



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Dirección General de Investigación  
Programa Universitario de Investigación Interdisciplinaria en Salud

Informe final

**Microplásticos en sal de la costa del pacifico guatemalteco**

Equipo de investigación

**Ingrid Lorena Benitez Pacheco**  
**Coordinadora del Proyecto**

Cristhal Dulce Janet Alvarado Escobar,  
Investigadora

Ana Luisa Isabel Droege Romero

Auxiliar de investigación II

José Rodrigo Parada Moscoso

Auxiliar de investigación I

Guatemala, 26 de febrero de 2021

Centro de Investigaciones de Ingeniería -CII-FIUSAC

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera  
Director General de Investigación

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

Dra. Hilda Elena Valencia de Abril  
Coordinadora del Programa Universitario de Investigación  
Interdisciplinaria en Salud

MSc. Ingrid Lorena Benitez Pacheco  
Coordinadora del Proyecto

Cristhal Dulce Janet Alvarado Escobar  
Investigadora

Ana Luisa Isabel Droege Romero  
Auxiliar de Investigación II

José Rodrigo Parada Moscoso  
Auxiliar de Investigación I

Laboratorio de Instrumental Global Farma S.A.  
Empresa farmacéutica en Colaboración

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2021. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala bajo el proyecto código B34-2020. durante el año 2020 en el Programa Universitario de Investigación interdisciplinaria en Salud.

## Índice (numérico)

1. Resumen	8
2. Palabras clave	8
3. Abstract y Keywords	9
4. Introducción	10
5. Planteamiento del problema	12
6. Preguntas de investigación	13
7. Delimitación de tiempo y espacio	13
7.1 Delimitación en tiempo	13
7.2 Delimitación espacial	14
8. Marco Teórico	16
8.1 Cristalización	16
8.2 Nucleación y formación de cristales	16
8.3 Sal común	16
8.4 Obtención de sal por bombeo de agua	16
8.5 Obtención de sal proveniente del manto freático	17
8.6 Microplásticos	18
8.6.1 Clasificación	19
8.6.2 Microplásticos primarios	19
8.6.3 Microplásticos secundarios	20
8.7 Absorción de metales pesados por microplásticos	23
8.8 Microplásticos en la salud humana	23
8.8.1 Rutas de exposición	23
9. Estado del Arte	24
10. Objetivo general	27
11. Objetivos específicos	27
12. Hipótesis	27
13. Materiales y Métodos	28
13.1 Enfoque y tipo de investigación	28
13.2 Recolección de información	28

13.3	Para Investigación cuantitativa	28
13.4	Técnicas e instrumentos	29
13.5	Operacionalización de las variables o unidades de análisis	30
13.6	Procesamiento y análisis de la información	32
14.	Vinculación de la información y divulgación	32
15.	Productos, hallazgos, conocimientos o resultados	33
16.	Análisis y Discusión de Resultados	47
17.	Conclusiones	52
18.	Impacto Esperado	53
19.	Referencias	54
20.	Apéndice	57

### **Índice de Tablas**

1.	Tabla 1	Operacionalización de las variables de análisis	30
2.	Tabla 2	Conteo y abundancia de partículas encontradas en las muestras correspondientes al inicio de temporada (diciembre 2019)	33
3.	Tabla 3	Conteo y abundancia de partículas encontradas en las muestras correspondientes al final de temporada (marzo 2020)	34
4.	Tabla 4	Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) entre los métodos de obtención de sal común para cada período	38
5.	Tabla 5	Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) entre las salineras por cada período	38
6.	Tabla 6	Reporte de resultados del análisis de varianza (ANDEVA) entre los métodos de obtención de sal común para el inicio de temporada	38
7.	Tabla 7	Reporte de resultados del análisis de varianza (ANDEVA) entre los métodos de obtención de sal común para el final de temporada	39
8.	Tabla 8	Reporte de resultados del análisis de varianza (ANDEVA) entre la temporalidad de las muestras	39
9.	Tabla 9	Conteo y abundancia de partículas encontradas en las muestras	40

	de sal común en supermercados	
10. Tabla 10	Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) entre cinco muestras seleccionadas de las sales comerciales	42
11. Tabla 11	Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) entre sales comerciales y recolectadas de salinas.	42
12. Tabla 12	Reporte de resultados del análisis de varianza (ANDEVA) entre cinco muestras seleccionadas de las sales comerciales	42
13. Tabla 13	Reporte de resultados del análisis de varianza (ANDEVA) entre los supermercados y salinas muestreadas al final de la temporada de producción	43
14. Tabla 14	Porcentaje de abundancia para cada elemento determinado en sales provenientes de la costa sur de Guatemala, por medio de extracción con bombeo vs extracción del manto freático, durante el mes de diciembre de 2019., por DXFR	45
15. Tabla 15	Porcentaje de abundancia para cada elemento determinado en sales provenientes de la costa sur de Guatemala, por medio de extracción con bombeo vs extracción del manto freático, durante el mes de marzo 2020, por DRFX	46

### **Índice de Figuras**

1. Figura 1	Ubicaciones de las salineras de la costa del Pacífico guatemalteco	13
2. Figura 2	Ubicaciones de los puntos de muestreo tomados durante las visitas a la costa del Pacífico guatemalteco.	14
3. Figura 3	Salinera tipo bombeo de agua de mar (A) y Salinera tipo Pozo artesiano (B)	15
4. Figura 4	Recolección de sales comerciales de diferentes marcas (granuladas y refinadas) en distintos centros de distribución más frecuentados	15
5. Figura 5	Bombeo de agua de mar a las piscinas de cristalización	16
6. Figura 6	Obtención de sal de pozo artesiano o manto freático	18

7.	Figura 7	Clasificación de los plásticos por su tamaño.	19
8.	Figura 8	Microplásticos primarios	20
9.	Figura 9	Microplásticos secundarios	21
10.	Figura 10	Plásticos de uso común. Polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), poliuretano (PU), tereftalato de polietileno (PET) y poliamida (PA).	22
11.	Figura 11	Equipo de Filtración por membranas y (B) estereoscopio	30
12.	Figura 12	Abundancia de micropartículas por cada muestra colectada según el método de producción de sal común (marzo de 2020)	35
13.	Figura 13	Distribución porcentual de la morfología encontrada en las micropartículas, según el método de producción de sal (marzo de 2020)	35
14.	Figura 14	Abundancia de micropartículas por cada muestra colectada según el método de producción de sal común (diciembre de 2019)	36
15.	Figura 15	Distribución porcentual de la morfología encontrada en las micropartículas, según el método de producción de sal (diciembre de 2019)	36
16.	Figura 16	A. Porcentaje de abundancia vs. Morfologías para los diferentes tamaños de partículas aisladas. B. Porcentaje de abundancia vs. Morfologías observadas para las diferentes coloraciones de partículas aisladas en muestras de sal de la costa del pacífico guatemalteco durante el periodo de diciembre 2019	37
17.	Figura 17	A. Porcentaje de abundancia vs. Morfologías para los diferentes tamaños de partículas aisladas. B. Porcentaje de abundancia vs. Morfologías observadas para las diferentes coloraciones de partículas aisladas en muestras de sal de la costa del pacífico guatemalteco durante el periodo de abril 2020	37
18.	Figura 18	Abundancia de micropartículas por cada muestra colectada en supermercados locales (marzo de 2020)	41
19.	Figura 19	. Distribución porcentual de la morfología encontrada en las	41

micropartículas en las muestras colectadas en supermercados locales (marzo de 2020)

- |     |           |  |    |
|-----|-----------|--|----|
| 20. | Figura 20 | Abundancia relativa y morfología de diferentes materiales caracterizador por FTIR, aislados de muestras de sal de la costa del pacífico guatemalteco durante el mes de diciembre 2019. DPE. Derivado de poliestireno. PES. Poliestireno. OR. Partícula orgánica. DPES. Derivado de poliestireno. RS. Resinas   | 44 |
| 21  | Figura 21 | Abundancia relativa y morfología de diferentes materiales caracterizador por FTIR, aislados de muestras de sal de la costa del pacífico guatemalteco durante el mes de marzo 2020. NY. Nylons, IN. Partículas inorgánicas, PET. Tereftalato de polietileno, OR. Partículas orgánicas, DC. Derivados de celulosa, RS. Resinas. PP. Polipropileno, DEP. Derivado de poliestireno | 44 |
| 22. | Figura 22 | Abundancia relativa y morfología de diferentes materiales caracterizador por FTIR, aislados de muestras de sal de origen comercial. DPES. Derivado de poliestireno. RS: Resinas, PPAD: Polietileno de alta densidad, PP: Polipropileno   | 45 |
| 23. | Figura 23 | Comparación de fotografías de microplásticos identificados. A. y B. Microplásticos aislados en sal. Proyecto B-34-2020. C. microplásticos aislados en cerveza artesanal e industrial   | 47 |

### **Apéndice**

- |    |  |    |
|----|--|----|
| 1. | Listado de los integrantes del equipo de investigación | 57 |
| 2  | Imágenes de Microplásticos aislados                    | 58 |
| 3  | Mapa de ubicación de salinas muestreadas               | 66 |

## **Microplásticos en sal de la costa del pacifico guatemalteco.**

### **1. Resumen**

Actualmente se conoce que partículas inferiores a 5  $\mu\text{m}$  pueden llegar a ocasionar problemas tanto a nivel ecosistémico como a nivel salud debido a la toxicidad de sus componentes. La contaminación por plásticos es reciente en el planeta, y se calcula que cada año llegan al mar entre 4,8 y 12,7 millones de toneladas (Science, 2015), lo que convierte a los océanos en el mayor vertedero de basura.

La producción de sal en Guatemala, es un proceso artesanal ubicado el Pacífico sur. Las salinas costeras emplean una técnica milenaria para conseguir su producto: toman agua de mar, la embalsan en espacios poco profundos y dejan que el sol y el viento hagan el trabajo restante, otras, utilizan agua del manto freático saturado y extraen el agua, evaporando y permitiendo que la sal cristalice. El objetivo, era determinar si el tipo de proceso extractivo presenta cantidades significativas de microplásticos e indicar la tipología de la cadena polimérica.

Se obtuvieron rangos de abundancia entre 139-5129 partículas/kg, siendo la época seca de mayor contenido. Los materiales caracterizados son microplásticos de: polietileno de alta densidad (17.24%), polipropileno (13.79%), resinas o adhesivos (13.79%), derivados de poliestireno (10.34%), derivados de polietileno (6.90%), nylon (3.45%), tereftalato de polietileno (3.45%) y poliestireno (3.44%) el resto son minerales, derivados de celulosa y materiales orgánicos.

Como conclusión se demuestra que debemos incluir estas micropartículas antrópicas como nuevos contaminantes ya que está dentro de nuestra cadena trófica, por su pequeño tamaño, les permite bioacumularse pudiéndose encontrar en todos los ecosistemas.

### **2. Palabras clave**

Contaminación marina, pozos artesianos, Fluorescencia de rayos X, microscopía petrográfica, espectroscopía infrarroja.

### 3. Abstract and keyword

It's currently known that particles smaller than 5 $\mu$ m can be harmful to ecosystems and human health due to the toxicity of their components. Plastic pollution is relatively recent on the planet, it's estimated that between 4.8 and 12.7 million tons reach the sea each year (Science, 2015), which makes the oceans the largest dumping ground of garbage.

Salt production in Guatemala is a handcraft process located in the southern Pacific coast. Guatemala's salt producers use an ancient technique to obtain their product: they take sea water, dam it in shallow spaces and let the sun and the wind do the remaining work, others, use water from the saturated groundwater and they extract the sea water, evaporating and allowing the salt to crystallize. The objective was to determine if the type of extractive process presents significant amounts of plastic microparticles and to perform a classification of the type of the polymer chain. Abundance range were obtained between 139-5129 particles / kg, being higher at the end of the dry season. The characterized materials are plastic particles such as: high-density polyethylene (17.24%), polypropylene (13.79%), resins or adhesives (13.79%), polystyrene derivatives (10.34%), polyethylene derivatives (6.90%), nylon (3.45%), polyethylene terephthalate (3.45%) and polystyrene (3.44%) the remaining percentage are minerals, cellulose derivatives, and organic materials.

As a conclusion It's shown that we must include these anthropic microparticles as new pollutants since It's within our trophic chain, due to its small size, it allows them to bioaccumulate and can be found in all ecosystems.

#### **Keywords**

Marine pollution, artesian wells, X ray fluorescence, petrographic microscopy, infrared spectrometry.

#### 4. Introducción

Las sociedades científicas y grupos ecologistas de todo el mundo llevan tiempo advirtiendo sobre las toneladas de plástico que se arrojan a diario al mar, con consecuencias como las que acaba de observar un estudio español: la sal de mesa marina contiene microplásticos. “Actualmente se conoce que estas partículas inferiores a los 0,5 mm pueden llegar a ocasionar problemas tanto a nivel ecosistémico como a nivel de salud debido a la toxicidad de sus componentes. La contaminación por plásticos es relativamente reciente en el planeta (la mayoría de estos compuestos comenzó a fabricarse en el último siglo), pero se calcula que cada año llegan al mar entre 4,8 y 12,7 millones de toneladas” (Science, 2015), lo que convierte a los océanos en el mayor vertedero de este tipo de desechos sólidos.

La producción de sal para consumo en nuestra región, mayoritariamente proviene de la costa del Pacífico sur guatemalteco, ubicado geográficamente cercana a la gran isla de basura del pacífico. Recientemente, un equipo de expertos se adentra en aguas de las costas del Pacífico, en Puerto San José, Escuintla, en busca de evidencias sobre la presencia de micropartículas de plástico – menores a los cinco milímetros-, y sus sospechas fueron confirmadas, pues luego de un análisis se determinó la presencia de estas en peces que fueron capturados durante la expedición. La isla de desechos plásticos que flota en el caribe, (2017, octubre). Prensa Libre. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/internacional/desechos-plasticos-amenazan-aguas-del-caribe/>.

Dongki y colaboradores (2015), establecen: “...nuestra hipótesis es que, las sales marinas podrían contener microplásticos. Para probarla, se recolectaron 15 marcas de sales marinas de supermercados en toda China. El contenido de microplásticos fue 550–681 partículas / kg en sales marinas”. Las salinas costeras de Guatemala emplean una técnica casi milenaria para conseguir su producto: extraen agua de mar, la embalsan en espacios poco profundos y dejan que el sol y el viento realicen la evaporación respectiva, otras, sin embargo, utilizan agua proveniente del manto freático saturado y mediante pozos artesianos extraen el agua de mar, evaporando y permitiendo que la sal cristalice.

Un trabajo de la Universidad de Alicante defiende que las micropartículas que se quedan atrapadas en los cristales de sal reflejan una "contaminación de fondo" por este tipo de compuestos del que no escapa ningún océano. (Iniguez, M., Conesa, J., & Fullana, A. 2017).

¿Cuánto plástico puede ingerir una persona por esa vía? Este trabajo sugiere que, si se respeta la ingesta máxima de sal que recomienda la OMS (5 gramos diarios, como mucho), el consumidor come cada año una cantidad teórica de 510 micro partículas. Esa cantidad no es alta, añaden, puesto que en otros alimentos marinos se han detectado concentraciones mucho mayores (un solo mejillón, apuntan, puede tener hasta 178 microfibras de plástico). Sin embargo, llama la atención sobre este problema, porque los plásticos tardan siglos, incluso milenios, en degradarse de forma natural y pueden absorber otro tipo de contaminantes existentes en el medio ambiente y transferirlos a la cadena alimenticia. (Iniguez, et al. 2017).

Por tal razón, sabemos que hay microplásticos en todas las sales de origen marino; pero ¿cuánto microplástico hay en la sal que se consume en Guatemala? ¿De qué tipo es la micropartícula presente en la sal que se produce por evaporación-cristalización?

El presente estudio, tuvo como objetivo determinar si el tipo de proceso extractivo con que se obtiene la mayor cantidad de sal de consumo en Guatemala presenta cantidades significativas de micropartículas de plásticos que pueda estar presente en la sal de quienes la consumen, y realizar una clasificación de estos microplásticos relativa a la tipología de los polímeros presentes y su clasificación.

