

DETERMINATION OF THE PRESENCE OF MICROPLASTICS IN THE RAINWATER OF UPZ 99 (CHAPINERO) IN BOGOTÁ D.C

DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN EL AGUA LLUVIA DE LA UPZ 99 (CHAPINERO) EN BOGOTÁ D.C

PAULA CAMILA HERRERA CERVERA
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

1. INTRODUCCIÓN

Los plásticos se encuentran entre los materiales industriales de mayor crecimiento en la industria moderna (Montalvo, 2007), teniendo en cuenta que, el uso de los mismos ha aumentado a pasos agigantados debido a sus notables características que incluyen ser livianos, altamente duraderos y versátiles, y relativamente baratos de producir (Geyer et al., 2017), sin embargo, estas mismas propiedades hacen que la mayor parte de este material sea recalcitrante a la biodegradación, lo que resulta en su acumulación, en lugar de su descomposición, en vertederos y ecosistemas, siendo más representativo en los océanos y costas (Barnes et al., 2009). Por ejemplo, en la década de 1940 se contó con una producción anual de menos de 1 millón de toneladas, mientras que en 2016 la producción mundial alcanzó 335 millones de toneladas y 359 millones toneladas en 2018 (Thompson et al., 2009; Meng et al., 2020; Wayman y Niemann, 2021). Además, existe una creciente preocupación por el impacto que está teniendo la eliminación de este componente sobre el ambiente, ya que se encuentra ahora en casi todos los ecosistemas, especialmente en ambientes acuáticos (Thompson et al., 2009). Los problemas ambientales resultan principalmente de la falta de opciones de reutilización y reciclaje en muchos países.

Por otra parte, se debe mencionar que la composición del plástico, sus usos, su transporte y fragmentación en microplásticos, que surgen de su disposición en el suelo, estando expuestos a colisiones físicas, incluyendo actividades mecánicas (erosión, acción de las olas, abrasión), químicas (fotooxidación, temperatura, corrosión) y biodegradación que conducen a su fragmentación, y pueden absorber una variedad de contaminantes ambientales como los pesticidas, metales pesados y antibióticos (Yin, et al., 2021; Andrady, 2011; Zettler et al., 2013), su transporte que es fluvial y atmosférico, las aguas pluviales y los desastres facilitan su liberación (Hale et al., 2020). En otras palabras, los microplásticos son plásticos entre 1 μm y 5 mm de diámetro, pequeñas partículas plásticas primarias (por ejemplo, gránulos de resina) o productos secundarios de este material, rotos y desgastados que pueden ingresar directamente al ambiente (Gigault et al., 2018; Hartmann et al., 2019)

Se debe agregar que, desde esta perspectiva se convierten en contaminantes emergentes, siendo un riesgo potencial para los humanos y los animales, principalmente a su entrada en la cadena alimenticia ya que da lugar a una ingestión directa de los mismos. Estudios ecotoxicológicos han demostrado que algunas especies pueden sufrir de obstrucción del

tracto digestivo, estrés oxidativo, daño a diferentes órganos, debilitamiento e incluso muerte por la ingestión de microplásticos (Sol et al., 2020).

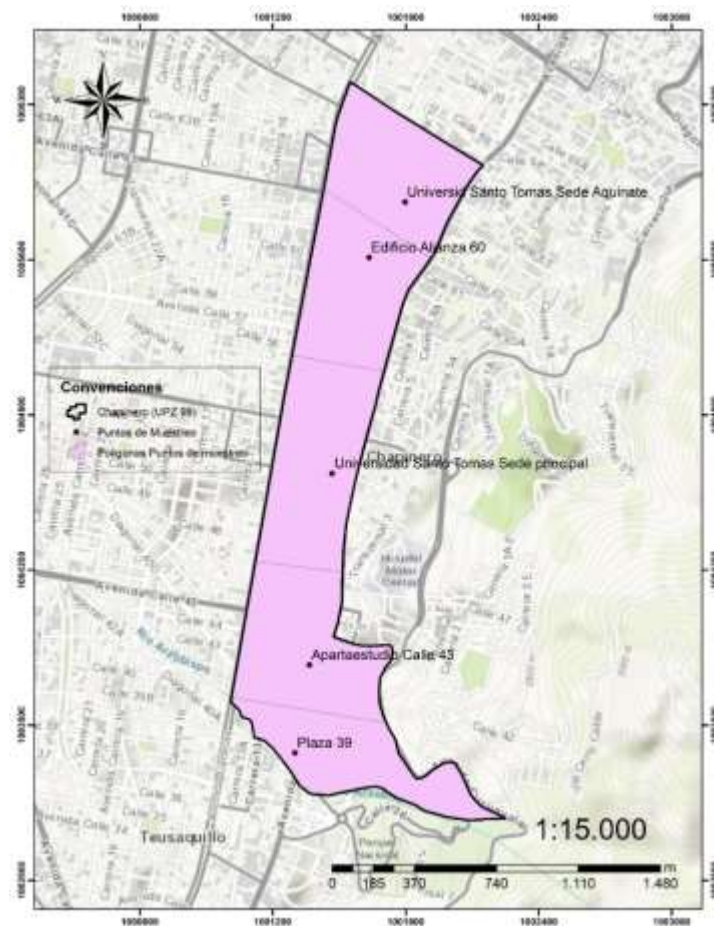
Para este trabajo de investigación que se centra en el estudio de la presencia de microplásticos, se toma como referencia la unidad de planeamiento zonal (UPZ) 99, ubicada en la localidad de Chapinero la cual tiene concentración de zonas para industria, servicios y espacios residenciales. En particular esta UPZ se caracteriza por ser un punto de tránsito para los vientos de Bogotá que circulan hacia la zona noreste de la ciudad, lo cual facilita que los MPs se encuentren presentes por ser transportados por estas corrientes de viento. Los MPs al ser materiales de baja densidad, se caracterizan por acumularse en las zonas por las cuales circulan las corrientes de viento en particular, dejando residuos al combinarse con precipitaciones. Los resultados de este trabajo relacionan características físicas de los materiales presentes en capturas de precipitaciones comparando el comportamiento de estas muestras a lo largo del espacio geográfico delimitado en la UPZ.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Sitios de muestreo

