

PROGRAMA UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA EN SALUD

MICROPLÁSTICOS EN AGUA PURIFICADA, PRODUCIDA Y ENVASADA EN  
GUATEMALA

CÓDIGO PROYECTO B23-2022

Número de partida [4.8.63.0.22](#)

Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Facultad de Ingeniería-USAC

Inga. Paula María Vásquez Cifuentes

Ana Luisa Droege Romero

Carlos Rodolfo Vargas López

Guatemala, 28 de febrero de 2023

Contraportada (reverso de la portada)

### **Autoridades**

Dra. Alice Burgos Paniagua  
Directora General de Investigación

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

Dra. Hilda Valencia de Abril  
Coordinador(a) del Programa de Investigación

### **Autores**

Paula María Vásquez Cifuentes  
Coordinador(a) del proyecto

Ana Luisa Droege Romero  
Auxiliar de Investigación II

Carlos Rodolfo Vargas López  
Auxiliar de investigación I

Msc. Ingrid Lorena Benítez Pacheco  
USAC

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

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria 4.8.63.0.22 con código B23-2022 en el Programa Universitario de Investigación Interdisciplinaria en Salud.

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



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Dirección General de Investigación**



## INFORME FINAL

### Índice general

1.	Resumen y palabras claves .....	1
2.	Introducción.....	2
3.	Planteamiento del problema .....	2
4.	Delimitación en tiempo y espacio .....	3
4.1	Delimitación en tiempo .....	3
4.2	Delimitación espacial.....	4
5.	Marco teórico.....	4
6.	Estado del arte .....	7
7.	Objetivos.....	8
7.1	Objetivo general .....	8
7.2	Objetivos específicos .....	8
8.	Hipótesis.....	9
8.1	Hipótesis de investigación: .....	9
8.2	Hipótesis estadística:.....	9
9.	Materiales y métodos.....	9
9.1	Enfoque de la investigación.....	9
9.2	Técnicas e instrumentos .....	9
10.	Resultados y discusión .....	11

10.1	Resultados .....	11
10.2	Discusión de resultados.....	26
11.	Referencias .....	29
12.	Apéndice.....	32
13.	Vinculación.....	37
14.	Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual.....	37
15.	Aporte de la propuesta de investigación a los ODS: .....	37
16.	Orden de pago final .....	38
17.	Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación .....	38
18.	Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario.....	39
19.	Visado de la Dirección General de Investigación .....	39

### Índice de figuras

1.	Porcentaje de micropartículas por litro observadas a través del tiempo .....	12
2.	Morfología de micropartículas por litro observadas durante el estudio .....	12
3.	Morfología de micropartículas por litro por origen, tinción y tiempo de prueba.....	13
4.	Fotografías de partículas según su morfología.....	14
5.	Micropartículas con tinción según los distintos métodos utilizados .....	15
6.	Espectro FT-IR de la muestra CM2A0-2 .....	24
7.	Espectro FT-IR de la muestra LC6A0- .....	24
8.	Espectro FT-IR de la muestra LC6B0.....	25
9.	Espectro FT-IR de la muestra IM2B3-4.....	25
10.	Espectro FT-IR de la muestra IM3B0 .....	26
11.	Micropartículas en filtración .....	32
12.	Micropartículas fluorescentes por el compuesto Rojo Nilo .....	33
13.	Equipo de filtración.....	34
14.	Fotografía presentada en FOTOCYT 2022 .....	34
15.	Visita y vinculación con el Laboratorio de Incocuidad, MAGA.....	35

16. Formato de lectura de MPs en filtros .....	36
--	----

### Índice de tablas

1. Rango de volumen de empaque y su codificación .....	10
2. Cantidad de micropartículas por litro observadas según el proceso de purificación a través del tiempo .....	11
3. Cantidad de micropartículas por litro observadas categoría de tamaño de empaque a través del tiempo .....	11
4. Diferencia estadística entre rangos de distintos orígenes .....	16
5. Diferencia estadística entre rango, en muestras de un mismo origen CM. ....	17
6. Diferencia estadística entre rango, en muestras de un mismo origen IM.....	18
7. Resumen abundancia de micropartículas entre rangos.....	18
8. Prueba estadística t pareado para muestras comerciales (CM) .....	19
9. Continuación de Prueba estadística t pareado para cada muestra comercial (CM).....	20
10. Prueba estadística t pareado para muestras importadas (IM) .....	21
11. Prueba estadística t pareado para muestras locales (LC).....	22
12. Resumen prueba estadística t pareado para cada muestra trabajada .....	23

## 1. Resumen y palabras claves

Los microplásticos son partículas plásticas que en los últimos años han resaltado por su capacidad de entrar a los procesos de producción de varios productos vitales debido a su pequeño tamaño. Entre estos procesos, se encuentra el agua purificada. En esta investigación, se tuvo como objetivo cuantificar y caracterizar la cantidad de partículas extraídas de muestras de agua empackada provenientes de purificadoras comerciales nacionales, purificadoras locales de sectores ciudadanos y de importación. Para eso, se tomó en cuenta el tamaño del empaque para las muestras de una misma marca, así como el tiempo de prueba al momento de adquisición y después de culminar un período de tres meses bajo condiciones en intemperie. Se emplearon métodos de tinción por Rosa de Bengala y Rojo de Nilo para discriminar los grupos de partículas entre su naturaleza orgánica e inorgánica.

Las muestras de purificadoras locales demostraron tener el mayor contenido de microplásticos para todas las muestras, tanto al inicio y final del tiempo de prueba, llegando a 1 MP/mL. El tiempo de exposición a condiciones de intemperie promovió un aumento de partículas en las muestras comerciales e importadas, sin embargo, en las locales se vio impedido por el crecimiento de material orgánico. Se identificaron los siguientes plásticos por medio de FTIR: polietileno de alta densidad (HDPE), nylon, tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP).

Agua potable, rojo de nilo, rosa de bengala, plásticos, FTIR

### **Abstract and keyword**

Microplastics are plastic particles that in recent years have stood out for their ability to enter the production processes of several vital products due to their small size. Among these processes, is purified water. In this research, the objective was to quantify and characterize the amount of particles extracted from bottled water samples from national commercial purifiers, local purifiers of urban and import sectors. For this, the size of the package was taken into account for the samples of the same brand, as well as the test time at the time of acquisition and after completing a period of three months under outdoor conditions. Rose Bengal and Nile Red staining methods were employed to discriminate the groups of particles between their organic and inorganic nature. Local purifier samples were shown to have the highest microplastic content for all samples, both at the beginning and end of the test time, reaching 1 MP/mL. The time of exposure to weather conditions promoted an increase in particles in commercial and imported samples, however, in local samples it was impeded by the growth of organic material. The following plastics were identified by means of FTIR: high-density polyethylene (HDPE), nylon, polyethylene terephthalate (PET) and polypropylene (PP).

Drinking water, Nile red, Bengal rose, plastics, FTIR

## **2. Introducción**

La ingestión de microplásticos se ha convertido en un tema de atención por la comunidad científica. Actualmente, se considera que los microplásticos son ubicuos y el ser humano consume estos constantemente, en su comida, agua y en el aire que respira (World Health Organization [WHO], 2019). El consumo de agua embotellada representa una gran cantidad de microplásticos ingeridos, se estima que una persona que consume agua embotellada exclusivamente, ingiere 86,000 microplásticos más que una persona que solamente consume agua del grifo cada año (Cox et al., 2019). Además, solo en el año 2015 en Guatemala se atribuyeron 120.9 millones de litros de agua natural envasada (América Economía, 23 de febrero de 2016).

Los microplásticos en agua son un problema emergente a nivel mundial, sin embargo en Guatemala se han realizado pocas investigaciones al respecto. Las investigaciones realizadas se han enfocado en investigar la presencia de microplásticos en lagos (Sosa, B, 10 de abril de 2019; de Tejada, 2019) y microplásticos en sedimentos y peces (Mejía, 2018; Mazariegos et al., 2021). No obstante, ninguna de estas se enfoca en el estudio de microplásticos en agua pura de consumo humano. Es por esto que estudiar la cantidad de microplásticos, variando el tipo de envase y el almacenamiento, además de la morfología de los microplásticos presentes en agua embotellada es de suma importancia.

La presente investigación tiene como objetivo determinar la cantidad y la morfología de micropartículas presentes en agua embotellada de diferentes marcas en Guatemala. Para esto se analizó agua embotellada, en botellas, bolsas y garrafones de diferentes proveedores. Se utilizó una tinción con una disolución de Rosa de Bengala y Rojo Nilo, y su subsecuente conteo mediante su observación en estereoscopio. Asimismo, se determinó si el tamaño y tipo de empaque, y las condiciones de almacenamiento afectan en la cantidad de micropartículas encontradas.

Finalmente, se comprobó si estas micropartículas son microplásticos mediante el análisis con espectroscopia infrarroja. Los datos recopilados se les realizó análisis de varianza, pruebas t e intercomparaciones con pruebas como Tukey, todo con un nivel de significancia del 5%, con el fin de comprobar diferencia estadística de partículas encontradas entre tamaño de empaque y el almacenaje en condiciones ambientales fuertes, no controladas.

## **3. Planteamiento del problema**

La investigación de microplásticos se ha diversificado para encontrar si están presentes en productos o servicios de alta distribución y consumo. Entre estos, se encuentra el agua. Desde su distribución municipal a hogares a su venta en botellas plásticas como agua purificada, el agua consiste en un producto y servicio vital para cualquier ser humano tanto para la salud como para la realización de tareas de limpieza y producción. Sin embargo, es altamente susceptible a este nuevo contaminante y

por su importancia para la vida es un medio donde este puede distribuirse ampliamente por todo el territorio.

El agua purificada pasa por un proceso muy estricto de limpieza y desinfección para asegurar que sea agua segura para beber. La presencia de microplásticos en ella puede señalar el desgaste de una parte plástica del proceso de purificación. Además, puede funcionar como un indicador de la contaminación ambiental, lo cual es reconocido por la Organización Mundial de la Salud (2019) al hacer un llamado a profundizar la información existente de microplásticos en el agua destinada para beber y las posibles consecuencias en su presencia. Mientras que los efectos en la salud ante la exposición de microplásticos no han sido confirmados, estos siguen siendo vectores con los cuales puede arrastrarse metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes en la dieta, así como de otros compuestos que sirvan de aditivos al plástico. Se ha demostrado que ante la actividad fisiológica en el intestino existe una mayor velocidad de desorción de los contaminantes orgánicos persistentes contenidos en los microplásticos (Bakir et al., 2014). Estos compuestos, aunque sean en cantidades pequeñas, siguen siendo un riesgo para la salud del consumidor, en especial si este ha sido expuesto a ellos por una gran cantidad de tiempo a través de un producto de consumo diario, como lo es el agua.

En estudios anteriores, se han cuantificado microplásticos en agua distribuida en hogares y embotellada. Según el estudio de Kosuth et al. (2018), donde evaluaron la contaminación en cerveza, agua de chorro y sal marina, se puede tener una ingesta anual de 5,800 partículas de las tres fuentes analizadas. Mientras que no es posible apuntar directamente a una sola fuente de contaminación en el proceso, se han identificado como las mismas botellas como posibles fuentes de microplásticos (Mason et al., 2018), lo cual puede sugerir que la cantidad de microplásticos en agua es susceptible a la degradación del empaque.

