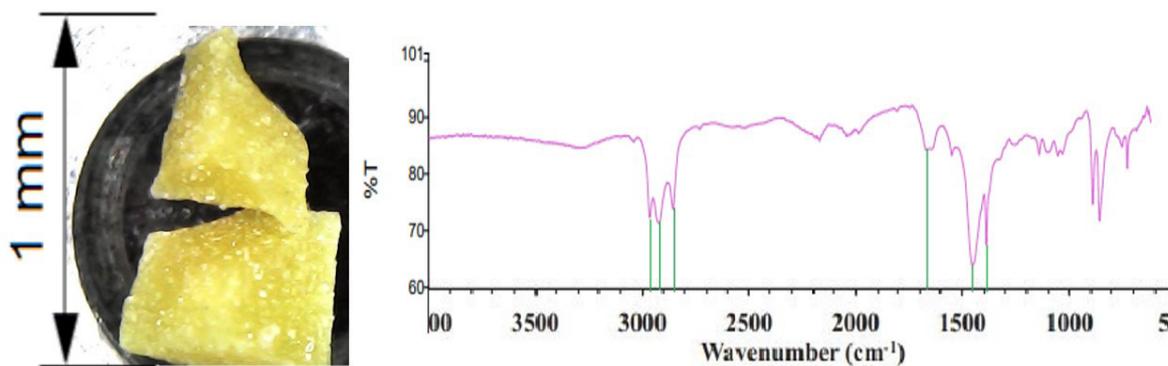
O polietileno de alta densidade (HDPE) foi identificado em 13 microplásticos, principalmente do tipo filme, devido à presença das bandas de absorção em 2915 e 2845  $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem ao estiramento da ligação C-H, em 1472 e 1462  $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem à flexão do  $\text{CH}_2$ , e em 730 e 717  $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem à flexão assimétrica no plano de  $\text{CH}_2$ . Vale ressaltar que a classificação morfológica predominante para o HDPE foi filme. Na Figura 1, é apresentado o espectro IR de um microplástico identificado como HDPE.



**Figura 1** - Fotografia (esquerda) e espectro IR (direita) de um microplástico tipo filme encontrado no peixe N° 3 (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758 - tilápia fêmea) identificado como polietileno de alta densidade (HDPE). Fonte: Espectro obtido em FTIR-ATR no Laboratório Químico Fiscal, SAT. Cidade da Guatemala - Guatemala, 2023.

O látex foi identificado em 3 microplásticos classificados como fragmento, devido à presença das bandas de absorção em 2960, 2920 e 2855  $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem ao estiramento da ligação C-H, em 1667  $\text{cm}^{-1}$ , que correspon-

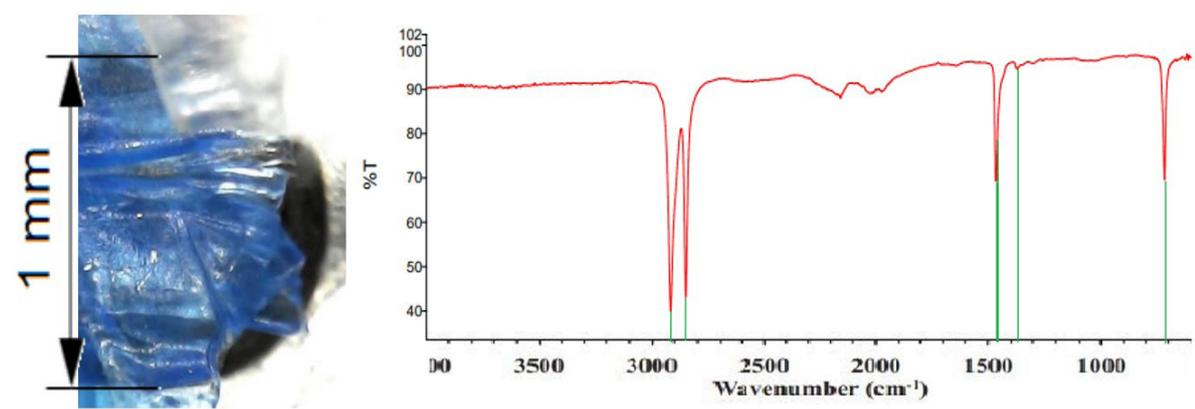
dem ao estiramento da dupla ligação C=C, em 1447  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponde à flexão do  $\text{CH}_2$ , e em 1376  $\text{cm}^{-1}$ , que representa a flexão do  $\text{CH}_3$ . Na Figura 2, é mostrado o espectro IR de um microplástico identificado como látex.



**Figura 2** - Fotografia (esquerda) e espectro IR (direita) de um microplástico tipo fragmento encontrado no peixe N° 9 (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758 - tilápia fêmea) classificado como látex. Fonte: Espectro obtido em FTIR-ATR no Laboratório Químico Fiscal, SAT. Cidade da Guatemala - Guatemala, 2023.