Para esta investigación se seleccionaron cinco estaciones de monitoreo ubicadas en la UPZ 99, esta selección se realizó en función a la rosa de los vientos y la velocidad de los mismos, para así tener la cobertura total de la UPZ, en cada una de ellas se recolectaron muestras de agua pluvial resultante de lluvias durante un periodo de tiempo de 3 meses. Con ayuda de la herramienta computacional ArcGis, se identificaron zonas de 100 metros de radio para la ubicación de las estaciones de monitoreo, la cual permitió de manera geográfica dividir la UPZ en dos a partir de sus dos extremos verticales, para luego ser subdividida en 5 zonas de manera horizontal, en cada subdivisión se generó un centroide que permitió crear un buffer para la elección de las edificaciones con el fin de evaluar toda la UPZ 99 estableciendo los puntos de muestreo aleatoriamente en cada polígono, los cuales abarcan toda el área de la UPZ, tomando como punto de referencia la sede principal de la Universidad Santo Tomás en la calle 51, que sirvió como buffer en ArcGis para el establecimiento del polígono. Las otras ubicaciones de las estaciones de monitoreo están descritas en la imagen 1, y son relacionadas con los siguientes puntos de interés: la sede Aquinate de la Universidad Santo Tomás en la calle 63, el edificio Alianza 60, el edificio plaza 39 y el edificio Apartaestudios de la Calle 43 (Mapa 1).

Mapa 1. Ubicación estaciones de monitoreo UPZ 99 Chapinero.



Fuente. Elaboración propia mediante el programa ArcMap.

2.2 Colección de muestras

Chapinero es una localidad cercana al centro de Bogotá, con una temperatura promedio durante el muestreo de 13.8 °C-16.2 °C y una precipitación promedio de 0.47125mm según la Secretaria de Ambiente en su registro meteorológico. Se realizó un muestreo periódico

(discontinuo) el cual se llevó a cabo entre octubre de 2022 y enero de 2023, siempre que hubo presencia de lluvia se tomaron las muestras en cada sitio, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los períodos comunes de observación son cada hora o a diario, para fines sinópticos, climatológicos e hidrológicos.

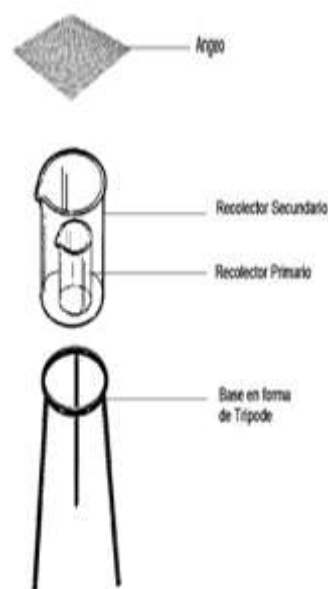
Se recogieron muestras utilizando un pluviómetro convencional el cual se construyó para que fuera similar al de una estación climatológica convencional (Ver foto 1) el cual consta de las siguientes partes: la base en forma de trípode, el anexo inoxidable de metal, el recolector primario que era de vidrio y recolector secundario de plástico (Ver figura 1) (Álvarez et al., 2016). Las muestras se obtienen interceptando el agua lluvia que pasa a través del recolector primario y posteriormente el secundario, entonces las muestras de agua son recolectadas y almacenadas.

Foto 1. Estación climatológica convencional



Fuente. Fotografía tomada por los autores.

Figura 1. Componentes de la estación climatológica convencional



Fuente. Tomado de estudio de Determinación del comportamiento ácido de las precipitaciones en inmediaciones del resguardo indígena de la Serranía El Majuy en Cota, Cundinamarca y su efecto en líquenes de la zona por Álvarez, J. A. et al., 2016 (<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2462/2016williambuitrago.pdf?sequence=4&isAllowed=y>).

2.3 Procesamiento de muestras

La muestra de agua recolectada en un frasco de vidrio ámbar, fue debidamente rotulada identificando el punto de muestreo (Estación), el día, la hora y el nombre del recolector, el agua se filtró a través de una bomba usando el método de filtración de membrana al vacío en función del volumen y los sólidos en suspensión (SST) de cada una de las muestras, para

cada filtración se usaron filtros de fibra de cuarzo de 65g/m² y 125 mm de diámetro, el cual es usado comúnmente para determinar la carga de masa de la muestra, sin embargo, el tamaño y peso cambiaron ya que se tuvo que adecuar al diámetro al de la succión de la bomba, posteriormente, se instaló cada filtro en el lado de succión de la misma, los volúmenes de muestra se midieron utilizando una probeta de 1000/10 ml, después la membrana del filtro se colocó en un plato de aluminio para su almacenamiento. Las muestras recolectadas se secaron a temperatura ambiente durante el periodo de 48 horas, para eliminar la humedad, para luego realizar la caracterización de las aguas pluviales, los volúmenes oscilaron entre 33 ml y 530 ml. Se utilizó una balanza electrónica para pesar las muestras después del secado, pasado este periodo de tiempo fueron rotulados y clasificados según la estación y la fecha en la que se recogió la muestra, las partículas recolectadas en cada filtro fueron visualizadas por estereoscopia.

2.4 Identificación y cuantificación de MPs

Los sólidos fueron suspendidos por la filtración en cada muestra y se depositaron sobre cada filtro de fibra de cuarzo el cuál antes de ser usado contaba con un peso de 0.3070 gr. Se comprobó al estereoscopio la presencia de microplásticos para cada muestra, la concentración de sólidos suspendidos se determinó a partir de la diferencia de pesos de cada una, la totalidad de muestras fueron 15 por estación y 75 en conjunto, así mismo, se cuantificaron las fibras encontradas por cada muestra y se clasificaron por color.

2.5 Análisis estadísticos

- **Estadística**

Para el análisis estadístico se empleó el programa de RStudio, en el programa Excel se llevó a cabo el cálculo de las concentraciones (Tabla 1, 2, 3), posteriormente de estas se halló la presencia de sedimentos en las muestras de agua que se expresó como la media y desviación estándar (DE) de los datos obtenidos (Tabla 4, 5, 6), para realizar el análisis se tuvieron en cuenta además la varianza de la muestra y el nivel de confianza (Tabla 7) , para posteriormente cargar los datos en el programa RStudio. Dentro del programa se manejó la normalidad de los conjuntos de datos la cual se probó mediante el método de Shapiro-Wilk el cual consiste en comenzar ordenando la muestra de menor a mayor valor, obteniendo el nuevo vector muestra, posteriormente procediéndose a calcular la media y la varianza muestral, donde se rechaza la hipótesis nula de normalidad si el estadístico es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño de la muestra y el nivel de significancia dado (Flores, et al., 2021) y Jarque Bera esta consiste en probar la hipótesis nula de que una serie de datos proviene de una distribución normal con media y varianza desconocidas. Es una prueba de ajuste de ambos lados de la distribución (Forero, G. 2010), además se realizó un ANOVA (Análisis de

varianza), para comprobar si había varianzas significativas en torno a la abundancia de MPs encontrados y los volúmenes por cada una de las muestras.