## 5. Planteamiento del problema

Tres investigadores del departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Alicante describen en el último número de la revista "Scientific reports", del grupo Nature, otro efecto menos conocido: los plásticos se han colado ya en la sal que producen las salinas marinas y que llega a la mesa de los consumidores. Los autores de este trabajo analizaron entre septiembre de 2016 y junio de 2017 las sales producidas por salinas de emplazamientos representativos de todas las costas españolas. Y su conclusión es clara: todas ellas contienen plástico en diferentes concentraciones, que van de 60 a 280 micropartículas por kilo de sal, en su mayoría tereftalato de polietileno.

Nuestra región no escapa de este problema, la gigantesca isla de basura en el Océano Pacífico está creciendo a gran velocidad, según una nueva investigación publicada en la revista Nature. De acuerdo al estudio, esta área de residuos que se expande por unos 1,6 millones de Km<sup>2</sup> es decir, casi tres veces el tamaño de Francia y contiene cerca de 80.000 toneladas de plástico. La basura se acumula en todos los océanos, pero la mancha más grande es la que está en el Pacífico, entre Hawái y California. (Browne, et al. 2011).

Un trabajo de la Universidad de Alicante defiende que las micropartículas que se quedan atrapadas en los cristales de sal reflejan una "contaminación de fondo" por este tipo de compuestos del que no escapa ningún océano. (Iniguez, M., Conesa, J., & Fullana, A. 2017).

¿Cuánto plástico puede ingerir una persona por esa vía? Este trabajo sugiere que, si se respeta la ingesta máxima de sal que recomienda la OMS (5 gramos diarios, como mucho), el consumidor come cada año una cantidad teórica de 510 micro partículas. Esa cantidad no es alta, añaden, puesto que en otros alimentos marinos se han detectado concentraciones mucho mayores (un solo mejillón, apuntan, puede tener hasta 178 microfibras de plástico). Sin embargo, llaman la atención sobre este problema, porque los plásticos tardan siglos, incluso milenios, en degradarse de forma natural y pueden absorber otro tipo de contaminantes existentes en el medio ambiente y transferirlos a la cadena alimenticia. (Iniguez, et al. 2017).

Por tal razón, sabemos que hay microplásticos en todas las sales de origen marino; pero ¿cuántos microplásticos hay en la sal que se consume en Guatemala? ¿De qué tipo es la micropartícula presente en la sal que se produce por evaporación-cristalización?

## 6. Preguntas de investigación

Existen micropartículas de plásticos en la sal marina basado en el tipo de proceso extractivo utilizado en las salineras de las costas del pacifico guatemalteco.

¿Qué cantidad y tipos de micropartículas contiene la sal y que proceden de cada proceso extractivo?

## 7. Delimitación en tiempo y espacio

7.1 Delimitación en tiempo: El estudio se realizará de febrero a noviembre, Se identificó mediante Google Earth alrededor de 44 salineras ubicadas a lo largo de la costa del pacifico guatemalteco.



Figura 1. Ubicaciones de las salineras de la costa del Pacífico guatemalteco.

Mediante geo-ubicación y encontrando acceso por vía terrestre se llegó a 16 salineras ubicadas en la costa del pacífico. Las fechas de muestreo fueron en el mes de diciembre (color rojo) inicio de la época seca e inicio el proceso de obtención de sal en Guatemala y en el mes de Marzo (color verde), época de mayor producción de sal. Se había estimado realizar un tercer muestreo en el mes de abril finalización del proceso extractivo antes del inicio de la entrada del invierno en Guatemala. Pero la pandemia COVID-19 impidió su realización.



Figura 2. Ubicaciones de los puntos de muestreo tomados durante las visitas a la costa del Pacífico guatemalteco.

7.2 Delimitación espacial: Se realizó una clasificación y selección de las salineras guatemaltecas de acuerdo al proceso extractivo de sal y se muestrearon salineras que, si se pudo comprobar que cumplían con esa clasificación, todas ubicadas a lo largo de la costa del pacífico guatemalteco. Adicionalmente, se tomaron las coordenadas UTM del punto de muestreo.



*Figura 3.* Salinera tipo bombeo de agua de mar (A) y Salinera tipo Pozo artesiano (B).

Se hizo un recorrido por supermercados verificando marcas de mayor consumo doméstico, de las cuales se seleccionaron 13 marcas de sal diferentes para su evaluación correspondiente provenientes de las costas del pacifico guatemalteco de mayor comercialización en mercados y supermercados.



*Figura 4.* Recolección de sales comerciales de diferentes marcas (granuladas y refinadas) en distintos centros de distribución más frecuentados.

## **8. Marco teórico**

### **8.1. Cristalización**

La cristalización es un fenómeno donde se forma un sólido a partir de partículas en un arreglo de red, donde se repiten las unidades de organización en un patrón específico. En la cristalización, suceden dos fenómenos que determinan la formación y precipitación de los sólidos: la nucleación y el crecimiento de los cristales. (Martínez, P., Martínez, E. 2004).

### **8.2. Nucleación y formación de cristales**

El crecimiento de cristales es un proceso de difusión, debido a la diferencia de concentraciones entre el cristal y el medio de cristalización. Es, también, un proceso de integración a la superficie de reacción, de adsorción. El material se incorpora a la red cristalina a través de la integración en su superficie. (Martínez, 2004).

### **8.3. Sal común**

La sal común consiste en cristales de cloruro de sodio (NaCl). Los sitios más populares para su obtención son el mar y las minas con depósitos de sal.

### **8.4. Obtención de sal de bombeo de agua**

Este proceso da sal proveniente de agua de mar. El agua de mar empieza a recolectarse y redireccionarse por medio de bombas. Se dirige a piscinas poco hondas donde se permite que el sol y el viento evapore la mayoría del agua, formando una solución de sal concentrada conocida como salmuera. Cualquier impureza visible presente en la salmuera es drenada y desechada para evitar contaminación en el resto del proceso. La salmuera es luego re- direccionada a otra piscina, donde se deja secar más para que la sal cristalice por la sobresaturación de la solución y empiece a precipitar. El exceso de agua es removido antes de recolectar la sal por medio de maquinaria o por mano de obra humana. Los cristales de sal son luego lavados, secados y empacados para su distribución comercial. (Martínez, 2004).



Figura 5. Bombeo de agua de mar a las piscinas de cristalización.

### **8.5. Obtención de sal proveniente del manto freático**

Este proceso provee sal que viene de una mina subterránea con depósitos, en conjunto con el manto freático. Se fuerza a que una cantidad de agua a presión entre por una perforación taladrada en un sitio donde hay una mina de sal. El agua disuelve la sal en sus alrededores al entrar en contacto, formando así una salmuera. Esta salmuera es retirada de la caverna y es transportada hacia la superficie.

La salmuera bombeada de esta manera es luego puesta en piscinas de evaporación para que el agua se evapore y empiecen a crecer los cristales de sal. (Martínez, 2004)



Figura 6. *Obtención de sal de pozo artesiano o manto freático.*

### **8.6. Microplásticos**

En el 2009, el Programa de Desechos Marinos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del departamento de comercio de Estados Unidos definió a los microplásticos como partículas plásticas que tienen en su dimensión mayor una longitud menor a 0.5 mm. Se consideran como una preocupación ambiental, debido a que genera problemas como partículas que pueden ser ingeridas fácilmente por la biota de todos tamaños y tipos, debido a la similitud

en tamaño con su alimento usual. Asimismo, también son transportes de contaminantes orgánicos o metales pesados presentes en el ambiente marino, por lo cual también se puede propagar contaminantes en las dietas de seres más complejos. Dependiendo del origen que tengan, los microplásticos se clasifican en primarios y en secundarios. “A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society” Informs the forthcoming Scientific Opinion of the European Commission Group of Chief Scientific Advisors. SAPEA, (enero, 2019) Alemania. recuperado: <https://www.sapea.info/wp-content/uploads/report-printable.pdf>

### 8.6.1 Clasificación

Según sus tamaños, los desechos plásticos en el medio ambiente se pueden dividir en cuatro categorías (nanoplásticos (<0,03 cm), microplásticos (<0.5 cm), mesoplásticos (0,5-5 cm), macroplásticos (5-50 cm) y megaplásticos (> 50 cm) (Lebreton et al., 2018). (Wu *et al.*, 2019).

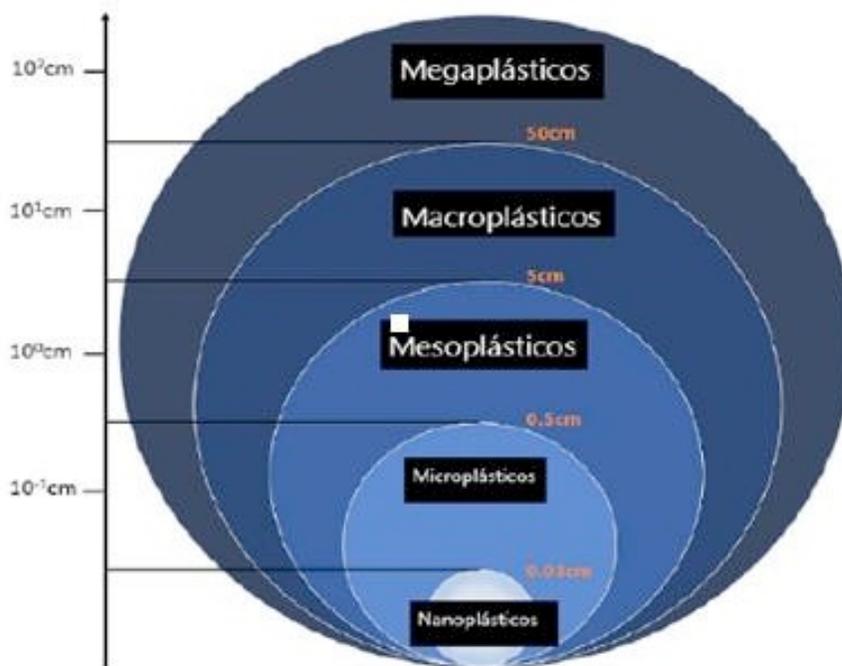


Figura 7. Clasificación de los plásticos por su tamaño.

### 8.6.2. Microplásticos primarios

Los microplásticos primarios son los plásticos que se producen intencionalmente en una dimensión menor a los 5 mm. Son usados generalmente en aplicaciones industriales, en especial en la industria cosmética para la elaboración de exfoliantes de pequeña escala. Algunas veces son precursores o materia prima para la elaboración de objetos plásticos, o utilizarse como medio de impacto para generar abrasión en superficies.

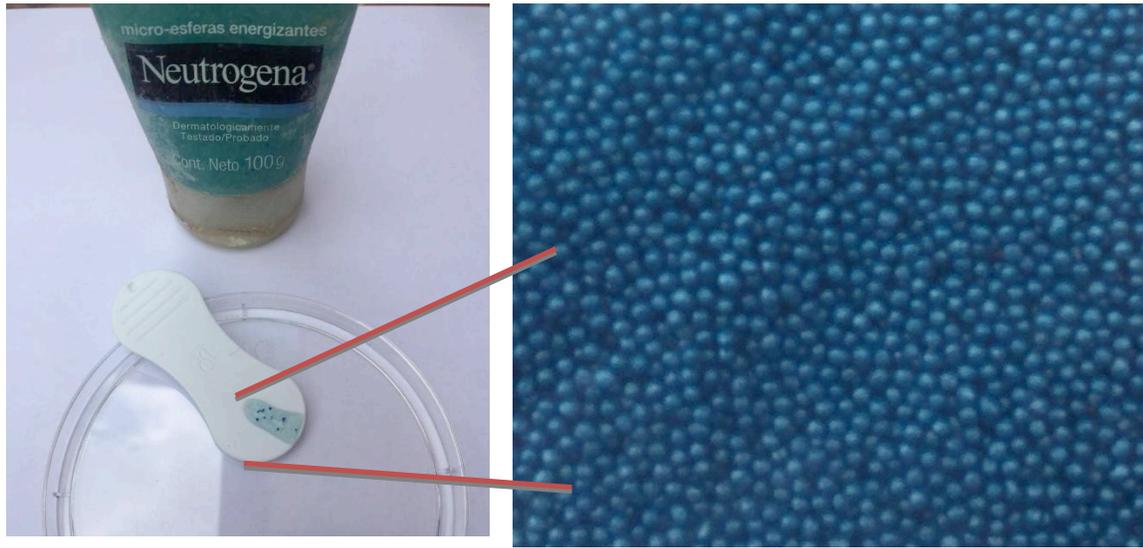


Figura 8. *Microplásticos primarios.*

### 8.6.3. Microplásticos secundarios

Se conocen como microplásticos secundarios aquellos que se forman a partir de residuos plásticos grandes (macroplásticos), por ejemplo: botellas, redes, etc., debido a su degradación o destrucción dada por la exposición a condiciones a la intemperie y la naturaleza del ambiente donde son desechados. Estos residuos dependen de la edad de envejecimiento tenga, sin embargo, no se puede determinar experimentalmente, solo la cantidad de envejecimiento que tiene. Las actividades que más aportan a la generación de este tipo de microplásticos son el desecho irresponsable de desperdicios plásticos y el desgaste mecánico del material en un objeto plástico, ya que aportan macroplásticos que pueden llegar a degradarse bajo otras condiciones ambientales.

Un plástico no logra degradarse totalmente conforme más mar adentro esté. Esto es debido a que no cuenta con maneras de quebrarse totalmente, haciendo de las playas los lugares donde más degradación de plásticos hay en un menor tiempo.



Figura 9. *Microplásticos secundarios.*

Fuente: <https://www.greenteach.es/microplasticos-consecuencias/>

Cuando un plástico se somete a la intemperie se comienza a desgastar debido a la radiación ultravioleta (UV). La radiación ultravioleta corresponde a radiación electromagnética con longitud de onda corta. Son ondas altamente energizadas, por lo cual al entrar en contacto con la superficie de los sólidos pueden llegar a oxidarla. (Anderson, 2016).

La degradación por UV disminuye conforme la irradiación y el alcance de la luz solar baja, por lo cual es menos probable que un plástico de alta densidad que haya logrado descender en el nivel del mar pueda degradarse por medio de estas vías naturales. Por lo cual, los microplásticos pueden generarse también por abrasión con el lecho marino al llegar a asentarse en él. "A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society" Informs the forthcoming Scientific Opinion of the European Commission Group of Chief Scientific Advisors. SAPEA, (enero,2019) Alemania. recuperado: <https://www.sapea.info/wp-content/uploads/report-printable.pdf>.

Por último, se pueden clasificar los microplásticos en función de su composición en microplásticos de polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), poliuretano (PU) y poliamida (PA), siendo éstos los de uso común (Plastics Europe, 2017) (Gewert *et al.*, 2015).