Se hace necesario, por lo expuesto, conocer si la extensión de contaminación por plásticos en Guatemala ha llegado a afectar los procesos de purificación de agua, la cual es distribuida por todo el territorio nacional, así como las características morfológicas de las partículas.

#### **4. Delimitación en tiempo y espacio**

##### **4.1 Delimitación en tiempo**

El estudio se realizó de febrero 2022 a enero 2023. El primer los primeros meses se realizaron muestreos de aguas en garrafones y bolsas, vendidas en distintas zonas de la Ciudad de Guatemala. El muestreo de aguas empacadas de las distintas plantas purificadoras en Guatemala se realizó en el octavo mes de investigación. De este muestreo se obtuvo dos grupos A y B. El grupo A se analizó inmediatamente, y el grupo B se analizó después de al menos 3 meses de estar en la intemperie. Posteriormente se realizaron ensayos de caracterización, cuantificación y clasificación de micro partículas de plásticos.



## 4.2 Delimitación espacial

Las muestras locales fueron de distintas zonas aleatorias de la ciudad de Guatemala, las muestras comerciales e importadas fueron recolectadas en el supermercado de conveniencia en la Ciudad de Guatemala, seleccionando un solo lote por tamaño, para garantizar el tratamiento uniforme de las muestras en las plantas de producción. El estudio del efecto de las condiciones de almacenamiento se realizó en la ciudad capital.

## 5. Marco teórico

### Calidad del agua

El agua que ha pasado por un proceso para su tratamiento y purificación tiene que cumplir con una serie de características físicas en su color, sabor, olor, temperatura y turbidez; químicas, debido a la presencia de metales y sustancias inorgánicas tóxicas; microbiológicas, principalmente debido a coliformes; y radiológicas, debido al arrastre de elementos de con esta propiedad (Davis, 2010). Entre estas propiedades, la turbidez consiste en la medida del material que se encuentra suspendido en el agua, principalmente por partículas de tierra y arcilla. Las partículas que se encuentran de esta forman reducen los efectos de la desinfección, debido a que actúan como pantalla para los microorganismos.

El tratamiento de agua tiene como objetivo mejorar la calidad de agua para el consumo a la cual se dirige, utilizando una serie de procesos que eliminan los contaminantes según sean necesarios. En general, un tratamiento de agua se compone por un tratamiento primario, secundario y terciario. En el primario, se elimina del agua los sólidos suspendidos. En el secundario, se elimina la mayoría de materia biodegradable y se remueven más sólidos suspendidos que siguen en el agua. En el terciario, se incluyen procesos de eliminación de contaminantes específicos según sea necesario (Davis, 2010). En este, se puede incluir la etapa de desinfección, donde se reducen los patógenos del agua a un nivel aceptable debido a la adición de cloro, de ozono y/o radiación ultravioleta.

### Plásticos

Los plásticos describen una subcategoría de polímeros. Estos consisten en moléculas de cadena larga conformada por la repetición de una unidad estructural llamada monómero (OMS, 2019). Se caracterizan por su versatilidad para formar una gran diversidad de productos, tales como empaques, utensilios, herramientas, contenedores, entre otros; además de su facilidad de manejo, producción y

bajo costo. Además, es un material de baja biodegradabilidad, lo cual lo convierte en un contaminante sólido persistente en un ecosistema en el caso de que este sea desechado irresponsablemente.

## Microplásticos

Los MPs son partículas de plástico con un tamaño menor a 5 mm en su dimensión característica, sin un límite inferior de tamaño (OMS, 2019). Son un resultado a la contaminación antropogénica del ambiente por el desecho de plásticos indiscriminado. Son capaces de entrar a la cadena alimenticia de un ecosistema, ya que animales pequeños los confunden como parte de su dieta. El consumo de MPs de tal manera puede dar lugar a la biomagnificación de un contaminante que se encuentre adsorbido en el plástico, como metales, aditivos y compuestos orgánicos persistentes en el ambiente marino (Cole, 2016); o tales como metales de transición e hidrocarburos aromáticos policíclicos en ambientes urbanos (Gasperi, 2018). En los humanos, los MPs pueden llegar a ser ingeridos por el consumo de alimentos contaminados, ya sea de origen biótico o abiótico. Según el origen que tengan, se clasifican en primarios y secundarios.

### Microplásticos primarios

Son MPs que fueron fabricados específicamente para tener un tamaño menor a 5 mm. El uso más notable que se les ha dado es el de exfoliante en productos cosméticos, aunque también tienen aplicaciones en nanotecnología y en limpieza por abrasión en ambientes industriales (GESAMP, 2015). En algunos casos consisten en materia prima para ser moldeados a productos de plástico finalizados.

### Microplásticos secundarios

Los MPs secundarios son formados a partir de macroplásticos, plásticos de gran tamaño que han sido desechados y llegan a los ecosistemas, los cuales se fragmentan debido a la acción del medio ambiente en el que se encuentra. La radiación ultravioleta que se encuentra en la luz solar provoca la descomposición molecular del plástico por medio de reacciones en cadena de oxidación, lo cual genera fragilidad y envejecimiento en este. Al estar expuesto a condiciones de agua, viento, y acciones mecánicas o biológicas, el plástico queda reducido con mayor facilidad a partes más pequeñas hasta llegar al tamaño donde se clasifica como un microplástico (GESAMP, 2015). Dependiendo de donde se encuentre, la contaminación de MPs generada puede quedarse en el aire, agua o suelo. El microplástico puede así moverse a través del medio y entrar en la cadena alimenticia por ingestión de los seres vivos presentes, habiendo casos reportados en peces, aves y mamíferos.

Mientras que la contaminación en el mar y el suelo suele darse por el continuo desgaste del plástico, la contaminación que se da en el aire se da en su mayoría por el desprendimiento de fibras de objetos formados por polímeros. En el estudio de Gasperi et al. (2018), se menciona como la degradación de las fibras textiles plásticas (que consisten en un 16% la producción total de plástico en el mundo) han sido detectadas tanto en ambientes exteriores como interiores y pueden ser inhaladas o ingeridas debido a su deposición.

### Filtración

La filtración es un método de separación que consiste en la separación de una fase sólida de una líquida, haciendo pasar la solución a través de un medio sólido poroso, como un papel. El líquido separado se conoce como filtrado. Puede auxiliarse por medio de una bomba de vacío para que el filtrado pueda pasar a través del filtro a una mayor velocidad, a comparación si se da por gravedad.

El estado sólido de MPs es la característica por la que se puede utilizar micromembranas para su separación. El tamaño de estos polímeros es la variable principal para seleccionar el tamaño del poro del filtro para lograr una retención total de las partículas de interés.

### Fluorescencia

La fluorescencia consiste en la emisión de luz a través de fotones de parte de un objeto, después de que éste haya absorbido radiación electromagnética. Se caracteriza por su vida corta, y tiende a disminuir a mayor temperatura. Las moléculas capaces de presentar fluorescencia se caracterizan por tener una estructura rígida que permite que la radiación absorbida se disipe por medio de este fenómeno (Skoog et al., 2015).

El Rojo Nilo (9-dietilamino-5H-benzo[ $\alpha$ ]fenoxazina- 5-ona) es un colorante fluorescente que se puede utilizar para teñir polímeros sintéticos; el Rojo Nilo es un fluoróforo hidrofóbico, lo cual significa que es fuertemente fluorescente en la presencia de un ambiente hidrofóbico (Jee et al., 2009). La tinción con Rojo Nilo permite identificar diferentes microplásticos como el polipropileno, policarbonato, poliuretano, poliestireno y polietileno (Shim et al., 2016). Además, el Rojo Nilo no requiere largos tiempos de incubación (10 a 30 minutos) y proporciona altas tasas de recuperación ().

### Microscopia

La microscopia hace uso de utensilios llamados microscopios, los cuales permiten la observación de microorganismos, células u objetos que no son apreciables a simple vista mediante el aumento de su

imagen a través de luz y lentes. En un microscopio, la luz proveniente de una fuente pasa por un condensador, que la concentra y uniformiza su aplicación a la muestra. La luz que atraviesa la muestra es luego recibida por un conjunto de lentes, el objetivo y el ocular, los cuales permiten que se produzca una imagen (Leboffe y Pierce, 2011). Se deben tener en consideración tres requerimientos para obtener la información visual requerida de la muestra: magnificación, resolución y contraste deseado (Bell y Morris, 2010). Existen muchos tipos de microscopía a partir de estas diferenciaciones. Entre ellos, se encuentra la microscopía de fluorescencia, en donde se utiliza una luz ultravioleta auxiliar para que tintes o partes naturales de la muestra emitan fluorescencia y puedan ser resaltadas durante la observación (Leboffe y Pierce, 2011).

## 6. Estado del arte

Los MPs en el agua de consumo humano es un problema que ha tomado mucho auge en tiempos recientes. Desde hace varios años, se reconoce la presencia de MPs en el océano (Thompson et al., 2004) y su múltiples repercusiones en la vida marina (Andrady, 2017). No obstante, fue hasta el año 2017 cuando se publicó la primera investigación que reporta MPs en agua potable (Tyree y Morrison, 2017), desde esto la comunidad científica ha hecho diversos esfuerzos para estudiar las concentraciones, morfologías, fuentes de ingreso y los daños en la salud humana de los MPs.

Los MPs en agua pura embotellada han sido estudiados por diversos grupos de investigación, desde que Kosuth et al. (2018) lo hicieran. En este estudio se analizaron los MPs de botellas de agua, utilizando una doble filtración en membranas y su posterior análisis con rosa de bengala y un microscopio de disección. La mayor cantidad de MPs encontrados es de 5.37 por litro con un tamaño de MPs no menor a 100 micrómetros. Cabe recalcar que Kosuth y colaboradores no se refieren a las partículas estudiadas como MPs, sino que utilizan el término desecho antropogénico. Para confirmar que estos desechos antropogénicos son MPs se deben hacer otros análisis, como FTIR.

Schymanski et al., (2018) logró detectar MPs menores a 50 micrómetros por espectroscopia microRaman en agua mineral embotellada; determinaron que la mayoría de MPs encontrados (más del 80%) son menores a 20 micrómetros. Además, compararon diferentes botellas, concluyendo que las botellas plásticas reutilizables tienen la mayor cantidad de MPs. A comparación del estudio de Kosuth et al. (2018) la cantidad de MPs aumenta en gran proporción (118 MPs por litro en botellas reutilizables contra 5.37 por litro), gracias a la posibilidad de estudiar MPs mucho más pequeños.

Oßmann et al. (2018) encontraron MPs tanto en botellas plásticas de poli(etilentereftalato) (PET) como en botellas de vidrio, sin embargo la cantidad de MPs en botellas de plástico PET es considerablemente mayor. Para el análisis utilizaron membranas de policarbonatos cubiertos de aluminio y el subsecuente análisis por micro-Raman. Con este método lograron detectar MPs de hasta 1 micrómetro. La cantidad de MPs reportado por Oßmann y colaboradores tiene un aumento enorme (2649 MPs/L en botellas PET de un solo uso y 4889 MPs/L en botellas PET reutilizadas), nuevamente, gracias a la detección de MPs más pequeños.

Kankanige y Babel (2020) cuantificaron MPs no menores a 6.5 micrómetros realizando un etiquetado fluorescente con Rojo Nilo y observándolas en el microscopio. Asimismo, mencionan que la cantidad de MPs aumentan mientras los fragmentos son de menor tamaño y que las fibras son más abundantes que los fragmentos.