Tabla 1. Concentración (Peso/Vol)

FECHAS	Concentración (peso/vol)				
	PUNTOS				
	1	2	3	4	5
22 de octubre de 2022	0.000125	0.000076	0.000030	0.000099	0.000054
24 de octubre de 2022	0.000139	0.000250	0.000165	0.000051	0.000271
26 de octubre de 2022	0.000153	0.000098	0.000162	0.000148	0.000116
27 de octubre de 2022	0.000852	0.000909	0.000986	0.000314	0.000809
02 de noviembre de 2022	0.000583	0.000824	0.000791	0.000398	0.000435
08 de noviembre de 2022	0.000082	0.000014	0.000021	0.000129	0.000072
12 de noviembre de 2022	0.000205	0.000101	0.000176	0.000086	0.000046
17 de noviembre de 2022	0.000017	0.000071	0.000064	0.000179	0.000057
18 de noviembre de 2022	0.000132	0.000144	0.000096	0.000105	0.000110
19 de noviembre de 2022	0.000073	0.000201	0.000095	0.000109	0.000214
29 de noviembre de 2022	0.000103	0.000092	0.000094	0.000123	0.000065
30 de noviembre de 2022	0.000093	0.000076	0.000095	0.000176	0.000234
07 de diciembre de 2022	0.000093	0.000100	0.000055	-0.000007	0.000046
13 de diciembre de 2022	0.000305	0.000263	0.000250	0.000227	0.000260
16 de enero de 2023	0.000095	0.000073	0.000176	0.000295	0.000273

Fuente. Elaboración propia

Tabla 2. Concentración (N° fibras/Vol)

FECHAS	Concentración (N° fibras/vol)				
	PUNTOS				
	1	2	3	4	5
22 de octubre de 2022	0.026	0.032	0.012	0.017	0.022
24 de octubre de 2022	0.027	0.067	0.024	0.050	0.048
26 de octubre de 2022	0.013	0.024	0.023	0.019	0.037
27 de octubre de 2022	0.159	0.333	0.160	0.029	0.094
02 de noviembre de 2022	0.117	0.273	0.152	0.104	0.074
08 de noviembre de 2022	0.053	0.078	0.115	0.026	0.025
12 de noviembre de 2022	0.045	0.033	0.071	0.020	0.023

17 de noviembre de 2022	0.041	0.017	0.020	0.035	0.028
18 de noviembre de 2022	0.046	0.019	0.029	0.014	0.007
19 de noviembre de 2022	0.069	0.036	0.044	0.052	0.046
29 de noviembre de 2022	0.043	0.026	0.018	0.093	0.020
30 de noviembre de 2022	0.033	0.040	0.036	0.056	0.058
07 de diciembre de 2022	0.012	0.025	0.023	0.025	0.007
13 de diciembre de 2022	0.052	0.042	0.034	0.073	0.058
16 de enero de 2023	0.019	0.043	0.023	0.011	0.030

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3. Concentración (N° fibras/sólidos)

FECHAS	Concentración (N° fibras/sólidos)				
	PUNTOS				
	1	2	3	4	5
22 de octubre de 2022	0.0048375	0.00236	0.00242	0.00575	0.00247778
24 de octubre de 2022	0.005083333	0.00374286	0.00692	0.001022222	0.00569
26 de octubre de 2022	0.012225	0.004025	0.00695714	0.00772	0.00315455
27 de octubre de 2022	0.005357143	0.00272667	0.0061625	0.010766667	0.00863333
02 de noviembre de 2022	0.005	0.00302222	0.0052	0.00382	0.005875
08 de noviembre de 2022	0.00156	0.00017857	0.00018261	0.00492	0.00288
12 de noviembre de 2022	0.004555556	0.00311429	0.00246667	0.004275	0.00202
17 de noviembre de 2022	0.000414286	0.00426	0.00321667	0.005045455	0.00202222
18 de noviembre de 2022	0.00288125	0.00768333	0.00329286	0.007683333	0.01536667
19 de noviembre de 2022	0.00105	0.00557778	0.00215455	0.002091667	0.00467273
29 de noviembre de 2022	0.002418182	0.00351429	0.00526	0.001314286	0.00324
30 de noviembre de 2022	0.0028	0.0019125	0.00264444	0.00317	0.00403636
07 de diciembre de 2022	0.008033333	0.00398571	0.00236667	-0.000271429	0.0065
13 de diciembre de 2022	0.00585	0.0063	0.007375	0.003122222	0.0045
16 de enero de 2023	0.00503	0.0017	0.0078	0.02655	0.0091

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4. Análisis de estadístico de la concentración (peso/Vol)

CONCENTRACIÓN (PESO/VOL)			
Estación 1		Estación 2	
Media	0.00020331	Media	0.000219387
Error típico	5.8004E-05	Error típico	7.02406E-05
Mediana	0.00012484	Mediana	9.96429E-05
Moda	#N/D	Moda	#N/D

Desviación estándar	0.00022465	Desviación estándar	0.000272041
Varianza de la muestra	5.0467E-08	Varianza de la muestra	7.40062E-08
Curtosis	4.8885346	Curtosis	3.541225461
Coeficiente de asimetría	2.27216815	Coeficiente de asimetría	2.131049591
Rango	0.00083521	Rango	0.000895
Mínimo	1.7059E-05	Mínimo	1.38889E-05
Máximo	0.00085227	Máximo	0.000908889
Suma	0.00304971	Suma	0.003290798
Cuenta	15	Cuenta	15
Nivel de confianza (95.0%)	0.00012441	Nivel de confianza (95.0%)	0.000150651
ic_min	0.00020331	ic_min	0.000219376
lc_max	0.00020332	lc_max	0.000219397
Estación 3		Estación 4	
Media	0.00021708	Media	0.000162101
Error típico	7.2838E-05	Error típico	2.76426E-05
Mediana	9.6042E-05	Mediana	0.000129474
Moda	#N/D	Moda	#N/D
Desviación estándar	0.0002821	Desviación estándar	0.000107059
Varianza de la muestra	7.958E-08	Varianza de la muestra	1.14617E-08
Curtosis	4.26764491	Curtosis	0.401781873
Coeficiente de asimetría	2.25521419	Coeficiente de asimetría	0.798711746
Rango	0.000965	Rango	0.000404702
Mínimo	2.1E-05	Mínimo	-6.78571E-06
Máximo	0.000986	Máximo	0.000397917
Suma	0.00325615	Suma	0.00243152
Cuenta	15	Cuenta	15
Nivel de confianza (95.0%)	0.00015622	Nivel de confianza (95.0%)	5.92875E-05
ic_min	0.00021707	ic_min	0.0001621
lc_max	0.00021709	lc_max	0.000162103
Estación 5			
Media	0.00020412		
Error típico	5.2593E-05		
Mediana	0.00011567		
Moda	#N/D		
Desviación estándar	0.00020369		
Varianza de la muestra	4.149E-08		
Curtosis	5.17748811		
Coeficiente de asimetría	2.08568909		