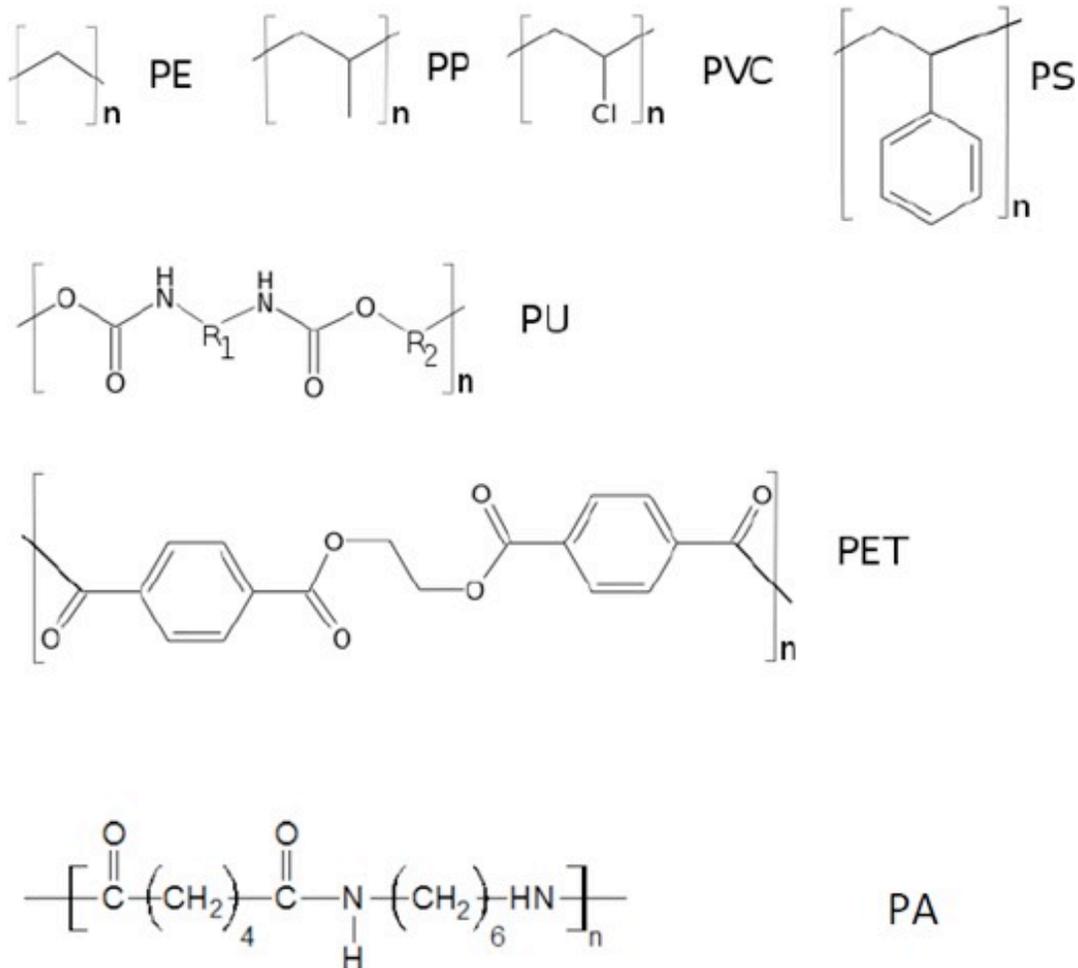


Figura 10. Plásticos de uso común. Polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), poliuretano (PU), tereftalato de polietileno (PET) y poliamida (PA).

### **8.7. Absorción de metales pesados por microplásticos (MPs )**

Los microplásticos son capaces de absorber metales pesados en su superficie. Los científicos han demostrado que el proceso geoquímico puede ocurrir entre los metales pesados y los microplásticos después de su liberación en el suelo.

Actualmente, debido a las características físico-químicas de cada material, como el área superficial específica y la polaridad molecular, el rango de adsorción de metales en microplásticos puede diferir en gran medida (Teuten et al., 2007; Brennecke et al., 2016). Además, como los microplásticos se degeneran durante la degradación de luz ultravioleta, su capacidad de adsorción para metales pesados puede cambiar. Por ejemplo, Cox et al. (2019) encontró que después de 2000 h de irradiación ultravioleta, los microplásticos incrementaron la cantidad de adsorción de Cu y Zn. Por lo tanto, el envejecimiento de los microplásticos puede absorber altas concentraciones de metales pesados, y plantear una mayor amenaza ecológica.

### **8.8. Microplásticos en la salud humana**

El cuerpo humano está expuesto a microplásticos a través de la ingestión de la comida que contiene microplásticos, la inhalación de microplásticos que residen en el aire y por contacto dérmico de estas partículas, contenidas en productos, textiles o en el polvo.

#### **8.8.1 Rutas de exposición**

##### **Ingestión**

La ingestión es considerada la mayor ruta de exposición humana a los microplásticos (Galloway, 2015). Si nos basamos en el consumo de productos alimenticios, se estima en torno a 39000-52000 partícula-persona-1-año-1 (Cox *et al.*, 2019). Las partículas pueden alcanzar el sistema gastrointestinal a través de los productos alimenticios contaminados o a través del aclaramiento mucociliar después de la inhalación, posiblemente llevando a una respuesta inflamatoria, incrementando la permeabilidad, y cambiando la composición y el metabolismo de la flora intestinal (Salim *et al.*, 2013). Los microplásticos se han encontrado en alimentos como

mejillones (Li *et al.*, 2016), pescados comerciales, sal de mesa (Karami *et al.*, 2017), azúcar y botellas de agua (Oßmann *et al.*, 2018).

Después de la ingestión, las partículas pueden ser adsorbidas en el intestino por células M especializadas, cubriendo un tejido linfoide intestinal, las placas de Peyer, dependiendo también en adherencia al mucus gastrointestinal, donde una mayor adherencia incrementa la tasa de eliminación de partículas (Ensign *et al.*, 2012).

Las partículas insolubles podrían penetrar el mucus intestinal a través del incremento de solubilidad debido a la adsorción de una “corona” de contenido intestinal debido a su pequeño tamaño (Szentkuti, 1997).

Por tanto, la exposición humana a través de la ingestión está muy probablemente en nuestra comida y ambiente contaminados con microplásticos. Sin embargo, el riesgo de ingerir microplásticos no es conocido desde que, se empezaron a llevar a cabo investigaciones para estimar la exposición general en humanos y sus efectos.

## **9. Estado del arte**

En el año 2015, en China, Yang *et al.* presentaron la primera investigación de microplásticos en sal. Para ello, se evaluaron 16 marcas de sal común en el país, las cuales fueron disueltas y filtradas mediante membranas de nitrato de celulosa. Se llevó a cabo un conteo y clasificación visual con un estereoscopio. La mayoría de las partículas recuperadas medían menos de 200  $\mu\text{m}$ . Se seleccionaron partículas aleatoriamente y se utilizó micro espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier para determinar el tipo de polímero tratado. Se encontró una abundancia de partículas de 550 – 681 partículas/kg, 43 – 364 partículas/kg y 7 – 204 partículas/kg para sal de mar, de lago y de pozo, respectivamente. Se encontraron entre los residuos tereftalato de polietileno, poliéster, polietileno, poli (1-buteno), polipropileno, celofán, así como derivados de ciclohexano y bentonita.

En el 2017, Karami et al., de la Universidad de Putra Malasya determinaron la presencia de microplásticos en sales de 17 marcas de sal de 8 países diferentes. Para el procedimiento de extracción, se utilizaron membranas con un poro de 149  $\mu\text{m}$ , bajo una filtración al vacío. Para obtener las partículas de alta densidad, se empapó la membrana en yoduro de sodio (NaI) y se sometió a una sonicación, agitación en un agitador orbital y centrifugación. El sobrenadante fue filtrado dos veces por una membrana de 8  $\mu\text{m}$ . Las partículas recuperadas fueron examinadas con un estereoscopio, determinado una media de 515  $\mu\text{m}$  en los tamaños. Se utilizó micro espectroscopía de Raman para identificar las muestras. Los plásticos identificados con mayor frecuencia fueron el polipropileno y el polietileno.

En el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Alicante, determinaron la cantidad de microplásticos en 21 muestras de sal comercial proveniente de España, tanto de agua de sal y de pozo, antes y después de empacarse.

La identificación fue hecha por medio de espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier. El contenido promedio fue de 50 – 280 partículas/kg, siendo el polietileno tereftalato, polipropileno y polietileno los más frecuentes. (Iñiguez, et al. 2017).

Actualmente se han reportado diferentes revisiones sobre la presencia de microplásticos principalmente en productos marinos de consumo humano, como calamares y pescados (Jambeck et al., 2015; Karami, Golieskardi, Choo, Larat, & Galloway, 2017) a países de alto consumo de mariscos presentan ingestas de hasta 11,000 partículas de plástico por año. (Karami et al., 2017) Lo cual podría ocasionar problemas graves de salud puesto que algunos de ellos acarrean plastificantes y endurecedores peligrosos para la salud como el BPA. (Cózar, Echevarría, González-gordillo, Irigoien, & Úbeda, 2014) La ocurrencia de microplásticos en cuerpos de agua salada es un problema relativamente bien estudiado como parte de la bioacumulación en productos de origen marino para consumo humano, como mariscos, sin embargo, hasta la fecha hay pocos artículos reportados sobre presencia de microplásticos en productos marinos abióticos en Latinoamérica, estudios de este tipo se han realizado en países asiáticos, (Yang et al., 2015) donde se ha reportado la presencia de microplásticos en sales de mesa.

La sal de mesa representa un producto de consumo diario que proporciona a los humanos elementos esenciales para su alimentación. Estas pueden provenir principalmente de lagos salinos, del mar, pozos salinos y pueden clasificarse como sales de roca, sales marinas, sales lacustres o sales de pozo según su fuente. (Yang et al., 2015).

Los estudios relacionados a microplásticos en Latinoamérica refieren su extracción de arenas y presencia en animales. Sin embargo, no se cuenta con investigaciones de contaminación de sal por microplásticos. En el 2015, en Colombia, Acosta-Coles et al., se recolectaron partículas plásticas por color y forma de residuos en arena en la playa de Cartagena. Se caracterizaron las partículas por estereoscopia, y se procedió luego a espectroscopía infrarroja.

Las esferas más abundantes fueron blancas, con poca indicación de envejecimiento por intemperie. Los plásticos más frecuentes fueron el polietileno y el polipropileno. En el 2016, en Brazil, Gómez, manifestó que: se determinó la magnitud de contaminación de microplásticos en la playa de Guanabara Bay.

Se determina una concentración de microplásticos superficial de 12 a 1300 partículas por metro cuadrado. Los fragmentos de microplásticos demostraron ser el 56% del total de partículas, de un total de 8766.

En el 2018, en la Universidad del Valle de Guatemala, se realizó la primera investigación de microplásticos en Guatemala en el Lago de Atitlán. Recolectó muestras de agua del lago y separó los residuos sólidos, clasificando por forma y color. En él, determinó una abundancia de microplásticos presente de 128,763 partículas por kilómetro cuadrado, siendo la forma observada más frecuente el fragmento. “El lago de Atitlán contaminado con microplásticos” Julio, 2018. Guatevisión, recuperado: <https://www.guatevision.com/noticias/nacional/lago-atitlan-contaminado-microplastico/>

## **10. Objetivo general**

Caracterizar el tipo y cantidad de micropartículas de plásticos provenientes de la sal obtenida de los procesos extractivos de la costa del pacifico guatemalteco.

## **11. Objetivos específicos**

11.1 Evaluar la cantidad de micropartículas de plástico en sal proveniente del proceso de bombeo de agua de mar.

11.2 Evaluar la cantidad de micropartículas de plástico en sal proveniente del manto freático saturado de pozos artesianos.

11.3 Identificar la naturaleza polimérica del micro plástico en los dos procesos de obtención de sal (bombeo de agua de mar y del manto freático saturado) y la sal que se encuentra en supermercados para consumo domiciliar.

11.4 Realizar una clasificación del material polimérico encontrado en ambos procesos extractivos de sal.

11.5 Evaluar la presencia de metales pesados asociados a las micropartículas de plástico identificadas en los procesos extractivos de sal.

## **12. Hipótesis**

12.1 Hipótesis de Investigación. Es posible la detección de micro partículas de plástico en la sal extraída por evaporación en las costas del pacifico guatemalteco.

12.2 Hipótesis Estadística: Es posible establecer diferencias significativas en cantidad y en tipología (% fibras y fragmentos) de microplásticos identificados en dos fuentes de obtención de sal marina.

### **13. Materiales y métodos**

13.1 Enfoque y tipo de investigación. El enfoque de la investigación fue cuantitativo, se determinó la cantidad en número de micropartículas por kilogramo de sal, así como las características del monómero polimérico identificado en porcentaje del total de sal analizada y la presencia o no de contaminantes químicos en sal asociados al monómero identificado. El tipo de investigación es descriptiva ya que indica el nivel de contaminación por microplásticos en la sal que se produce y consume en Guatemala.

13.2 Recolección de información: El Universo de la población fue sal obtenida mediante muestreo a las diferentes salineras ubicadas en la costa del Pacífico guatemalteco las cuales fueron clasificadas de acuerdo a la observación realizada in situ por el proceso extractivo que utilizaban en el proceso de obtención de agua de mar para posterior cristalización. Sí cumplía con el proceso extractivo se tomaba la muestra, solicitando la autorización al personal de la salina para su muestreo.

13.3 Para investigación cuantitativa. El tipo de investigación fue por conveniencia, se escogieron los puntos y áreas de muestreo tomando en cuenta la accesibilidad, seguridad y disposición de los encargados de la salina para proporcionar la muestra. Fue seleccionada por proceso de obtención de sal (bombeo o manto freático).

El diseño de muestreo consistía en tres muestreos, sin embargo, por efecto de la pandemia fue imposible completarlos haciendo falta un muestreo de los tres planificados. Se tomó muestra en el mes de diciembre fecha inicial del proceso de obtención de sal y cristalización (inicio de la temporada seca), posteriormente el segundo muestreo se realizó a inicios de mes de marzo que es la temporada más alta de producción, el cual se tomó como el mes cercano a la temporada lluviosa y finalización del proceso productivo.

El diseño experimental fue calculado para realizar 5 repeticiones, sin embargo, por espacio, escasos recursos, equipo de laboratorio y falta de un área específica de trabajo (laboratorio y universidad cerrada) solamente se realizaron triplicados para las muestras de las costas del pacífico y las de supermercados de mayor afluencia.

13.4 Técnicas e instrumentos. Para el levantamiento de muestreo y debido que no se cuenta con un registro actualizado y accesible para la ubicación de salinas en Guatemala, mediante el uso de la herramienta virtual de *Google Earth* se ubicaron las salinas que se encuentran a lo largo de la costa del pacífico guatemalteco. Para la toma de la muestra, se tomaron las coordenadas del punto de muestreo y se solicitó al encargado de la salinera si era posible poder tomar una muestra de sal y fotografías del proceso; mediante observación y algunas preguntas al encargado se confirmaba el proceso de extracción de agua de mar para la obtención de sal.

La muestra fue codificada por proceso extractivo y coordenadas de extracción. Fue trasladada al laboratorio, para almacenamiento y secado. Los ensayos se realizaron en triplicado.

Se disolvió la muestra en 900 mL de agua destilada y se agregó 100 mL de peróxido de hidrógeno al 50% grado industrial en frascos de vidrio boeco con capacidad de 1,0 L. Se disolvió la sal en planchas con agitación magnética, por un periodo de 24 horas. Posteriormente, se procedió a la primera filtración en papel Watman con filtración al vacío, conservando la solución que era depositada en el Kitasato para luego ser almacenada nuevamente en el recipiente Boeco y continuar la filtración con membranas de nitrato de celulosa, para la separación de las micropartículas. Cada muestra y repetición fue observada por estereoscopio para detección, identificación, clasificación y separación de micropartículas (figura 11). Se realizó un análisis por fluorescencia de Rayos-X para cada muestra codificada de sal para obtener la presencia de metales pesados en sal y posteriormente un análisis de espectroscopía infrarroja para la identificación del monómero del microplástico aislado en las micropartículas clasificadas.