O polietileno de baixa densidade (LDPE) foi identificado em 2 microplásticos classificados como fragmento, devido à presença das bandas de absorção em 2915 e 2845  $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem ao estiramento da ligação C-H, em 1467 e 1462  $\text{cm}^{-1}$ , que cor-

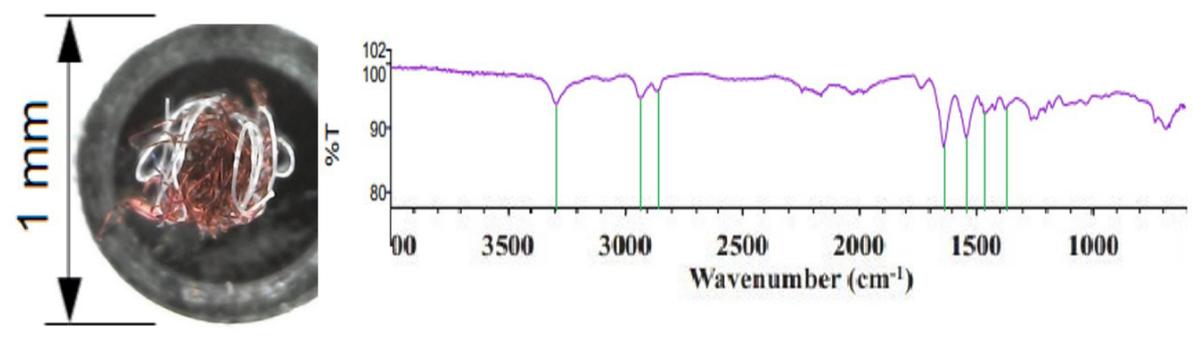
respondem à flexão do  $\text{CH}_2$ , em 1377  $\text{cm}^{-1}$ , que representa a flexão do  $\text{CH}_3$ , e em 730 e 717  $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem à flexão assimétrica no plano de  $\text{CH}_2$ . Na Figura 3, é mostrado o espectro IR de um microplástico identificado como LDPE.



**Figura 3** - Fotografia (esquerda) e espectro IR (direita) de um microplástico tipo fragmento encontrado no peixe N° 13 (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758 - tilápia fêmea) classificado como polietileno de baixa densidade (LDPE). Fonte: Espectro obtido em FTIR-ATR no Laboratório Químico Fiscal, SAT. Cidade da Guatemala – Guatemala, 2023.

O nylon foi identificado em 10 microplásticos classificados como linhas, devido à presença das bandas de absorção em 3298  $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem à estiramento da ligação N-H; em 2932 e 2858  $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem ao estiramento do carbono-hidrogênio; em 1634  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponde ao estiramento do duplo enlace C-O;

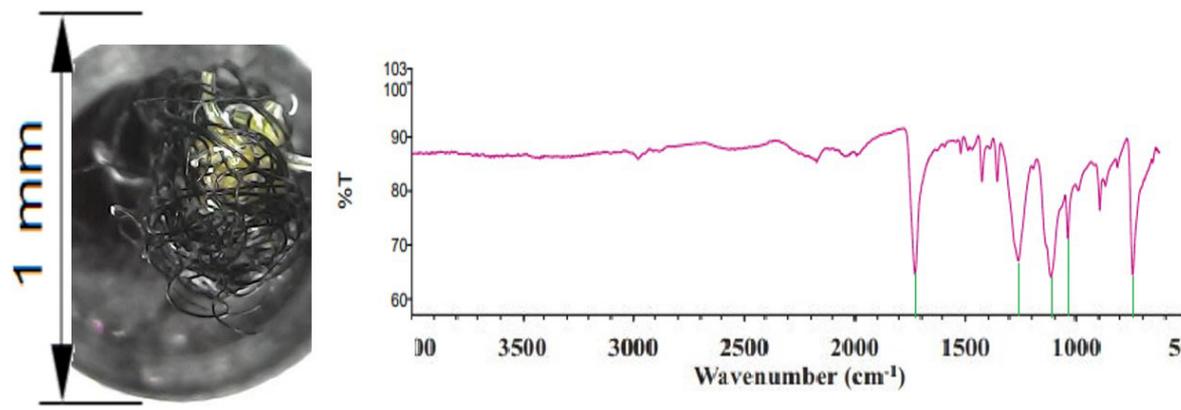
em 1538 e 1274  $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem à flexão de NH e o estiramento da ligação C-N; em 1464, 1372 e 1199  $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem à flexão do  $\text{CH}_2$ , e em 687  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponde à flexão do NH e a flexão do duplo enlace C-O. Na Figura 4, é mostrado o espectro IR de um microplástico identificado como nylon.



**Figura 4** - Fotografia (esquerda) e espectro IR (direita) de um microplástico tipo fibra encontrado no peixe N° 23 (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758 - tilápia fêmea) classificado como nylon. Fonte: Espectro obtido em FTIR-ATR no Laboratório Químico Fiscal, SAT. Cidade da Guatemala – Guatemala, 2023.