Rango	0.00076347
Mínimo	4.5909E-05
Máximo	0.00080938
Suma	0.00306187
Cuenta	15
Nivel de confianza (95.0%)	0.0001128
ic_min	0.00020412
lc_max	0.00020413

Fuente. Elaboración propia

Tabla 5. Análisis de estadístico de la concentración (N° Fibras/Vol)

CONCENTRACIÓN (N° FIBRAS/VOL)			
Estación 1		Estación 2	
Media	0.05024261	Media	0.07244157
Error típico	0.010266844	Error típico	0.02472343
Mediana	0.042635659	Mediana	0.036
Moda	#N/D	Moda	#N/D
Desviación estándar	0.039763316	Desviación estándar	0.09575344
Varianza de la muestra	0.001581121	Varianza de la muestra	0.00916872
Curtosis	3.525055962	Curtosis	4.44606822
Coefficiente de asimetría	1.853589112	Coefficiente de asimetría	2.33559209
Rango	0.147552448	Rango	0.31666667
Mínimo	0.011538462	Mínimo	0.01666667
Máximo	0.159090909	Máximo	0.33333333
Suma	0.75363915	Suma	1.08662356
Cuenta	15	Cuenta	15
Nivel de confianza (95.0%)	0.02202019	Nivel de confianza (95.0%)	0.05302649
ic_min	0.050016532	ic_min	0.07113057
lc_max	0.050468688	lc_max	0.07375257
Estación 3		Estación 4	
Media	0.052301343	Media	0.04166124
Error típico	0.012781244	Error típico	0.00752886
Mediana	0.029166667	Mediana	0.02912621
Moda	#N/D	Moda	#N/D

Desviación estándar	0.049501543	Desviación estándar	0.02915916
Varianza de la muestra	0.002450403	Varianza de la muestra	0.00085026
Curtosis	0.953410452	Curtosis	0.15842114
Coeficiente de asimetría	1.52036266	Coeficiente de asimetría	1.06079512
Rango	0.147804878	Rango	0.09305556
Mínimo	0.012195122	Mínimo	0.01111111
Máximo	0.16	Máximo	0.10416667
Suma	0.784520146	Suma	0.62491853
Cuenta	15	Cuenta	15
Nivel de confianza (95.0%)	0.027413041	Nivel de confianza (95.0%)	0.01614781
ic_min	0.05195097	ic_min	0.04153966
lc_max	0.052651716	lc_max	0.04178281
Estación 5			
Media	0.038367589		
Error típico	0.006328745		
Mediana	0.03		
Moda	0.007142857		
Desviación estándar	0.024511123		
Varianza de la muestra	0.000600795		
Curtosis	0.350897826		
Coeficiente de asimetría	0.849790798		
Rango	0.086607143		
Mínimo	0.007142857		
Máximo	0.09375		
Suma	0.575513832		
Cuenta	15		
Nivel de confianza (95.0%)	0.013573808		
ic_min	0.038281684		
lc_max	0.038453494		

Fuente. Elaboración propia

Tabla 6. Análisis de estadístico de la concentración (N° Fibras/Sólidos)

CONCENTRACIÓN (N° FIBRAS/SÓLIDOS)			
Estación 1		Estación 2	
Media	0.00447304	Media	0.00360688

Error típico	0.00076463
Mediana	0.0048375
Moda	#N/D
Desviación estándar	0.00296139
Varianza de la muestra	8.7699E-06
Curtosis	2.35910205
Coefficiente de asimetría	1.16078891
Rango	0.01181071
Mínimo	0.00041429
Máximo	0.012225
Suma	0.06709558
Cuenta	15
Nivel de confianza (95.0%)	0.00163997
ic_min	0.00447178
lc_max	0.00447429

Estación 3

Media	0.00429461
Error típico	0.00060925
Mediana	0.00329286
Moda	#N/D
Desviación estándar	0.00235961
Varianza de la muestra	5.5677E-06
Curtosis	1.26485373
Coefficiente de asimetría	0.07208798
Rango	0.00761739
Mínimo	0.00018261
Máximo	0.0078
Suma	0.0644191
Cuenta	15
Nivel de confianza (95.0%)	0.00130671
ic_min	0.00429381

Error típico	0.00048649
Mediana	0.00351429
Moda	#N/D
Desviación estándar	0.00188417
Varianza de la muestra	3.5501E-06
Curtosis	0.65027393
Coefficiente de asimetría	0.49661293
Rango	0.00750476
Mínimo	0.00017857
Máximo	0.00768333
Suma	0.05410321
Cuenta	15
Nivel de confianza (95.0%)	0.00104342
ic_min	0.00360637
lc_max	0.00360739

Estación 4

Media	0.00579863
Error típico	0.00165861
Mediana	0.004275
Moda	#N/D
Desviación estándar	0.00642376
Varianza de la muestra	4.1265E-05
Curtosis	8.40613045
Coefficiente de asimetría	2.65803747
Rango	0.02682143
Mínimo	-0.00027143
Máximo	0.02655
Suma	0.08697942
Cuenta	15
Nivel de confianza (95.0%)	0.00355736
ic_min	0.00579273

lc_max	0.0042954	lc_max	0.00580453
Estación 5			
Media	0.00534458		
Error típico	0.00091439		
Mediana	0.0045		
Moda	#N/D		
Desviación estándar	0.00354141		
Varianza de la muestra	1.2542E-05		
Curtosis	3.77687042		
Coefficiente de asimetría	1.78509684		
Rango	0.01334667		
Mínimo	0.00202		
Máximo	0.01536667		
Suma	0.08016864		
Cuenta	15		
Nivel de confianza (95.0%)	0.00196117		
ic_min	0.00534278		
lc_max	0.00534637		

Fuente. Elaboración propia

Tabla 7. Análisis de varianza de las muestras

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	55.41333333	4	13.85333333	0.90685786	0.46484476	2.502656463
Dentro de los grupos	1069.333333	70	15.27619048			
Total	1124.746667	74				

Fuente. Elaboración propia

- **Determinación de concentraciones**

Para el análisis de la determinación de las concentraciones de los filtros, se calcularon de tres maneras diferentes partiendo de la diferencia entre los pesos iniciales y finales de cada uno

de los quince filtros por cada estación de monitoreo, teniendo en cuenta que el peso está dado en gramos (gr).