Figura 11. (A) Equipo de Filtración por membranas y (B) estereoscopio

### 13.5 Operacionalización de las variables o unidades de análisis.

**Tabla 1**

*Operacionalización de las variables de análisis*

Objetivos específicos	VARIABLES O UNIDADES DE ANÁLISIS que se consideraron	Forma en que se midió clasificó o cualificó.
Evaluar la cantidad de micropartículas de plástico en sal proveniente del proceso de bombeo de agua de mar	Se estableció la concentración de micro partículas de plásticos que se encuentran contenidas en un kg de sal, función al proceso de bombeo de agua,	mg/Kg de micro partículas de plásticos que fueron retenidos en papel filtro ashless Ø110 mm (macro partículas) y filtro de membrana 0.5 micrones. (micro partículas)
Evaluar la cantidad de micropartículas de plástico en sal proveniente del	Se estableció la concentración de micro partículas de plásticos que se encuentran contenidas	mg/Kg de micro partículas de plásticos que fueron retenidos en papel filtro ashless Ø110

<p>manto freático saturado de pozos</p>	<p>en un kg de sal, función al proceso de extracción del manto freático o pozos artesianos</p>	<p>mm (macro partículas) y filtro de membrana 5 micrones. (micro partículas)</p>
<p>Identificar la naturaleza polimérica del micro plástico en los dos procesos de obtención de sal (bombeo de agua de mar y del manto freático saturado) y la sal que se encuentra en supermercados para consumo domiciliar.</p>	<p>Se evaluaron los residuos obtenidos (macro y micro partículas) de los dos procesos de obtención de sal por medio de espectrometría Infrarroja (FTIR)</p>	<p>Los sólidos secos obtenidos posterior a la etapa de filtración se analizarán utilizando la Técnica de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) que se encuentra en el laboratorio de Instrumental de Global Farma S.A.</p>
<p>Realizar una clasificación del material polimérico encontrado en ambos procesos extractivos de sal</p>	<p>Se utilizó un estereoscopio(W10x20)) y se realizó una clasificación de las formas y tipos de macropartículas identificadas (hilos, fragmentos, fibras, etc.) así como su clasificación según su procedencia como primarios y secundarios</p>	<p>Mediante observación con un estereoscopio (W10x20) se realizó clasificaciones de micro y macro partículas de plásticos. Se calculó el porcentaje de cada uno de los tipos de micro plásticos identificados.</p>
<p>Evaluar la presencia de metales pesados asociados a los micro partículas de plástico identificadas en los procesos extractivos de sal</p>	<p>Se llevó a cabo la evaluación de presencia de metales pesados en la sal obtenida mediante los procesos extractivos y la sal de consumo domiciliar por medio de Fluorescencia de Rayos X (XFR)</p>	<p>Mediante curva de calibración se identificaron los metales pesados y se indicó su abundancia porcentual y absoluta mg por kilogramo de sal de algún metal pesado asociado a la cadena polimérica</p>

13.6 Procesamiento y análisis de la Información: La cantidad de micropartículas observadas a través del estereoscopio fue utilizada para calcular la abundancia de micropartículas por kilogramo de sal, utilizando el peso de la muestra de sal seca procesado en la filtración. Se usó el método de análisis de varianza de un factor (ANDEVA) para determinar si existía una diferencia significativa entre las abundancias de la sal obtenida de distintos métodos de producción, considerando si el agua de mar era bombeada directamente a las piscinas de evaporación o si era transportada y almacenada en un medio previo a su uso en la piscina de evaporación (piscinas de tilapias, pozo o manto freático). De igual manera, se realizó un ANDEVA para determinar si existía una diferencia significativa entre los promedios de abundancia por cada salina según si estas fueron muestreadas al inicio o al final de la temporada de producción de sal (diciembre y marzo, respectivamente), con el objeto de determinar la influencia de la temporalidad en la cantidad de microplásticos presentes.

Todas las comparaciones se hicieron trabajando a un nivel de significancia del 5 % y fueron realizadas por medio de la herramienta de Análisis de datos incorporada a Microsoft Excel.

#### **14. Vinculación, difusión y divulgación**

Se contó con la ayuda como estudio colaborativo, al laboratorio de Instrumental de la empresa Global Farma S.A que nos facilitó el ingreso, uso de equipo, recursos de laboratorio para la caracterización de las micropartículas aisladas para identificar el tipo de microplástico. Ensayo que se realizó mediante la técnica de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier -FTIR

El mes de abril la Licenciada Christal Alvarado participó en el Go to Webinar organizado por la Organización de estudiantes de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC, sobre el tema microplásticos de la costa del pacífico guatemalteco.

En el mes de noviembre de 2020 se participó en las actividades de divulgación del II encuentro científico del Instituto de Investigaciones en Química Biológica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC donde se presentó un video corto titulado “Microplásticos en Sal de la costa del Pacífico guatemalteco.

## 15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados:

**Tabla 2**

*Conteo y abundancia de partículas encontradas en las muestras correspondientes al inicio de temporada (diciembre 2019)*

Código de campo	Correlativo	Conteo (partículas)					Abundancia (partícula/kg)	Promedio	Desviación estándar
		Amorfo	Film	Pellet	Fibra	Total			
5-D-MGSC-1	L-R1	5	2	0	247	254	1016		
5-D-MGSC-2	L-R2	4	0	0	232	236	944	911	125
5-D-MGSC-3	L-R3	3	6	1	183	193	772		
6-D-MGSC-1	M-R1	0	0	0	212	212	848		
6-D-MGSC-2	M-R2	1	1	1	159	162	648	733	103
6-D-MGSC-3	M-R3	3	1	0	172	176	704		
7-D-MGSC-1	N-R1	4	4	0	181	189	756		
7-D-MGSC-2	N-R2	10	1	0	149	160	640	733	84
7-D-MGSC-3	N-R3	6	1	0	194	201	804		
1-D-MGSP-1	O-R1	7	2	0	128	137	548		
1-D-MGSP-2	O-R2	7	1	0	135	143	572	572	24
1-D-MGSP-3	O-R3	5	0	0	144	149	596		
2-D-MGSP-1	P-R1	1	4	0	178	183	732		
2-D-MGSP-2	P-R2	5	0	0	201	206	824	809	71
2-D-MGSP-3	P-R3	0	0	1	217	218	872		
3-D-MGSP-1	Q-R1	8	1	0	152	161	644		
3-D-MGSP-2	Q-R2	12	0	0	107	119	476	524	105
3-D-MGSP-3	Q-R3	3	2	0	108	113	452		
4-D-MGSP-1	R-R1	5	2	0	140	147	588		
4-D-MGSP-2	R-R2	1	1	0	190	192	768	663	94
4-D-MGSP-3	R-R3	4	1	1	152	158	632		
13-D-MGSN-1	S-R1	4	1	0	79	84	336		
13-D-MGSN-2	S-R2	2	0	0	66	68	272	316	38
13-D-MGSN-3	S-R3	2	0	0	83	85	340		
8-D-MGSM-1	T-R-1	1	0	0	7	8	32		
8-D-MGSM-2	T-R-2	3	0	0	5	8	32	35	5
8-D-MGSM-3	T-R-3	1	0	0	9	10	40		

**Tabla 3**

*Conteo y abundancia de partículas encontradas en las muestras correspondientes al final de temporada (marzo 2020)*

Código de campo	Correlativo	Conteo (partículas)					Abundancia (partícula/kg)	Promedio	Desviación estándar
		Amorfo	Film	Pellet	Fibra	Total			
1-MGC-R1	A-R1	23	0	0	132	155	620		
1-MGC-R2	A-R2	45	2	0	174	221	884	736	135
1-MGC-R3	A-R3	0	9	0	167	176	704		
7-MGSC-R1	B-R1	3	3	0	294	300	1200		
7-MGSC-R2	B-R2	11	13	0	431	455	1820	1884	718
7-MGSC-R3	B-R3	16	3	0	639	658	2632		
8-MGSC-R1	C-R1	15	2	0	341	358	1432		
8-MGSC-R2	C-R2	13	3	0	250	266	1064	1291	198
8-MGSC-R3	C-R3	23	2	0	319	344	1376		
11-MGSC-R1	D-R1	5	12	0	1009	1026	4104		
11-MGSC-R2	D-R2	1	2	0	200	203	812	2292	1671
11-MGSC-R3	D-R3	2	4	0	484	490	1960		
12-MGC-R1	E-R1	4	4	0	319	327	1308		
12-MGC-R2	E-R2	7	1	0	320	328	1312	1288	38
12-MGC-R3	E-R3	2	2	0	307	311	1244		
2-MGC-R1	F-R1	6	5	0	144	155	620		
2-MGC-R2	F-R2	2	0	0	107	109	436	568	115
2-MGC-R3	F-R3	1	0	0	161	162	648		
3-MGC-R1	G-R1	1	3	0	135	139	556		
3-MGC-R2	G-R2	0	3	0	128	131	524	584	78
3-MGC-R3	G-R3	1	3	0	164	168	672		
4-MGST-R1	H-R1	2	3	0	327	332	1328		
4-MGST-R2	H-R2	3	8	0	221	232	928	1332	406
4-MGST-R3	H-R3	5	23	0	407	435	1740		
9-MGC-R1	I-R1	8	3	0	191	202	808		
9-MGC-R2	I-R2	11	0	0	174	185	740	797	53
9-MGC-R3	I-R3	4	2	0	205	211	844		
10-MGST-R1	J-R1	2	4	0	2355	2361	9444		
10-MGST-R2	J-R2	15	11	0	759	785	3140	5129	3740
10-MGST-R3	J-R3	6	6	0	689	701	2804		
13-MGSN-R1	K-R1	3	6	0	239	248	992		
13-MGSN-R2	K-R2	0	2	0	323	325	1300	1201	181
13-MGSN-R3	K-R3	4	4	0	320	328	1312		

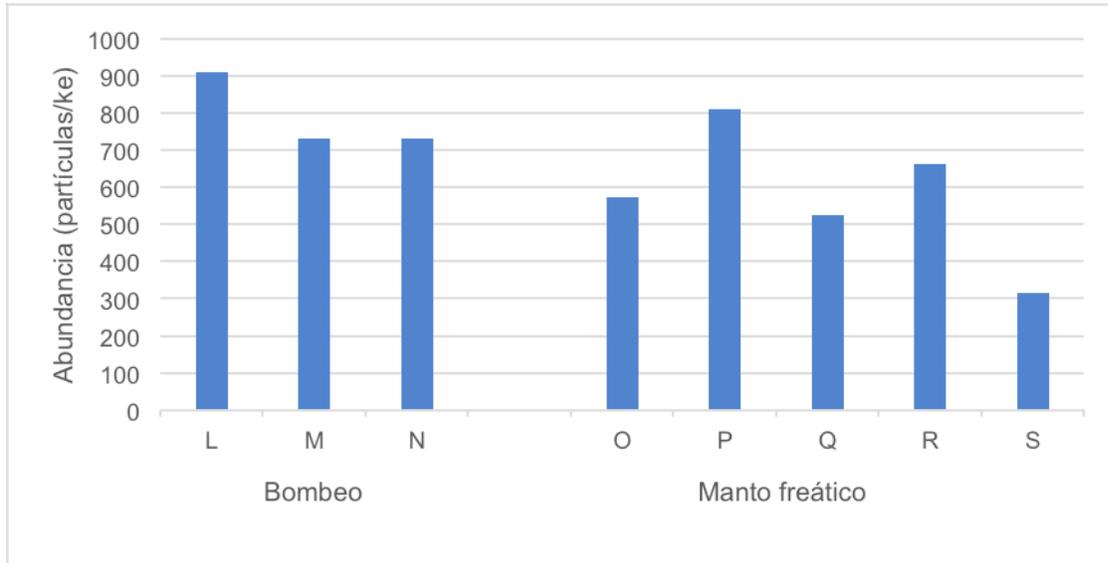


Figura 12. Abundancia de micropartículas por cada muestra colectada según el método de producción de sal común (diciembre de 2019).

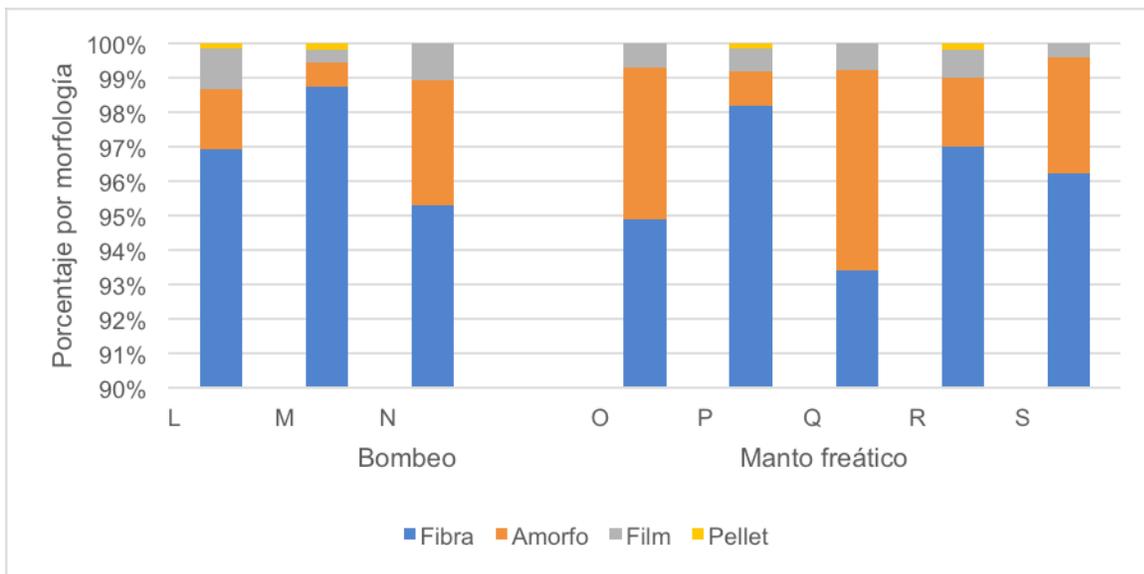


Figura 13. Distribución porcentual de la morfología encontrada en las micropartículas, según el método de producción de sal (diciembre de 2019)

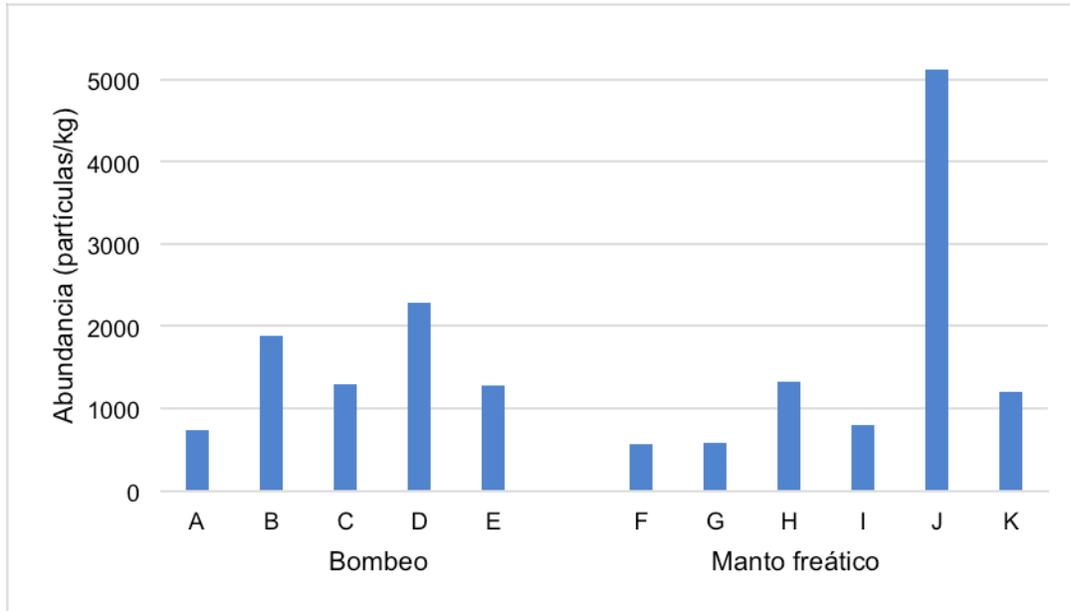


Figura 14. Abundancia de micropartículas por cada muestra colectada según el método de producción de sal común (marzo de 2020).