O tereftalato de polietileno (PET) foi identificado em 4 microplásticos classificados como linhas, pela presença das bandas de absorção em 1713  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponde à vibração de estiramento do grupo carbonilo; em 1241

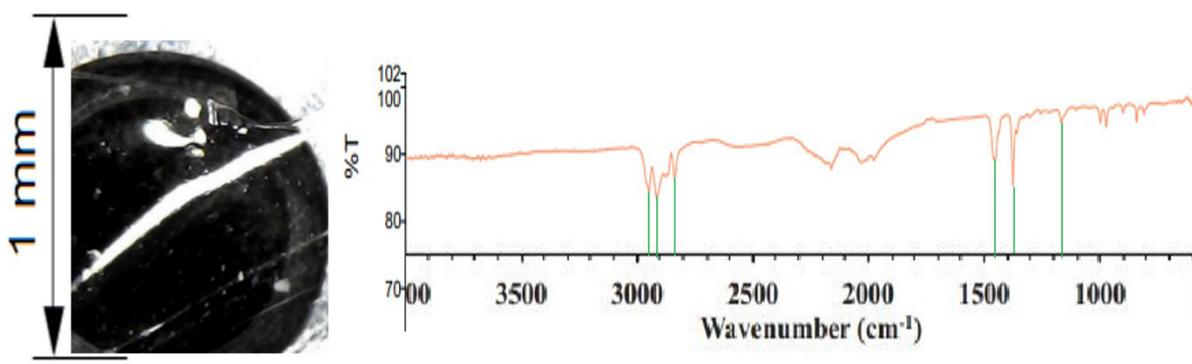
e 1094  $\text{cm}^{-1}$ , correspondem à vibração da ligação C-O; e em 720  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponde à flexão fora do plano da ligação C-H aromático. Na Figura 5, é mostrado o espectro IR de um microplástico identificado como PET.



**Figura 5** - Fotografia (esquerda) e espectro IR (direita) de um microplástico tipo fibra encontrado no peixe N° 34 (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758 - tilápia fêmea) classificado como tereftalato de polietileno (PET). Fonte: Espectro obtido em FTIR-ATR no Laboratório Químico Fiscal, SAT. Cidade da Guatemala - Guatemala, 2023.

O polipropileno (PP) foi identificado em 32 microplásticos, principalmente do tipo fragmento, pela presença das bandas de absorção em 2950, 2915 e 2838  $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem ao estiramento da ligação C-H; em 1455  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente à flexão do  $\text{CH}_2$ ; em 1377  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente à flexão do  $\text{CH}_3$ ; em 1166  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente à flexão do CH, assim como a flexão assimétrica no plano e o estiramento da ligação C-C; em 997  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponde à

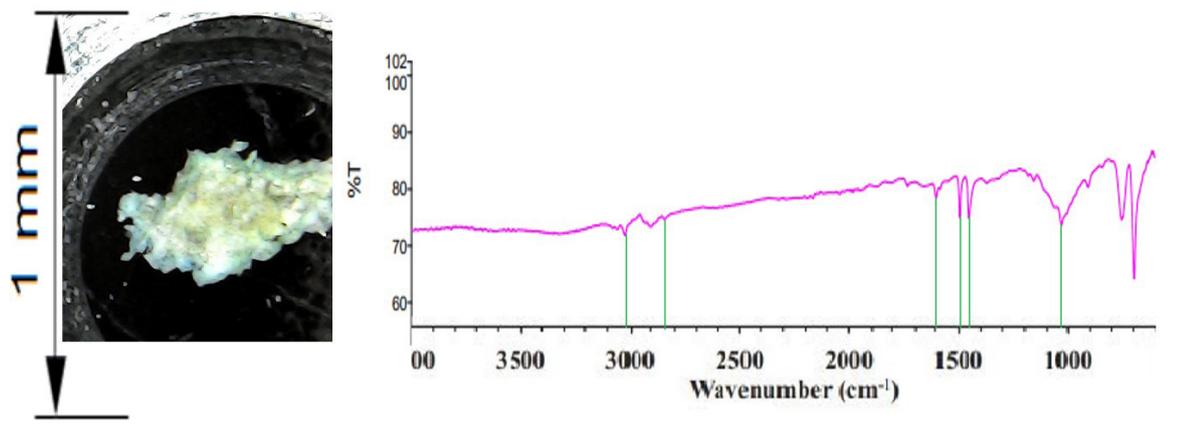
flexão assimétrica no plano de  $\text{CH}_3$ , a flexão do  $\text{CH}_3$  e a flexão do CH; em 972  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente à flexão assimétrica no plano de  $\text{CH}_3$  e o estiramento da ligação C-C; em 840  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente à flexão assimétrica no plano de  $\text{CH}_2$  e o estiramento C- $\text{CH}_3$ ; e em 808  $\text{cm}^{-1}$  que corresponde à flexão assimétrica no plano de  $\text{CH}_2$ , o estiramento C-C e o estiramento C-CH. Na Figura 6, é mostrado o espectro IR de um microplástico identificado como PP.



**Figura 6** - Fotografia (esquerda) e espectro IR (direita) de um microplástico tipo fragmento encontrado no peixe N° 45 (*Parachromis managuensis*, Günther, 1867 - guapote macho) classificado como polipropileno (PP). Fonte: Espectro obtido em FTIR-ATR no Laboratório Químico Fiscal, SAT. Cidade da Guatemala - Guatemala, 2023.

