

Determinación de microplásticos por observación estereoscópica en cinco puntos del Humedal
“El Burro”, Bogotá- Colombia

Lizeth Vanessa Arias Bernal
Angie Paola Lozano Hernández
Paula Alejandra Manrique Callejas

Asesora interna
Jovanna Acero Godoy MS. en Microbiología



Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Facultad Ciencias de la Salud

Programa Bacteriología y laboratorio clínico

Bogotá

2022

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS	14
1.1 Objetivo general	14
1.2 Objetivos específicos	15
2. ANTECEDENTES	15
3. MARCO DE REFERENCIA	24
3.1 Humedales:	24
3.2 Convención RAMSAR	24
3.2.1 Criterios para la Identificación de Humedales según RAMSAR (Figura 1):	25
3.3 Humedales en Bogotá:	25
3.4 Humedal El Burro	27
3.5 Microplásticos	28
3.5.1 Ciclo de los plásticos	29
3.6 Problemática de los MP	32
3.7 Determinación de MP	
3.8 Clasificación morfológica de MP	
3.9 Filtración	33
3.9.1 Filtros de Whatman:	33
3.9.2 Filtración de membrana:	34
3.10 Comunidades Hidrobiológicas	34
3.11 Análisis fisicoquímico del agua del Humedal el Burro	35
3.12 Análisis microbiológico	39
4. BASES LEGALES	40
5. DISEÑO METODOLÓGICO	43
5.1 Tipo de investigación: descriptivo experimental.	43
5.2 Hipótesis, variables, indicadores	43
5.3 Marco geográfico	43
5.4 Materiales y Métodos	44
5.4.1 Caracterización del Humedal:	44
5.4.2 Recolección y filtración:	45
5.4.3 Transporte y Conservación:	45
5.4.4 Observación en Fresco:	45
5.4.5 Segundo Filtrado:	46
5.4.6 Estereoscopia:	46
5.4.7 Prueba de elasticidad	

5.4.8 Morfología de los MP	46
5.4.9 Análisis Microbiológico:	47
5.4.9.1 Filtración de membrana	47
5.4.9.2 Número más probable en aguas (NMP)	47
5.4.9.3 Siembra por superficie	47
5.4.9.4 Técnica cromogénica	48
5.4.10 Parámetros fisicoquímicos del agua:	48
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
6.1 Determinación de MP	51
6.2 Clasificación de MP	54
6.3 Análisis Microbiológico	
6.4 Comunidades Hidrobiológicas	
6.5 Análisis fisicoquímico	58
6.5.1 Turbiedad	60
6.5.2 pH	61
6.5.3 Conductividad específica	62
6.5.4 Alcalinidad Total y Alcalinidad de Bicarbonatos	62
6.5.5 Dureza total	63
6.5.6 Calcio	63
6.5.7 Magnesio	63
6.5.8 Hierro	64
6.5.9 Manganeseo	65
6.5.10 Amonio	65
6.5.11 Nitritos	66
6.5.12 Nitratos	66
6.5.13 Cloruros	67
6.5.14 Sulfatos	67
6.5.15 Ortofosfatos	68
6.5.16 Sólidos Totales	68
6.5.17 Sólidos Suspendidos Totales	68
7. CONCLUSIONES	77
8. RECOMENDACIONES	78
9. REFERENCIAS	
10 ANEXOS	87

Lista de tablas

Pág

Tabla 1. Clasificación de MP encontrados en el Humedal El Burro

Tabla 2. Resultado de análisis fisicoquímicos en muestra compuesta

Tabla 3. Comparativo entre los Humedales el Burro, Tibanica, Jaboque, Juan amarillo, Santa María del Lago, Guaymaral, Conejera y El juncal

Lista de Figuras

	Pág
Figura 1. Criterios de identificación humedales (RAMSAR)	26
Figura 2: Bogotá D.C Sistema Hídrico y Humedales	27
Figura 3: Humedal El Burro	29
Figura 4: Comunidades Hidrobiológicas	36
Figura 5: Caracterización del Humedal El Burro según los puntos de muestreo.	46
Figura 6: Reconocimiento Humedal El Burro	52
Figura 7: Índice de precipitación de los Meses Septiembre y Octubre del año 2021, en el departamento de Cundinamarca donde se encuentra ubicado el Humedal el Burro.	53
Figura 8: Promedio Muestreo 1 MP	57
Figura 9: Promedio Muestreo 2 MP	58
Figura 10: Promedio Muestreo 3 MP	60
Figura 11: (a) Bacterias: forma delgada, alargada y helicoidal, Imagen propia	63
Figura 12: Fitoplancton	64
Figura 13: Zooplancton	67
Figura 14: Turbidez obtenida comparada con el límite descrito en la Resolución 3964/2019	67
Figura 15: pH obtenido en Humedal el Burro respecto a los rangos del decreto 1076/2015 y la resolución 3964/2019	69
Figura 16 : Niveles de Hierro en comparación con el Decreto 1076 de 2015	70

Figura 17: Manganeseo de muestra compuesta del Humedal el Burro en comparación con el Decreto 1076/2015	74
Figura 18: Nitratos de Muestra compuesta del Humedal el Burro	74
Figura 19: Sulfatos de Muestra compuesta del Humedal el Burro	75
Figura 20: Recolección de muestras, filtrado y evidencia de acompañamiento de la Secretaría de Ambiente	78
Figura 21. Procesamiento en el Laboratorio	
Figura 22. Resultados presuntivos para Coliformes totales por técnica NMP	
Figura 23. Resultados crecimiento de colonias en agar ENDO primer muestreo	
Figura 24. Resultados crecimiento de colonias en agar ENDO segundo muestreo.	
Figura 25. Resultados crecimiento de colonias en agar ENDO tercer muestreo.	
Figura 26. Resultados del crecimiento de colonias en agar EMB.	
Figura 27. Resultados crecimiento de colonias en agar MacConkey	
Figura 28. Resultados del crecimiento de colonias en agar S.S	
Figura 29. Resultados positivos para escherichia coli en análisis microbiológico Aqua Chrom	
Figura 30. Publicidad recorrido y taller de MP	
Figura 31. Charla recorrido acerca de MP en Humedal El Burro, Imagen propia	
Figura 32. ¿Cómo calificaría la organización de la Charla sobre Microplásticos?	

Figura 33. En una escala del 1 al 5, siendo el 5 el más alto, ¿Cómo calificaría la charla?

Figura 34. ¿Cree que la información brindada en este evento fue útil?

Figura 35. ¿Considera usted que aprendió algo nuevo respecto a la temática de microplásticos y su relación con el ambiente?

Lista de anexos

	Pág
Anexo 1. Recolección de muestras	82
Anexo 2. Procesamiento en el laboratorio	83
Anexo 3. Resultados análisis microbiológicos técnica NMP	83
Anexo 4. Resultados análisis microbiológicos filtración por membrana	84
Anexo 5. Resultados análisis microbiológico siembra por superficie	87
Anexo 6. Resultados análisis microbiológico AquaChrom	88
Anexo 7. Resultados encuesta de satisfacción de la charla acerca de MP	88
Anexo 8. Recursos lúdicos	90

RESUMEN

La preocupación por los microplásticos (MP) ha sido una de las problemáticas emergentes en los últimos años desde que se ha tomado un poco más de conciencia sobre el destino medioambiental del mundo; sin embargo, el estudio de estas partículas en ecosistemas acuáticos dulces se ha dejado de lado. Este trabajo tuvo como objetivo analizar la relación entre el medio ambiente y la presencia o ausencia de MP en el Humedal “El Burro” en la ciudad de Bogotá, mediante la recolección y filtración de 5 litros de agua por muestreo triple haciendo uso de tamices de 850 μ m, 106 μ m y 55 μ m de diámetro. En el laboratorio se realizó una observación en fresco, posteriormente se realizó un segundo filtrado mediante papel Whatman, identificando por estereoscopia los MP y sus características propias. Obteniéndose un promedio de 8 MP/L en el primer muestreo, 4 MP/L en el segundo y 9 MP/L en el tercero, con distintas morfologías como fibras, fragmentos, film y esferas. Asimismo, se reconoció la presencia de microorganismos como bacterias, fitoplancton, zooplancton y nematodos. En conclusión en los ecosistemas acuáticos de agua dulce como los humedales si hay presencia de MP, que pueden llegar a afectar algunos procesos dentro de estos ambientes.

Palabras clave: Microplásticos, filtración, microorganismos, caracterización, humedal.

ABSTRACT

The concern about microplastics (MP) has been one of the emerging issues in recent years since a little more awareness has been taken about the environmental fate of the world; however, the study of these particles in freshwater ecosystems has been neglected. The objective of this work was to analyze the relationship between the environment and the presence or absence of PM in the "El Burro" Wetland in the city of Bogotá, through the collection and filtration of 5 liters of water by triple sampling using sieves of 850 μ m, 106 μ m and 55 μ m in diameter. In the laboratory, a fresh observation was made, later a second filtering was carried out using Whatman paper, identifying the PM and their own characteristics by stereoscopy. Obtaining an average of 8 MP/L in the first demonstrated, 4 MP/L in the second and 9 MP/L in the third, with different morphologies such as fibers, fragments, film and spheres. Likewise, the presence of microorganisms such as bacteria, phytoplankton, zooplankton and nematodes was recognized. In conclusion, in freshwater aquatic ecosystems such as wetlands if there is presence of PM, which can affect some processes within these environments.

Keywords: Microplastics, filtration, microorganisms, characterization, wetland.

GLOSARIO Y ABREVIATURAS

Red Neuston: es una red diseñada para muestrear el plancton o MP situados en los primeros centímetros de la columna de agua, está fabricada en acero inoxidable AISI 316, aloja dos flotadores entre los que se encuentra el marco de red regulable en altura de 80x30cm (1).

MP: Microplástico, hace referencia a partículas de plástico de tamaño igual o inferior a 5 mm (2).

Estereoscopio: Es un microscopio óptico diseñado para la observación de una imagen en tres dimensiones de las muestras a bajos aumentos (2).

Cromatografía: Método de separación de mezclas complejas, que se utiliza para cuantificar e identificar los componentes de una muestra (2).

Espectrometría: Técnica analítica para hacer una medición de cuánta luz puede absorber un compuesto, analizando la concentración y la cantidad de este (2).

Polímero: Compuestos formados por la unión de varias moléculas pequeñas repetidas a lo largo de una cadena (3).

Bioacumulación: Acumulación de un contaminante en un organismo desde cualquier fuente de exposición incluyendo aire, agua y alimento, teniendo en cuenta procesos como absorción, distribución, biotransformación (4).

Biomagnificación: Es la acumulación del contaminante en los organismos de un nivel trófico respecto a los de otro nivel trófico (4).

PEDH: Parques Ecológicos Distritales de Humedal

PEAD: Polietileno de alta densidad

FT-IR: Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier

NR: Nile Red

PET: tereftalato de polietileno

PS: Poliestireno

PE: Polietileno

PVC: Policloruro de vinilo

PP: Polipropileno

Serigrafía: Técnica de impresión que consiste en transferir una tinta a través de una malla tensada en un marco (5).

PTAR: Plantas de tratamiento de aguas residuales

PCBs: Bifenilos policlorados

PAHs: Hidrocarburos poliaromáticos

Ra: Rayón

COP: contaminantes orgánicos persistentes

PBT: Sustancias persistentes, bioacumulable, tóxicas

ha: Hectáreas

Plastisfera: son MP colonizados por comunidades microbianas como hongos, diatomeas y bacterias, que forman biopelículas en la superficie (6).