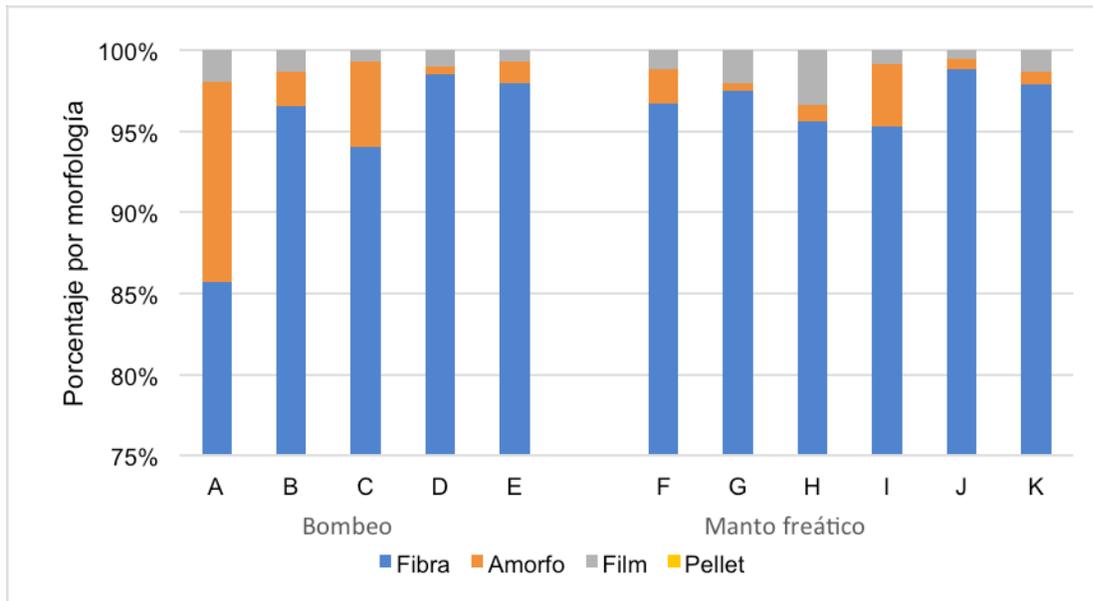


Figura 15. Distribución porcentual de la morfología encontrada en las micropartículas, según el método de producción de sal (marzo de 2020)

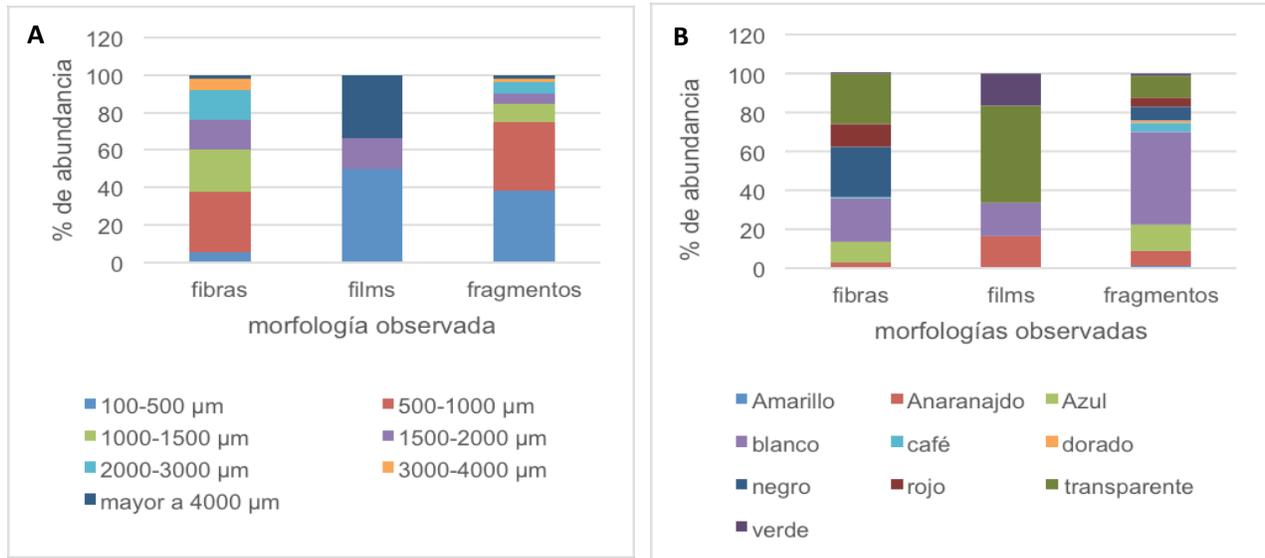


Figura 16. A. Porcentaje de abundancia vs. Morfologías para los diferentes tamaños de partículas aisladas. B. Porcentaje de abundancia vs. Morfologías observadas para las diferentes coloraciones de partículas aisladas en muestras de sal de la costa del pacífico guatemalteco durante el periodo de diciembre 2019.

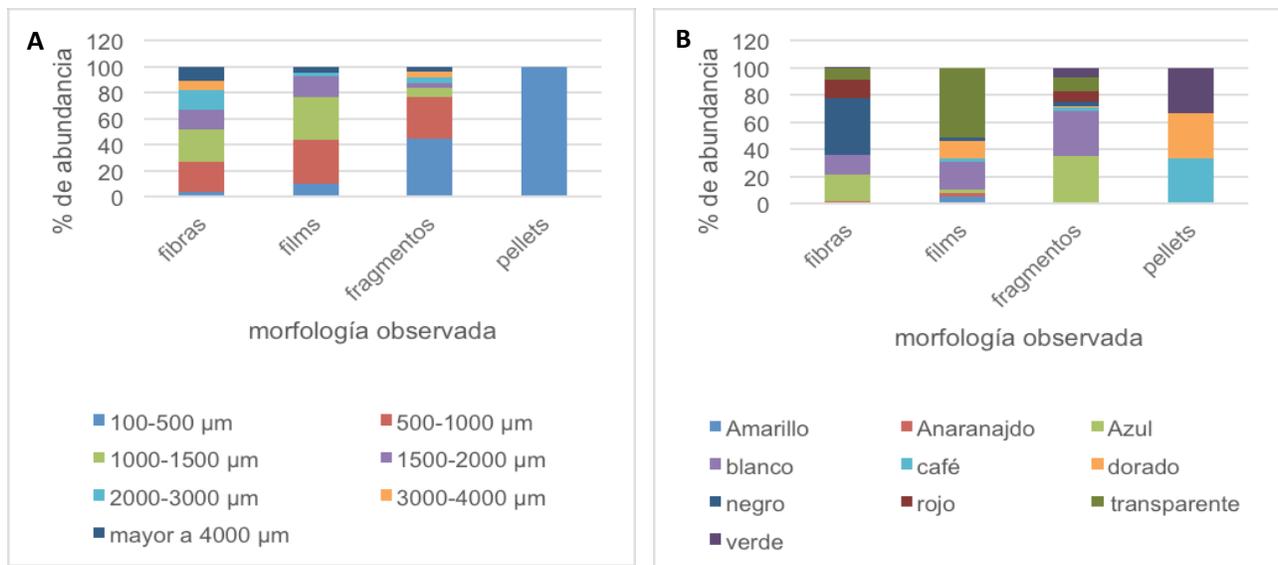


Figura 17. A. Porcentaje de abundancia vs. Morfologías para los diferentes tamaños de partículas aisladas. B. Porcentaje de abundancia vs. Morfologías observadas para las diferentes coloraciones de partículas aisladas en muestras de sal de la costa del pacífico guatemalteco durante el periodo de marzo 2020.

**Tabla 4**

*Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) entre los métodos de obtención de sal común para cada período*

Temporada	df	Bombeo		Manto freático		F	p
		Media	DE	Media	DE		
Inicio	7	792	102	577	182	3.414***	0.114
Fin	10	1498	601	1602	1757	0.016***	0.903

\*\*\*p<0.05

**Tabla 5**

*Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) entre las salineras por cada período*

Medida	df	Inicio		Fin		F	p
		Media	DE	Media	DE		
Temporada	18	685	193	1269	585	7.302***	0.015

\*\*\*p<0.05

**Tabla 6**

*Reporte de resultados del análisis de varianza (ANDEVA) entre los métodos de obtención de sal común para el inicio de temporada*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	df	Promedio de los cuadrados	F	p	F <sub>c</sub>
Entre grupos	87192	1	87192	3.414	.114	5.987
Dentro de los grupos	153237	6	25540			
Total	240429	7				

**Tabla 7**

*Reporte de resultados del análisis de varianza (ANDEVA) entre los métodos de obtención de sal común para el final de temporada*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>df</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F<sub>c</sub></i>
Entre grupos	29423	1	29423	0.016	.903	5.117
Dentro de los grupos	16875646	9	1875072			
Total	16905068	10				

**Tabla 8**

*Reporte de resultados del análisis de varianza (ANDEVA) entre la temporalidad de las muestras*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>df</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F<sub>c</sub></i>
Entre grupos	1580399.72	1	1580399	7.302	.015	4.451
Dentro de los grupos	3679159.69	17	216421			
Total	5259559.41	18				

**Tabla 9**

*Conteo y abundancia de partículas encontradas en las muestras de sal común en supermercados*

Código de campo	Correlativo	Conteo (partículas/kg)					Abundancia (partícula/kg)	Promedio	Desviación estándar
		Amorfo	Film	Pellet	Fibra	Total			
1-GC-R1	C-A-R1	45	1	0	100	146	584	584	-
2-GC-R1	C-B-R1	4	1	0	3	8	32	32	-
3-GC-R1	C-C-R1	3	3	0	30	36	144	144	-
4-GC-R1	C-D-R1	2	1	0	229	232	928	928	-
5-GC-R1	C-E-R1	2	8	1	367	378	1512		
5-GC-R2	C-E-R2	3	3	1	729	736	2944	3475	2275
5-GC-R3	C-E-R3	23	14	0	1455	1492	5968		
6-GC-R1	C-F-R1	0	1	0	178	179	716	716	-
7-GC-R1	C-G-R1	7	1	1	424	433	1732	1732	-
8-GC-R1	C-H-R1	12	25	0	212	249	996		
8-GC-R2	C-H-R2	8	43	1	205	257	1028	1016	17
8-GC-R3	C-H-R3	13	33	1	209	256	1024		
9-GC-R1	C-I-R1	0	0	0	773	773	3092	3092	-
10-GC-R1	C-J-R1	0	5	396	362	763	3052	3052	-
11-GC-R1	C-K-R1	0	1	0	123	124	496		
11-GC-R2	C-K-R2	0	0	0	139	139	556	557	62
11-GC-R3	C-K-R3	1	0	0	154	155	620		
12-GC-R1	C-L-R1	4	0	0	1737	1741	6964		
12-GC-R2	C-L-R2	1	0	0	19	20	80	2405	3948
12-GC-R3	C-L-R3	1	1	0	41	43	172		
13-RC-R1	C-M-R1	2	29	0	102	133	532		
13-RC-R2	C-M-R2	1	21	0	91	113	452	503	44
13-RC-R3	C-M-R3	5	17	0	109	131	524		

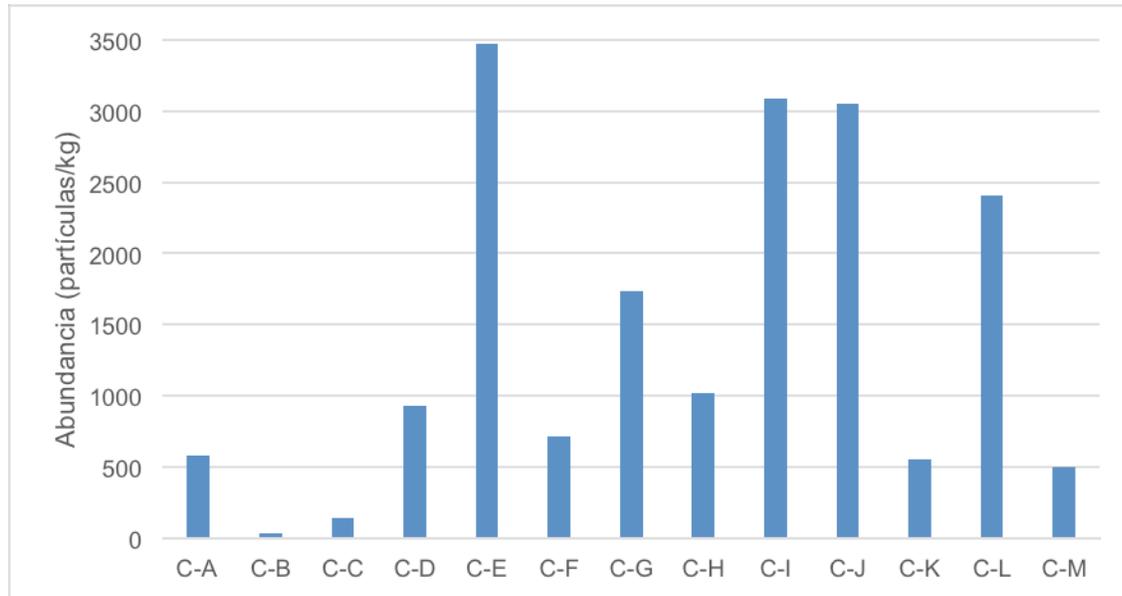


Figura 18. Abundancia de micropartículas por cada muestra colectada en supermercados locales (marzo de 2020).

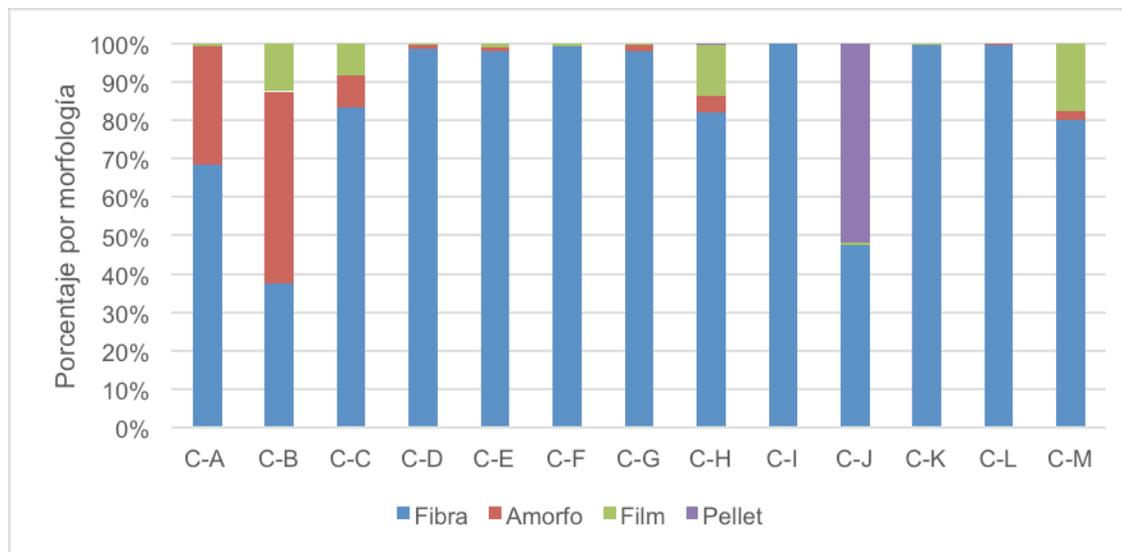


Figura 19. Distribución porcentual de la morfología encontrada en las micropartículas en las muestras colectadas en supermercados locales (marzo de 2020)

**Tabla 10**

*Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) entre cinco muestras seleccionadas de las sales comerciales*

Muestra	df	Media	DE	F	p
C-E	14	3475	2275	1.227***	.359
C-H		1016	17		
C-K		557	62		
C-L		2405	3948		
C-M		503	44		

\*\*\*p<0.05

**Tabla 11**

*Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) entre sales comerciales y recolectadas de salinas.*

Grupo	df	Media	DE	F	p
Supermercados	23	1403	1207	0.0881***	.7694
Salinas		1555	1300		

\*\*\*p<0.05

**Tabla 12**

*Reporte de resultados del análisis de varianza (ANDEVA) entre cinco muestras seleccionadas de las sales comerciales*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	p	Valor crítico para F
Entre grupos	20384699.7	4	5096175	1.227***	.359	3.478
Dentro de los grupos	41538954.7	10	4153895			
Total	61923654.4	14				

\*\*\*p<0.05

**Tabla 13**

*Reporte de resultados del análisis de varianza (ANDEVA) entre los supermercados y salinas muestreadas al final de la temporada de producción*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	137695	1	137695	0.088	.769	4.301
Dentro de los grupos	34390304	22	1563196			
Total	34527999	23				