O Poliestireno (PS) foi identificado em 3 microplásticos do tipo fragmento, pela presença das bandas de absorção em 3024  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponde ao estiramento da ligação C-H aromática; em 2847  $\text{cm}^{-1}$ , representando o estiramento da ligação C-H; em 1601 e 1492  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente ao estiramento do anel aromático; em

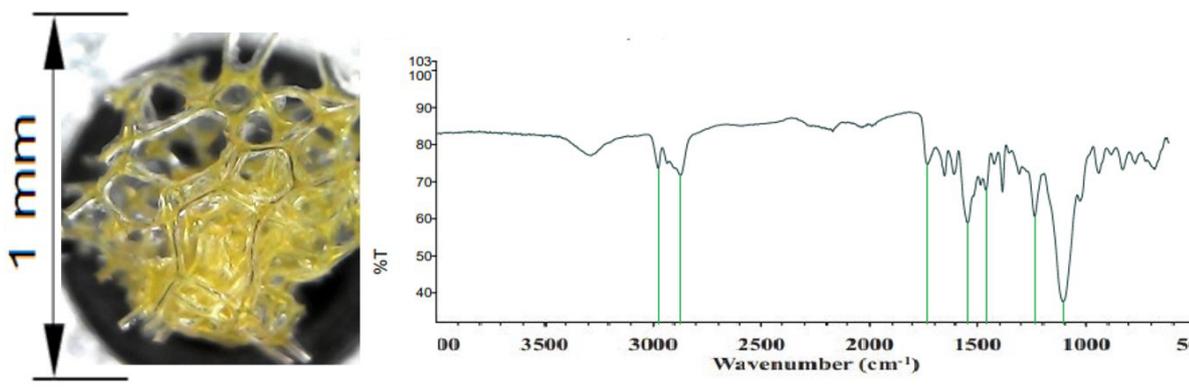
1451  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente à flexão de  $\text{CH}_2$ ; em 1027  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponde à flexão do CH aromático; em 694  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente à flexão fora do plano do CH aromático; e em 537  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponde à flexão fora do plano do anel aromático. Na Figura 7, é mostrado o espectro IR de um microplástico identificado como PS.



**Figura 7** - Fotografia (esquerda) e espectro IR (direita) de um microplástico tipo fragmento encontrado no peixe N° 51 (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758 - tilapia fêmea) classificado como poliestireno (PS). Fonte: Espectro obtido em FTIR-ATR no Laboratório Químico Fiscal, SAT. Cidade da Guatemala – Guatemala, 2023.

O Poliuretano (PU) foi identificado em um microplástico classificado como espuma, pela presença das bandas de absorção em 2865  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente ao estiramento da ligação C-H; em 1731  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente ao estiramento do duplo enlace C=O; em 1531  $\text{cm}^{-1}$ , que corres-

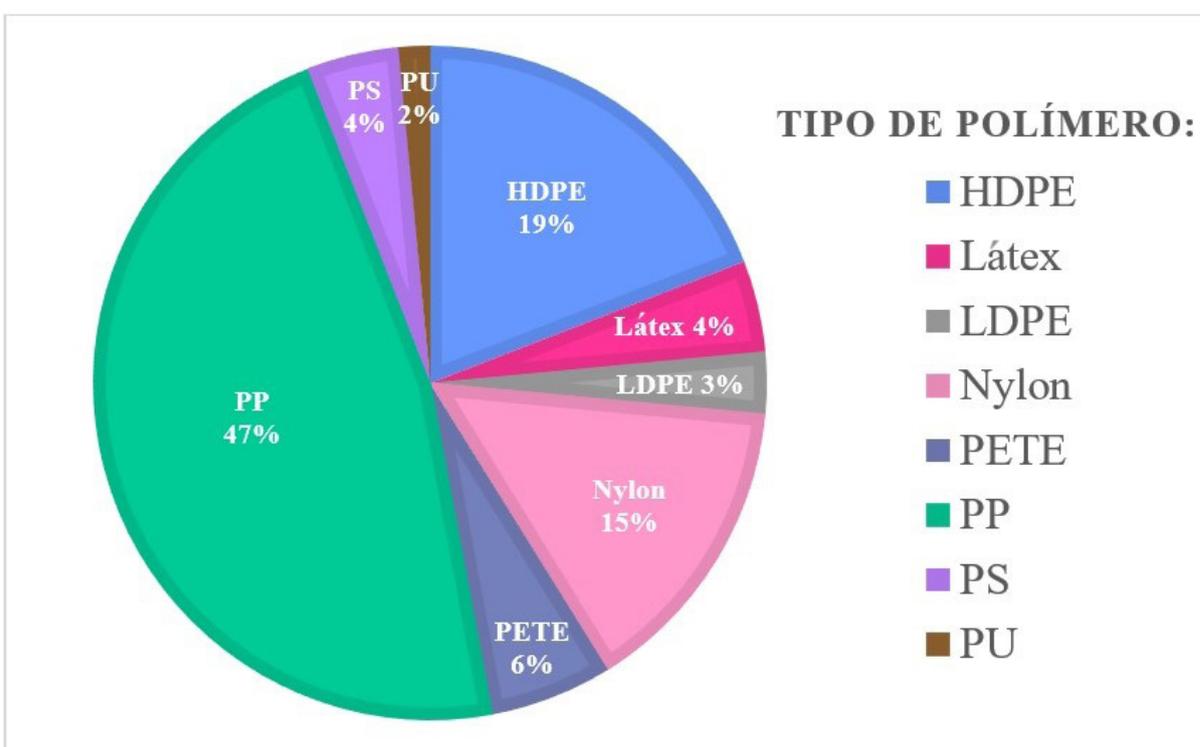
ponde ao estiramento da ligação C-N; em 1451  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente à flexão do  $\text{CH}_2$ ; e em 1223  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente ao estiramento do éster de ácido carboxílico. Na Figura 8, é mostrado o espectro IR do microplástico identificado como PU.