Posada-Bustamante (1994) expone a la degradación de los plásticos extensamente, y refiere a su degradación térmica. Los enlaces covalentes de los plásticos suelen reaccionar a descomponerse con el calor, lo que reduce su vida útil porque empieza a agrietarse. Esta descomposición es gradual e irreversible ya que las moléculas se rompen en fragmentos pequeños, y dependerá también de las condiciones ambientales y el tiempo en que la muestra esté expuesta. Las fallas o fragmentos amorfas en los plásticos suelen darse en este tipo de degradación.

El problema del consumo de agua en botellas de plástico es evidente, y a pesar de que no se conocen a detalle las implicaciones que los MPs puedan tener en la salud humana, la comunidad científica muestra su preocupación por la alta cantidad de MPs en botellas, y cómo estas pueden incrementar de manera considerable la cantidad de MPs ingeridos por una persona (World Health Organization, 2019). Cox et al. (2019) estiman que las personas que consumen agua solamente de botellas plásticas ingieren 90,000 MPs anuales, comparados a los 4,000 MPs anuales que ingieren personas que consumen agua del chorro exclusivamente. A estas cantidades aún se le debe sumar los MPs ingeridos en la comida y los MPs respirados en el aire.

## **7. Objetivos**

### **7.1 Objetivo general**

Determinar la presencia de microplásticos en agua purificada, producida y embotellada en Guatemala.

### **7.2 Objetivos específicos**

- Cuantificar la cantidad de micropartículas en agua purificada.
- Describir la morfología y el tamaño de partículas encontradas.
- Determinar el efecto del tipo y tamaño de empaque en la presencia de micropartículas en agua purificada.
- Establecer la influencia de las condiciones ambientales de almacenaje en la presencia de micropartículas en agua purificada.
- Identificar por la técnica de tinción la naturaleza de las micropartículas encontrados.
- Comprobar por espectroscopia infrarroja la naturaleza polimérica de microplásticos.

## **8. Hipótesis**

### **8.1 Hipótesis de investigación:**

Es posible establecer el tamaño y morfología de micropartículas presentes en agua purificada.

Es posible establecer la influencia de las condiciones de almacenaje y tamaño de empaque en la presencia de micropartículas en agua purificada.

### **8.2 Hipótesis estadística:**

1. Existe diferencia significativa entre en los diferentes tipos y tamaños de empaque de las muestras analizadas con un nivel de confianza del 95%
2. Existe diferencia significativa en las condiciones ambientales de almacenaje en muestras analizadas con un nivel de confianza del 95%

## **9. Materiales y métodos**

### **9.1 Enfoque de la investigación**

El enfoque de la investigación es mixto. Se determinó el número de micropartículas por mililitro de agua, así también se utilizaron técnicas cualitativas para la descripción morfológica y estructura molecular de las mismas.

### **9.2 Técnicas e instrumentos**

Las muestras fueron recolectadas de centros de distribución y puestos de venta, según fuera necesario por el origen tratado. Las muestras de una misma presentación se separaron en dos grupos, el primero fue procesado inmediatamente después de su adquisición y el segundo fue sometido a condiciones de intemperie por tres meses, tras los cuales se procedió a su filtración. Cada muestra fue codificada según los siguientes factores:

- Origen: Se determinaron tres categorías por origen: CM, LC e IM. La categoría CM agrupa marcas de agua que comercializan sus productos en gran parte del país. Por otra parte, la categoría IM son marcas internacionales que venden sus productos en varios países incluyendo Guatemala. Por tanto, las plantas de purificación de las categorías CM e IM son más grandes a comparación de las de la categoría LC. Esto, permite que en las plantas de producción de las categorías CM e IM, haya procesos más eficientes para la purificación del agua, además de que para estas grandes empresas los controles de calidad son de mayor meticulosidad.
- Marca: se analizaron distintas marcas, según el origen de las muestras, enumerando dichas plantas de purificación con el fin de mantener su anonimato, que no es objeto de estudio en el presente trabajo.
- Rango: Se clasificaron las muestras según su volumen siguiendo la Tabla I.

**Tabla 1***Rango de volumen de empaque y su codificación*

<b>Código.</b>	<b>Mínimo (ml)</b>	<b>Máximo (ml)</b>
<b>A</b>	0	375
<b>B</b>	376	675
<b>C</b>	676	1000

Las muestras de agua fueron filtradas a través de una membrana de nitrato de celulosa (tamaño de poro: 0.45  $\mu\text{m}$ ) directamente del envase en que estaba contenida. Terminada la filtración, se agregaron 5 mL del reactivo de tinción correspondiente según el método utilizado para una muestra dada, y se dejó reposar por 15 minutos. Transcurrido el tiempo, se filtró para quitar el remanente del tinte y se retiraron los filtros para dejarlos secar. Una vez secos, se observaron a través de un estereoscopio para la detección, clasificación y separación de partículas. Las tinciones de Rosa de Bengala se observaron bajo luz natural o blanca, mientras que las de Rojo de Nilo se observaron con luz ultravioleta con la debida protección ocular. Durante la observación, los microplásticos se clasificaron en cuatro categorías: fibras, films, amorfo y esferas.

Las partículas apartadas durante la observación fueron analizadas para identificar su composición. Para esto, se utilizó espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en modo de reflectancia total atenuada (ATR) (Spectrum One, PerkinElmer). La radiación infrarroja se configuró en longitudes de onda que oscilaban entre 4,000 y 600  $\text{cm}^{-1}$ . Los microplásticos se colocaron en el diamante del espectroscopio y luego se presionaron. Después de obtener el espectro, se realizó una búsqueda espectral donde se utilizaron las bases de datos Perkin-Elmer ATR of Polymers Library y Hummel Ind. Poly. V1 © 199 Chemical Concepts GmbH. Dado al tamaño de los microplásticos, solo se caracterizaron las muestras CM2A0, LC6A0, LC6B0, IM3B0 e IM2B3

## 10. Resultados y discusión

### 10.1 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por medio de filtraciones de micropartículas presentes en el agua purificada en la Ciudad de Guatemala, por medio de un muestreo aleatorio, en función de distintos factores como: tamaño de envase, tipo de empaque, técnica de tinción, así como tiempo y condiciones ambientales de almacenaje.

#### 10.1.1 Cantidad de Micropartículas presentes en el agua purificada en Guatemala

**Tabla 2**

*Cantidad de micropartículas por litro observadas según el proceso de purificación a través del tiempo*

<b>Categoría</b>	<b>Micropartículas al Mes 0 [MPs/mL]</b>	<b>Micropartículas al Mes 3 [MPs/mL]</b>
<b>CM</b>	0.215	0.234
<b>LC</b>	1.419	1.073
<b>IM</b>	0.022	0.031

**Tabla 3**

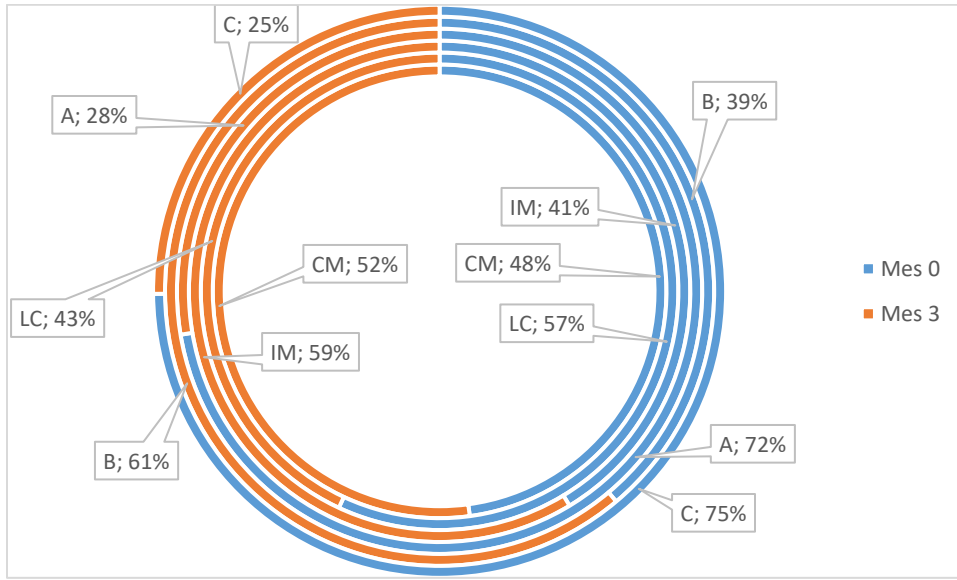
*Cantidad de micropartículas por litro observadas categoría de tamaño de empaque a través del tiempo*

<b>Rango</b>	<b>Micropartículas al Mes 0 [MPs/mL]</b>	<b>Micropartículas al Mes 3 [MPs/mL]</b>
<b>A</b>	0.293	0.289
<b>B</b>	0.078	0.136
<b>C</b>	0.042	0.108