Ecuación 1. Determinación de Concentración de sólidos totales

$$\text{Concentración} = \frac{\text{Diferencia de Pesos (gr)}}{\text{Volumen (ml)}}$$

Ecuación 2. Determinación de Concentración de MPs a partir del volumen

$$\text{Concentración} = \frac{\text{Nº de fibras por filtro}}{\text{Volumen (ml)}}$$

Ecuación 3. Determinación de Concentración de MPs a partir de los sólidos totales

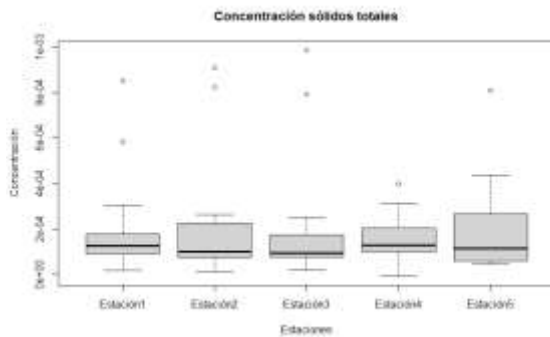
$$\text{Concentración} = \frac{\text{Nº de fibras por filtro}}{\text{Sólidos totales}}$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Abundancia de MPs

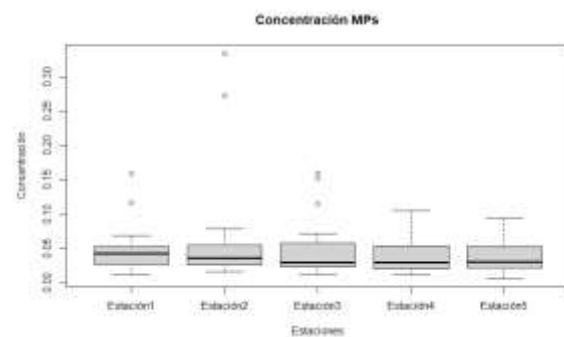
Se detectaron microplásticos en las cinco estaciones de monitoreo, en total fueron 613 fibras de microplásticos, el valor más bajo fue de 2 microfibras en algunas muestras y el valor más alto fue de 23 microfibras en una de las muestras, con un rango de concentración de alrededor de 0.007 ± 0.333 N°fibras/ml entre todas las muestras y una mediana de un valor entre 0.0291 ± 0.0426 N°fibras/ml, se puede afirmar entonces que el agua lluvia juega un papel clave en el transporte de microplásticos a las superficies cercanas de agua (Sang et al., 2020). La prueba de normalidad mostró que las concentraciones de MPs se distribuyeron con anormalidad en las cinco estaciones, por lo tanto, la concentración total de MPs (Gráfica 1) y sólidos totales (Gráfica 2) no fue descrito por el valor de la media.

Gráfica 1. Concentración sólidos totales



Fuente. Elaboración propia

Gráfica 2. Concentración MPs



Fuente. Elaboración propia

Las concentraciones de microplásticos de las muestras de agua de la estación 4 y la estación 5 clasificaron entre los dos primeros con concentraciones de 0.104 ± 0.011 y 0.094 ± 0.007 MPs/ml, respectivamente, ubicándose en la zona norte de la ciudad, mientras que, la estación 1 y estación 3 en el área sur tenían contenidos de microplásticos más bajos, que fueron 0.159 ± 0.012 y 0.160 ± 0.012 MPs/ml, respectivamente. La concentración intermedia entre estas cuatro fue la de la estación 2 con una concentración de 0.333 ± 0.017 MPs/ml, respectivamente.

La diferencia se dio fundamentalmente en el área de captación de las muestras, la abundancia de microplásticos en la escorrentía pluvial varía según la zona, en este caso, la zona sur y norte de la UPZ de Chapinero. También se encontraron características similares en la muestra de sólidos totales a excepción de la estación 1 que mostró mayor concentración de sólidos totales que MPs. Se encontró que el uso de la zona norte es de alta demanda comercial por lo cual tenía cierta relación con la abundancia de MPs, según (Garcés., Ordoñez et al., 2021) quienes plantean que tales cantidades responden al mal manejo de los residuos sólidos y la incidencia de las aguas servidas generadas por actividades socioeconómicas y domésticas, en este caso, en la localidad de Chapinero que fueron encontrados estos materiales en las muestras, además, hay muchos restaurantes pequeños en el área comercial de la zona estudiada, con un gran flujo de personas y malas condiciones sanitarias, ya que a la vista había una gran cantidad de basura plástica que se podía ver a diario en la zona de muestreo. Los fragmentos se producen a partir de los desechos o la basura que dejan las tiendas y los puestos de comida de los alrededores, donde los desechos plásticos se descomponen en pequeños pedazos y se dispersan en cursos de agua y hábitats naturales urbanos en la bordes de las grandes ciudades por la escorrentía urbana local (Dewi et al., 2015; Horton et al., 2017). También se puede retribuir a los productos usados cotidianamente por los residentes de viviendas cercanas que pueden producir más MPs de poliéster o nylon,

cabe resaltar que al lado de la estación 5 hubo una construcción durante todo el periodo de muestreo y aunque no tuvo la más alta concentración de MPs si tuvo la más alta concentración de sólidos totales por lo cual se le retribuye a ese mismo suceso. Todas las zonas eran cercanas a vías por las cuales había grandes flujos de automóviles lo que podría influir en gran medida a las partículas que son producidas por el desgaste de los neumáticos, hay que mencionar, que en el área del sur había menos presencia de zonas comerciales lo que puede ser la principal razón de la baja abundancia de microplásticos.