**Figura 8** - Fotografia (esquerda) e espectro IR (direita) de um microplástico tipo espuma encontrado no peixe N° 34 (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758 - tilapia fêmea) classificado como poliuretano (PU). Fonte: Espectro obtido em FTIR-ATR no Laboratório Químico Fiscal, SAT. Cidade da Guatemala – Guatemala, 2023.

Na Figura 9, pode-se observar que os polímeros encontrados com mais frequência nos microplásticos analisados foram o polipropileno (PP), em sua maioria do tipo fragmento (Tabela 2), o polietileno de alta densidade (HDPE), em sua maioria do tipo filme, e o nylon, sendo do tipo linha. Eles apresentaram percentuais de 47%, 19% e 15%, respectivamente, no total de microplásticos analisados. Por outro lado, o

poliuretano (PU) representou 2%, e o polietileno de baixa densidade (LDPE) 3%. Isso está em conformidade com as informações compiladas por Wang *et al.*<sup>25</sup>, que mencionam que frequentemente são encontrados polietileno e polipropileno nos tratos digestivos de peixes, o que também está em consonância com os polímeros produzidos em maior quantidade em todo o mundo<sup>26</sup>.



**Figura 9** - Porcentagens dos tipos de polímeros encontrados nos microplásticos analisados por espectroscopia no infravermelho (FTIR-ATR). HDPE= polietileno de alta densidade; LDPE= polietileno de baixa densidade ou LDPE linear; PET= tereftalato de polietileno; PP= polipropileno; PS= poliestireno; PU= poliuretano. Cidade da Guatemala – Guatemala, 2020-2021.

## DISCUSSÃO

Os resultados mostram que o Lago de Amatitlán apresenta microplásticos que são ingeridos pelos peixes. Em estudos anteriores, microplásticos foram encontrados na água e nos sedimentos do lago. As duas espécies investiga-

das (*O. niloticus* e *P. managuensis*) são onívoras, portanto, além dos microplásticos que ingerem diretamente, podem incorporá-los através do alimento, pois já foi demonstrado que os microplásticos podem ser adsorvidos no fitoplâncton

ou adsorvidos ou ingeridos pelos macroinvertebrados e, assim, entrar na cadeia alimentar<sup>27</sup>. Microplásticos têm sido encontrados no trato digestivo de peixes carnívoros e herbívoros de água doce em diferentes partes do mundo<sup>25</sup>, entrando nos organismos por ingestão direta quando são confundidos com alimentos, por ingestão acidental durante a alimentação ou por transferência na cadeia alimentar<sup>21</sup>.

O risco para a biodiversidade aquática é que, além da toxidez dos próprios aditivos microplásticos, como antibióticos, retardadores de chama, plastificantes, ftalatos, ou bisfenol A e nonilfenóis, considerados disruptores endócrinos<sup>28</sup>, eles podem adsorver outros contaminantes tóxicos, como pesticidas, metais ou contaminantes orgânicos persistentes<sup>20,28</sup>, aumentando a toxidez para organismos em diferentes níveis tróficos<sup>27</sup>. Além disso, foi sugerido que os microplásticos de menor tamanho podem ser translocados para outros órgãos desde o trato digestivo, tendo sido encontrados microplásticos nos tecidos musculares dos peixes<sup>27</sup>, de modo que os microplásticos podem chegar ao ser humano pelo consumo das duas espécies de estudo no Lago de Amatitlán.

Os microplásticos podem afetar a biodiversidade do Lago de Amatitlán de diferentes maneiras. Devido às suas diferentes densidades, dependendo do polímero que os compõe, os microplásticos menos densos que a água podem flutuar, enquanto os mais densos podem descer para águas profundas<sup>29</sup>. A identificação dos polímeros de microplásticos encontrados no trato digestivo dos peixes coletados no Lago de Amatitlán ajuda a estabelecer a possível origem da contaminação por microplásticos no lago. Os microplásticos analisados, nos quais fibras e fragmentos foram os mais abundantes, apresentaram HDPE, PP e nylon como principais polímeros. Devido ao tipo de fragmentos, a maioria corresponde a microplásticos de origem secundária, ou seja, produzidos a partir da degradação de resíduos de produtos plásticos que foram descartados no meio ambiente.