**Figura 1**

*Porcentaje de micropartículas por litro observadas a través del tiempo*

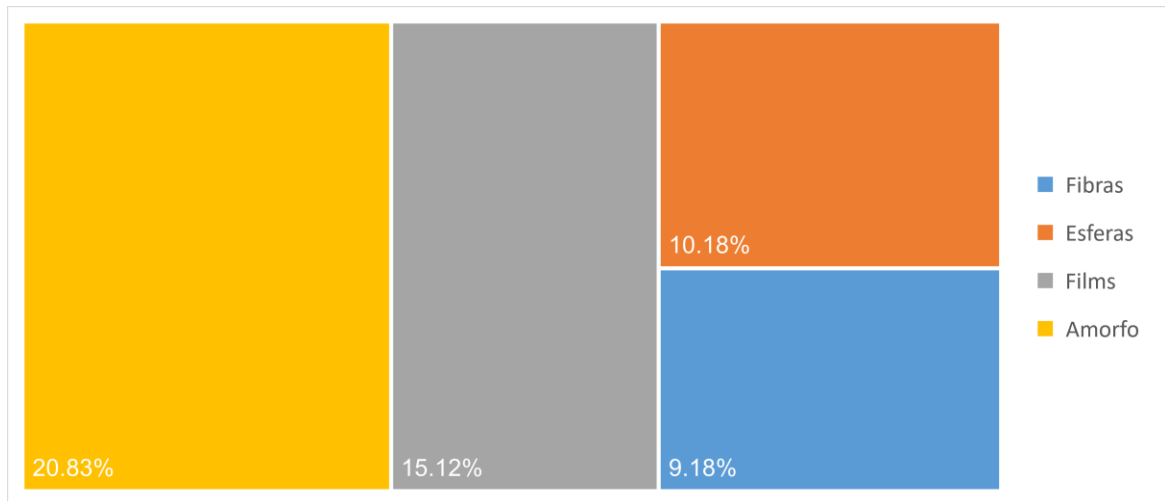


**10.1.2 Morfología de micropartículas en agua purificada en Guatemala**

**10.1.3**

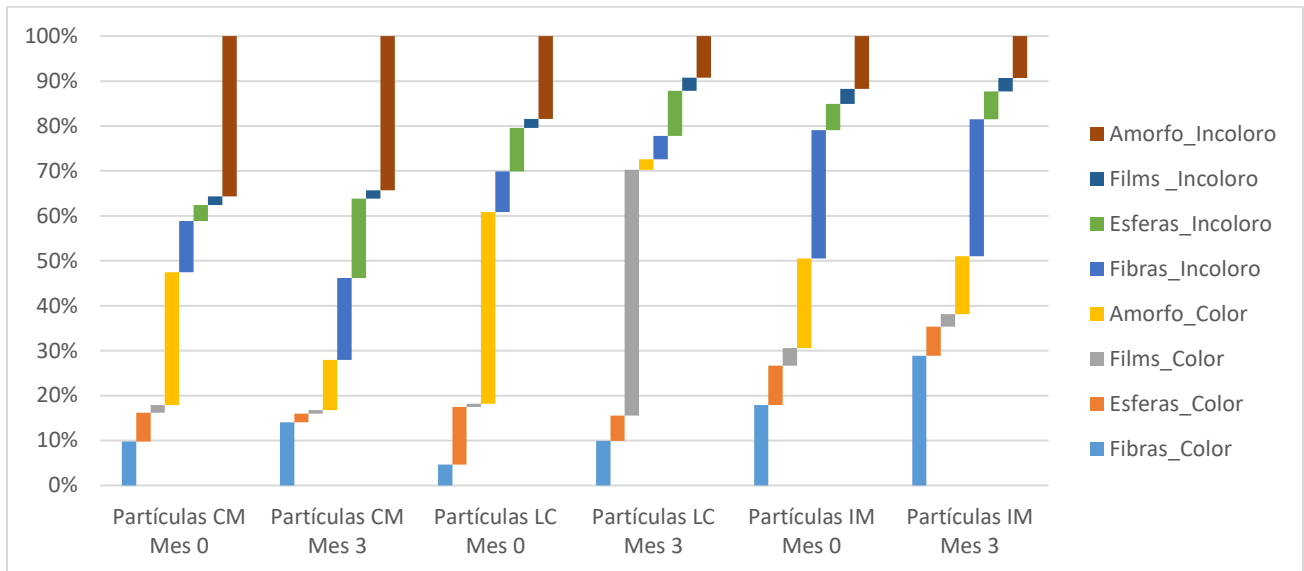
**Figura 2**

*Morfología de micropartículas por litro observadas durante el estudio*



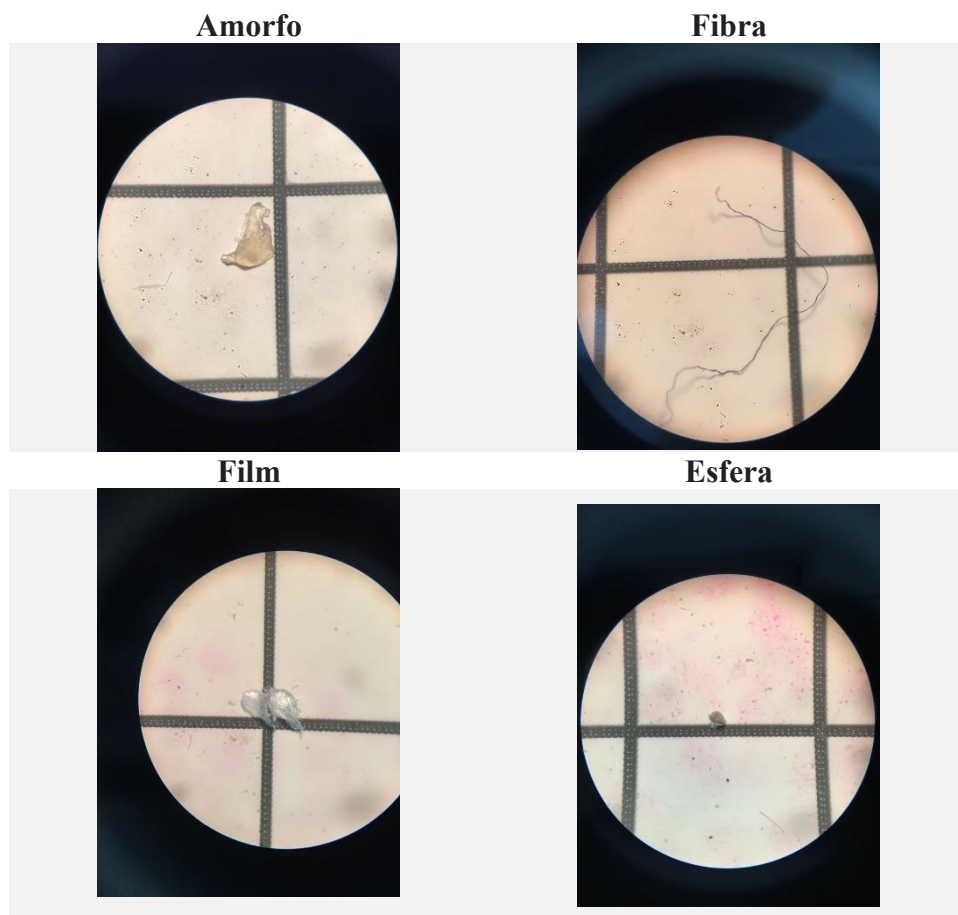
**Figura 3**

*Morfología de micropartículas por litro por origen, tinción y tiempo de prueba*



**Figura 4**

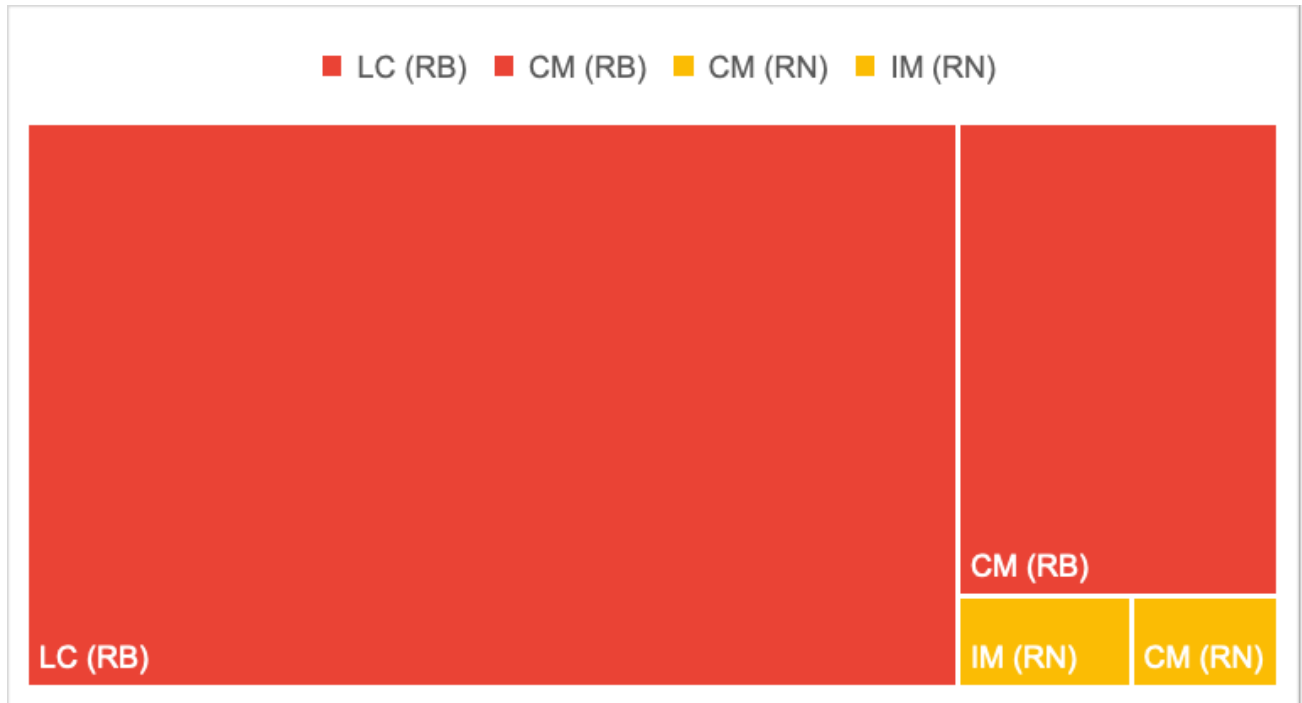
*Fotografías de partículas según su morfología*



### 10.1.4 Micropartículas identificadas por técnicas de tinción

**Figura 5**

*Micropartículas con tinción según los distintos métodos utilizados*



### 10.1.5 Efecto del tamaño y tipo de empaque en la presencia de micropartículas en agua purificada

**Tabla 4**

*Diferencia estadística entre rangos de distintos orígenes*

Rango	Análisis de varianza	Agrupación de muestras																																																								
<b>A</b>	<p><b>Prueba de Welch</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Fuente</th> <th>GL</th> <th>Num</th> <th>GL Den</th> <th>Valor F</th> <th>Valor p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MUESTRA A_1</td> <td>4</td> <td>8.96825</td> <td>191.26</td> <td>0.000</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Fuente	GL	Num	GL Den	Valor F	Valor p	MUESTRA A_1	4	8.96825	191.26	0.000		<p><b>Agrupar información utilizando el método de Games-Howell</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MUESTRA</th> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A_1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LC3</td> <td>5</td> <td>1.038</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>LC4</td> <td>5</td> <td>-0.186</td> <td>A B</td> </tr> <tr> <td>CM1</td> <td>5</td> <td>-0.412</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>CM2</td> <td>4</td> <td>-2.8601</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>IM1</td> <td>4</td> <td>-4.032</td> <td>D</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i></p>	MUESTRA	N	Media	Agrupación	A_1				LC3	5	1.038	A	LC4	5	-0.186	A B	CM1	5	-0.412	B	CM2	4	-2.8601	C	IM1	4	-4.032	D																
	Fuente	GL	Num	GL Den	Valor F	Valor p																																																				
MUESTRA A_1	4	8.96825	191.26	0.000																																																						
MUESTRA	N	Media	Agrupación																																																							
A_1																																																										
LC3	5	1.038	A																																																							
LC4	5	-0.186	A B																																																							
CM1	5	-0.412	B																																																							
CM2	4	-2.8601	C																																																							
IM1	4	-4.032	D																																																							
<b>B</b>	<p><b>Análisis de Varianza</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Fuente</th> <th>GL</th> <th>SC Ajust.</th> <th>MC Ajust.</th> <th>Valor F</th> <th>Valor p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MUESTRA B</td> <td>6</td> <td>32.861</td> <td>5.4769</td> <td>30.51</td> <td>0.000</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>19</td> <td>3.410</td> <td>0.1795</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>25</td> <td>36.271</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	MUESTRA B	6	32.861	5.4769	30.51	0.000	Error	19	3.410	0.1795			Total	25	36.271				<p><b>Agrupar información utilizando el método de Tukey</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MUESTRA B</th> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LC2</td> <td>2</td> <td>-0.898</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>CM1</td> <td>4</td> <td>-1.369</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>CM3</td> <td>4</td> <td>-2.434</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>IM3</td> <td>4</td> <td>-3.307</td> <td>B C</td> </tr> <tr> <td>CM2</td> <td>4</td> <td>-3.6027</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>CM5</td> <td>4</td> <td>-4.123</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>IM2</td> <td>4</td> <td>-4.144</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i></p>	MUESTRA B	N	Media	Agrupación	LC2	2	-0.898	A	CM1	4	-1.369	A	CM3	4	-2.434	B	IM3	4	-3.307	B C	CM2	4	-3.6027	C	CM5	4	-4.123	C	IM2	4	-4.144	C
	Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p																																																				
MUESTRA B	6	32.861	5.4769	30.51	0.000																																																					
Error	19	3.410	0.1795																																																							
Total	25	36.271																																																								
MUESTRA B	N	Media	Agrupación																																																							
LC2	2	-0.898	A																																																							
CM1	4	-1.369	A																																																							
CM3	4	-2.434	B																																																							
IM3	4	-3.307	B C																																																							
CM2	4	-3.6027	C																																																							
CM5	4	-4.123	C																																																							
IM2	4	-4.144	C																																																							
<b>C</b>	<p><b>Análisis de Varianza</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Fuente</th> <th>GL</th> <th>SC Ajust.</th> <th>MC Ajust.</th> <th>Valor F</th> <th>Valor p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MUESTRA C</td> <td>4</td> <td>15.4350</td> <td>3.85875</td> <td>72.59</td> <td>0.000</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>13</td> <td>0.6910</td> <td>0.05315</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>17</td> <td>16.1260</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	MUESTRA C	4	15.4350	3.85875	72.59	0.000	Error	13	0.6910	0.05315			Total	17	16.1260				<p><b>Agrupar información utilizando el método de Tukey</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MUESTRA C</th> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CM1</td> <td>4</td> <td>-2.226</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>CM3</td> <td>4</td> <td>-2.9359</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>CM4</td> <td>4</td> <td>-4.284</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>CM2</td> <td>4</td> <td>-4.347</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>IM1</td> <td>2</td> <td>-4.605</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i></p>	MUESTRA C	N	Media	Agrupación	CM1	4	-2.226	A	CM3	4	-2.9359	B	CM4	4	-4.284	C	CM2	4	-4.347	C	IM1	2	-4.605	C								
	Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p																																																				
MUESTRA C	4	15.4350	3.85875	72.59	0.000																																																					
Error	13	0.6910	0.05315																																																							
Total	17	16.1260																																																								
MUESTRA C	N	Media	Agrupación																																																							
CM1	4	-2.226	A																																																							
CM3	4	-2.9359	B																																																							
CM4	4	-4.284	C																																																							
CM2	4	-4.347	C																																																							
IM1	2	-4.605	C																																																							