TED-GC-MS: Desorción térmica con Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas

pyrolysis-GC-MS: Pirólisis- Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

SIAC: Sistema Ambiental del Distrito Capital

PGA: Plan de Gestión Ambiental del D.C.

RUNAP Registro Único Nacional de Áreas Protegidas

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas importantes, ya que aportan múltiples beneficios al medio ambiente, las características principales de estos cuerpos de agua es que tienen la capacidad de controlar y prevenir inundaciones, son nichos que ayudan en el ciclo del agua, del carbono y su almacenamiento por medio de las turberas, suministro de agua potable mediante la filtración de contaminantes por medio las marismas y la vegetación, la retención de sedimentos y nutrientes, la conservación de la biodiversidad en flora y fauna ya que el 40 % de las especies vegetales y animales del planeta vive en humedales y se ha documentado más de 100.000 especies de agua dulce, regulación en procesos climáticos y demás funciones (7).

Los humedales son ambientes protegidos mediante la Convención RAMSAR 1971 y el Convenio sobre la Diversidad Biológica 1992, acuerdos internacionales los cuales buscan promover la conservación, el uso racional de los humedales y la protección de la diversidad biológica (8,9). Colombia al ser una país biodiverso, ha adoptado estas medidas, ya que cuenta con 31.702 humedales identificados (10,11), entre los cuales se encuentra “El complejo de humedales urbanos del Distrito capital de Bogotá”. Es necesario proteger estos ecosistemas debido a las problemáticas ambientales que existen, siendo la contaminación una de las más importantes, ya que es causada por las acciones antrópicas como los sistemas de transporte, las grandes industrias, el mal uso del agua, la construcción, el consumismo que han causado la desaparición o reducción de los humedales. (12)

Con relación a la contaminación en los humedales, es importante mencionar los MP, que son partículas de un tamaño ≤ 5 mm las cuales pueden llegar a intervenir en el desarrollo normal de los seres vivos; la fuente de esta contaminación es generada principalmente por las actividades humanas, algunos procesos industriales o descomposición de desechos plásticos de mayor tamaño creados y vendidos para ser consumidos por las personas. Estos MP pueden llegar a estar en alimentos, aire, agua, animales y organismos acuáticos, contaminación que a su vez afectan al ser humano (13).

En respuesta a esta problemática se propone analizar la relación entre la presencia o ausencia de microplásticos con las condiciones ambientales en el Humedal “El Burro” Bogotá, con el fin de

hacer un análisis sobre las posibles fuentes de contaminación asociadas a las actividades antrópicas, así como se ha demostrado en otros humedales, en los cuales se ha destacado la contaminación por mala disposición de basuras, escombros, residuos sólidos e ingreso de aguas no tratadas a la presencia de estas partículas. Según las acciones mencionadas anteriormente se busca la incorporación de un control preventivo enfocado hacia el aprendizaje colectivo de la comunidad sobre el uso de plásticos, productos que contengan MP y acciones para disminuir su consumo (7,14), por tal motivo al ampliar la información acerca de este tema ayudaría significativamente en la brecha de conocimiento existente por la contaminación de MP en humedales de agua dulce.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Analizar la relación entre la presencia o ausencia de microplásticos con las condiciones ambientales en el Humedal “El Burro” Bogotá- Colombia.

1.2 Objetivos específicos

- Describir las características socioambientales actuales del Humedal “El Burro” asociadas a la contaminación del cuerpo de agua.
- Caracterizar las partículas plásticas $\leq 5\text{mm}$ presentes en los primeros centímetros de la masa del agua.
- Establecer la relación entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con la presencia o ausencia de microplásticos en el Humedal “el Burro”.

2. ANTECEDENTES

Los MP son una problemática a nivel mundial, se ha demostrado que se pueden llegar a diseminar en muchos cuerpos de agua superficial como ríos, océanos, lagunas, humedales y manglares. Este término se utilizó por primera vez en el 2004, sin embargo, este problema viene desde los primeros indicios del plástico en el año 1786 con la descripción de la destilación de un bálsamo extraído de la corteza del árbol *Liquambar orientalis*, material antecesor del plástico, si bien es cierto que se ha intentado reducir el uso de plástico, no es suficiente, ya que anualmente solo en la fabricación de bebidas se producen más de 500 millones de botellas de un solo uso, adicionalmente, la producción de bolsas plásticas para diversos productos como las frituras en las industrias de restaurantes y almacenes suman a la cantidad de plástico que llegará a afectar a los ecosistemas acuáticos, por ejemplo, para el año 2015 se obtuvo 322 millones de toneladas en producción de plástico sin tener en cuenta las fibras sintéticas según Greenpeace; esta cantidad de plástico en algún momento se convertirá en MP, sin dejar de lado también la producción directa de estas partículas en industrias como la cosmética, por lo cual se debió hacer una determinación, clasificación y caracterización de MP mediante la investigación de aguas como se muestra más adelante (15,16).

Thompson y colaboradores en 2004, cuantificaron los MP mediante la recolección de sedimentos en playas en torno a Plymouth, Reino Unido, usaron como metodología la separación mediante flotación y la espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FT-IR) para la identificación de las partículas en 30 muestras; obtuvieron como resultados que 23 de las 30 muestras evidenciaron MP, en su caracterización determinaron que estos provenían de polímeros de origen sintético: acrílico, alquídico, poliamida (nailon), poliéster, polietileno (PE), polimetilacrilato, polipropileno y alcohol de polivinilo con características fibrosas en mayor cantidad y granulares en menor cantidad con colores brillantes; de acuerdo con estos resultados concluyeron que había un aumento de la acumulación de MP en las playas, también se predijo un mayor número de este tipo de contaminación debido a la producción rápida del plástico, el largo ciclo de degradación y la naturaleza desechable de los artículos producidos (17).

Por otra parte Hidalgo y colaboradores en 2012, realizaron la revisión de 68 estudios con el fin de presentar una comparación de las metodologías utilizadas para la identificación y cuantificación de MP del medio marino utilizando muestras de sedimento y agua de mar. Este estudio reveló

que existen tres tipos de muestreo: selectivos, a granel o de volumen reducido y masivo; los sedimentos se obtuvieron de playas arenosas y las muestras de agua de la superficie con redes de Neuston, estas fueron una buena fuente de recolección de MP, los principales pasos para el procesamiento de las muestras fueron: separación por densidad, filtración, tamizado y clasificación visual de las partículas plásticas mediante parámetros como fuente, tipo, forma, erosión y color, adicionalmente se hicieron pruebas fisicoquímicas como densidad específica y para la composición química se utilizó la FT-IR, como resultados se obtuvieron que los MP provenían de productos de consumo humano e industrial de tipo fragmentado, granuloso, fibroso y espumas, por el lado de la forma se reportaron pellets, filamentos, fragmentos irregulares y de diferentes texturas con diversos colores y estadios de degradación; adicionalmente el estudio de FT-IR mostró que existían en mayor cantidad los MP compuestos de PE, polipropileno y poliestireno (PS). Para la cuantificación se obtuvieron más de 77.000 MP/m² en muestras de sedimentos y en las muestras de superficies del mar 8,654 partículas por m³ (1).

En una revisión sobre el tema, Wagner y colaboradores (2014) visibilizaron las investigaciones realizadas sobre MP en ecosistemas de agua dulce. Con la investigación mostraron que los MP no solo son contaminantes emergentes de agua salada sino también de agua dulce ya que se registró presencia de los mismos con micro contaminantes, patógenos y varias especies son afectadas por su presencia. Algo importante de resaltar de este trabajo es que los MP sirven como un nuevo hábitat a géneros que son patógenos oportunistas como *Vibrio*, además adjuntan datos sobre MP en aguas superficiales como por ejemplo los Grandes Lagos Laurentinos mediante las redes de Neuston se extrajeron 43,000 partículas por km² y la posible fuente de estas partículas como su ubicación geográfica en áreas metropolitanas, también mencionaron datos evaluados sobre la concentración de MP en peces de agua dulce (11 peces capturados, de los cuales el 12% tenían MP en su tracto digestivo) (18).

Posteriormente en el año 2015 Lusher y colaboradores, recolectaron en Tromsø, Noruega una muestra superficial mediante la red de arrastre de manta y tratamiento simultáneo para la separación de Zooplancton mediante la agitación delicada y traspaso de las muestras a cilindros graduados para una separación por gravedad, se dejó reposar durante 24 horas para poder observar el hundimiento del material orgánico haciéndose así un depósito en el fondo de los cilindros, mientras que los MP se encontraron en la superficie, se procedió a filtrar el

sobrenadante sobre papel GF / C (47 mm) y se analizó la presencia o no bajo un microscopio estereoscópico Leica M205 C se encontraron MP en 20 de 21 muestras, por otro lado en la recolección del subsuelo se realiza mediante una bomba de agua de mar a una profundidad de 6 metros, un tamiz y otro papel filtro obteniéndose así 75 muestras del subsuelo, filtración de 150.000 litros de agua de mar y MP en el 93% de las muestras además aclaran que la mayoría de los MP encontrados fueron fibras compuestas de materiales como nylon, poliéster y poliamida adicionalmente reafirmaron que las fuentes pudieron ser la población urbana, la descomposición de plásticos más grandes, descargas de aguas domésticas y de residuos de industrias (19).

Sarria y colaboradores en 2016 realizaron un artículo de revisión que parte de un análisis descriptivo de la generación de residuos enfocado a los MP, su efecto en el medio ambiente y las vías para reducir la contaminación y exposición a los mismos. En Colombia se generó un promedio de 250.000 toneladas de residuos plásticos entre los años 1997 y 2000, dando mayor enfoque a Bogotá donde alrededor de 840 toneladas son material plástico, siendo el polietileno de alta densidad PEAD, el material plástico más común encontrado en el relleno sanitario. Continuando en su descripción, la fuente de estos MP incluye productos primarios y secundarios, siendo los secundarios contaminantes más frecuentes y su mayor fuente las plantas de tratamiento de aguas residuales. El impacto que generan sobre los organismos acuáticos y terrestres se relaciona con obstrucción del sistema digestivo, reducción de condición reproductiva, capacidad de alimentarse, daños en la piel y la inhibición de la fotosíntesis en microalgas. Algunas toxinas absorbidas en MP incluyen los policlorados y los hidrocarburos poliaromáticos. Para reducir la exposición de estos, se sugiere limitar su uso, mejorar hábitos usando productos amigables con el medio ambiente, y por último informarse y educarse permanente del tema (20).

Li y colaboradores en 2018 presentaron un artículo de revisión, el análisis realizado dio una clasificación de la fuente de obtención de MP, donde la terrestre representa el 80%, la preocupación social ha aumentado debido a la omnipresencia de MP en el medio acuático; solamente el 4% son trabajos enfocados al agua dulce. Además se nombra que a la producción de plásticos se añaden diferentes sustancias que son potencialmente tóxicas como ftalatos, bisfenol A y metales pesados como el cromo, cadmio y plomo. Por último se hace la revisión de metodologías para su determinación, el análisis de MP se divide en dos pasos: primero la

extracción/purificación y segundo la cuantificación/identificación. Para la extracción inicial se usa en su mayoría la separación de densidad, el proceso de purificación se basa en la degradación enzimática y química. Para la identificación y cuantificación, se lleva a cabo la clasificación visual y el enfoque espectroscópico, en las técnicas actuales se incluye cromatografía de gases de pirólisis acoplada a espectrometría de masas, espectroscopia Raman, FT-IR y cromatografía líquida en cuanto a métodos de tinción se encontró el Nile Red (NR) (21).