Assim, os microplásticos encontrados no Lago de Amatitlán provavelmente provêm de

tampas de garrafas, recipientes para armazenamento de alimentos, tubos e artigos têxteis, sendo identificado principalmente o polipropileno (PP). Além disso, podem originar-se de tubos, recipientes, utensílios domésticos, isolamentos para cabos e brinquedos, uma vez que estes são comumente fabricados com polietileno de alta densidade (HDPE) e produtos têxteis e cordas feitos com nylon<sup>30,31</sup>. Na Guatemala, o polietileno é utilizado na indústria de plásticos para a produção de tampas para recipientes de aerossol, garrafas, tubos para cremes, garrafas de mel, bem como para a fabricação de brinquedos. O polipropileno é utilizado na fabricação de baldes, garrafas, brinquedos, recipientes para alimentos, entre outros<sup>32</sup>, enquanto o nylon e o poliéster são utilizados principalmente na indústria têxtil<sup>33</sup>. Todos esses produtos são amplamente utilizados pela população dos municípios localizados na bacia do Lago de Amatitlán. Os resíduos desses produtos chegam ao lago principalmente através do rio Villalobos, que transporta a maior carga de águas residuais da zona sul da Cidade da Guatemala e de outros municípios populosos, como Mixco e Villa Nueva.

É importante levar em consideração que o instrumento FTIR-ATR utilizado não possui capacidade de analisar satisfatoriamente microplásticos menores que 1 mm. Oliva *et al.*<sup>10</sup> relataram que 96,3% dos peixes do Lago de Amatitlán analisados apresentavam microplásticos, e que apenas 10% dos microplásticos eram maiores que 1 mm, sendo esta fração a analisada neste trabalho. Assim, em 90% dos microplásticos encontrados no trato digestivo dos peixes, o polímero constituinte não pôde ser determinado por FTIR-ATR, pelo que não são conhecidos os seus possíveis produtos originários. Como os microplásticos menores possuem maior área superficial, eles poderiam ter um impacto maior nos organismos aquáticos, uma vez que poderiam ter diferentes interações com os contaminantes adsorvidos além de um comportamento diferente na possível translocação entre órgãos ou na sua absorção por organismos superiores.

A eliminação de resíduos plásticos não está devidamente regulamentada na Guatemala, nem foram estabelecidos níveis máximos permitidos para microplásticos nos regulamentos de águas residuais e de água para consumo humano. Assim, os microplásticos derivados do descarte de resíduos plásticos da Cidade da Guatemala e de outros municípios da bacia colocam em risco a produção pesqueira e a biodiversidade do Lago de Amatitlán. A pesca é uma atividade que em países como a Guatemala contribui para a produção de alimentos que sustentam parcialmente a segurança alimentar da população<sup>34</sup>. O volume de pesca no Lago Amatitlán, anos atrás, era de 239 toneladas por ano, das quais a espécie *Oreochromis niloticus* (tilápia) representa quase a metade. Existem outras espécies de peixes no lago, a tilápia e praticamente a espécie que sustenta a

pesca no Lago de Amatitlán<sup>35</sup>.

Tem se relatado que os microplásticos afetam o crescimento e a reprodução dos peixes<sup>27</sup>, portanto devem ser adotadas medidas para mitigar a contaminação por plásticos e outros contaminantes no Lago de Amatitlán, para reduzir o risco para a produção pesqueira e para a biodiversidade do lago, como bem como para a saúde da população, por isso é necessária a adoção de medidas regulatórias, para melhorar a educação ambiental nos municípios da bacia, bem como para controlar as descargas de plástico. Para reforçar estas medidas, novas pesquisas devem ter como objetivo compreender os níveis e interações dos microplásticos em diferentes componentes ambientais, incluindo a presença de microplásticos nos diferentes órgãos dos peixes e outros organismos aquáticos.

## CONCLUSÃO

Para reduzir a entrada de microplásticos no Lago de Amatitlán, deve-se promover e implementar a regulamentação do uso de plásticos e produtos de uso único, uma vez que esses se tornarão microplásticos secundários. Os resultados desta pesquisa podem

ser utilizados na formulação de estratégias para gerenciar esses contaminantes e podem servir como base para propor níveis guia para os padrões de qualidade da água superficial natural, uma vez que o país carece atualmente de regulamentações a esse respeito.

**FINANCIAMENTO:** Dirección General de Pesquisa -DIGI-, Projeto B-12-2020, Universidad de San Carlos de Guatemala.

**AGRADECIMENTOS:** À “Dirección General de Investigación -DIGI-, Proyecto B12-2020, Universidad de San Carlos de Guatemala”. Ao “Laboratorio Químico Fiscal, de la Superintendencia de Atención Tributaria de Guatemala”.