\*\*\* $p < 0.05$

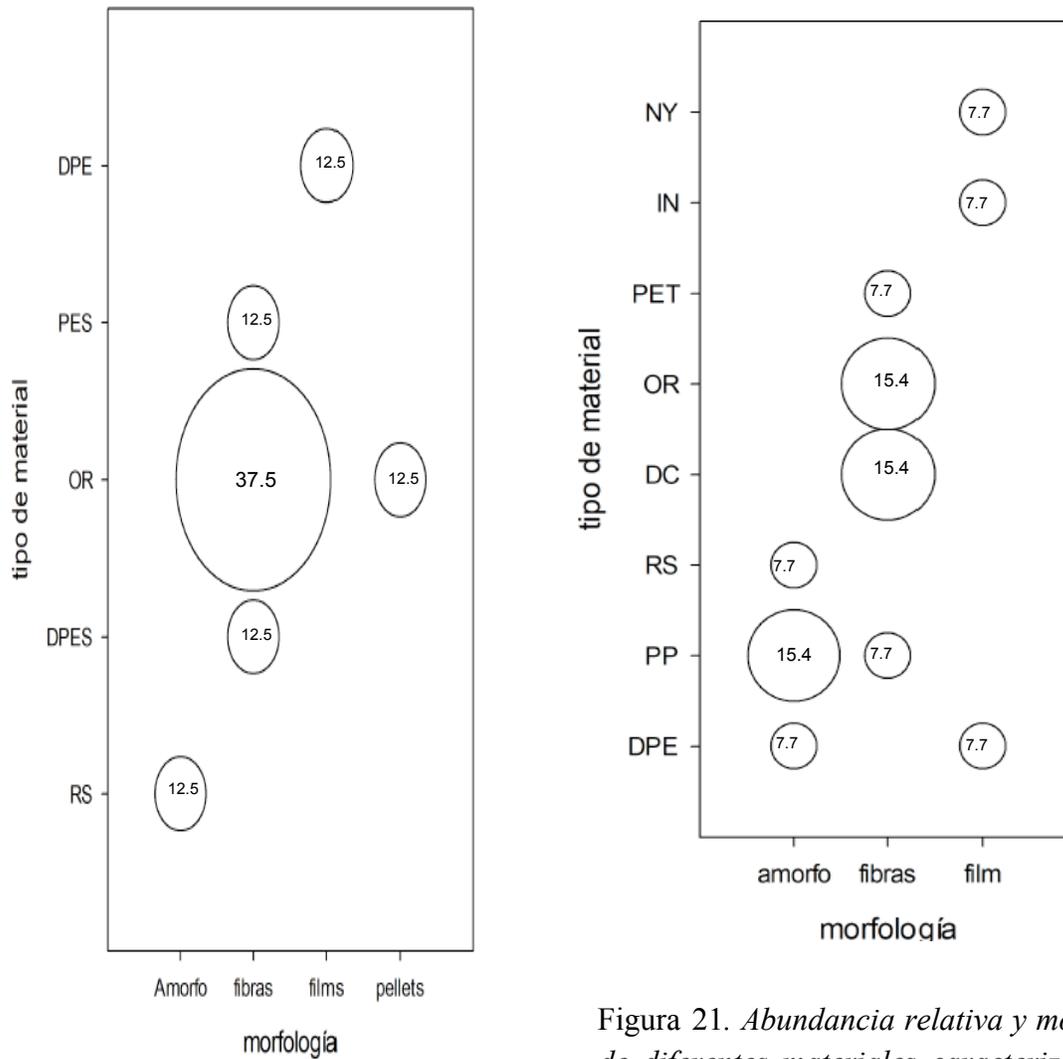


Figura 20. Abundancia relativa y morfología de diferentes materiales caracterizador por FTIR, aislados de muestras de sal de la costa del pacífico guatemalteco durante el mes de diciembre 2019. DPE. Derivado de poliestireno. PES. Poliestireno. OR. Partícula orgánica. DPES. Derivado de poliestireno. RS. Resinas.

Figura 21. Abundancia relativa y morfología de diferentes materiales caracterizador por FTIR, aislados de muestras de sal de la costa del pacífico guatemalteco durante el mes de marzo 2020. NY. Nylons, IN. Partículas inorgánicas, PET. Tereftalato de polietileno, OR. Partículas orgánicas, DC. Derivados de celulosa, RS. Resinas. PP. Polipropileno, DEP. Derivado de poliestireno.

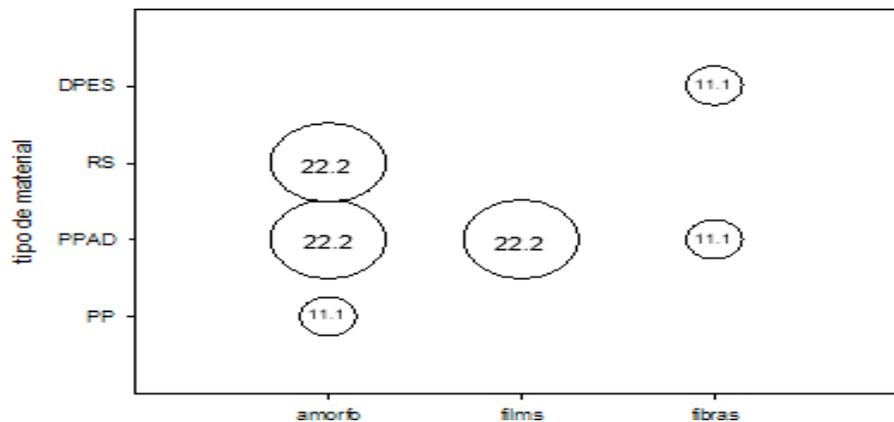


Figura 22. Abundancia relativa y morfológica de diferentes materiales caracterizados por FTIR, aislados de muestras de sal de origen comercial. DPES. Derivado de poliestireno, RS: Resinas, PPAD: polietileno de alta densidad, PP: polipropileno.

**Tabla 14.**

Porcentaje de abundancia para cada elemento determinado en sales provenientes de la costa sur de Guatemala, por medio de extracción con bombeo vs extracción del manto freático, durante el mes de diciembre de 2019., por DXFR

metal	bombeo		metal	manto freático	
	% óxido	%elemental		% óxido	%elemental
Cl		32.45	Cl		44.50
Na		21.04	Na		28.86
Br	0.03	0.02	Br	0.06	0.02
Ca	1.56	0.76	Ca	1.07	0.34
Cr	0.02	0.01	Cr	0.00	0.00
Cu	0.01	0.01	Cu	0.01	0.00
Fe	0.03	0.02	Fe	0.03	0.01
I	0.12	0.06	I	0.00	0.00
K	1.59	0.90	K	0.79	0.29
Mg	106.01	43.35	Mg	82.80	22.41
Ni	0.02	0.01	Ni	0.02	0.01
S	5.04	1.37	S	5.14	0.92
Si	0.00	0.00	Si	0.00	0.00
Sr	0.02	0.01	Sr	0.01	0.01
Ti	0.00	0.00	Ti	0.00	0.00
Zn	0.01	0.00	Zn	0.01	0.00
Al	0.00	0.00	Al	11.02	2.62

**Tabla 15.**

*Porcentaje de abundancia para cada elemento determinado en sales provenientes de la costa sur de Guatemala, por medio de extracción con bombeo vs extracción del manto freático, durante el mes de marzo 2020, por DRFX*

metal	bombeo		metal	manto freático	
	% óxido	%elemental		% óxido	%elemental
Cl		51.17	Cl		52.43
Na		33.50	Na		34.00
Br	0.06	0.01	Br	0.89	0.14
Ca	2.14	0.32	Ca	9.76	1.19
Cr	0.02	0.00	Cr	0.00	0.00
Cu	0.02	0.00	Cu	0.02	0.00
Fe	0.04	0.01	Fe	4.50	0.54
I	0.35	0.06	I	2.70	0.35
K	1.07	0.19	K	25.79	3.65
Mg	107.50	13.53	Mg	51.54	5.30
Ni	0.02	0.00	Ni	0.05	0.01
S	6.01	0.50	S	4.72	0.32
Si	1.45	0.14	Si	22.25	1.77
Sr	0.02	0.00	Sr	0.60	0.09
Ti	4.52	0.57	Ti	0.00	0.00
Zn	0.01	0.00	Zn	1.58	0.22
Al	0.00	0.00	Al	0.00	0.00

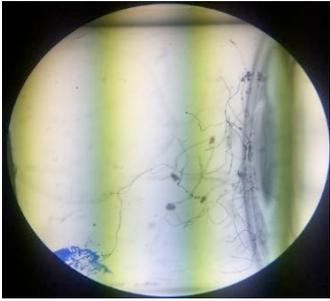
		
<p>A. Fibras amorfas identificadas en muestra de sal de la costa del pacifico muestreo mes de marzo</p>	<p>B. Fibra gruesa de color negra identificada en muestra de sal de origen comercial</p>	<p>C. Fibra hallada en una muestra de cerveza. Nota tomado de (Poma, 2019)</p>

Figura 23. Comparación de fotografías de microplásticos identificados. A. y B. Microplásticos aislados en sal. Proyecto B-34-2020. C. microplásticos aislados en cerveza artesanal e industrial.

## 16. Análisis y Discusión de Resultados

Esta investigación tuvo como objeto de estudio, 35 muestras de sal, (22 proveniente de la costa del pacifico y 13 de marcas existentes en el mercado guatemalteco, un producto de alto consumo diario en la población, y se pretendió indagar sobre la posible contaminación por microplásticos. Al iniciar el proyecto de investigación se realizaron muestreos en el mes de diciembre 2019, inicio de la temporada de producción de sal en Guatemala y posteriormente en el mes de marzo 2020, época de mayor producción y podría tomarse como fase final de la temporada. Al no existir antecedentes bibliográficos y registros actualizados sobre la cantidad de salinas ubicadas en las costas del pacifico, a través del Google Earth se procedió a ubicar las mismas seleccionando para su muestreo aquellas que se encontraban ubicadas a lo largo de las costas con fácil acceso vehicular y cercano a comunidades o poblados, adicionalmente se pudo comprobar la existencia de 2 procesos extractivos del agua de mar clasificándolas como bombeo de agua y por medio de pozos artesianos o manto freático.

Dicha clasificación fue comprobada mediante observación directa y/o consultas verbales con el encargado de la salina al momento de tomar la muestra de sal.

De acuerdo a la metodología de análisis de ensayo, el proceso de oxidación utiliza peróxido de hidrógeno al 50% como agente oxidante, se añadió tanto al filtrado como al residuo para degradar y eliminar cualquier partícula o residuo de origen natural, descomponer la materia orgánica presente en la muestra y asegurar que las micropartículas no se pierdan en el proceso. El peróxido de hidrógeno aporta grupos OH y radicales libres que pueden atacar a cualquier sustancia orgánica oxidable (Karami et.al., 2017). Con los resultados obtenidos en las Tablas 2, 5 y 9, se considera que los factores analizados no influyen en los resultados obtenidos en las diferentes muestras ya que, a pesar de trabajar con toda la inocuidad del caso, no se puede excluir la presencia de partículas en el ambiente, material de vidrio o incluso en la vestimenta y su cantidad es mínima casi despreciable.

En primer lugar, se comprobó de manera visual la presencia de microplásticos mediante identificación en el estereoscopio con un objetivo W10x20. En la figura 12 y 14, se muestran las abundancias totales de las partículas contadas en cada muestra que fue analizada según el proceso de producción de la salina, para el inicio y final de temporada de producción. La abundancia de micropartículas plásticas que se encontró en las sales de proceso de bombeo de agua fue de 733-911 partículas/kg, mientras que en los procesos con transporte de agua del manto freático fue de 316-809 partículas/kg al inicio de la temporada de producción de sal. Las abundancias de micropartículas plásticas para el mes de marzo 2020, correspondiente al proceso de bombeo de agua fue de 736-2292 partículas/kg y la proveniente del manto freático fue de 568-5129 partículas/kg, respectivamente.

Estos valores obtenidos en el conteo de microplásticos indican el grado de contaminación por microplásticos presente en uno de los productos de mayor consumo en el país, se analiza conjuntamente la ubicación geográfica de las muestras ya que la presencia de micropartículas en el ambiente como el polvo, puede ser un factor importante que influye al determinar que los microplásticos como micropartículas se encuentran en el producto final (sal de mesa) y son el

resultado de la contaminación del ambiente, a la presencia de actividad antropogénica y económica en los entornos de las industrias productoras, así como elementos fuentes de micropartículas entre ellos, poblados, playas públicas, la pesca en alta mar (uso de redes), el material que usan (geomembranas plásticas) para el proceso de evaporación de sal y la cercanía a las islas de basura en el océano que a través de las mareas puedan llegar esas micropartículas cercanas a las costas, todos ellos son factores que deben considerarse y que afectan directamente al proceso y representan una fuente de contaminación externa para el producto.

En las Figuras 13 y 15, se muestra la distribución porcentual de las morfologías tomadas en cuenta para todas las partículas observadas a través del estereoscopio. Las morfologías más recurrentes son las de las fibras y los fragmentos, con un porcentaje de hasta 98.7% y 19.2%, en el muestreo del mes de diciembre 2019, y morfologías en el muestreo del mes de marzo son las fibras y amorfos, con un porcentaje de hasta 97.8% y 12.3%, respectivamente.

Como se observa en las figuras 16 y 17, los microplásticos encontrados en las muestras corresponden tanto a fibras como a fragmentos, (films y pellets) que se presentaron de diferentes formas, tamaños y colores. Los fragmentos presentaban formas redondas, cuadradas o irregulares y las fibras eran alargadas, enrolladas o curvadas. Los colores variaban entre transparente, azul, rojo, verde y negro. Para establecer la dimensión de los microplásticos se tomaron las medidas tanto del largo como del ancho para los fragmentos y del largo para las fibras y films. Con estos datos, se calculó la distribución de tamaño para los fragmentos con la finalidad de obtener una medida promedio de los datos ya que estos se presentaron de forma dispersa. Los microplásticos clasificados como films fueron los que mayor tamaño presentaron ya que los valores obtenidos se encuentran en un rango de 2000 a 3000  $\mu\text{m}$ . Esta distribución de tamaños dentro de las morfologías observadas y la distribución de los colores, nos da un indicativo de la procedencia del microplástico, se observó que en la mayoría de las muestras los tamaños se encuentran en 500-3000 $\mu\text{m}$ , tomando en cuenta que las morfologías de estos no fueron de partículas uniformes, sino mayoritariamente amorfas, films y fibras, puede decirse que la mayoría de los plásticos aislados se tratan de microplásticos secundarios derivados del proceso de degradación de materiales más grandes.

Otro objetivo de este estudio consistió en la medición de los microplásticos presentes en las muestras de sal de mayor consumo en el país, se realizó mediante un muestreo al azar en supermercados en la ciudad capital de mayor afluencia y venta de sal de mesa recolectando 13 marcas de sal identificadas que son de producción local y provenientes de las costas del pacífico.

Nuevamente se realizó un conteo de partículas/kg de sal y una clasificación por fibras y fragmentos identificados según se observan en la Tabla 9 que corresponde a un comportamiento similar presentado a las muestras de sal recolectadas en las salinas de la costa del pacífico.

En la Figura 18, se muestran las abundancias totales de las partículas contadas en cada muestra que fue analizada y según el proceso de producción que se logró identificar su procedencia.. La abundancia de micropartículas plásticas que se encontró en las sales comerciales fue de 32-3475 partículas/kg. La distribución porcentual de las morfologías más recurrente es de las fibras, con un porcentaje de hasta 99.6%. La muestra C-J tuvo la mayor recurrencia de pellet de entre todas las muestras del estudio, con 51.9%. según se puede observar en la figura 19. Lo que nos confirma que todas las sales de consumo poseen concentraciones importantes de contaminación con microplásticos.

Para el análisis de las muestras por espectrometría IR, se procedió a clasificar los materiales que tuvieran características morfológicas y de coloración similar. Seguidamente, estos materiales fueron analizados en el equipo de FTIR, en un rango de 600-4000nm, el análisis de bandas se realizó de manera manual comparando la intensidad y número de onda de cada banda para muestras analizadas, finalmente la identidad del material fue verificada utilizando la biblioteca virtual para plásticos, polímeros y resinas de Wiley, Know it All Informatic System 2020 Academic Edition.