Allen y colaboradores en 2019 realizan una investigación que tiene como objetivo demostrar la incorporación de MP por medio de un transporte atmosférico, se elige una zona remota en Francia exactamente en las montañas de los Pirineos que tiene como características la casi nula intervención humana, la determinación se realiza por medio de microscopia visual y análisis de micro-Raman. Dentro de los resultados se encuentra que los recuentos de MP de las muestras de campo ilustran una deposición de partículas diaria promedio de $365 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, en este trabajo se sugiere que la lluvia, viento y nieve tienen una correlación positiva en cuanto a la deposición de MP. El análisis espectroscópico Raman indica que el componente predominante que se encuentra en las muestras es el PS, seguido de cerca por el PE. Por último, la evaluación de la trayectoria de MP indica un área de origen que se extiende a 95 km desde el sitio (22).

Del mismo modo, Dong y colaboradores en 2020, realizan un estudio, donde eligen el lago Donghu en China, y recolectan una columna de sedimentos para la detección de MP mediante espectrómetro Raman y el microscopio electrónico de barrido. La curva de tiempo registro que la abundancia de MP osciló entre $741 \sim 7707$ artículos / kg^{-1} , es más desde 1993 se observa un aumento significativamente rápido. Todos los MP eran de tipo fibroso, sus colores eran principalmente transparentes y azules, las longitudes oscilan entre $500 \sim 1000$ y $1000 \sim 3000$ μm , en los sedimentos de la capa inferior estaban compuestos por PET y rayón (Ra), el estudio de las características de la superficie de los MP indica que cambia con el tiempo, mostrando que en el núcleo de sedimento más antiguo, las superficies de los MP fibrosos eran rugosas e irregulares (23).

Entre algunos de los textos revisados Duan y colaboradores en marzo de 2020 presentan un artículo científico en el cual hacen una investigación experimental de la distribución de MP en el humedal costero Delta del Río Amarillo en Shandong, China. El objetivo principal era detectar

MP en diferentes áreas del humedal, con el fin de comparar qué tanta influencia tienen las actividades humanas en la acumulación de MP. Las muestras fueron tomadas en tres puntos distintos, de los cuales dos tenían actividades humanas recurrentes y el otro era una área completamente protegida. Los resultados demostraron la presencia de MP en todas las muestras lo que sugiere que la vegetación de los humedales es un medio de retención de estas partículas. Además, es importante resaltar la importancia para el presente trabajo en cuanto al acercamiento a un estudio experimental de la identificación y determinación de MP en muestras ambientales en este tipo de ecosistemas (24).

Sarijan y colaboradores en 2020 realizan un trabajo en el cual se hace un análisis completo acerca de los MP en ecosistemas de agua dulce por medio de una extensa búsqueda bibliográfica desde el año 1970 hasta el 2020. En la investigación mencionada se analizan los posibles métodos para la extracción y determinación de estas partículas, sugiriendo que no hay una estrategia concreta o protocolo descrito para la obtención de muestras microplásticas, sin embargo se propone utilizar las redes de neuston con este fin, ya que estas capturan materiales muy pequeños en cuerpos de agua. En cuanto al análisis de las características de los MP, los autores determinaron que se pueden hacer por medio de diferentes métodos como la inspección visual a través de estereoscopio o microscopía electrónica de barrido, que sirve para una identificación simple de la presencia o ausencia de estos compuestos en las muestras. Así mismo se hace uso de la cromatografía y espectrometría que son más especializadas y tienen como fin la detección del polímero concretamente. Es decir que existen diferentes formas de detección de MP que pueden ser aplicados para el análisis de estos compuestos en muestras de agua dulce (2).

Martinez y colaboradores en 2020 realizan un estudio en Río Magdalena de la ciudad de Neiva, Huila (Colombia) identificando el impacto de las fibras microplásticas por la degradación de textiles sintéticos mediante un muestreo de tres puntos claves y la utilización de redes de Neuston en muestras de agua y sedimento, el aislamiento de MP se llevó a cabo mediante tamización y filtrado la cual tuvo como resultados 0.013-0.028 MPs/L en agua superficial y 10.4-12.7 MPs/kg de sedimento. Finalmente mediante el microscopio Raman y la microscopía electrónica de barrido se obtuvo que la composición de estos en un 75 % era polipropileno y polietileno (3).

Por otro lado, en cuanto a la determinación de MP Kirstein y colaboradores en 2021 describen la importancia de detectar partículas de plástico en el agua, ya que si estas se consumen continuamente por los organismos pueden llegar a provocar serios problemas de salud en ellos. El objetivo de este estudio fue generar conocimiento acerca de las concentraciones y cantidades de MP en los sistemas de distribución de agua potable, reconociendo la presencia de estas partículas en las muestras evaluadas. El número de MPs/m³ detectados osciló desde un mínimo de 0 MPs/m³ hasta un máximo de 1219 MPs/m³. Por lo anterior es importante destacar que a pesar de que se implementen procesos de tratamiento de agua útiles para remover algunos contaminantes, estos no son completamente eficientes en la remoción de MP. Es por esto que se deben crear métodos estandarizados para la identificación de MP en las redes de distribución de aguas, para así disminuir el consumo de estos por los seres humanos. Las técnicas μ FTIR y Py-GC MS han demostrado ser eficientes, ya que permiten detectar, cuantificar y caracterizar adecuadamente los MP (25).

Lee y colaboradores por su parte en 2021 presentan una investigación, en la cual recolectan información de múltiples estudios realizados anteriormente, en los cuales evalúan la detección e identificación de MP en muestras de diferentes ecosistemas acuáticos, comparando diferentes técnicas como lo son FTIR, la espectroscopia de Raman y los métodos termo analíticos, para así desarrollar un posible protocolo de identificación de MP. En el estudio se observó que ambas técnicas pueden detectar el tamaño, el número de partículas y compuestos de 20 μ m en el caso de FTIR y hasta 1.0 μ m en espectroscopia de Raman, que además puede identificar la composición química de los MP. Lo anterior implica que estas técnicas son sensibles y específicas para la clasificación completa de estos compuestos, pero aun así tiene un límite en la identificación de partículas de en cuanto a su tamaño (26).

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Humedales:

Según La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional (RAMSAR) se define “una zona húmeda o humedal como cualquier extensión de marisma, pantano, turbera o superficie cubierta de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de aguas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”(27). De este modo, los humedales se clasifican en humedales marinos y costeros, humedales continentales y humedales artificiales.

Los humedales se han organizado en cinco grandes sistemas donde se puede encontrar los estuarios que son ríos que desembocan en el mar, y el agua logra un nivel de salinidad semejante a la media del agua dulce y salada, continuando están los marinos que no se afectan con los caudales fluviales, también se encuentran fluviales que son tierras anegadas periódicamente como resultado del desbordamiento de los ríos, los palustres que contienen aguas relativamente permanentes y por último los lacustres que son zonas cubiertas de aguas permanentes caracterizadas por una baja circulación (1).

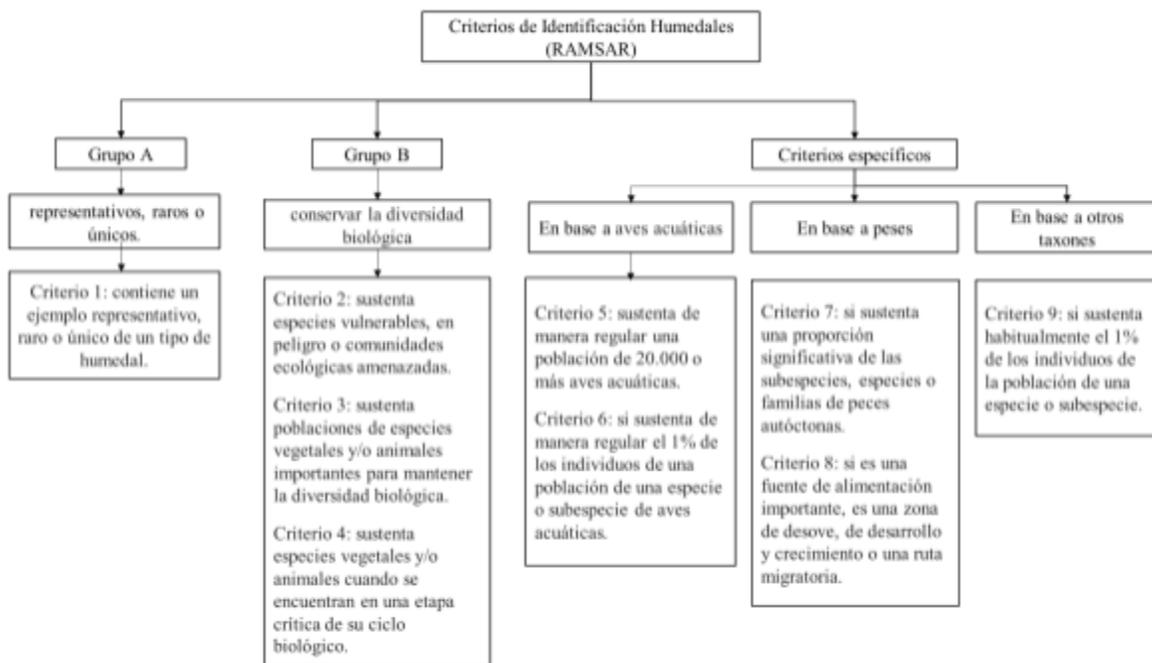
Se resalta la importancia de estos por sostener una rica diversidad biológica y extensas redes alimentarias, tienen funciones en los ciclos hidrológicos y químicos, además regulan el caudal de ríos y quebradas evitando así inundaciones; purifican el agua por las plantas presentes que absorben desechos orgánicos y químicos (28).

3.2 Convención RAMSAR

Este convenio se llevó a cabo con el propósito de hacer un llamado de atención a nivel mundial, sobre el proceso de desaparición de humedales que se estaba presentando como consecuencia de la falta de información o de divulgación acerca de sus funciones, valores y servicios. La proposición inicial de crear esta convención se realizó en la conferencia MAR, en los próximos años se fue generando una creación y negociación del texto en diferentes instancias internacionales (12).

RAMSAR es un tratado intergubernamental que fue ratificado el 2 de febrero de 1971 en la ciudad iraní Ramsar, ubicada al sur de Asia a orillas del Mar Caspio, en un principio por representantes de 18 países. Este tratado se basó inicialmente en directrices para la conservación y uso sostenible de los humedales como hábitat de aves acuáticas, sin embargo al pasar el tiempo su alcance se ha ampliado para todos los aspectos relacionados con los humedales. Para el año 2016 contaba con 169 miembros de todo el mundo. La misión de la Convención de Ramsar, adoptada por las Partes en 1999 y revisada en 2002, es “la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo” (12).

3.2.1 Criterios para la Identificación de Humedales según RAMSAR (Figura 1):



Gráfica adaptada de Convención RAMSAR. Manual de la convención de RAMSAR (12).

Figura 1: Criterios de identificación humedales (RAMSAR), Imagen propia

3.3 Humedales en Bogotá:

Los humedales del Distrito pertenecen a la Cuenca del río Bogotá, hacen parte del Sistema Geográfico del Altiplano Cundiboyacense (Figura 2). En cuanto a los humedales del altiplano

bogotano pueden ser vistos como restos de la gran laguna que cubrió la sabana de Bogotá hace mucho tiempo y su formación se debe a la acumulación, por sucesivos desbordes de los ríos. Estos cuerpos de agua funcionan como amortiguadores absorbiendo parcialmente la crecida de los ríos y minimizando las inundaciones que afectan los sectores urbanos (14). Sin embargo, han sufrido graves alteraciones, principalmente por acciones humanas como la urbanización, la actividad agrícola de alto impacto, la ganadería y la industrialización (28).