3.2 Pruebas de bondad y ajuste para normalidad (Shapiro-Wilk y Jarque Bera)

De acuerdo con el tamaño de muestra se seleccionan las pruebas estadística Shapiro-Wilk y Jarque Bera para comprobar si la hipótesis nula de las muestras tienen un comportamiento normal o por el contrario si no se tiene evidencia suficiente para afirmarlo. De acuerdo con las pruebas aplicadas y el valor de $\alpha=0,05$ se puede definir que no se cuenta con evidencia suficiente para afirmar que el conjunto de datos se ajusta a una distribución normal. Por lo tanto, se puede decir que los MPS estuvieron presentes en todas las muestras, pero existen diferencias importantes en las concentraciones de los mismos, por variables que estuvieron presentes según la zona de muestreo como lo son el flujo de personas, el comercio y las vías cercanas al punto. Los gráficos de cuartil-cuartil (QQ-plot) y percentil-percentil (PP-plot) refuerzan esta afirmación al describir el comportamiento que tienen las muestras al agrupar sus datos. Los valores obtenidos para cada una de las pruebas realizadas se describen en la Tabla (8). Las diferencias en las concentraciones de MP entre sitios pueden atribuirse a cambios en la dispersión de microplásticos y al movimiento generado por flujos espaciales y temporales en el entorno (McCormick et al., 2016).

Tabla 8. Pruebas de normalidad de las concentraciones

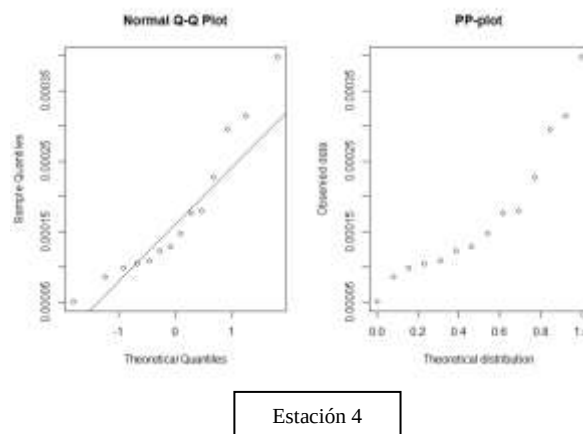
	<i>Concentración (Peso/Vol)</i>		<i>Concentración (N° Fibras/Vol)</i>		<i>Concentración (N° Fibras/Sólidos totales)</i>	
	<i>Shapiro- Wilk</i>	<i>Jarque Bera</i>	<i>Shapiro- Wilk</i>	<i>Jarque Bera</i>	<i>Shapiro-Wilk</i>	<i>Jarque Bera</i>
1	0.0001263	0.0003141	0.003184	0.008163	0.1071	0.156
2	0.0562	0.002664	0.015118	0.000409	0.8631	0.7788
3	0.0502	0.000723	0.0004742	0.09524	0.1755	0.6077
4	0.09322	0.3412	0.0358	0.3154	0.0002466	0.0002606
5	0.001	0.0004827	0.296	0.4811	0.007992	0.00827

Fuente. Elaboración propia

3.2.1 Concentración (Peso/Vol)

Para el caso del análisis de normalidad frente a la concentración descrita como peso/volumen los datos obtenidos para la estación 4 (Alianza 60) son los únicos que según las pruebas estadísticas aplicadas se ajustan al comportamiento de una distribución normal. Un dato característico que tiene esta estación de muestreo es la presencia de una obra de construcción a su lado posterior izquierdo, las cuales pueden ser consideradas primera fuente de fibras presentes en las muestras, esto podría deberse a su alta tasa de producción que se traduce en una alta generación de residuos (Belén et al., 2023) (Gráfica 3).

Gráfica 3. Comportamiento prueba de normalidad estación 4 (Alianza 60)

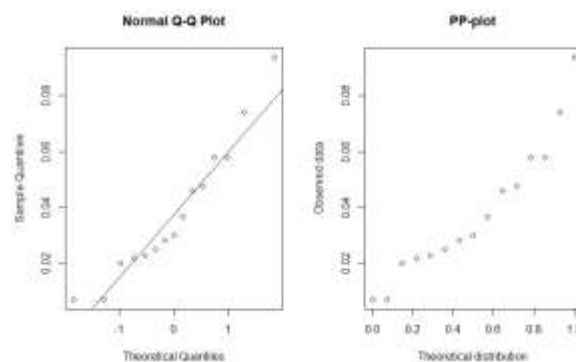


Fuente. Elaboración propia

3.2.2 Concentración (N° Fibras/Vol)

De acuerdo con la observación de fibras en cada una de las muestras la estación 5 (Sede Aquinate) es la única que muestra condiciones de normalidad dentro de las pruebas esto se debe a que el conteo de microplásticos obtenidos de las muestras de la estación 5 son regulares en comparación con el conteo de muestras observados en las otras estaciones (Gráfica 4). Cabe señalar que esta estación se encuentra en un punto con alto flujo peatonal y vehicular, por lo cual se identifica un uso del suelo alto, además de estar rodeada de puntos residenciales, se estima que una de las principales fuentes de fibras proviene de la degradación de los textiles presentes en la ropa que pueden desprenderse y liberarse a medida que la ropa se desgasta o durante el lavado y secado (Salvador, et al., 2017).

Gráfica 4. Comportamiento prueba de normalidad estación 4 (Sede Aquinate)