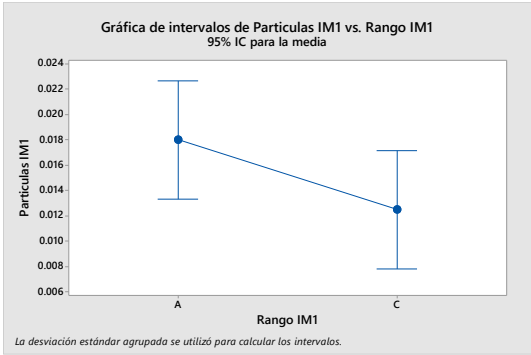
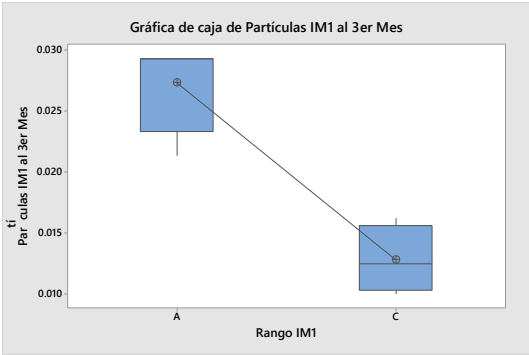
**Tabla 5**

*Diferencia estadística entre rango, en muestras de un mismo origen CM.*

Muestra	Diferencia entre rangos al Mes 0	Diferencia entre rangos al Mes 3
<b>CM1</b>	<p>Gráfica de caja de Partículas CM1</p>	<p>Gráfica de intervalos de Partículas CM1 al 3 Mes vs. Rango CM1 95% IC para la media</p> <p>La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.</p>
	<p>Gráfica de intervalos de Partículas CM2 vs. Rango CM2 95% IC para la media</p> <p>La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.</p>	<p>Gráfica de caja de Partículas CM2 al 3er Mes</p>
<b>CM2</b>	<p>Gráfica de intervalos de Partículas CM3 vs. Rango CM3 95% IC para la media</p> <p>La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.</p>	<p>Gráfica de caja de Partículas CM3 3Mes</p>

**Tabla 6**

*Diferencia estadística entre rango, en muestras de un mismo origen IM*

Muestra	Diferencia entre rangos al Mes 0	Diferencia entre rangos al Mes 3
<b>IM1</b>	 <p>Gráfica de intervalos de Partículas IM1 vs. Rango IM1 95% IC para la media</p> <p>La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.</p>	 <p>Gráfica de caja de Partículas IM1 al 3er Mes</p>

**Tabla 7**

*Resumen abundancia de micropartículas entre rangos*

Muestra	A - B	A - C	B - C
<b>CM1</b>	>	>	=
<b>CM2</b>	>	>	>
<b>CM3</b>	>NA	NA	>
<b>IM1</b>	NA	=	NA

### 10.1.6 Influencia de condiciones ambientales de almacenaje en la generación de micropartículas en agua purificada

**Tabla 8**

*Prueba estadística t pareado para muestras comerciales (CM)*

Muestra	Gráfico de caja de diferencias	t Pareado
CM1	<p>Gráfico de caja de Diferencias (CM1 Mes 3 - Mes 0) (con Ho e intervalo de confianza t de 95% para la media)</p> <p>The box plot shows the distribution of differences for sample CM1. The x-axis is labeled 'Diferencias' and ranges from -1.0 to 2.0. The box is centered around 0.5, with whiskers extending from approximately -0.5 to 1.5. A red dot labeled 'Ho' is located at 0.0, and a blue arrow points from the box to the right, indicating the direction of the test.</p>	<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0                      Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ &gt; 0</p> <p><u>Valor T</u> <u>Valor p</u>                      4.05 0.001</p>
CM2	<p>Gráfico de caja de Diferencias CM2 (Mes 3 - Mes 0) (con Ho e intervalo de confianza t de 95% para la media)</p> <p>The box plot shows the distribution of differences for sample CM2. The x-axis is labeled 'Diferencias' and ranges from -0.01 to 0.03. The box is centered around 0.01, with whiskers extending from approximately -0.005 to 0.02. A red dot labeled 'Ho' is located at 0.00, and a blue arrow points from the box to the right, indicating the direction of the test.</p>	<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0                      Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ &gt; 0</p> <p><u>Valor T</u> <u>Valor p</u>                      2.42 0.017</p>
CM3	<p>Gráfico de caja de Diferencias CM3 (Mes 3 - Mes 0) (con Ho e intervalo de confianza t de 95% para la media)</p> <p>The box plot shows the distribution of differences for sample CM3. The x-axis is labeled 'Diferencias' and ranges from -0.5 to 1.5. The box is centered around 0.5, with whiskers extending from approximately -0.5 to 1.5. A red dot labeled 'Ho' is located at 0.0, and a blue arrow points from the box to the right, indicating the direction of the test.</p>	<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0                      Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ &gt; 0</p> <p><u>Valor T</u> <u>Valor p</u>                      2.24 0.030</p>



**Tabla 9**

*Continuación de Prueba estadística t pareado para cada muestra comercial (CM)*

Muestra	Gráfico de caja de diferencias	t Pareado				
CM4		<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0                      Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ &gt; 0</p> <table border="1"> <tr> <td><b>Valor T</b></td> <td><b>Valor p</b></td> </tr> <tr> <td>6.11</td> <td>0.004</td> </tr> </table>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	6.11	0.004
<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>					
6.11	0.004					
CM5		<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0                      Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ &gt; 0</p> <table border="1"> <tr> <td><b>Valor T</b></td> <td><b>Valor p</b></td> </tr> <tr> <td>2.45</td> <td>0.046</td> </tr> </table>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	2.45	0.046
<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>					
2.45	0.046					

**Tabla 10**

*Prueba estadística t pareado para muestras importadas (IM)*

Muestra	Gráfico de caja de diferencias	t Pareado
IM1	<p>Gráfica de caja de Diferencias IM1 (MES 3 - MES 0) (con Ho e intervalo de confianza t de 95% para la media)</p>	<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0                      Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ &gt; 0</p> <p><u>Valor T</u> <u>Valor p</u>                      12.12 0.001</p>
IM2	<p>Gráfica de caja de Diferencias IM2 (Mes 3 - Mes 0) (con Ho e intervalo de confianza t de 95% para la media)</p>	<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0                      Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ ≠ 0</p> <p><u>Valor T</u> <u>Valor p</u>                      3.00 0.058</p>
IM3	<p>Gráfica de caja de Diferencias IM3 (MES 3 - MES 0) (con Ho e intervalo de confianza t de 95% para la media)</p>	<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0                      Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ &gt; 0</p> <p><u>Valor T</u> <u>Valor p</u>                      8.60 0.002</p>

**Tabla 11**

*Prueba estadística t pareado para muestras locales (LC)*

Muestra	Gráfico de caja de diferencias	t Pareado
LC1	<p>Gráfica de caja de Diferencias LC1 (MES 3 - MES 0) (con Ho e intervalo de confianza t de 95% para la media)</p>	<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0 Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ &lt; 0</p> <p><u>Valor T</u> <u>Valor p</u> -9.27 0.000</p>
LC3	<p>Gráfica de caja de Diferencias LC3 (MES 3 - MES 0) (con Ho e intervalo de confianza t de 95% para la media)</p>	<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0 Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ &lt; 0</p> <p><u>Valor T</u> <u>Valor p</u> -6.37 0.002</p>
LC4	<p>Gráfica de caja de Diferencias LC4 (MES 3 - MES 0) (con Ho e intervalo de confianza t de 95% para la media)</p>	<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0 Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ ≠ 0</p> <p><u>Valor T</u> <u>Valor p</u> -0.69 0.530</p>
LC5	<p>Gráfica de caja de Diferencias LC5 (MES 3 - MES 0) (con Ho e intervalo de confianza t de 95% para la media)</p>	<p><b>Prueba</b></p> <p>Hipótesis nula <math>H_0</math>: diferencia_μ = 0 Hipótesis alterna <math>H_1</math>: diferencia_μ &lt; 0</p> <p><u>Valor T</u> <u>Valor p</u> -6.46 0.001</p>

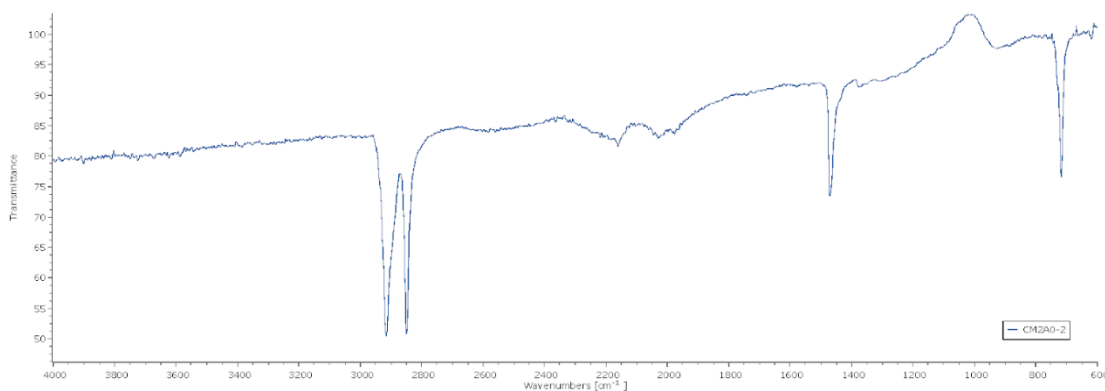
**Tabla 12***Resumen prueba estadística t pareado para cada muestra trabajada*