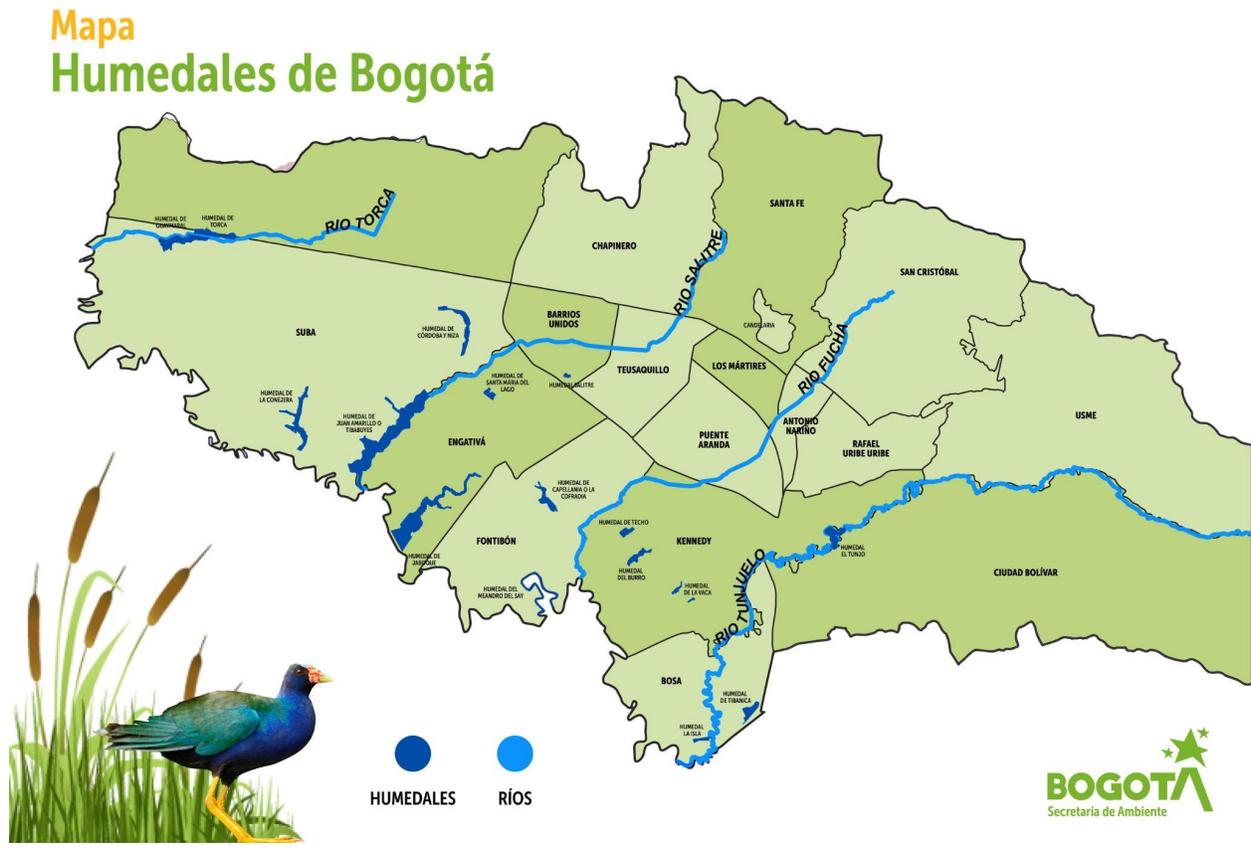


Figura 2. Bogotá D.C Sistema Hídrico y Humedales.

Tomado de:

<https://ambientebogota.gov.co/documents/10184/1070617/mapa-humedales-de-bogot%C3%A1.jpg/ae5360ea-9ad7-4cac-b43a-f8f2cb62847b?t=1591682838608>

Bogotá cuenta con 15 humedales reconocidos oficialmente: El Burro, Capellanía, Córdoba, Jaboque, Juan Amarillo, La Conejera, La Isla, La Vaca, Meandro del Say, Santa Maria del Lago, Salitre, El Techo, Tibanica, Torca y Guaymaral, y por último El Tunjo (29).

3.4 Humedal El Burro

A través del tiempo la configuración hidrológica del territorio donde se ubica Bogotá ha ido cambiando debido inicialmente a la desecación del antiguo lago Funzé que comprendía gran parte de la sabana de Bogotá y también por la expansión humana en la región. Estos procesos dieron origen a la llanura de inundación del río Bogotá sobre su ribera oriental, que conformaba grandes humedales, entre estos se formó la subcuenca El Tintal que cumplía la función de almacenar el agua en temporadas de lluvias, y que abarcaba gran parte de la actual localidad de Kennedy, además de una pequeña parte de Fontibón y Bosa. Sin embargo, para las primeras décadas del siglo XX ya no existía completamente, pues había sido desecada y fragmentada, de modo que en este territorio quedaban solo cinco humedales de menores proporciones, Techo, El Burro, La Vaca, Timiza y Tibanica(30).

Además, en el año de 1993 se produjo una reducción aún más grande del Humedal El Burro específicamente, ya que se protocolizó la parcelación del terreno y se inició la construcción de múltiples obras que se fueron llevando a cabo durante varios años sin ningún control, disminuyendo aún más el terreno (28). Es decir que la reducción de estos ecosistemas sucedió debido a las acciones humanas en el territorio, asociadas principalmente a las intervenciones que se realizaban en las haciendas para aumentar su productividad agropecuaria y al crecimiento urbano.

Finalmente, en el 2007 la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá inició las obras de recuperación del sector oriental del humedal. Este trabajo constó de III fases, las fases I y II se realizaron entre 2007 a 2010. Durante este período, se excavaron 60.000 m³ de lodo y sedimento que habían sido depositados en el humedal, de los cuales 40.000 m³ fueron llevados al relleno sanitario Doña Juana y los demás se emplearon para conformar islotes con el fin de generar distintos tipos de vegetación. Esto último permitió la recuperación de 1.5 hectáreas (ha) de espejo de agua. La fase III se ejecutó entre el 2014 y 2015. En esta se sembraron 2500 árboles, se conformó el cerramiento del humedal y se instauró un esquema de vigilancia, actualmente en funcionamiento (30).

En un principio el humedal estaba conformado por 71,54 ha, actualmente es considerado como parque ecológico y forma parte del sistema de áreas protegidas, tiene una extensión de 18.8 ha,

un espejo de agua de 0,2 ha fraccionadas en dos partes por la avenida Ciudad de Cali, condición que se mantiene a nivel de planeación urbana, ya que una parte del humedal pertenece a la unidad de planeamiento zonal UPZ 86 Castilla y la otra a la UPZ 79 Calandaima (30). El Burro se encuentra ubicado en el sector sur-occidental de la localidad de Kennedy. Limita con el extremo sur-occidental por los barrios: Tintala, y la biblioteca pública el tintal. Por el costado oriental con los barrios Castilla, Pío XII y Bavaria. Por el norte limita con los barrios: El Castillo y Valladolid. Por el costado sur limita con Ciudad Techo II y Corabastos. Además, su principal afluente es el canal Castilla.



Figura 3: Humedal el burro, Imagen propia

3.5 Microplásticos

Los MP son partículas de polímeros sintéticos con un tamaño inferior o igual a 5 mm, existen en una amplia variedad de colores y morfologías (21), y pueden clasificarse en varias categorías dependiendo de su origen, forma y el tipo de polímero.

Según su origen pueden ser MP primarios o secundarios. Con relación a los primarios se entienden como MP que han sido originalmente creados o diseñados para tener un tamaño

inferior y que usualmente son añadidos a los productos para cumplir una función depuradora, dentro de algunos ejemplos se encuentran derivados de textiles, medicamentos, productos del cuidado personal y productos de aseo; por otra parte los secundarios son derivados de la fragmentación de grandes desechos plásticos por medio de interacciones físicas, químicas y biológicas, en este grupo se pueden encontrar artículos para el hogar, desechos plásticos, gránulos de resina industrial y redes de pesca que al estar sometidos al medio ambiente, existe una mayor posibilidad de degradación (21), los procesos a los que están sometidos son: la biodegradación gracias a la acción de distintos organismos, la fotodegradación que es por la acción de la luz en mayor frecuencia de la luz solar, la degradación termooxidativa y por último la hidrólisis que es la reacción que se genera el estar estos MP secundarios en contacto con el agua (31).

En cuanto al tipo de polímero se relaciona con el compuesto principal de los MP, se puede identificar por medio de FT-IR, de acuerdo a los estudios realizados el polietileno de alta y baja densidad, el PET, el polipropileno, el PS, el cloruro de polivinilo y las fibras de poliamida son los polímeros hallados con mayor frecuencia según estudios (18). Además, en investigaciones realizadas se suelen agrupar en cinco categorías principales que son fragmentos, fibras, micro esferas, espumas y pellets (32).

3.5.1 Ciclo de los plásticos

Se ha podido observar que los MP se han vuelto omnipresentes en el medio ambiente, en especial en los cuerpos de agua su ingreso se puede dar por escorrentías superficiales, efluentes de aguas residuales también por desbordamientos combinados de alcantarillado, efluentes industriales, desechos plásticos degradados y deposición atmosférica (33). Debido a esto se ha propuesto un ciclo en el que se describe el ingreso del plástico al medio ambiente. Según Hoellein y colaboradores se ha venido trabajando en un modelo para describir el ciclo de los plásticos los cuales se dividen en 7 momentos:

- a. Destino final del plástico

Los productos de plástico abarcan una diversidad de materiales y clases de tamaño. El modelo empieza con los productos plásticos, en los cuales existen una diversidad de tamaños, funciones, formas y composiciones químicas. Los plásticos penetran en el medio ambiente como un producto particular, que varía ampliamente, y se fragmentarán in situ a través de procesos químicos, biológicos o mecánicos (33).

b. Gestión de residuos sólidos

La acción de desechar cambia según los hábitos personales, la geografía y la infraestructura, pero incluye cuando un consumidor elimina un producto para ser manejado como desperdicio o basura directamente en el medio ambiente. En este caso, el ciclo comprende cuándo se recogen y transportan a un lugar de gestión de residuos, abarcando su proceso (33).