Se puede observar una abundancia mayor para polipropileno de alta densidad en muestras de tipo comercial, (figura 22), este tipo de material no se observó en muestras recolectadas de la costa del pacífico guatemalteco, (figuras 20 y 21) en cada época estacional, sin embargo, la variedad

de otros tipos de materiales fue mayor en muestras recolectadas de la costa, así como la presencia de materiales orgánicos e inorgánicos. Los materiales caracterizados todos eran microplásticos identificados como: polietileno de alta densidad (17.24%), polipropileno (13.79%), resinas o adhesivos (13.79%), derivados de poliestireno (10.34%), derivados de polietileno (6.90%), nylon (3.45%), tereftalato de polietileno (3.45%) y poliestireno (3.44%) el porcentaje restante consistía principalmente en minerales, derivados de celulosa y materiales orgánicos.

En los análisis estadísticos, según tablas 4, 6 y 7 se encontró que no existe una diferencia significativa en las abundancias de microplásticos entre los métodos de producción de sal común para cada período de la temporada. Pero si se determinó, que entre el inicio y el final de la temporada de producción de sal si existe diferencia significativa en las abundancias de microplásticos ( $p < 0.05$ ). según se observa en las tablas 5 y 8 respectivamente.

En las muestras de sal comercial, los análisis estadísticos a los datos presentados, nos indica que no se encontró diferencias significativas en las abundancias de microplásticos de 5 muestras de sal común de procedencia comercial y tampoco existe diferencias significativas en las abundancias de microplásticos en las sales provenientes de supermercados y las que fueron recolectadas en salinas de la costa del pacifico guatemalteco al final de la temporada de producción. Según se observa en las tablas 10-13 respectivamente.

Las tablas 14 y 15, nos muestran la composición química promedio de la sal de mesa para consumo humano, muestreada en las costas del pacifico guatemalteco, la cual no presenta ningún contaminante en concentraciones que resulten nocivas para la salud del consumidor y no supera los límites máximos según lo establece la norma guatemalteca COGUANOR NGO 34 024:96.

Las micropartículas encontradas en las muestras estudiadas si son consideradas como microplásticos, ya que al comparar con imágenes de otros estudios si presentan semejanza visual idénticas o parecidas, los tamaños determinados se encontraron dentro del rango de los microplásticos, inferior a 5 mm de diámetro o de longitud y con formas de tendencia esférica, fragmento o filamento.

La identificación visual de las micropartículas consideradas como microplásticos presentes en las muestras puede implicar errores y malas interpretaciones por el investigador tanto en la observación, como en el conteo y medición de las partículas, por ello se realizó una comparación con imágenes de otros estudios como se puede observar en la figura 23.

## 17. Conclusiones

1. El proceso de bombeo de agua de mar presento en el mes de marzo 2020 mayor abundancia de micropartículas de plástico con relación al efectuado en el mes de diciembre 2019.
2. En el proceso con transporte de agua del manto freático las abundancias de microplásticos son mayores al final de la temporada de producción de sal con relación al inicio de la misma.
3. La distribución porcentual de las morfologías más recurrentes son las fibras y fragmentos de microplásticos para las dos etapas estacionales inicio y fin de la producción de sal en las costas del pacífico guatemalteco.
4. Todas las muestras de sal obtenidas en los supermercados locales y de mayor consumo en Guatemala poseen microplásticos que están entre el rango comprendido de 32-3475 partículas/kg.
5. La naturaleza polimérica de las micropartículas plásticas fue: polietileno de alta densidad (17.24%), polipropileno (13.79%), resinas o adhesivos (13.79%), derivados de poliestireno (10.34%), derivados de polietileno (6.90%), nylon (3.45%), tereftalato de polietileno (3.45%) y poliestireno (3.44%) en ambos procesos extractivos para la obtención de sal en Guatemala.
6. Propileno de alta densidad es el tipo de polímero de mayor abundancia en las muestras de sal de tipo comercial producidas en Guatemala.
7. La distribución de morfologías y colores, nos da un indicativo de la procedencia del microplástico, siendo estas mayoritariamente amorfas, films y fibras, en ambos procesos extractivos de agua de mar la mayoría de las micropartículas aisladas son clasificadas como microplásticos secundarios

8. Se cumple la hipótesis de investigación: Existen microplásticos en la sal extraída por evaporación en las costas del pacífico guatemalteco esto incluye ambos procesos identificados en Guatemala.
9. No se encontró diferencias significativas en las abundancias de microplásticos de 5 muestras de sal común de procedencia comercial.
10. No existe diferencias significativas en las abundancias de microplásticos en las sales provenientes de supermercados y las que fueron recolectadas en salinas de la costa del pacífico guatemalteco al final de la temporada de producción.
11. No existe una diferencia significativa en las abundancias de microplásticos entre los métodos de producción de sal común para cada período de la temporada de producción.

## **18. Impacto esperado**

Desde el punto de vista académico, la importancia de esta investigación básica, servirá para establecer una metodología estandarizada y científicamente validada para recoger y analizar datos; evaluar los tratamientos para su caracterización y analizar los efectos sobre el medio ambiente y la salud de los principales microplásticos identificados en la sal que se produce localmente y que consumimos a diario.

La investigación está dirigida a toda la población guatemalteca, ya que los microplásticos se han convertido en uno de los mayores retos medioambientales del siglo XXI. Han aumentado a un ritmo vertiginoso y su acumulación ha llegado a tal punto que se pueden encontrar en grandes cantidades en casi cualquier rincón del planeta y ahora en nuestros alimentos. El impacto en los distintos ecosistemas es indudable, pero, saber cómo afectan a la salud es un reto aún más grande.

Aunque se necesitan más investigaciones para saber cuáles son los efectos de los microplásticos ya varios estudios confirmaron un impacto real en la vida de las personas, que pueden sufrir de obstrucción de los alvéolos pulmonares y alterar las hormonas derivando en otros problemas como infertilidad o hipotiroidismo. (Ensign *et al.*, 2012).

## 19. Referencias

1. A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society “Informs the forthcoming scientific. Opinion of the European Commission Group of Chief Scientific Advisors, SAPEA, (enero, 2019) Alemania. Recuperado en: <https://www.sapea.info/wp-content/uploads/report-printable.pdf>
2. Anderson, J., Oark, B & Palace, B. (2016) Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian. Ecosystems. *Environmental Pollution*, 218, 269-280.
3. Bandow, N., Will, V., Wachtendorf, V., Simon, F.G., 2017. Contaminant release from aged microplastic. *Environ. Chem.* 14 (6), 394–405.
4. Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I., Canning-Clode, J., 2016. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuar Coast Shelf S* 178, 189–195.
5. Browne, M. A., Crump, P., Nievem, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, T. (2011), Accumulation of microplastic on Shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science & Technology* 42(21,) 9175. DOI: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es201811s>.
6. Cox, K.D., Covernton, G.A., Davies, H.L., Dower, J.F., Juanes, F., Dudas, S.E., 2019. Human consumption of microplastics. *Environ. Sci. Technol.* 53 (12), 7068–7074. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>
7. Cózar, A., Echevarría, F., González-gordillo, J. I., Irigoien, X., & Úbeda, B. (2014). Plastic debris in the open ocean, 17–19. DOI:<https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>
8. Dongqi, Y., Huanhong, S., Lan, L., Jiana, L., Khalida, J. & Prabhu, K., (2015). Microplastic Pollution in Table Salts from China. *Environmental Science & Technology*. 49, 13622–13627. DOI: 10.1021/acs.est.5b03163. Recuperado el 6 de agosto de 2018: <https://www.researchgate.net/publication/283077972>.

9. El lago de Atitlán contaminado con micro plásticos” Julio, 2018. Guatevisión, recuperado: <https://www.guatevision.com/noticias/nacional/lago-atitlan-contaminado-microplastico/>
10. Ensign, L.M., Cone, R., Hanes, J., 2012. Oral drug delivery with polymeric nanoparticles: the gastrointestinal mucus barriers. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 64 (6), 557–570. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2011.12.009>.
11. Galloway, T.S., 2015. Micro- and nano-plastic and human health. In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham, pp. 343–366. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_13).
12. Gewert, Berit; Plassmann, Merle M.; MacLeod, Matthew (1 de septiembre de 2015). «Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment». *Environmental Science: Processes & Impacts* (en inglés) 17 (9): 1513-1521.
13. Gomez, D., Baptista J. (2016). Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. DOI: [doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.04.0097](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.04.0097).
14. Iñiguez, M., Conesa, J., & Fullana, A. (2017). Microplastic in Spanish Table Salt. *Scientifics reports*. Pag (1-5). DOI:10.1038/s41598-017-09128-x
15. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... Law, K. L. (2015). *the ocean*, 347(6223).
16. Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Larat, V., & Galloway, T. S. (2017). The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Nature Publishing Group*, (March), 1–11. [doi.org/10.1038/srep46173](https://doi.org/10.1038/srep46173)
17. “La isla de desechos plásticos que flota en el caribe.”(2017,Octubre,23). Prensa Libre. Recuperado de: <https://www.prensalibre.com/internacional/desechos-plasticos-amenazan-aguas-del-caribe/>
18. Lebreton, L., et al., 2018. Evidence that the Great pacific garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Sci. Rep.* 8, 4666
19. Li, J., Zhang, K., Zhang, H., 2018. Adsorption of antibiotics onmicroplastics. *Environ. Pollut.*237, 460–467.
20. Martinez, P., Martinez, E. (2004). *Operaciones de Separación en Ingeniería Química. Métodos decálculo*. (2ª. Ed.) España: Pearson Prentice Hall.

21. Oßmann, B.E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S.H., Dicke, W., 2018. Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Res.* 141, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.027>.
22. Plastics Europe, Association of plastics manufacturers. «Plastics – the Facts 2017: An analysis of European plastics production, demand and waste data»
23. Salim, S.Y., Kaplan, G.C., Madsen, K.L., 2013. Air pollution effects on the gut microbiota. *Gut Microbes* 5 (2), 215–219. <https://doi.org/10.4161/gmic.27251>.
24. Szentkuti, L., 1997. Light microscopical observations on luminally administered dyes, dextrans, nanospheres and microspheres in the pre-epithelial mucus gel layer of the rat distal colon. *J. Control. Release* 49, 233–242. [https://doi.org/10.1016/S0168-3659\(96\)01600-8](https://doi.org/10.1016/S0168-3659(96)01600-8).
25. Teuten, E.L., Rowland, S.J., Galloway, T.S., Thompson, R.C., 2007. Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environ Sci Technol* 41, 7759–7764.
26. Wu, P., Huang, J., Zheng, Y., Yang, Y., Zhang, Y., He, F., Chen, H., Quan, G., Yan, J., Li, T., y Gao, B. (2019). Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 184 (2019) 109612.
27. Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic Pollution in Table Salts from China. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03163>

20. **Apéndice 1**

**Listado de los integrantes del equipo de investigación**

**Contratados por contraparte y colaboradores**

Nombre	Firma
Ingrid Lorena Benitez Pacheco	
Cesar Alfonso García Guerra	

**Contratados por la Dirección General de Investigación**

Nombre	Categoría	Registro de Personal	PAGO DIGI		FIRMA
			SI	NO	
Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco	Coordinadora	14073			
Lcda. Cristhal Dulce Janet Alvarado Escobar	Investigadora 1	20170164			
Br. Ana Luisa Isabel Droege Romero	Auxiliar de Investigación II	20200542			
Br. José Rodrigo Parada Moscoso	Auxiliar de Investigación I	20200199			

Guatemala, 26 de febrero 2021

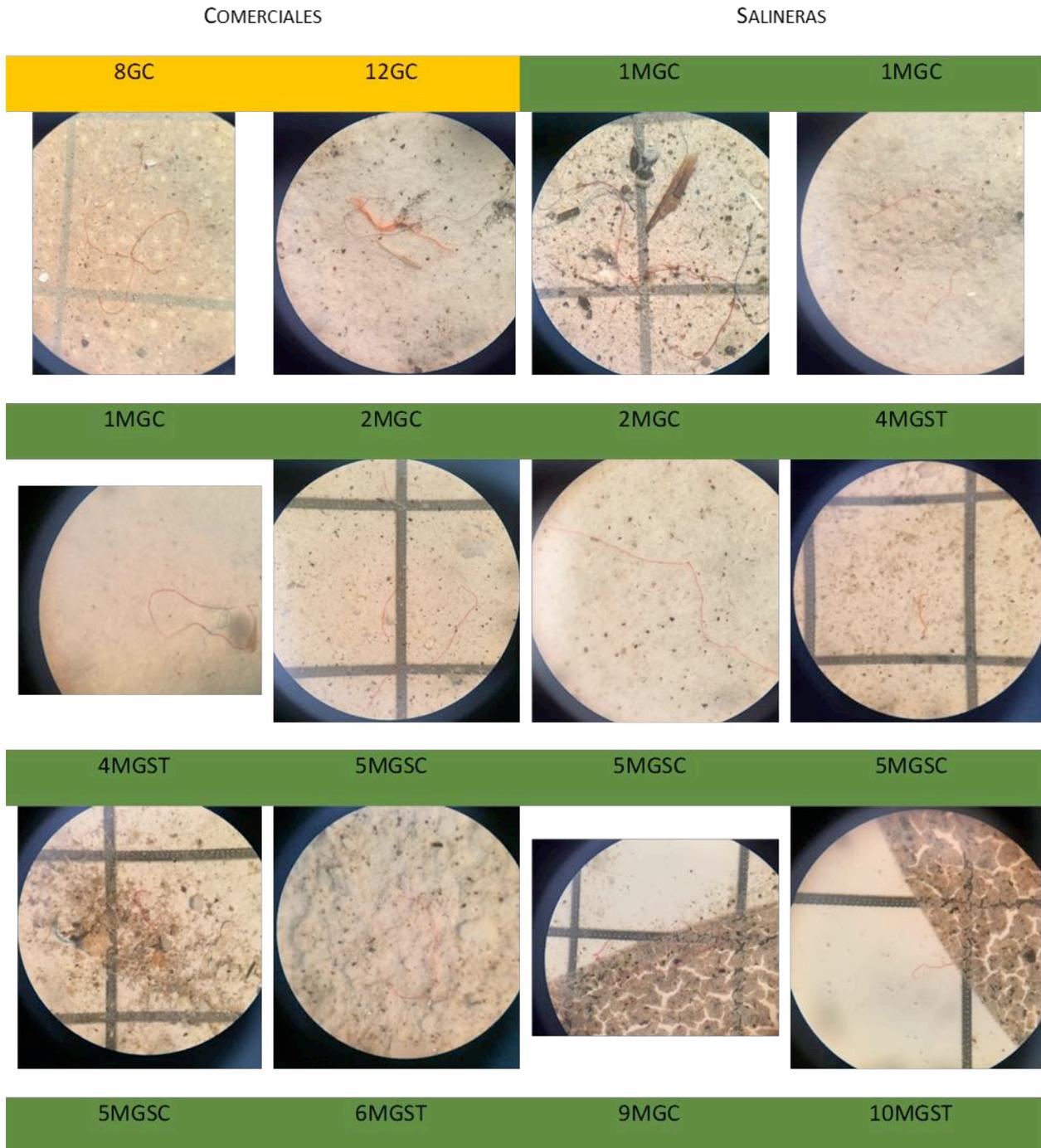
  
MSc Ingrid Lorena Benitez Pacheco  
Proyecto de Investigación

  
= Dra. Hilda Valencia de Abril  
Programa Universitario de Investigación

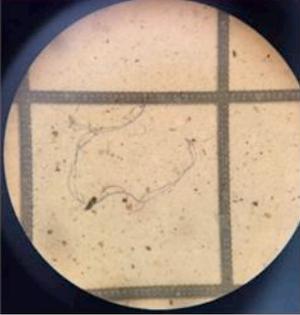
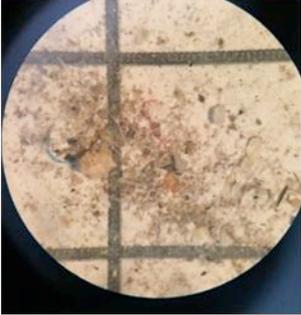
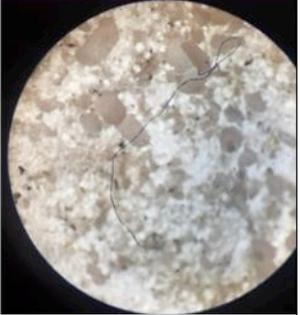
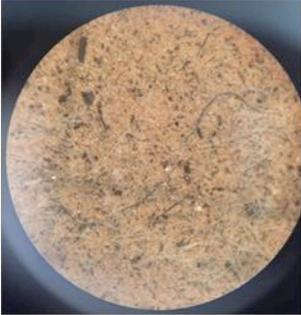
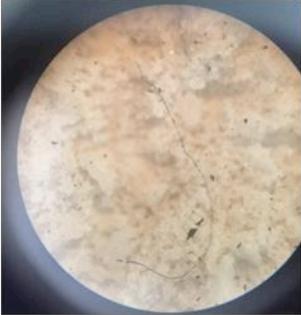
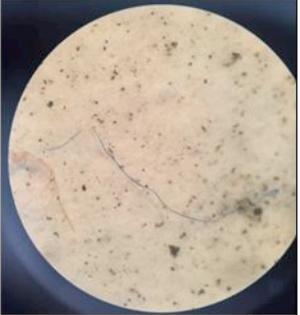
  