<b>Muestra</b>	<b>3M &lt; 0M</b>	<b>3M &gt; 0M</b>	<b>3M = 0M</b>
<b>CM1</b>	X		
<b>CM2</b>	X		
<b>CM3</b>	X		
<b>CM4</b>	X		
<b>CM5</b>	X		
<b>IM1</b>	X		
<b>IM2</b>			X
<b>IM3</b>	X		
<b>LC1</b>		X	
<b>LC3</b>		X	
<b>LC4</b>			X
<b>LC5</b>		X	

### 10.1.7 Naturaleza de micropartículas identificadas por espectroscopía infrarroja

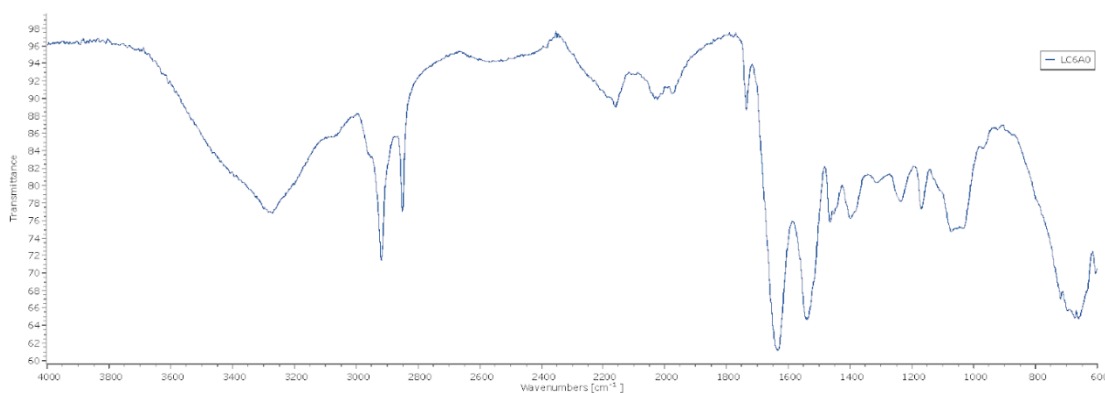
**Figura 6**

*Espectro FT-IR de la muestra CM2A0-2*



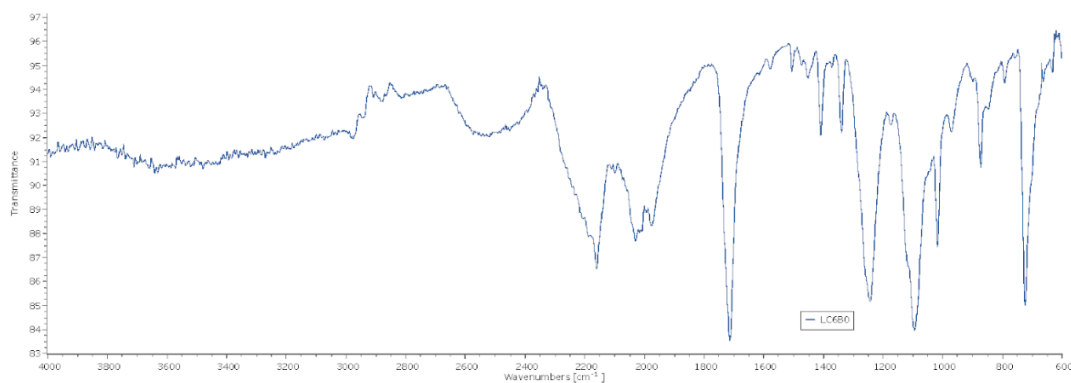
**Figura 7**

*Espectro FT-IR de la muestra LC6A0-*



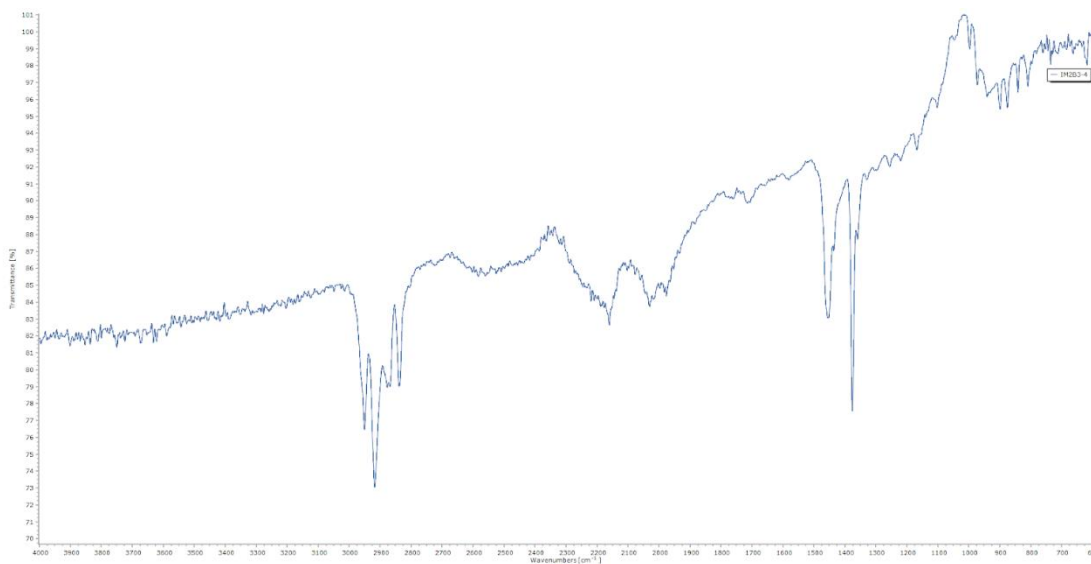
**Figura 8**

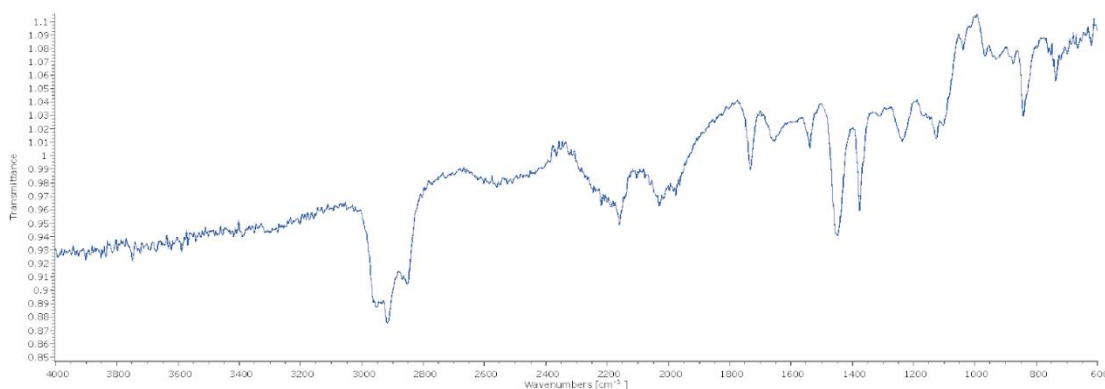
*Espectro FT-IR de la muestra LC6B0*



**Figura 9**

*Espectro FT-IR de la muestra IM2B3-4*



**Figura 10***Espectro FT-IR de la muestra IM3B0***10.2 Discusión de resultados**

Los microplásticos han demostrado ser uno de los contaminantes de mayor alcance que se ha conocido hasta ahora. No solo se han infiltrado dentro de los distintos ecosistemas del mundo, sino que también se encuentran en procesos con rigurosos controles de calidad, como lo son las bebidas embotelladas. De entre esta gama de productos, la más alarmante es la misma agua purificada, ya que esta existe en diferentes centros de distribución y es de consumo vital. En Guatemala, el agua purificada es distribuida por purificadores comerciales de gran escala que producen agua embotellada en masa. Además, en localidades como colonias o barrios existen centros de purificación de agua más pequeños que producen garrafones y bolsas de agua que son fácilmente accesibles por los residentes del área. Por otro lado, algunas marcas de agua extranjeras son importadas a Guatemala y suelen servirse en restaurantes, estas cuentan con diferentes estándares de calidad que en algunos casos pueden ser más o menos rigurosos por el país del que provengan. Sin embargo, a pesar de las medidas que tengan es posible que los microplásticos se encuentren contaminando estos productos, debido al alcance que tienen por su pequeño tamaño, ya sea por contaminación en el proceso o por la degradación del mismo empaque. Por ello, en esta investigación se busca cuantificar la contaminación en distintas muestras de agua purificada. Esto incluye evaluar si el tamaño de empaque tiene influencia en la generación de plásticos, en especial si este pasa por condiciones de intemperie que pueden debilitarlo, debido a que en algunas ocasiones las botellas de agua se dejan madurar por mucho tiempo.

En la Tabla 2, se puede observar la cantidad de microplásticos por mL, según el proceso de purificación de estas. Se puede observar que la categoría LC, es la que tiene más micropartículas, tanto en el mes 0 como en el mes 3. En esta categoría se agrupan marcas de agua locales con plantas de purificación pequeñas, las cuales distribuyen sus presentaciones (bolsas de agua y garrafones) a zonas cercanas. Visualmente, en muestras LC se observan mayor densidad de partículas orgánicas. Se puede considerar que las plantas de purificación de las categorías CM e IM son más grandes a comparación de las de la categoría LM. Esto, permite que en las plantas de producción de las categorías CM e IM,

haya procesos más eficientes para la purificación del agua, además de que para estas grandes empresas los controles de calidad son de mayor meticulosidad.

En las Figuras 1 y 2 se mostraron las proporciones de la morfología de las partículas observadas según la clasificación que se utilizó: fibras, amorfas, esferas y films. Las morfologías más abundantes a partir del total de partículas observadas en el estudio demostraron ser las amorfas (37.66%) y films (27.34%), y las menos abundantes las fibras (16.60%). En la imagen I se ilustra un ejemplo de cada morfología. En la Figura 3, se detallan las morfologías encontradas según su origen, tinción y tiempo que las muestras estuvieron bajo condiciones de intemperie. Para las muestras comerciales las partículas inorgánicas aumentaron en proporción después del tiempo de intemperie, específicamente en las esferas y fibras observadas. En las muestras locales tratadas con rosa de bengala predominaron las partículas orgánicas, siendo esto notable en un aumento drástico de partículas film después del tiempo a la intemperie. En comparación a los tipos de muestra nacionales, las importadas dieron proporciones parecidas de material orgánico e inorgánico tanto al inicio y final del tiempo de prueba, con un ligero aumento de fibras al finalizar.

En la Tabla 3 se puede observar una relación inversa entre el tamaño de empaque y rango. Sin embargo, no se puede establecer una relación estadística general entre la cantidad de partículas y los rangos establecidos. La Tabla 4 muestra la prueba de ANOVA para los rangos y las agrupaciones por de las distintas muestras que sí comparten un promedio de densidad de micropartículas. Sin embargo, sí se puede analizar distintos tamaños provenientes de un mismo origen y marca, con ello no hay factor influyente más que el tamaño de envase. La Tabla 5 muestra el comportamiento inverso entre el tamaño del envase y la cantidad de partículas en cada una de las muestras analizadas.

La Tabla 6, muestra en resumen el comportamiento de rangos según la prueba t de student para dos muestras, cumpliendo los supuestos estadísticos. Los envases más pequeños obtuvieron un mayor número de micropartículas. Esto podría ser resultado del calor como factor esencial de degradación del plástico (Posada, 1994). En un envase pequeño la cantidad de agua es menor, se obtiene caliente más rápido que en un envase mayor, la transferencia de calor se realiza con mayor velocidad, por lo que la degradación sucede más rápido.