Los destinos iniciales de los residuos plásticos son la reutilización, el reciclaje, la incineración, los vertederos y el medio ambiente. Los mejores escenarios son la reutilización o el reciclaje, que mantienen el plástico. Finalmente, en lugares que carecen de programas de gestión de residuos sólidos, o donde los programas existen pero no son utilizados por todos los ciudadanos, desechar plástico implica tirar basura al medio ambiente (33).

c. Gestión de aguas residuales

La basura plástica se incorpora a los sistemas de gestión de aguas residuales con aguas pluviales y aguas residuales. La basura de la calle ingresa a las alcantarillas y PTAR en sistemas de alcantarillado combinados. Los plásticos pueden capturarse durante el tratamiento de aguas residuales. Los MP más grandes pueden quedarse en las pantallas y vertidos en vertederos, mientras que los plásticos más pequeños pasarán a través de estos y se desplazarán a las áreas de tratamiento primario, donde se hunde como un componente del lodo. El plástico en el lodo se elimina y se vierte en vertederos, o se incorpora a biosólidos derivados del lodo que se emplean como fertilizante. Cuando se destina a la tierra, los MP en los biosólidos pueden volver a entrar en los medios acuáticos durante el riego o precipitación (33).

d. Tirar basura directamente

Debido a que los gobiernos generalmente financian programas de manejo de desechos para las ciudades principales, las poblaciones rurales o las ciudades menos desarrolladas con frecuencia, carecen de infraestructura de recolección de desechos sólidos o aguas residuales; en estas áreas, los vertederos, la incineración sancionada, comunidad privada, y letrinas informales son medios comunes de eliminación de residuos sólidos y de aguas residuales y son fuentes de basura plástica. Finalmente, los plásticos diseñados para uso en exteriores se desgastarán y la fragmentación del revestimiento de vinilo, pintura, llantas y plásticos agrícolas, entre otras fuentes, también generará basura plástica (33).

e. Plástico dentro de una cuenca hidrográfica: retención, transformación y almacenamiento

Una vez en el medio ambiente, los plásticos entran en una cuenca hidrográfica, se trasladan a favor del viento, río abajo, o se retienen temporalmente. Los sitios de retención incluyen sedimentos, vegetación, bordes de arroyos, presas de escombros y estructuras construidas. Las condiciones ambientales en el sitio de retención determinan las interacciones físicas, químicas y biológicas que afectan la retención, el movimiento y la descomposición del plástico. El plástico retenido dentro de una cuenca tiene varios destinos posibles, incluida la fragmentación, la mineralización, las interacciones con las redes alimentarias, la recolección y el almacenamiento a largo plazo o permanente (33).

f. Extracción de agua dulce como vector para el transporte de plástico

Los plásticos en el agua dulce pueden eliminarse cuando se extrae agua para beber, irrigar, la acuicultura u otros sectores industriales. Cuando el agua dulce se extrae para el agua potable, los MP están expuestos a procesos de tratamiento de agua que son similares a la gestión de las aguas residuales. Cuando los MP en el agua potable tratada ingresan a la distribución, pueden volver a ingresar al sistema de gestión de aguas residuales cuando se usan (33).

g. Interacciones atmósfera-tierra-agua

Las vías para que los plásticos circulen en la atmósfera son importantes, pero poco estudiadas. Una vía es la eliminación de desechos a través de la incineración realizada por ciudadanos y empresas privadas. Los productos de desecho de la combustión incluyen cenizas y gases que

contienen una serie de productos químicos. El viento puede transportar basura plástica a la atmósfera desde los sitios de contención o directamente desde el paisaje. Las fibras son la forma dominante de los plásticos en la atmósfera. Aunque el movimiento del plástico de la tierra al aire no está bien estudiado, la deposición atmosférica de los MP ocurre en lugares remotos, lo que sugiere un transporte de larga distancia. Se necesitan con urgencia más investigaciones sobre el transporte de plástico a través de las vías atmosféricas a escala de cuencas hidrográficas (33).

3.6 Problemática de los MP

La degradación y bioacumulación de los MP ha dado como resultados diferentes efectos en los organismos, dado que algunos MP son tan pequeños que son ingeridos por animales, el impacto más común ha sido la obstrucción del sistema digestivo, lo cual impide a los organismos alimentarse ocasionando la muerte por inanición, es decir déficit de nutrientes. Además, algunos estudios han demostrado que estas partículas pueden inhibir la fotosíntesis (20).

Algunos otros riesgos que se pueden presentar, incluyen la reducción de la condición reproductiva, baja capacidad de escape de depredadores y daños en la piel entre los más nombrados, además se ha demostrado una correlación en el tamaño y la acumulación, entre más pequeño sea el MP, hay mayor probabilidad de acumularse y afectar los tejidos. Así, las conexiones entre los MP y la salud humana no están totalmente estudiadas y no existe evidencia sólida de los efectos que puede tener (20).

Por otra parte, se ha evidenciado que las sustancias tóxicas son adsorbidas por la superficie de los MP a altas concentraciones dentro de estas se pueden nombrar bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarburos poliaromáticos (PAHs) y Bisfenol-A, que al ser ingeridos por los organismos y entrar en contacto con diferentes tejidos, generarán futuros impactos (20).

“Los MP pueden absorber compuestos tóxicos y bioacumulativos persistentes (PBT) del agua de mar, que incluyen contaminantes orgánicos persistentes (COP) y metales. Una vez ingeridos, los contaminantes absorbidos pueden transferirse a los organismos respectivos” (1), lo cual muestra un punto importante para la determinación de MP en agua dulce como los humedales ya que se necesita saber si estas aguas también están afectadas por esta problemática microscópica. Finalmente, se ha encontrado que los “MP pueden actuar como vector de patógenos transmitidos

por el agua que influyen en la calidad higiénica de esta” ya que se han encontrado estudios de una microbiota llamada “plastisfera” que se adhiere a MP entre estos se encuentra el género *Vibrio* patógeno oportunista para la especie humana (6).

3.7 Determinación de MP

Según Lee y colaboradores(26), el protocolo adecuado para la determinación de MP debe tener los siguientes pasos. Primero, ser recolectados y separados de su matriz ambiental . Segundo, “la separación de densidad y / o la exclusión por tamaño se realiza en función de la diferencia en las características físicas con los contaminantes”. Tercero, se debe realizar un debido tratamiento químico para eliminar cualquier contaminante orgánico. Cuarto, se debe realizar una técnica visual como estereoscopia o microscopía electrónica de barrido. Quinto, en cuanto a técnicas más específicas para determinar el método de clasificación apropiado según su tamaño y composición se encuentran la espectroscopía vibracional, FTIR y Raman. En el estudio de Lee y colaboradores (26) recomienda que la “cuantificación se estime mediante el recuento observacional y / o la aplicación de un programa estadístico”. Además, otra técnica complementaria a los anteriores procesos descritos anteriormente puede ser el método termoanalítico, ya que, usando TED-GC-MS y / o pyrolysis-GC-MS se puede adquirir información tanto cualitativa como cuantitativa en muestras de cuerpos de agua.

3.8 Clasificación Morfológica de MP

El número de categorías utilizadas para catalogar los microplásticos depende del criterio de los investigadores, sin embargo la mayoría de los estudios sugieren clasificar los MPs según su origen, forma, color y composición.

La forma de los MPs puede ayudar a identificar el origen, es decir que se puede interpretar de dónde proviene la contaminación por estas partículas (1,34). Los gránulos de plástico se asocian a plantas de procesamiento de este material cercanas a los sitios de estudio, los fragmentos pueden aparecer por las redes de pesca, materia prima industrial o degradación de materiales plásticos de uso común como botellas, los films se originan por películas plásticas delgadas como bolsas o vinipel, las fibras se producen principalmente de la degradación de cuerdas y del

lavado de ropa sintética, finalmente las esferas son generadas a partir de la creación de productos de belleza y detergentes (1,35). También es importante señalar que la forma puede demostrar la antigüedad de las partículas, por ejemplo los fragmentos afilados pueden indicar un ingreso reciente del MP al ecosistema o la ruptura de piezas más grandes, mientras que los fragmentos con bordes más lisos se asocian con una degradación más antigua y fricción con otras partículas (1).

3.9 Filtración

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. Inicialmente, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de un medio filtrante (36).

3.9.1 Filtros de Whatman:

Los filtros de papel Whatman son estándares de referencia mundial por su calidad y fiabilidad para la filtración en laboratorio. Se fabrican a partir de algodón de alta calidad tratado para alcanzar un contenido en celulosa alfa del 98%. Estos filtros de celulosa se usan en aplicaciones generales de filtración con retención para así determinar e identificar materiales suspendidos en medios acuosos. El filtro de papel con un tamaño de $11\mu\text{m}$ de poro es el más usado ya que abarca un amplio rango de aplicaciones de laboratorio usándose con frecuencia para la clarificación de líquidos (37).

3.9.2 Filtración de membrana:

Su principio se basa en la separación por presión de partículas incorporadas en una solución, la eficiencia del flujo de la solución se ve afectada en el tiempo por la acumulación de los sólidos suspendidos en la membrana (38).

3.10 Comunidades Hidrobiológicas

Los humedales son cuerpos de agua que tienen una amplia gama de organismos que se relacionan entre sí y a su vez con el ambiente acuático, cumpliendo diversas funciones y generando un equilibrio en el ecosistema. Las comunidades hidrobiológicas son algunos de estos

organismos y pueden actuar como indicadores biológicos, es decir que ayudan a descifrar algunos fenómenos ocurridos en el cuerpo de agua, por lo que su conservación es de vital importancia para el Humedal (Figura 4).

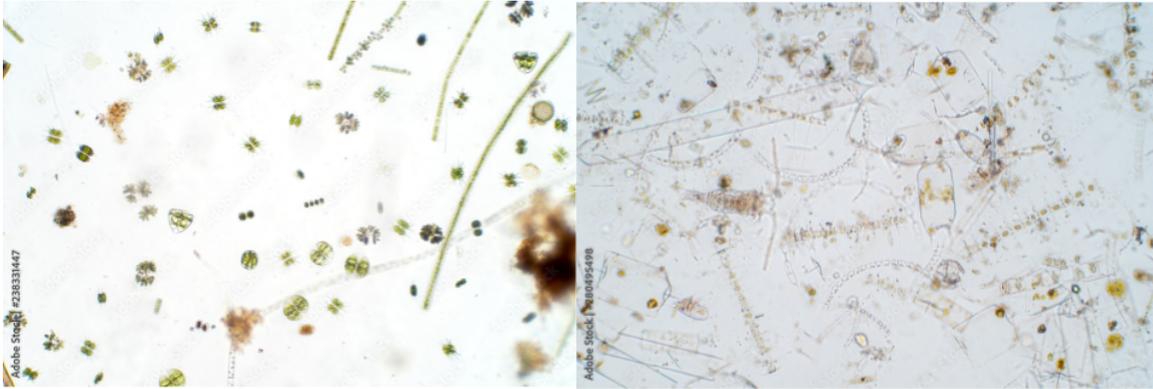


Figura 4: Comunidades Hidrobiológicas, Tomado de:

https://stock.adobe.com/es/contributor/204980094/tonaquatic?load_type=author&prev_url=detail

1

Estos organismos se pueden encontrar dentro de una agrupación denominada perifiton compuesta principalmente por algas, así como bacterias, hongos y protozoos, localizados en los ecosistemas de agua dulce de todo el mundo. Como se mencionó anteriormente cumplen múltiples funciones en los cuerpos de agua, como establecer redes tróficas entre productores, consumidores y descomponedores (39).

Por otra parte, las comunidades hidrobiológicas se pueden dividir en fitoplancton que hace referencia a las algas suspendidas en la columna de agua y zooplancton que es un término que alberga a pequeños animales (de varias micras a centímetros), que viven suspendidos en las masas de agua. Está compuesto por protistas, celentéreos, turbelarios y mayoritariamente por rotíferos, crustáceos branquiópodos y crustáceos copépodos (40).

La diversidad y abundancia de estos organismos está estrechamente asociada con la calidad del agua en la que se encuentren, respondiendo rápidamente a los cambios físicos y químicos característicos del ambiente. Es decir que fácilmente estas especies pueden actuar como indicadoras de cambios en el ecosistema (39).

3.11 Análisis fisicoquímico del agua del Humedal el Burro

Los tiempos de lluvias también llamados régimen pluviométrico conllevan a un posible aumento de los cambios antrópicos y/o naturales de este humedal afectando así los parámetros físicos los cuales muestran la calidad del agua, sus variaciones a través del tiempo y acciones de diferentes entidades como constructoras, el Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y la Secretaría de ambiente, además la vegetación también influyen en estas características ya que según el grupo de Monitoreo del Humedal existen Herbazales inundables como *Hydrocotyle ranunculoides*, *Bidens laevis* (L.) Britton, Sterns & Poggenb, *Schoenoplectus californicus*, *Lolium multiflorum* Lam, *Polygonum punctatum* Elliott y la *Rumex conglomeratus* Murray (41–43).