Ing. Agr. Rufino Salazar  
Coordinador General de Programas

**Apéndice 2 Imágenes de microplásticos aislados**

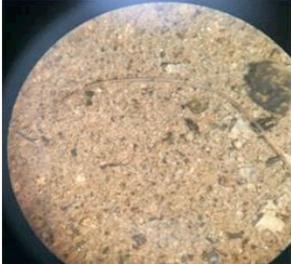
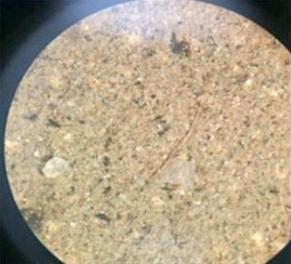
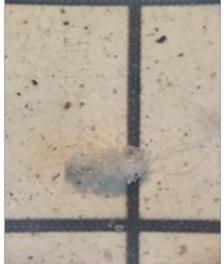
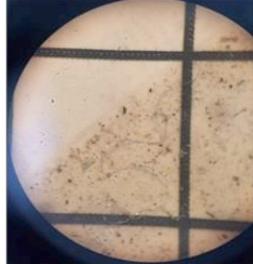
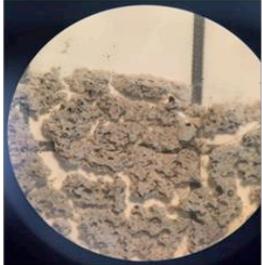
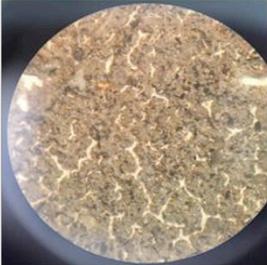
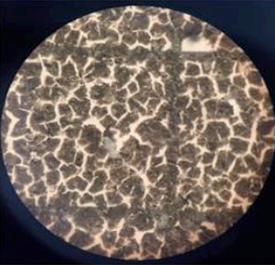
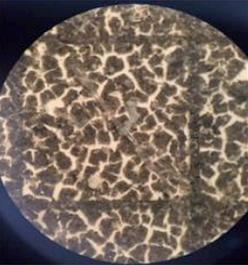
*Fibras rojas en muestras comerciales y de salineras*



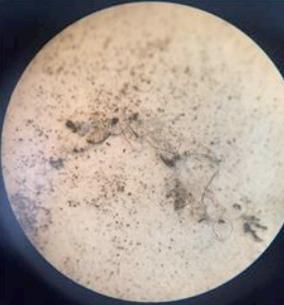
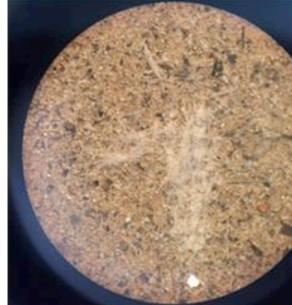
*Fibras azules en muestras comerciales y de salineras*

COMERCIAL	SALINERAS		
13RC	4MGST	4MGST	5MGSC
			
10MGST	10MGST	10MGST	10MGST MORADA
			
10MGST CELESTE	11MGSC	11MGSC	12MGC
			
12MGC CELESTE	12MGC CELESTE	13MGSN	13MGSN

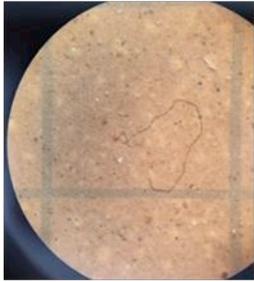
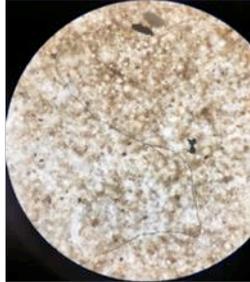
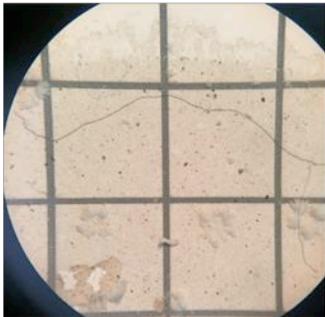
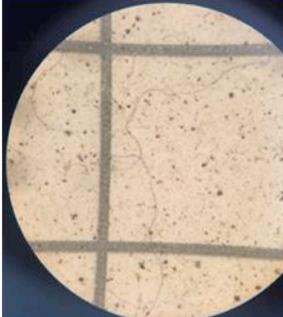
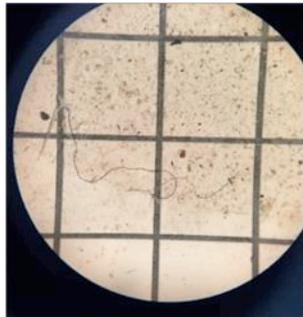
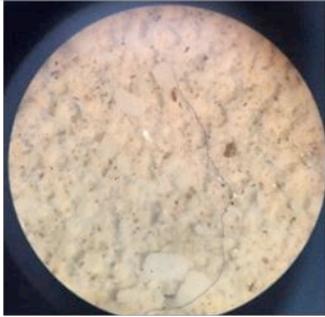
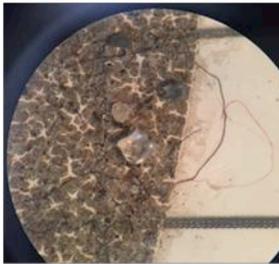
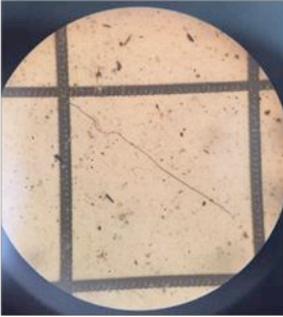
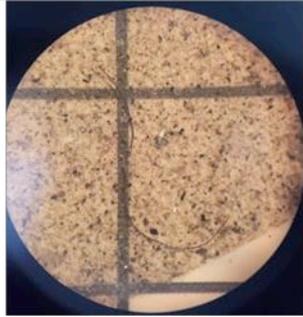
*Fibras transparentes en muestras comerciales y de salineras*

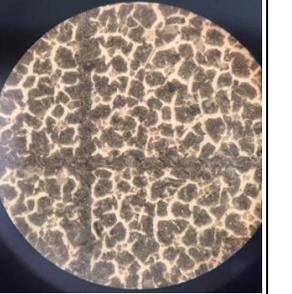
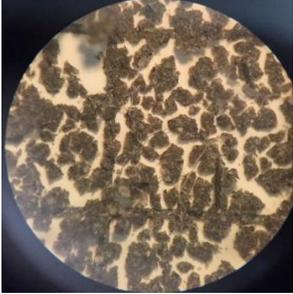
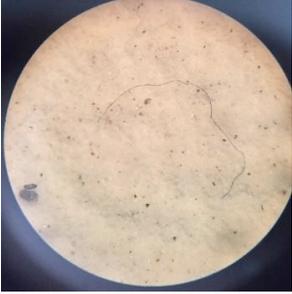
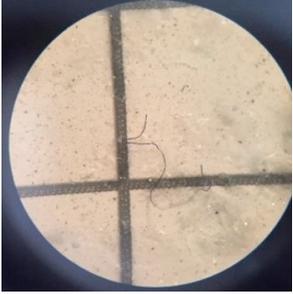
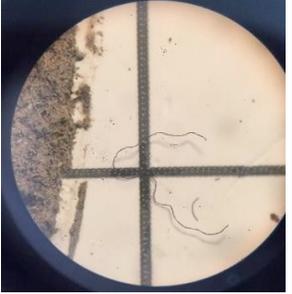
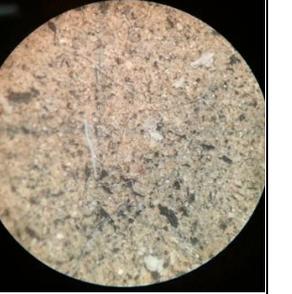
4MGST fibras transparentes varias	4MGST	8MGSC marañita, diferente a lo demás	8MGSC
			
10MGST leñosa	11MGSC	11MGSC	11MGSC PELO?
			
11MGSC	11MGSC	11MGSC fibras muy largas	11MGSC amorfa, leñosa, nose porque esta aqui
			
12MGC	12MGC	12MGC	12MGC
			

*Cúmulo de fibras en muestra comerciales y de salineras (marzo 2020)*

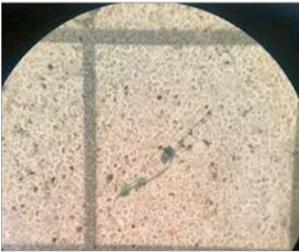
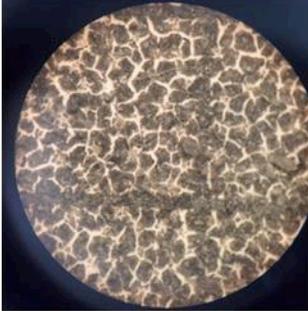
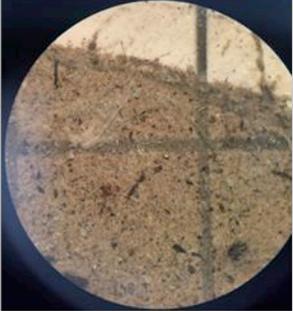
COMERCIALES			
<p><b>12GC</b></p> <p>Conjunto de fibras enmarañadas, marcadamente diferentes entre sí, que suele ser de gran tamaño, lo suficiente para proveer un IR para cada una. ¿?</p>			
			
SALINERAS MARZO			
<b>7MGSC</b>	<b>9MGC</b>	<b>10MGST</b>	<b>10MGST</b>
			
<b>10MGST AMORFO</b>	<b>11MGSC</b>	<b>11MGSC</b>	<b>12MGC</b>
			
<b>13MGSN</b>	<b>13MGSN</b>	-	-

*Fibras negras en muestras comerciales y de salineras (marzo 2020)*

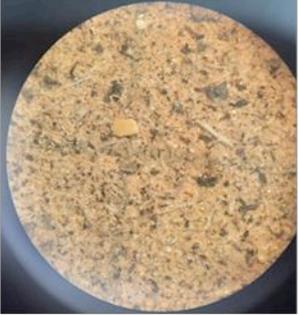
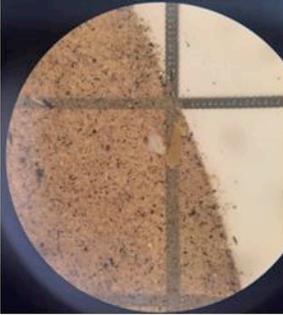
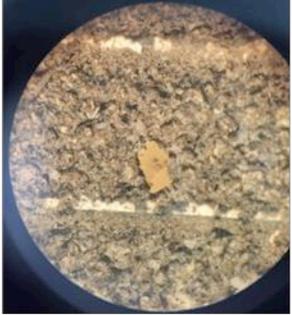
COMERCIALES			
8GC Fibras negras con dobleces variados	12GC Fibra gruesa	13RC	13RC
			
SALINERAS MARZO			
2MGC Fibras negras no muy distinguibles entre sí, a menos que se trate de clasificar por forma en que tienen algunos dobleces ???	2MGC	3MGC	4MGST
			
5MGSC	6MGST	8MGSC	8MGSC
			
10MGST	11MGSC	11MGSC	11MGSC

FIBRAS NEGRAS			
12MGC	12MGC	12MGC	12MGC
			
12MGC	12MGC	13MGSN	13MGSN
			
13MGSN	13MGSN	13MGSN	13MGSN
			
13MGSN	13MGSN	13MGSN	13MGSN
			

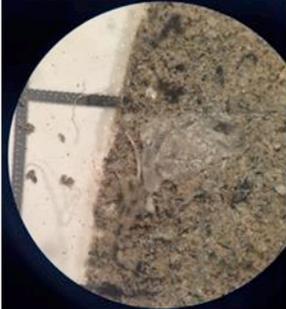
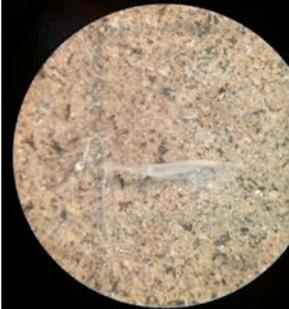
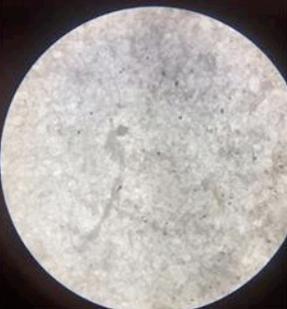
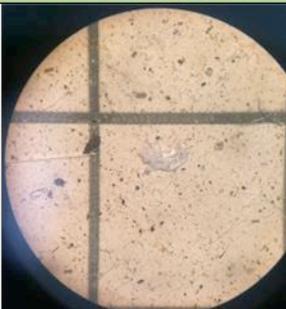
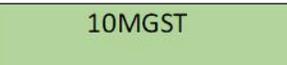
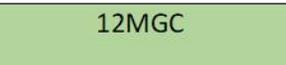
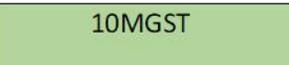
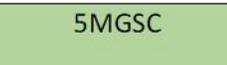
*Fibra verde / detalle verde en muestras de salineras (marzo 2020)*

SALINERAS MARZO			
<p><b>3MGC</b></p> <p>Fibra transparente con pedacitos de algo verde</p>	<p><b>3MGC</b></p> <p>Fibra verde, larga, opaca.</p>	<p><b>12MGC</b></p> <p>Fibra verde transparente</p>	<p><b>11MGSC</b></p>
			

*Films amarillos en muestras de salineras*

SALINERAS			
<p><b>10MGST</b></p>	<p><b>10MGST</b></p>	<p><b>11MGSC</b></p>	<p><b>11MGSC</b></p>
			

*Films transparentes*

<p><b>12-GC</b></p> <p>Film muy grande</p>	<p><b>13-MGSN</b></p> <p>Visible, pero verificar tamaño</p>	<p><b>13-MGSN</b></p> <p>Tiras de film</p>	<p><b>5MGSC</b></p>
			
<p><b>9MGC</b></p>	<p><b>4MGST</b></p>	<p><b>4MGST</b></p>	<p><b>8MGSC</b></p>
			
<p><b>4MGST</b></p> <p>Films pequeños y delgados</p>	<p><b>7MGSC</b></p>	<p><b>9MGC</b></p>	<p><b>8MGSC</b></p>
			
<p><b>10MGST</b></p>	<p><b>12MGC</b></p>	<p><b>10MGST</b></p>	<p><b>5MGSC</b></p>
			

*Apéndice 3 Ubicación de salinas muestreadas*





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Guatemala, 26 de febrero de 2021

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

Señor director:

Adjunto a la presente el informe final “**Microplásticos en sal de la costa del pacifico guatemalteco**” con código B-034-2020, coordinado por la MSc. Ingrid Lorena Benitez Pacheco y avalado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

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

Así mismo, la coordinadora del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del **informe final y del manuscrito científico**.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”

  
MSc. Ingrid Lorena Benitez Pacheco  
Coordinadora del proyecto de investigación B-034-2020

  
Inga. Telma Marcela Cano Morales  
Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería -CII  
Facultad de Ingeniería -FIUSAC





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

---