La influencia de almacenaje en condiciones ambientales no controladas se evaluó por medio de pruebas de hipótesis para muestras pareadas. La Tabla 7 muestra los resultados para cada par evaluado. Se determinó en su mayoría una presencia mayor después del tiempo de almacenaje en la intemperie. Las muestras locales obtuvieron un número menor de partículas, por la gran cantidad de partículas orgánicas con mayor tamaño, las cuales probablemente cubrieron otras micropartículas presentes.

En el gráfico IV se ilustró una comparación de los métodos de tinción utilizados según el reactivo utilizado, Rosa de Bengala y Rojo de Nilo. La tinción por Rojo de Nilo rindió una cantidad menor de residuos inorgánicos en comparación con la cantidad de partículas inorgánicas identificadas por Rosa de Bengala. Esto permitió observar la selectividad del Rojo de Nilo, ya que este tiene una alta afinidad de partículas hidrofóbicas, por lo cual se asocia a ciertos tipos de materiales, tales como los plásticos y da un mayor indicativo a la naturaleza química de las partículas observadas. Por otro lado, el Rosa de Bengala tiñó materia orgánica, y como tal no distingue entre distintos materiales inorgánicos, dando



como resultado un mayor conteo de partículas inorgánicas, pero sin indicios sobre el material que las conforman.

En la Figura 6, se puede observar el espectro FT-IR de la muestra CM2A0-2. En la señal situada en 2916  $\text{cm}^{-1}$ , se observa un pico característico de los estiramientos asimétricos de los grupos  $\text{CH}_2$ . En 2850  $\text{cm}^{-1}$  se observa una señal que corresponde a los estiramientos simétricos del  $\text{CH}_2$ . Los picos en 720  $\text{cm}^{-1}$  y el pequeño en 730  $\text{cm}^{-1}$  corresponden a los estiramientos “rocking”. Por lo tanto, se puede inferir que el polímero utilizado es polietileno de alta densidad (HDPE) (Smith, 2021). Por otra parte, la muestra CM2A0-2 corresponde a una botella de plástico PET, así pues el microplástico debe provenir de su proceso de purificación o embotellamiento y no de la botella plástica.

La Figura 7 demuestra la presencia de nylon 6,12 en el espectro FT-IR de un microplástico de la muestra LC6A0-. En 1634  $\text{cm}^{-1}$  se puede observar el estiramiento del enlace  $\text{C}=\text{O}$  de la amida y en 1539  $\text{cm}^{-1}$  el estiramiento  $\text{C}-\text{N}$  del grupo amida. En los números de onda 3302  $\text{cm}^{-1}$  se puede identificar el estiramiento  $\text{N}-\text{H}$ . En 2850  $\text{cm}^{-1}$  se observa una señal que corresponde a los estiramientos simétricos del  $\text{CH}_2$  y en 720  $\text{cm}^{-1}$  a los estiramientos “rocking” de los  $\text{CH}_2$  (Chen et al., 2018). Este microplástico proviene de un garrafón de agua, por lo que no se considera que este pueda provenir del envase. Kankanige y Babel (2020), también encontraron Nylon en agua embotellada, e indican que lo más probable es que esta provenga de contaminación de microplásticos en el aire durante el proceso de embotellamiento o purificación.

En la Figura 8 se observa el espectro FT-IR del polietileno tereftalato (PET) encontrado en la muestra LC6B0-2. En este se observa un pico en 1714  $\text{cm}^{-1}$  característico del estiramiento de un enlace carbonilo. Los números de onda 1245  $\text{cm}^{-1}$  y 1096  $\text{cm}^{-1}$  indican estiramientos del enlace  $\text{C}-\text{O}$ . Por tanto, el enlace carbonilo es parte de un grupo funcional éster. Por otra parte, la señal en 2976  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a los estiramientos de los  $\text{CH}_2$ , en 1472  $\text{cm}^{-1}$  se puede observar un pico que corresponde a los estiramientos de tijera de los  $\text{CH}_2$  y finalmente los  $\text{CH}_2$  se confirman con la señal en 723  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente a los estiramientos “rocking”. Asimismo, el pico de 3055  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a estiramiento  $\text{C}-\text{H}$  del anillo aromático y la señal en 1579  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones del núcleo del benceno. Esta muestra proviene de una bolsa de agua de polietileno de alta densidad, por lo que lo más probable es que esta venga del proceso de producción de esta agua.

En la Figura 9 se observa el espectro FT-IR de la muestra IM2B2-3. Este presenta picos en 2950  $\text{cm}^{-1}$  del estiramiento asimétrico del  $\text{C}-\text{H}$  del grupo metilo; en 2877  $\text{cm}^{-1}$  aproximadamente se observa un pico que corresponde a los estiramientos simétricos del metilo. El pico en 1376  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al estiramiento de sombría del grupo metilo. Por otra parte, en 2918  $\text{cm}^{-1}$  se puede observar un pico correspondiente al  $\text{CH}_2$ ; en 2838  $\text{cm}^{-1}$  se observa un pico que corresponde al estiramiento simétrico del  $\text{CH}_2$ . En 1453  $\text{cm}^{-1}$  se observa un pico correspondiente se puede observar un pico que corresponde a los estiramientos de tijera del  $\text{CH}_2$ . Estas señales nos indican la presencia de propileno (Peltzer y Simoneau, 2013), el cuál puede provenir de la tapa de la botella o del proceso de embotellamiento del agua.

El espectro de la Figura 10 puede pertenecer a algún polímero de la familia de los poliisoprenos, los cuales se obtienen a partir de la polimerización del isopreno (Chakraborty y Ratna, 2020). Se pueden

observar un pico en 2852  $\text{cm}^{-1}$  que corresponde a los estiramientos simétricos del  $\text{CH}_2$ , la señal situada en 2917  $\text{cm}^{-1}$ , se observa un pico característico de los estiramientos asimétricos de los grupos  $\text{CH}_2$ . También, este presenta picos en 2952  $\text{cm}^{-1}$  y en 3000  $\text{cm}^{-1}$  de los estiramientos asimétricos y simétricos del C-H del grupo metilo respectivamente. El pico en 1657  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al estiramiento del C=C. Además, el pico en 842  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al enlace C-H en el alqueno trisustituido (Smith, 2015).

## 11. Referencias

- América Economía. (23 de febrero de 2016). Guatemaltecos consumen más de 120 millones de litros de agua envasada. <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/guatemaltecos-consumen-mas-de-120-millones-de-litros-de-agua-ensada>
- Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>
- Bakir, A., Rowland, S. J., y Thompson, R. C. (2014). Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environmental pollution*, 185, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.007>
- Bell, S. y Morris, K. (2010). *An Introduction to Microscopy*. CRC Press.
- Chakraborty, B. C., y Ratna, D. (2020). Viscoelasticity. *Polymers for Vibration Damping Applications*, 69–141. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819252-8.00003-3>
- Chen, G., Tang, K., Niu, G., Pan, K., Feng, X., y Zhang, L. (2018). Synthesis and characterization of the novel nylon 12 6 based on 1,12-diaminododecane. *Polymer Engineering & Science*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137232>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., y Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2588-2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., y Dudas, S. E. (n.d.). Human Consumption of Microplastics. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>
- Davis, M. L. (2010). *Water and Wastewater Engineering. Design Principles and Practice*. McGraw-Hill.
- De Tejada, A.M.S. (2018). Contaminación por microplástico en un lago endorreico de tierras bajas: El caso de Petén Itzá [Tesis de licenciatura, Universidad San Carlos de Guatemala]. Centro de Documentación y Biblioteca de Farmacia -CEDOBF-.
- Erni-Cassola, G., Gibson, M. I., Thompson, R. C., y Christie-Oleza, J. A. (2017). Lost, but Found with Nile Red: A Novel Method for Detecting and Quantifying Small Microplastics (1 mm to 20

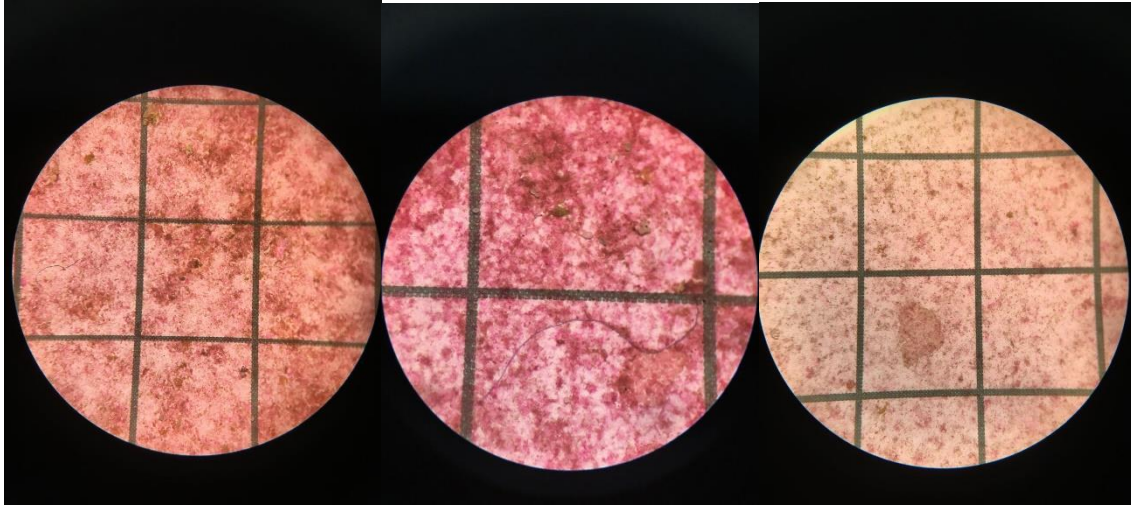
- $\mu\text{m}$ ) in Environmental Samples. *Environmental Science & Technology*, 51(23), 13641–13648. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04512>
- Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., ... y Tassin, B. (2018). Microplastics in air: are we breathing it in?. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.002>
- GESAMP (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment (Rep. Stud. GESAMP No. 90). Kershaw, P. J. (Ed.). IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection.
- Jee, A.-Y., Park, S., Kwon, H., y Lee, M. (2009). Excited state dynamics of Nile Red in polymers. *Chemical Physics Letters*, 477(1-3), 112–115. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2009.06.088>
- Kankanige, D., y Babel, S. (2020). Smaller-sized micro-plastics (MPs) contamination in single-use PET-bottled water in Thailand. *Science of the Total Environment*, 717, 137232. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137232>
- Kosuth, M., Mason, S. A., y Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLOS ONE*, 13(4), e0194970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
- Leboffe, M. J. y Pierce, B. E. (2011). *A Photographic Atlas for the Microbiology Laboratory* (4ta. Edición). Morton Publishing
- Maes, T., Jessop, R., Wellner, N., Haupt, K., y Mayes, A. G. (2017). A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red. *Scientific reports*, 7(1), 1-10. Número de artículo: 44501 (2017).
- Mason, S. A., Welch, V. G., y Neratko, J. (2018). Synthetic polymer contamination in bottled water. *Frontiers in chemistry*, 6, 407. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407>
- Mazariegos, C., Blande, E. y Melchor, C. (2021). Evaluación de la contaminación por microplásticos en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico. Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas Centro de Estudios del Mar y Acuicultura. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2020-06.pdf>
- Mejía, A. (2018). El impacto de la Semana Santa: análisis de macro y microplásticos en las playas de Panajachel, Sololá. Informe final de EPS. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Naciones Unidas. (2018a). Objetivo 3: Salud y bienestar. <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-3-good-health-and-well-being.html>
- Naciones Unidas. (2018b). Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento. <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>