Por otro lado la literatura muestra que otras variables como la geología, la solubilidad de las rocas o materiales, los suelos, los procesos de evaporación, los procesos biológicos y vertidos de residuos pueden modificar las propiedades fisicoquímicas (41–43).

3.12 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico en agua está diseñado para permitir la recuperación, determinación y cuantificación de las comunidades bacterianas que allí habitan (44). Además se pueden identificar las funciones que llegan a desempeñar en el ecosistema, ya que son partícipes en ciclos biogeoquímicos y tienen un rol muy importante en la ayuda de la asimilación de nutrientes, aunque las bacterias traen múltiples beneficios, también existen bacterias patógenas que van a causar algún tipo de perjuicio ya sea en la calidad del agua, o en la fauna y flora del humedal, de allí el interés de conocer que grupos de microorganismos bacterianos están presentes (45).

4. BASES LEGALES

Artículo 2 de la ley C123 de 2018 realizada por González (46) el cual hace énfasis en:” Productos plásticos de un solo uso: La presente ley entiende por productos plásticos desechables o de un solo uso, los siguientes instrumentos compuestos por polímeros plásticos: Cubiertos plásticos, Platos plásticos, Vasos Plásticos, Contenedores de comida, Pitillos y Mezcladores”

Decreto 190 de 2004, Parágrafo 2°. La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá realizará los estudios y acciones necesarias para mantener, recuperar y conservar los humedales en sus componentes, hidráulico, sanitario, biótico y urbanístico realizando además el seguimiento técnico de las zonas de ronda y de manejo y preservación ambiental. Para esto seguirá las directrices de la autoridad ambiental competente en el marco del SIAC, el PGA y con base en las directrices de la Convención de Ramsar (Ley 357 de 1997)

La Constitución Política de Colombia 1991 como carta magna propone en los artículos

58: Se garantizan la propiedad privada y los demás derechos adquiridos mediante las leyes civiles. El interés privado deberá ceder al interés público o social y la propiedad es una función social que implica obligaciones. Como tal, le es inherente una función ecológica.

63: Los bienes de uso público son inalienables, imprescriptibles e inembargables.

79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano por lo cual es función del Estado proteger y conservar la diversidad e integridad del ambiente junto con áreas ecológicas con la participación de la comunidad.

80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración, sustitución, prevenir y controlar el deterioro, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños.

366: El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado.

Decreto-Ley 2811 de 1974 el cual es el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente se estipula que el ambiente es patrimonio común y el manejo de recursos naturales como el Agua, la Flora, la Fauna y demás bienes asimismo los elementos ambientales referidos en la norma como residuos, basuras, desechos, desperdicios y entre otros.

Decreto 1541 de 1978 Ministerio de Agricultura en el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973 en este se habla del dominio, reglamentación, restricciones, utilización, manejo de las aguas no marítimas.

En la Ley 99 de 1993 Congreso de Colombia se encuentra la creación del Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental el cual entre sus funciones tendrá garantizar la protección de los humedales, ecosistemas estratégicos, páramos y demás escenarios que no se encuentran en RUNAP.

Ley 357 de 1997 Congreso de Colombia en esta se aprobó la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas" en la cual se tratan puntos como fauna avícola dependiente de ecosistemas como humedales, parámetros de aceptación para pertenecer a la lista de los Humedales con importancia internacional, entre los cuales está actualmente el Complejo de Humedales Urbanos del Distrito Capital de Bogotá conformado por los parques Ecológicos Distritales de Humedal: Capellanía, Conejera, Córdoba, El Burro, Jaboque, Juan Amarillo, La Vaca, Santa María del Lago, Tibanica, Torca Guaymaral y el Tunjo.

Resolución 157 de 2004 MAVDT en la cual se reglamenta el uso sostenible, conservación y manejo de los humedales, y desarrolla aspectos referidos a los mismos en aplicación a la Convención Ramsar entre las cuales está el Plan de manejo ambiental, Autoridades ambientales competentes, caracterización, zonificación, delimitación y entre otros.

Resolución 196 de 2006 MAVDT la cual se encargó adoptar la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia esta contiene parámetros como definir los objetivos de manejo del sitio, determinar los factores que afectan o pueden afectar a las características intrínsecas del humedal, dirimir conflictos, definir las necesidades de monitoreo, entre otros.

Acuerdo 19 de 1994 en el cual se declaran como reservas ambientales los humedales del Distrito Capital -13- entre los cuales están el Techo, El burro, La vaca y busca medidas de recuperación, preservación y mantenimiento de las respectivas áreas de los citados terrenos y cuerpos de agua.

Decreto 062 del 2006 en este se establecen mecanismos, lineamientos y directrices para la elaboración y ejecución de los respectivos Planes de Manejo Ambiental para los humedales ubicados dentro del perímetro urbano de Bogotá mediante el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente.

Decreto 624 de 2007 Alcalde Mayor Señala los fundamentos de la política de humedales del Distrito Capital, la visión, los objetivos y los principios que la regirán.

Decreto 386 de 2008 se basa en medidas para recuperar, proteger y preservar los humedales, sus zonas de ronda hidráulica y de manejo y preservación ambiental, del Distrito Capital mediante la prohibición de construcciones, urbanizaciones, rellenos, disposiciones de tierra o escombros y cualquier otra conducta que atente contra los humedales.

Acuerdo 79 de 2003 Código de policía de Bogotá D.C. en el cual se habla en el Capítulo 3 sobre las chucuas y los humedales empezando por su definición, Comportamientos que favorecen la conservación y protección y sus posibles consecuencias para la conservación de la salud pública.

Ley 1973 de 2019 busca definir medidas para disminuir el daño ambiental causado por el ingreso, comercialización y uso de algunos materiales plásticos en el Departamento de San Andrés, prohibiendo así el ingreso, comercialización o uso de bolsas plásticas, platos, pitillos y

vasos de plástico y/o poliestireno o icopor. Entrando en vigencia mediante la resolución 283 de 2021.(47)

Proyecto de ley 247 de 2020 tiene como objetivo abolir la fabricación, importación, exportación, comercialización y distribución de plásticos de un solo uso en el territorio colombiano, buscando reducir el impacto en el medio ambiente, se llevará a cabo a partir del año 2025 y 2026 con una sustitución gradual y un plan de acción el cual cuenta con estrategias como: alternativas sostenibles basadas en la investigación y desarrollo, educación ambiental, mecanismos de concertación con el sector privado, generación de incentivos para uso de productos reutilizables asimismo como la producción de empaques y envases según la aprobación de la cámara de representantes en el año 2022 (48).

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 Tipo de investigación: descriptivo experimental.

Universo: muestra de agua de Humedales

Población: muestra de agua de Complejo de humedales urbanos del Distrito capital de Bogotá

Muestra: muestra de agua del Humedal el Burro

5.2 Hipótesis, variables, indicadores

Hipótesis: Existe una relación la presencia o ausencia de microplásticos con las condiciones ambientales en el Humedal “El Burro” Bogotá.

Hipótesis nula: No hay relación entre la presencia o ausencia de microplásticos con las condiciones ambientales en el Humedal “El Burro” Bogotá.

Variables independiente: cuerpo de agua del Humedal El Burro, Bogotá- Colombia

Variable dependiente: Microplásticos

Indicadores: cantidad aproximada de MP, morfología de partículas.

5.3 Marco geográfico

El Humedal El Burro forma parte de la subcuenca "El Tintal" que está ubicada en el sector suroccidental de la ciudad de Bogotá, en la localidad 8 de Kennedy, sobre el valle aluvial del río Bogotá. Presenta forma alargada y en la actualidad tiene una extensión de 18.8 ha de área legal en las cuales se incluye las 0,2 ha de espejo de agua (27). Su sector norte y nororiente está rodeado por urbanizaciones, bodegas y depósitos de maquinaria. Está fragmentado en dos porciones a causa de la presencia de la avenida ciudad de Cali, siendo la porción oriental la más grande, la porción occidental está rodeada por predios en urbanización.

El Humedal El Burro fue declarado como Parque Ecológico Distrital de Humedal mediante el Decreto 190 de 2004 del Plan de Ordenamiento Territorial, donde también se establece el régimen de usos para este ecosistema y la competencia para la elaboración de los Planes de Manejo Ambiental por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

5.4 Materiales y Métodos

5.4.1 Caracterización del Humedal:

Para hacer el correcto análisis del Humedal El Burro, el cual es la unidad de muestreo en la población de Humedales conformada por 15 Humedales reconocidos por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. Se hizo un recorrido alrededor del Humedal con el fin de conocer los aspectos importantes de este e identificar los 5 puntos de muestreo con más accesibilidad y aparente contacto con factores externos. La recolección de muestras se realizó el periodo de Septiembre a Octubre del año 2021 ya que en estas fechas generalmente se presenta temporadas de lluvia lo que aumenta la diseminación de los MP en los cuerpos de agua, estos puntos son (Figura 5): Conjuntos paseo de sevilla Cra 87b # 6d-10 (4°38'45.5"N 74°09'15.0"W) nombrado como conjuntos, Cra 80 f (4°38'24.1"N 74°08'55.6"W) nombrado como barrio , Conjuntos residenciales Bosques de Castilla (4°38'17.3"N 74°08'54.1"W) nombrado como canal , Avenida ciudad de Cali con carrera 86 hacia el extremo oriental (4°38'39.7"N 74°09'09.0"W) nombrado como Av. Cali y occidental (4°38'38.1"N 74°09'06.4"W) nombrado como cuerpo principal.

recolectando 200 mL de agua del Humedal, en recipientes de vidrio para el análisis microbiológico.

5.4.3 Transporte y Conservación:

El material retenido en los filtros fue posteriormente resuspendido en 75 mL de agua del Humedal, en recipientes de vidrio previamente esterilizados. Además, fueron etiquetados con el número de muestra, la hora y el punto de toma para su posterior almacenamiento en neveras térmicas con geles refrigerantes, con el fin de garantizar la temperatura de 4-6°C para una correcta conservación. Las muestras para el análisis microbiológico también se refrigeraron como se explicó anteriormente.

5.4.4 Observación en Fresco:

Se dispensaron 50µL de agua de las muestras 1,2 y 3 en portaobjetos, colocando un cubreobjetos sobre la superficie. Se procedió a la observación en microscopio óptico de luz en 40x para visualizar la movilidad, forma y tamaño de los microorganismos presentes.

5.4.5 Segundo Filtrado:

Se agregó el contenido de los recipientes de las muestras 1,2 y 3 en filtros Whatman de celulosa con un tamaño de poro de 11 µm, capaces de retener partículas \geq a este tamaño y eliminando el agua sobrante. Posteriormente se colocó el filtro en una placa de Petri, dejándolo secar a temperatura ambiente para su posterior observación en el estereoscopio.

5.4.6 Estereoscopia:

Por medio del estereoscopio se observaron los filtros anteriormente mencionados, identificando los MP presentes, evaluando las características como el color, la simetría y morfología de estos aplicando las reglas de Hidalgo-Ruz y colaboradores., 2012, admitidas por el instituto Shaw anteriormente Instituto de Investigación Ambiental y Marina, las cuales indican que los MP:

1. Deben tener un tamaño pequeño (≤ 5.0 mm).

2. No hay estructuras celulares u orgánicas visibles.
3. Las fibras deben tener el mismo grosor en toda su longitud.
4. Las partículas deben exhibir un color claro y homogéneo en todas partes (1).