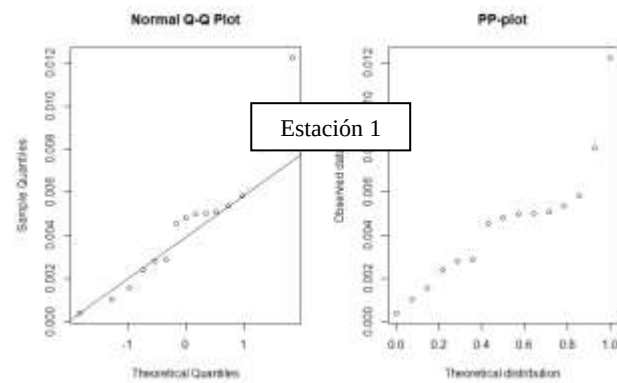
Estación 5

Fuente. Elaboración propia

3.2.3 Concentración (N° Fibras/Sólidos Totales)

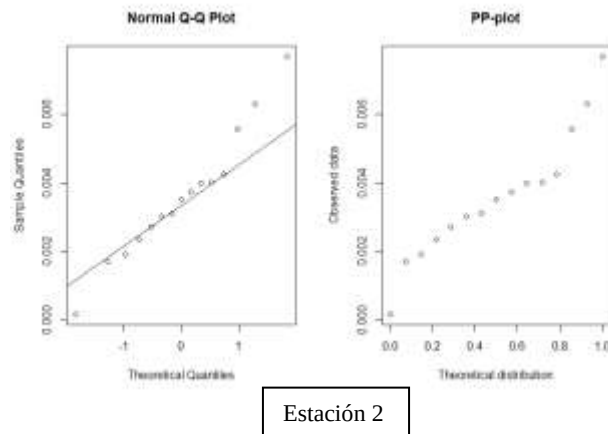
De acuerdo con la observación de fibras y el peso de cada una de las muestras hubo tres estaciones que comparten una característica ya que ellas están directamente relacionadas con vías de circulación de tránsito automotor como lo son la vía de la 7ma y 9na, las estaciones que comparten esta relación son la 1 (Plaza 39), la 2 (Aparta estudios 43) y la 3 (Sede principal de la universidad Santo Tomás) por esta razón se presenta una dirección directa entre la presencia de microplásticos y sus pesos relativos. Esto puede atribuirse que al ser partículas de menor tamaño su bajo peso les permite permanecer suspendidas en la atmósfera por más tiempo por el alto flujo vehicular y luego descienden durante un evento de precipitación (Belén et al., 2023) (Gráfica 5, 6, 7)

Gráfica 5. Comportamiento prueba de normalidad estación 1 (Plaza 39)



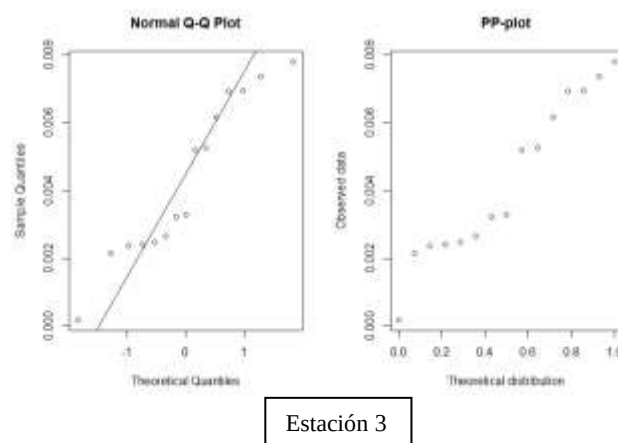
Fuente. Elaboración propia

Gráfica 6. Comportamiento prueba de normalidad estación 2 (Aparta estudios 43)



Fuente. Elaboración propia

Gráfica 7. Comportamiento prueba de normalidad estación 3 (Sede principal Universidad Santo Tomás)

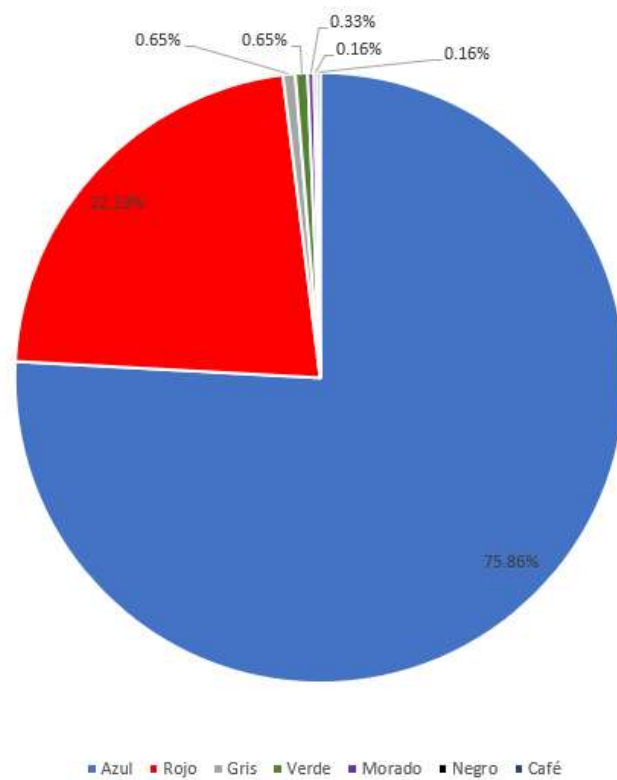


Fuente. Elaboración propia

3.3 Colores y tipología

Se registró una única tipología de microplástico, las fibras, además se determinaron 7 colores en el análisis estereoscópico. Entre las fibras predominan colores como el azul (75.9%) y rojo (22.2%) como se evidencia en la (Gráfica 8). La mayoría de las bandas se originaron a partir del colorante (Gubala et al., 2014). La aparición del tinte índigo en azul en las fibras es altamente indicativa de fuentes textiles (Belén et al., 2023). Las microfibras de blue jeans son una forma de microfibra "natural", sin embargo, son procesados químicamente y son lo suficientemente persistentes para transportarse a larga distancia y acumularse en los compartimentos ambientales siendo a menudo más abundante que las microfibras sintéticas en muestras ambientales (Athey et al., 2020)

Gráfica 8. Porcentaje de colores encontrados en los MPs



Fuente. Elaboración propia

4. Conclusiones

Este estudio evaluó la presencia e identificación de microplásticos transportados en el agua lluvia en la localidad de Chapinero en Bogotá. Se encontraron microplásticos en todas las muestras de agua que fueron recolectadas y una única forma entre ellos, conocidos como fibras, entre ellas predominaron las de color azul y rojo colores característicos de microfibras de fuentes textiles por ende su proceso es químico, además de otro tipo de sedimentos, la abundancia de MPs cambio según la zona (sur-norte) y sus correspondientes características en los puntos de muestreo, se encontró mayor presencia de fibras en la zona norte, teniendo esta un área comercial y residencial mayor que la sur, teniendo en cuenta que su mayor fuente se puede atribuir a la basura plástica en el sector y los sólidos suspendidos a la naturaleza geológica, la cercanía a la zona industrial de la ciudad, y las múltiples construcciones que representaron en el estudio en la zona norte, también identificando como uno de los parámetros más importantes e influyentes en la presencia de MPs las vías de circulación de tránsito automotor como lo son la vía de la 7ma y 9na.

Un dato característico de las muestras obtenidas es la variedad de tamaños de partículas de residuos plásticos, los microplásticos de color representaron (99.35%) lo que indica el alto uso de plástico teñido. Este estudio confirmó el transporte de MPs por medio del agua lluvia urbana y su traslado a otros ambientes según la dirección del viento de la zona. Sin embargo, para trabajos futuros se puede abordar que impacto tienen estos MPs y el riesgo de exposición para la salud de las personas.