- Oßmann, B. E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S. H., y Dicke, W. (2018). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research*, 141, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.027>
- Peltzer, M. A., y Simoneau, C. (2013). Report of an interlaboratory comparison from the European Reference Laboratory for Food Contact Materials. Publications Office of the European Union: Luxembourg.
- Posada-Bustamante, B. (1994). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67-86. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/16534>
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H. U., y Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>
- Shim, W. J., Song, Y. K., Hong, S. H., y Jang, M. (2016). Identification and quantification of microplastics using Nile Red staining. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1–2), 469–476. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.049>
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, J. y Crouch, S. R. (2015). *Fundamentos de Química Analítica* (9na. Edición). Cengage Learning.
- Smith, B.C. (2021). The Infrared Spectra of Polymers II: Polyethylene. <https://www.spectroscopyonline.com/view/the-infrared-spectra-of-polymers-ii-polyethylene>
- Smith, B.C. (2015). The Infrared Spectra of Polymers IV: Rubbers. *Spectroscopy*, 8-12. <https://doi.org/10.56530/spectroscopy.mz6968v1>
- Sosa, B. (10 de abril de 2019). De las aulas hacia la conservación del ambiente. <https://noticias.uvg.edu.gt/de-las-aulas-hacia-la-conservacion-del-ambiente/>
- Thompson, R. C., Olson, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., y Russell, A. E. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 304(5672), 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- Tyree, C. y Morrison, D. (2017). Invisibles: El plástico dentro de nosotros. [https://orbmedia.org/stories/El\\_pl%C3%A1stico/](https://orbmedia.org/stories/El_pl%C3%A1stico/)
- World Health Organization. (2019). Microplastics in drinking-water

## 12. Apéndice

### Figura 11

*Materia orgánica (color rosa) presente en muestras de agua locales después del tiempo bajo condiciones de intemperie.*



### Figura 12

*Micropartículas en filtración*





**Figura 13**

*Micropartículas fluorescentes por el compuesto Rojo Nilo*



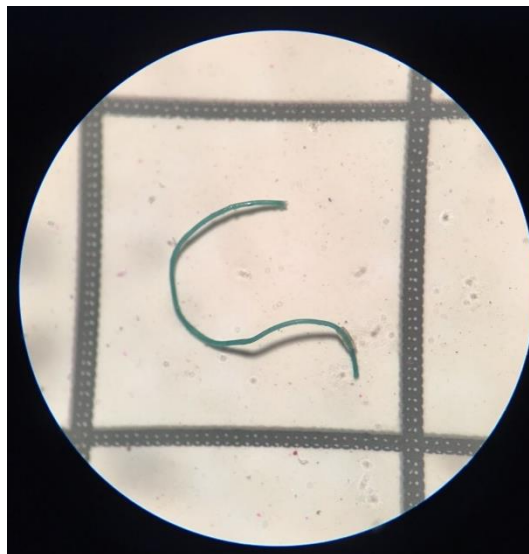
**Figura 14**

*Equipo de filtración*



**Figura 15**

*Fotografía presentada en FOTOCYT 2022*



Nota. Fotografía tomada por Ana Droege, ganadora en concursos FOTOCYT 2022.

**Figura 16**

*Visita y vinculación con el Laboratorio de Sanidad Animal, MAGA.*



**Figura 17**




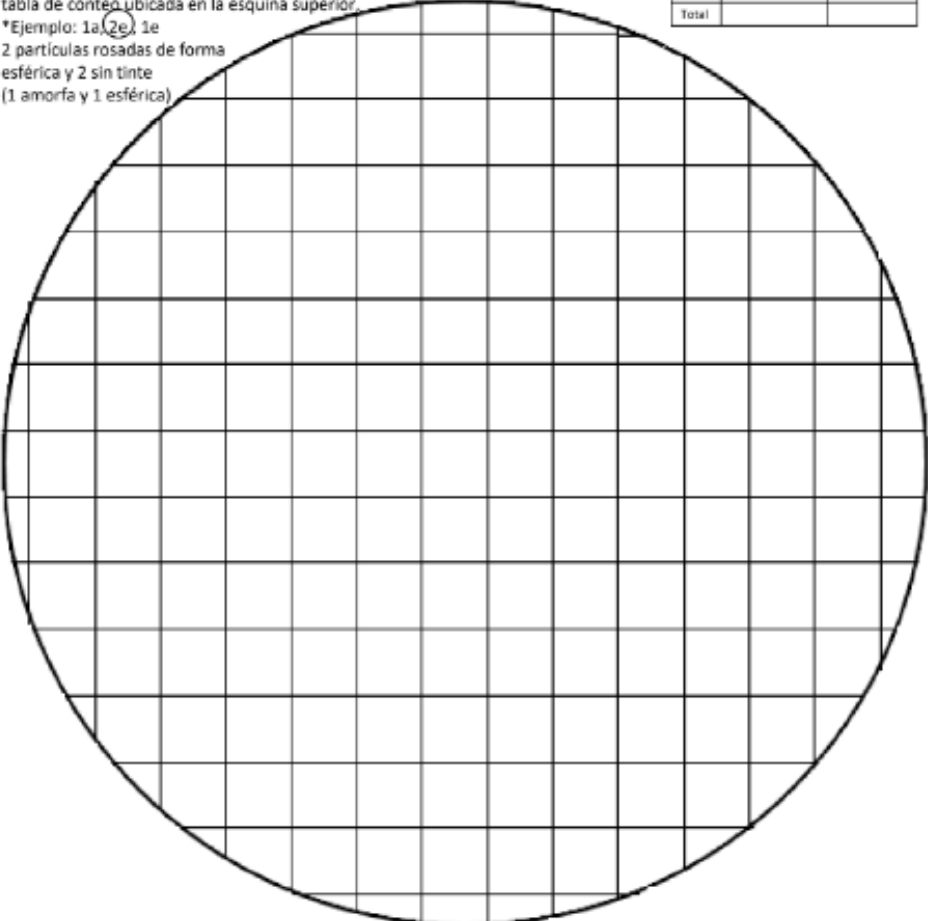
*Visita y vinculación con el laboratorio químico fiscal para lectura de muestras en FTIR*





**Figura 18**

*Formato de lectura de MPs en filtros*

 <b>USAC</b> TRICENTENARIA <small>Universidad de San Carlos de Guatemala</small>	 <b>DG</b> Dirección General de Investigación <small>Universidad de San Carlos de Guatemala</small>	 <b>LI</b> <small>LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN</small>																			
FORMATO DE REGISTRO DE DATOS PARA CUANTIFICACIÓN DE MPs																					
<b>Proyecto de Investigación DIGI:</b> Microplásticos en agua purificada, producida y envasada en Guatemala		<b>Partida</b> 4.8.63.0.22	<b>Código</b> B23-2022																		
<b>Analista:</b>		<b>Código de muestra:</b>																			
<b>Fecha de filtrado:</b>		<b>Fecha Lectura:</b>																			
<p>00Instrucciones: Llenar los datos de analista, código de muestra y fechas solicitadas antes de empezar. Colocar el filtro en el estereoscopio o equipo similar de forma coincidente con la imagen en este registro. Analizar la muestra y colocar en la cuadrícula correspondiente el número de MPs encontradas, diferenciando las rosadas. Se utilizará la siguiente codificación: Fibras (f), Esferas (e), Film (fm), Amorfo (a). Circular el conteo que NO presenten color rosa. Posteriormente anotar la cantidad total de cada una de las clasificaciones en la tabla de conteo ubicada en la esquina superior.</p> <p>*Ejemplo: 1a, 2e, 1e          2 partículas rosadas de forma esférica y 2 sin tinte          (1 amorfa y 1 esférica)</p>																					
		<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>FORMA</th> <th>CONTEO INCOLORO</th> <th>CONTEO ROSA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>f</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>e</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>fm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>a</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	FORMA	CONTEO INCOLORO	CONTEO ROSA	f			e			fm			a			Total			
FORMA	CONTEO INCOLORO	CONTEO ROSA																			
f																					
e																					
fm																					
a																					
Total																					
																					

### **13. Vinculación**

Se realizaron trabajos con la cooperación del Ministerio de Ganadería y Alimentación, en las instalaciones del laboratorio de Sanidad Animal, en el cual se realizaron soluciones de Rojo Nilo, así como aportes de agua desmineralizada. Así también, se realizó vinculación con el Laboratorio Químico Fiscal de la Superintendencia de Administración Tributaria, en el cual se utilizó el equipo de FTIR para el análisis de la naturaleza de las micropartículas encontradas, se realizaron varias visitas y se obtuvo asesoría del personal del laboratorio para la utilización del equipo.




### **14. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual**

Se obtuvo el premio a la mejor foto en ciencia por parte del concurso FOTOCYT2022, en el que se presentó una micropartícula de la categoría LC, fotografía tomada por la investigadora Ana Droege. A corto plazo se presentarán los resultados en las distintas facultades por medio de conferencias y webinars. Así también se buscará participar en conferencias nacionales e internacionales por medio de congresos. Divulgación en medios de comunicación independientes, en redes sociales por medio de infografías. Presentar resultados en boletines de ciencias. Publicación de resultados en revista indizada de DIGI, entre otras.

### **15. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:**


Basados en los objetivos de desarrollo sostenible, el objetivo 3 (Salud y bienestar) enuncia que la Salud y bienestar son esenciales para el desarrollo sostenible, y que es importante tomar en cuenta y trabajar ante los nuevos problemas de salud (Naciones Unidas, 2018a). Por otra parte, el objetivo 6 (Agua limpia y saneamiento) menciona que para garantizar el acceso universal al agua potable segura es importante hacer inversión en investigación y en proyectos (Naciones Unidas, 2018b). Los MPs son un tema de reciente atención, y el alto consumo de estos en agua embotellada, puede traer consigo diferentes complicaciones de salud. Por lo tanto, los resultados de la investigación ayudan a tener un enfoque más objetivo al momento de proponer soluciones ante este problema, como por ejemplo el almacenaje adecuado y más adelante una normativa nacional que permita mejorar la calidad de los productos de consumo local.

**16. Orden de pago final**

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Paula María Vásquez Cifuentes	Coordinador	20170845	SÍ	
Ana Luisa Droegue Romero	Auxiliar II	20200942	SÍ	
Carlos Rodolfo Vargas López	Auxiliar I	20220471	NO	


**17. Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación**

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


Inga. Paula María Vásquez Cifuentes	
Fecha: 28/02/2023	


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

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: Director del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

<p><b>Inga. Telma Maricela Cano Morales</b> <b>Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería</b></p>	
<p>Fecha: 28/02/2023</p>	

**19. Visado de la Dirección General de Investigación**

<p><b>Vo.Bo. Dra. Hilda Valencia de Abril</b> <b>Coordinador del Programa Universitario de Investigación</b></p>	
<p>Fecha: 28/02/2023</p>	

<p><b>Vo.Bo. Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar</b> <b>Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación</b></p>	
<p>Fecha: 28/02/2023</p>	

Ing. MARN. Julio Rufino Salazar Pérez  
Coordinador General de Programas de Investigación, Digi-Usac