Este proceso se realizó con la observación en 10x y en algunos casos 40x. Todo esto con el fin de identificar y documentar todas las posibles partículas MP. Además, es importante descartar posibles interferencias como rocas, restos animales o vegetales, piezas de pintura metálica o papel aluminio, etc. Las partículas se clasificaron según las características mencionadas anteriormente, relacionando cada una a alguno de los 4 tipos de MP que se encuentran generalmente en este tipo de investigaciones los cuales son fibras, fragmentos, esferas o films.

5.4.7 Prueba de elasticidad

Se utilizaron pinzas de metal para presionar partículas individuales que visualmente se asemejan a los MP. Generalmente los materiales de los que están compuestos son flexibles, lo que les da la capacidad de rebotar y no romperse cuando se les presiona, descartando así posibles interferencias. Si alguna partícula se rompe al tocarla con la pinza no se cuenta como plástico.

5.4.8 Morfología de los MP

Al identificar las partículas con los parámetros anteriormente mencionados clasificar los MP según su forma en 4 tipos generales que son:

- **Fibras:** Semejantes a los hilos
- **Fragmentos:** Piezas con tamaño y bordes irregulares
- **Film:** Plásticos muy finos y estirables
- **Esfera:** Partículas ovoides o esféricas

Por último evaluar la abundancia de las formas de las partículas plásticas, según los 4 tipos antes descritos por cruces en el cual (++++) significa Abundante, (++) o (+++) Moderado y (+) Escasos.

5.4.9 Análisis Microbiológico:

5.4.9.1 Filtración de membrana

Se alistó el equipo manifold, el cual fue previamente esterilizado, se colocó la membrana que posee un poro de 0,45 μm seguido del caucho y por último el embudo que se ajustó para que la muestra no tuviera escapes durante su filtración. Continuando se realizó el llenado del embudo haciendo uso de 100 mL de los 200 mL de agua de la muestra microbiológica tomada en cada punto del humedal, se abrieron las llaves del equipo y se aplicó el vacío mediante la bomba. Finalmente, cuando pasó todo el líquido se cerraron las llaves y se apagó la bomba, se procedió a retirar el embudo y con una pinza estéril se colocó la membrana en una caja de Petri Pad que fue hidratada con anterioridad usando agua destilada estéril para el medio de cultivo ENDO, para finalizar llevado a incubación por 24 h a 37°C.

5.4.9.2 Número más probable en aguas (NMP)

Se usó la técnica de NMP para la determinación presuntiva de coliformes totales mediante la norma técnica colombiana (NTC) 4939 de 2001; Calidad de agua, enumeración de coliformes y *Escherichia coli*, este es un método estadístico que usa la distribución de Poisson, para lograr estimar la cantidad de bacterias que están presentes en una muestra de agua, para esto utiliza un medio selectivo, un tiempo y una temperatura de incubación específica estos tres parámetros son los que permiten llegar a aislar el grupo de bacterias de interés (49). Su fundamento se basa en que, de existir en la muestra un organismo viable, su crecimiento gracias a las condiciones suministradas se verá reflejado en la turbidez y producción de gas en el tubo; el procedimiento estandarizado exige mínimo tres diluciones cada una con repeticiones de 3, 5 o 10 tubos (50).

5.4.9.3 Siembra por superficie

Para la siembra se tomaron 100 μL de la muestra #4 de cada punto con una micropipeta de este volumen, posteriormente se realizó una siembra por diseminación en superficie con ayuda de un asa de Digralsky en los medios MacConkey, EMB y Salmonella-Shigella, que se incubaron de 24 a 48 horas a 37° C.

5.4.9.4 Técnica cromogénica

Se realizó la técnica de AquaChrom donde se agregaron a recipientes estériles 100 mL de las muestras de estudio, posteriormente se añadió el vial que contiene el medio en polvo pre pesado, se integraron las dos partes con agitación y se enviaron a incubación a 37°C durante 18 a 24h.

5.4.10 Parámetros fisicoquímicos del agua:

Para la toma de muestra en campo se utilizó el método de muestreo compuesto, el cual consistió en la recolección de 5 muestras simples de los puntos establecidos, con un volumen por punto de 400 mL medidos con un vaso de precipitado graduado de 500 mL, en un tiempo de 15 minutos para un total de 2 litros recolectados en un garrafón. Posterior a eso se procedió a refrigerar la muestra a 4°C - 8° C, evitando la mayor cantidad de cambios posibles.

El análisis se realizó por medio del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia, Laboratorio Acreditado NTC 17025, por Resolución No 2864 -ISO/IEC de Diciembre 23 de 2016, Resolución 1162 de Mayo 24 de 2017 en calidad de cliente externo con número de análisis 37314, realizado mediante el método SM 2540 D. Los parámetros que se midieron fueron: Turbiedad, pH, Conductividad específica, Alcalinidad Total, Dureza total, Calcio, Magnesio, Hierro, Manganeso, Amonio, Nitritos, Nitratos, Cloruros, Sulfatos, Ortofosfatos, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales .

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera visita al Humedal el día 14 de junio de 2021 se recorrieron los límites del PEDH por 5 horas, identificando factores que afectan el ecosistema con relación a la presencia de MP, algunas dinámicas observadas fueron: Gran cantidad de urbanizaciones alrededor del Humedal a las cuales se atribuye la contaminación observada (figura 6) se encontraron residuos de uso doméstico como bolsas, tubos, botellas, paquetes de frituras, residuos sanitarios, entre otros; también se encontró la división notoria de la Avenida Ciudad de Cali la cual presenta un alto índice de tráfico vehicular y como se mencionó anteriormente el desgaste de los neumáticos está asociado directamente a la presencia de MP, que posiblemente llegaron al cuerpo de agua por acciones naturales como el viento o las lluvias (13).



Figura 6: Reconocimiento Humedal El Burro, Imagen propia

En cuanto a las temporadas de lluvia según los boletines climatológicos de los meses septiembre y octubre del 2021, desarrollados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el índice de precipitación mensual señaló que se presentaron lluvias por encima de lo normal en amplios sectores de la región Andina (Figura 7). Lo anterior es relevante debido a que la diseminación de los MP en el humedal se puede generar con mayor facilidad (51,52).

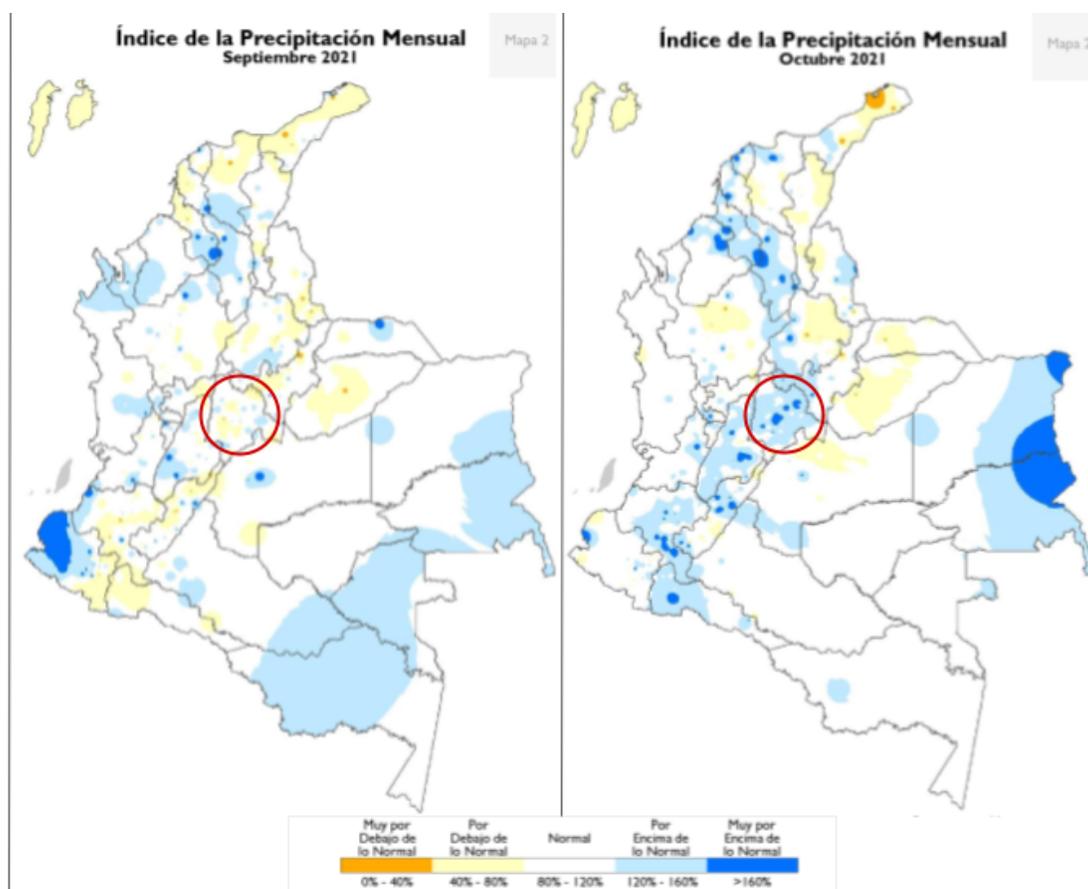


Figura 7: Índice de precipitación de los Meses Septiembre y Octubre del año 2021, en el departamento de Cundinamarca donde se encuentra ubicado el Humedal el Burro.

Tomado de: <http://www.ideam.gov.co>, Modificada

6.1 Determinación de MP

Por medio de la identificación estereoscópica y la prueba de elasticidad se identificaron partículas plásticas de un tamaño $\leq 5\text{mm}$, con múltiples formas y colores (Tabla 1), es decir que en el Humedal El Burro si hay presencia de MP. Esto es de gran preocupación debido a que pueden impactar en la vida silvestre y en este caso principalmente a las especies acuáticas del ecosistema que se pueden adhieren o ingerir las partículas plásticas causando cambios en los organismos provocando daños en el equilibrio del ecosistema y hasta la muerte de algunos individuos (53).

Se estimó que la abundancia de MP en los primeros cm de la masa de agua del Humedal varió de 1 a más de 47 partículas/L, dicha variación se debió a la ubicación los diferentes puntos de muestreo, las condiciones climatológicas y los factores humanos externos que afectan el cuerpo de agua. Además, se promediaron las muestras por cada punto (Figura 17-19), obteniendo como resultado que el sitio con más abundancia de MP fue el Barrio, seguido de el cuerpo principal, conjuntos, canal y finalmente la Av cali. Kumar y colaboradores informaron que la acumulación de microplásticos en el medio ambiente acuático es común en todo el mundo, comparando distintos estudios acerca de MP en humedales costeros y de agua dulce, con muestras tomadas en la matriz de agua o en la superficie, determinando así que las partículas en este tipo de ecosistemas varían desde 1810 hasta 1×10^9 partículas/L (53). Lo anterior demuestra que a pesar de que en el Humedal el Burro si existen MP, la contaminación por estos no es tan alta en comparación con otros Humedales.

En el muestreo 1 se observó un aumento de partículas plásticas en el barrio de casi 3 veces más en comparación a los otros puntos de muestreo que se mantuvieron estables. Esto pudo ser generado por un incremento en la entrada de contaminantes y la baja capacidad de este sector para conectar con el cuerpo de agua principal, lo que disminuye el movimiento del agua generando un aumento en las concentraciones de MP.