## Declaração do autor CREdiT

Conceituação: Hernández, BEO; Sabino, JFP. Metodologia: López, GRQ; Hernández, BEO. Validação: López, GRQ; Sabino, JFP. Análise estatística: López, GRQ; Hernández, BEO; Sabino, JFP. Análise formal: López, GRQ; Hernández, BEO; Sabino, JFP. Investigação: López, GRQ; Hernández, BEO; Sabino, JFP. Recursos: Hernández, BEO. Preparação do rascunho original: López, GRQ. Redação-revisão e edição: López, GRQ; Hernández, BEO; Sabino, JFP. Visualização: López, GRQ; Hernández, BEO; Sabino, JFP. Supervisão: Sabino, JFP. Administração do projeto: Hernández, BEO.

Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

## REFERÊNCIAS

1. González BR. Amatitlán, ayer y hoy: el proceso histórico del rescate del lago. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003. Tese de Mestrado.
2. Azurdia Juárez AA. Estimación de la productividad primaria y biomasa en el lago de Amatitlán en época seca y lluviosa. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. Tese de Licenciatura.
3. Cano Alfaro MF. Diagnóstico de los recursos hídricos de la cuenca del lago de Amatitlán, Guatemala: Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca del lago de Amatitlán –AMSA. Projeto de Pesquisa. Guatemala city: AMSA; 2019.
4. Romero-Oliva CS, Contardo-Jara V, Block T, Pflugmacher S. Accumulation of microcystin congeners in different aquatic plants and crops - A case study from lake Amatitlán, Guatemala. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2014;102(1):121-8.
5. Masura J, Baker J, Foster G, Arthur C. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Tech Memo NOS-OR&R-48 [Internet]. 2015;(July):1-39. Disponível em: [https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/noaa\\_microplastics\\_methods\\_manual.pdf](https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/noaa_microplastics_methods_manual.pdf)
6. Barbieri, E. Occurrence of Plastic Particles in Procellariiforms, South of São Paulo State (Brazil). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, [Internet]. 2009; 42: 341-348. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132009000200011>
7. Sarria-Villa R, Gallo-Corredor J. La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos, The big environmental problem of the plastic waste: Microplastics. *Journal de Ciencia e Ingeniería* [Internet]. 2016;8(1):21-7. Disponível em: <https://jci.uniautonoma.edu.co/2016/2016-3.pdf>
8. Jabeen K, Su L, Li J, Yang D, Tong C, Mu J, et al. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environ Pollut* [Internet]. 2017;221:141-9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.055>
9. Romero-Oliva CS, López-Xalí NA, Aguilar BA, Santos FM. Paleoecotoxicología, una herramienta para la reconstrucción del pasado reciente en el Lago de Amatitlán, Guatemala. Projeto de Pesquisa. Guatemala city: Dirección General de Investigación, Universidad de Guatemala; 2019
10. Oliva-Hernández BO, Santos-Ruiz FM, Muñoz-Wug MA, Pérez-Sabino JF. Microplastics in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from Lake Amatitlán. *Rev Ambient e Água*. 2021;16(5).
11. Velandia Cabra JR. Identificación de polímeros por espectroscopía infrarroja. *Revista Ontare*. 2017;5:115-140. DOI: <https://doi.org/10.21158/23823399.v5.n0.2017.2005>
12. Mazariegos Ortíz CH, Blanda E, Melchor Urias CD. Evaluación de la contaminación por microplásticos en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico. Projeto de Pesquisa. Guatemala city: Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala; 2021.
13. Pegado T, Schmid K, Winemiller KO, Chelazzi D, Cincinelli A, Dei L, et al. First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 2018; 133:814-21. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.035>
14. Phillips MB, Bonner TH. Occurrence and amount of microplastic ingested by fishes in watersheds of the Gulf of Mexico. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 2015; 100(1):264-9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.08.041>
15. Dantas NCFM, Duarte OS, Ferreira WC, Ayala AP, Rezende CF, Feitosa C V. Plastic intake does not depend on fish eating habits: Identification of microplastics in the stomach contents of fish on an urban beach in Brazil. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 2020; 153:110959. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110959>
16. Bermúdez-Guzmán L, Alpízar-Villalobos C, Gatgens-García J, Jiménez-Huezo G, Rodríguez-Arias M, Molina H, et al. Microplastic ingestion by a herring *Opisthonema* sp. in the Pacific coast of Costa Rica. *Reg Stud Mar Sci* [Internet]. 2020; 38:101367. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101367>
17. Andrade C, Ovando F. First record of microplastics in stomach content of the southern king crab *Lithodes santolla* (Anomura: Lithodidae), Nassau bay, Cape Horn, Chile. *An Inst Patagon*. 2017; 45(3):59-65.
18. Mallik A, Xavier KAM, Naidu BC, Nayak BB. Ecotoxicological and physiological risks of microplastics on fish and their possible mitigation measures. *Sci Total Environ* [Internet]. 2021; 779:146433. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146433>
19. Cole M, Lindeque P, Fileman E, Halsband C, Goodhead R, Moger J, et al. Microplastic ingestion by zooplankton. *Environ Sci Technol*. 2013; 47(12):6646-55.
20. Bollaín Pastor C, Vicente Agulló D. Presencia de Microplásticos en Aguas y su Potencial Impacto en la Salud Pública. *Rev Esp Salud Publica* [Internet]. 2019; 93:1-10. Disponível em: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272019000100012](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100012)
21. Roch S, Friedrich C, Brinker A. Uptake routes of microplastics in fishes: practical and theoretical approaches to test existing theories. *Sci Rep*. 2020; 10(1):1-12.
22. Jung MR, Horgen FD, Orski S V., Rodríguez C. V, Beers KL, Balazs GH, et al. Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 2018; 127:704-16. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>
23. Li L, Li M, Deng H, Cai L, Cai H, Yan B, et al. A straightforward method for measuring the range of apparent density of microplastics. *Sci Total Environ* [Internet]. 2018; 639:367-73. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.166>
24. Suyani N, Rathore S, Singh M, Sureandiran B. A cognitive review on microplastics and their effects on marine ichthyofauna. *Octa J Biosci*. 2022;10(2):112-23.
25. Wang W, Ge J, Yu X. Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: A review. *Ecotoxicol Environ Saf* [Internet]. 2020; 189. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109913>
26. Cuautle MA, Buitrón G. Industria química del plástico. Projeto de Pesquisa. Querétaro: Instituto de Ingeniería UNAM Universidad Nacional Autónoma de México; 2020.
27. Bhatt V, Chauhan JS. Microplastic in freshwater ecosystem: bioaccumulation, trophic transfer, and biomagnification. *Environ. Sci. Pollut. Res*. 2023;30:9389-9400.