Referencias

- Álvarez, J. A., Buitrago W. A. y Guzmán, M. (2016). Determinación del comportamiento ácido de las precipitaciones en inmediaciones del resguardo indígena de la serranía Del Majuy en Cota, Cundinamarca y su efecto en líquenes de la zona. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2462/2016williambuitrago.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Montalvo, L., (2007). Plásticos industriales y su procesamiento. Buenos Aires, Argentina: El Cid Editor. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/usta/34450?page=5>.
- Geyer, R., Jambeck, J., Law, K., (2017) Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*. <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/sciadv.1700782?fbclid=IwAR1W32>
- Barnes, D., Francois, R., Barlaz T., Barlaz, M., (2009) Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *The royal society*. 364, 1985–1998 <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2008.0205>
- Thompson, R., Swan, S., Moore, C., Voom Saal, F., (2009) Our plastic age. *The royal society*. Sci. 364 (1526), 1973–1976 <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2009.0054>

Meng, Y., Kelly, F., Wright, S., (2020). Advances and challenges of microplastic pollution in freshwater ecosystems: A UK perspective. *Enviromental Pollution*. Vol 256, 15. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113445>.

Wayman, C., Niemann, H., (2021). The fate of plastic in the ocean environment - a minireview. *Environ. Sci. Process. Impacts* 23 (2), 16. <https://doi.org/10.1039/d0em00446d>.

Thompson, R., Moore, C., Voom Saal, F., Swan, S., (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *The Royal Society*. 364, 2153–2166. <https://doi/10.1098/rstb.2009.0053>.

Gigault, J., Halle, A., Baudrimont, M., Pascal, P., Gauffre, F., Phi, T., El Hadri, H., Grassl, B., Reynaud, S., (2018). Current opinion: what is a nanoplastic? *Environ. Pollut.* 235, 1030–1034. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024>

Hartmann, N., Huffer, T., Thompson, R., Hassell, M., Verschoor, A., Daugaard, A., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M., Hess, M., Ivleva, N., Lusher, A., Wagner, M., (2019). Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. *Environ. Sci. Technol.* 53, 1039–1047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>

Eubeler, J., Bernhard M., Knepper T. (2010) Environmental biodegradation of synthetic polymers II. Biodegradation of different polymer groups. *TrAC Trends Anal Chem.* 2010;29(1):84–100. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.09.005>

Huppertsberg, S., Knepper, T., (2018). Instrumental analysis of microplastics—benefits and challenges. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1210-8>

Yin, K., Wang, D., Zhao, H., Wang, Y., Guo, M., Liu, Y., Li, B., Xing, M. (2021). Microplastics pollution and risk assessment in water bodies of two nature reserves in Jilin Province: Correlation analysis with the degree of human activity. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149390> 0048-9697

Andrady, A. (2011). Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull.* 62:1596–1605. <https://doi:10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>

Zettler, E., Mincer T., Zettler, L., (2013) Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris . *Environ Sci Technol.* 47:7137–7146. doi.org/10.1021/es401288x

Hale, R., Seeley, M., La guardia, M., Mai, L., Zeng, E. (2020). A Global Perspective on Microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. Vol 125, 1. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018JC014719>

Sol, D., Laca, A., Laca, A., Díaz, M. (2020). Approaching the environmental problem of microplastics: Importance of WWTP treatments. *Science of the Total Environment*. 0048-9697(20)33536-1. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140016>

Sang, W., Chen, Z., Mei, L., Hao, S., Zhan, C., Zhang, W., Li, M., Liu, J. (2021). The abundance and characteristics of microplastics in rainwater pipelines. *Science of the Total Environment*. 0048-9697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142606>

Garcés-Ordóñez, O., Espinosa, L.F., Muniz, M.C., Pereira, L.B.S., dos Anjos, R.M. (2021). Abundance, distribution, and characteristics of microplastics in coastal surface waters of the Colombian Caribbean and Pacific. *Environmental Science and Pollution Research* 28, 43431-43442. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13723-x>

Horton, A.A., Svendsen, C., Williams, R.J., Spurgeon, D.J., Lahive, E., (2017). Large microplastic particles in sediments of tributaries of the river thames, UK – Abundance, sources and methods for effective quantification. *Mar. Pollut. Bull.* 114 (1), 218–226.

Dewi, I.S., Budiarsa, A.A., Ritonga, I.R., (2015). Distribution of microplastic at sediment in Muara Badak, Kutai Kartanegara Regency Distribution of microplastic at sediment in the Muara Badak Subdistrict, Kutai Kartanegara Regency. *Depik* 4 (3), 121–131, (in Indonesian language).

McCormick, A.R., Hoellein, T.J., London, M.G., Hittie, J., Scott, J.W., Kelly, J.J., (2016). Microplastic in surface waters of urban rivers: Concentration, sources, and associated bacterial assemblages. *Ecosphere* 7 (11).

Villafane A.B., Ronda A.C., Pirani L.S, Picone A.L., Lucchi L.D., Romano R.M., Pereyra M.T., Arias A.H., (2023). Microplastics and anthropogenic debris in rainwater from Bahia Blanca, Argentina

F.S. Cesa, A. Turra, J. Baruque Ramos, (2017) Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: A review from textile perspective with a focus on domestic washings, *Sci. Total Environ.* 598 (2017) 1116–1129. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.172>

J. Was-Gubala, W. Machnowski, Application of Raman Spectroscopy for differentiation among cotton and viscose fibers dyed with several dye classes, *Spectrosc. Lett.* 47 (7) (2014) 527–535. <http://doi.org/10.1080/00387010.2013.820760>

Athey, J. Adams, L. Erdle, L. Jantunen, P. Helm, S. Finkelstein, M. Diamond, The widespread environmental footprint of indigo denim microfibers from blue jeans, *Environ. Sci. Technol. Lett.* 7 (11) (2020) 840–847. <http://doi:10.1021/acs.estlett.0c00498>

Flores, C.E., Flores, K.L., (2021) PRUEBAS PARA COMPROBAR LA NORMALIDAD DE DATOS EN PROCESOS PRODUCTIVOS: ANDERSONDARLING, RYAN-JOINER, SHAPIRO-WILK Y KOLMOGÓROV-SMIRNOV. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/3412237018.pdf>

Forero, G. (2010) Contratación de paradigmas de las finanzas: normalidad e hipótesis del mercado. (5) 167-227. <https://www.redalyc.org/pdf/532/53220677006.pdf>