28. Zambrano A. El impacto de microplásticos en organismos marinos. *Ciencia*. 2022;73(2):58-61
29. Aldana Aranda D, Enríquez Díaz M, Castillo Escalante V. El Caribe y su contaminación por microplásticos. *Ciencia*. 2022. 73(2):8-13.
30. Parisi CA, Biló B, Bonifazzi F, Bonini S, Máspero JF. Alergia al látex. *Arch Argent Pediatr* [Internet]. 2006; 104(6):520-9. Disponible em: <http://www.scielo.org.ar/pdf/aap/v104n6/v104n6a07.pdf>
31. López Carrasquero F. Fundamentos de polímeros. Research Proyect. Venezuela: Universidad de los Andes; 2004.
32. Gómez Domínguez, MC. Uso de polímeros en la fabricación de productos plásticos. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2008. Tese de Licenciatura.
33. Lam Herrera M. Organización para la puesta en marcha de una microempresa de confección aplicada a la Asociación Ixil para el Desarrollo Económico y Social (AIDES), en Nebaj, El Quiché. Universidad del Istmo, 2011. Tese de Licenciatura.
34. Boix Morán JL, Franco Arenales I, Morales Molina SE. Participación social de las mujeres dentro de las unidades productivas de la pesca artesanal en el pacífico suroriental de Guatemala. Projeto de Pesquisa. Guatemala city: General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala; 2016.
35. Sistema de Integración Centroamericana. Repoblación del Lago de Amatitlán y periodo de Veda [web publication]; 2011. Disponible em: <https://www.sica.int/busqueda/Noticias.aspx?IDItem=61990&IDCat=2&IdEnt=47>

Recebido: 01 dezembro 2023.  
Aceito: 27 fevereiro 2024.  
Publicado: 08 março 2024.

## Material Suplementar

**Tabela 1A** - Parâmetros biométricos de peixes do Lago de Amatitlán nos quais foram analisados os microplásticos do trato digestivo. Cidade da Guatemala – Guatemala, 2020-2021.

Nº. Peixe	Comprimento (g)	Peso organismo (g)	Peso Trato digestivo (g)
1	19,5	121,51	2,6
3	16,3	89,98	2,62
4	20,6	173,9	1,45
5	18,7	125,27	2,39
6	17,3	91,16	2,2
8	18,5	119,18	2,26
9	19,3	143,24	2,48
10	17,0	104,94	2,55
11	17,8	111,69	3,39
13	21,0	167,82	4,8
14	20,4	172,74	8,99
17	21,7	215,25	7,03
19	21,6	210,58	7,58
22	22,0	212,55	22,0
23	21,5	180,56	3,7
26	22,0	181,33	5,08
30	20,5	168,06	5,95
31	20,7	170,46	7,18
32	24,0	284,5	8,41
34	17,8	67,12	2,83
39	20,5	181,84	3,80
40	20,5	186,36	3,90
41	16,5	123,83	9,14
43	18,5	132,26	3,82
45*	23,5	203,4	6,14
46	22,0	211,56	7,43
47	21,6	203,99	6,28
49	17,8	112,61	1,94
51	18,0	116,69	4,50
52	18,3	118,45	2,98
53	17,0	99,21	3,86
54	17,7	110,50	1,91
59	16,5	99,15	7,23
60	16,5	76,90	3,17
65	17,1	94,28	3,10
66	17,4	106,18	5,38

\*O Peixe N° 45 é o único pertencente a espécie *Parachromis managuensis*.