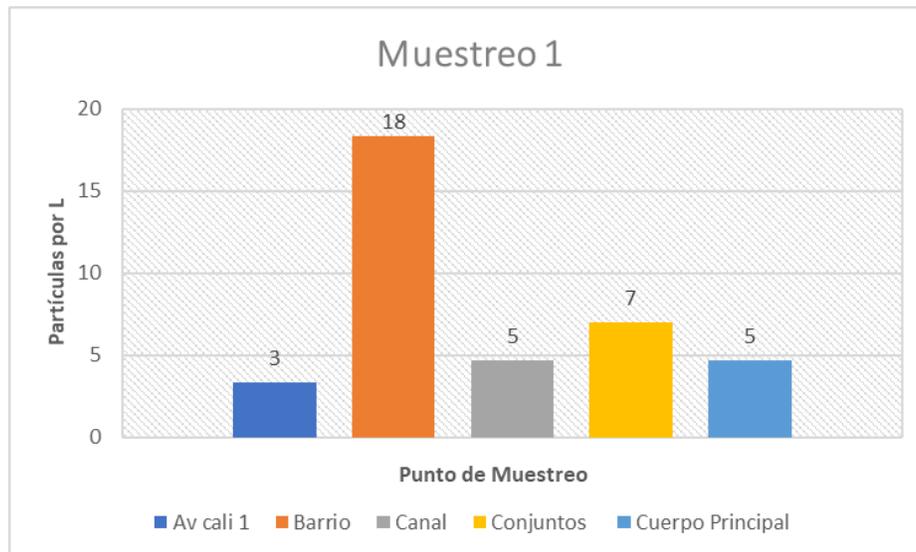


Figura 8: Promedio Muestreo 1 MP

En el muestreo 2 los MP tuvieron cantidades similares en todos los puntos de muestreo (Figura 7). Esto puede tener relación con la disminución de contaminantes externos hacia el humedal.

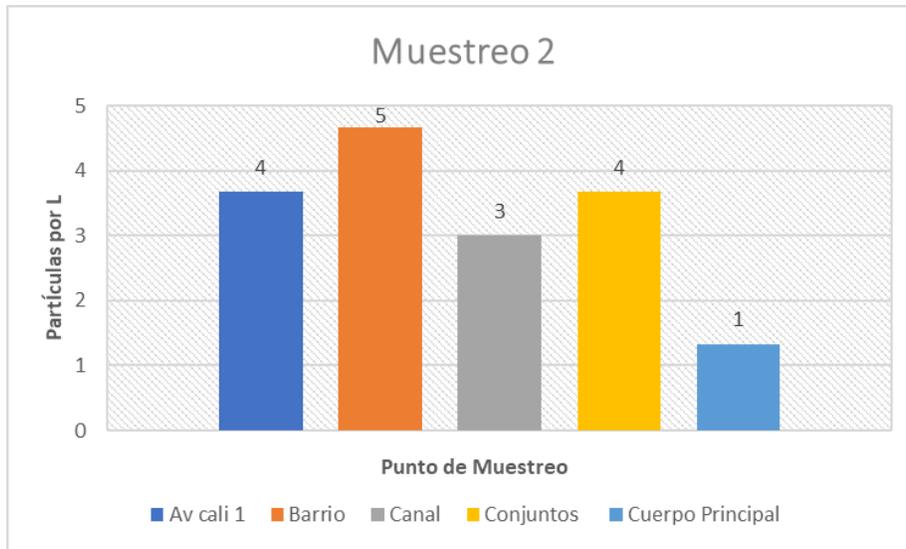


Figura 9: Promedio Muestreo 2 MP

En el muestreo 3 se determinó que en todos los puntos las partículas plásticas aumentaron (Figura 8) , esto puede estar relacionado con el clima, debido a que se recolectaron estas muestras en temporada de lluvias fuertes y como se ha mencionado anteriormente los MP se diseminan con más facilidad en estas épocas, desde la tierra por escorrentías y por transporte de sedimentos, que según investigaciones pueden provocar una mayor densidad promedio de MP en las aguas superficiales y los sedimentos (54).

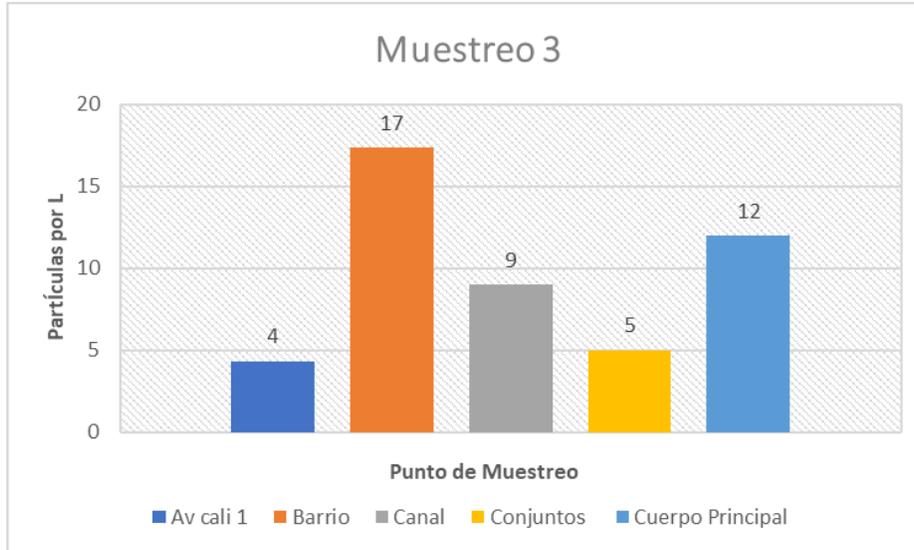


Figura 10: Promedio Muestreo 3 MP

La aparición de MP se asocia con varios factores externos observados en los diferentes recorridos realizados, en su mayoría se relacionan con las actividades humanas a los alrededores del Humedal, estos son: La deposición de basuras y escombros en el interior del humedal, la contaminación atmosférica causada por el paso de la Av. ciudad de Cali que a su vez fragmenta el Humedal en dos, la cercanía de los lugares residenciales al parque ecológico, el vertimiento de aguas residuales por conexiones ilegales, el ingreso del canal de castilla al cuerpo de agua y la presencia de habitantes de calle .

6.2 Clasificación de MP

Los MP, presentaban distintas características morfológicas por lo que se clasificaron en:

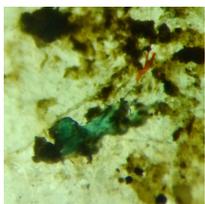
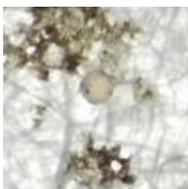
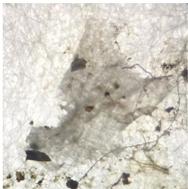
- **Fibras:** Presentaban el mismo grosor en toda su longitud y en su mayoría presentaban colores llamativos. Estas partículas fueron las más abundantes se encontraban aproximadamente un 60% de estos MP en cada muestra.
- **Fragmentos:** En su mayoría parecían desgastados seguramente por haberse desprendido de piezas más grandes y su antigüedad en el cuerpo de agua. Se observaron distintos colores desde claros como el blanco hasta llamativos como el

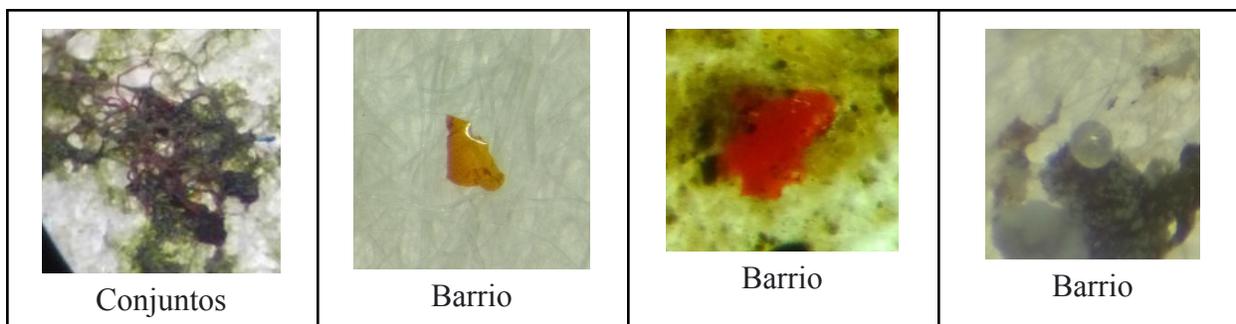
azul, el amarillo y el rojo. Los fragmentos se encontraban moderadamente, es decir aproximadamente un 20% de estos MP en cada muestra.

- **Film:** Se evidenciaron en su mayoría colores claros. Es importante resaltar que al momento de realizar la prueba con las pinzas estas partículas no se rompen, tan solo se estiran. Estas partículas se encontraban moderadamente, aproximadamente un 15% de estos MP en cada muestra.
- **Esfera:** Partículas de color blanco, transparente o crema. Estas partículas fueron las más escasas, se encontraba aproximadamente un 5% de estos MP por muestra.

Según investigaciones realizadas en todo el mundo las fibras, los fragmentos los films y las esferas son formas comunes de MP que se pueden observar en los humedales. Sin embargo en muestras de la matriz acuática o la superficie de la masa de agua predominan en su mayoría fragmentos seguidos de fibras y esferas (53). Esto evidencia que la contaminación microplástica en el Humedal el Burro es causada principalmente por fibras, seguido de fragmentos, film y esferas que pueden tener procedencia de los factores externos observados en las visitas realizadas.

Tabla 1. Clasificación de MP encontrados en el Humedal El Burro, Imágenes propias

Fibra (++++)	Fragmento (+++)	Film (++)	Esfera (+)
 Cuerpo Principal	 Av. Cali	 Barrio	 Canal
 Cuerpo Principal	 Barrio	 Cuerpo Principal	 Canal



(++++)= Abundante ,(++) o (+++) = Moderado y (+) = Escasos.

Los fragmentos plásticos encontrados en el Humedal El Burro pueden comportarse de manera distinta en el ecosistema dependiendo de su tamaño, forma y composición. A pesar de que en este estudio no se realizó un análisis de composición de los MPs, si es posible suponer algunos de los polímeros que integran las partículas plásticas por medio de la flotabilidad. Muez y colaboradores explican que según sea la conformación de las partículas plásticas, existen unos polímeros que pueden flotar, quedar suspendidos el agua o debido a una densidad mucho mayor que el agua decantarse de forma inmediata en los sedimentos (55). Además, la flotabilidad de los MP también determina su biodisponibilidad para los diferentes organismos acuáticos (56)

Como se mencionó en la metodología las muestras obtenidas fueron de los primeros centímetros de la masa de agua, es por esto que se puede asumir que la densidad de los MP encontrados era menor o parecida a la del agua y por consiguiente estas flotan o permanecen suspendidas. Materiales como el polipropileno, polietileno, poliestireno, etilvinilacetato y poliuretano suelen ser plásticos de baja densidad que se espera que sean relativamente flotantes, es decir que posiblemente los compuestos mencionados anteriormente sean los que integran los MP identificados en el cuerpo de agua (55,57). Sin embargo Anderson y colaboradores mencionan que las épocas de lluvia pueden causar una resuspensión de microplásticos de alta densidad a lo largo de la columna de agua produciendo interferencias en los resultados de la composición de los MP encontrados (57), es por esto que se sugiere realizar el estudio del tipo de material plástico por técnicas más especializadas.

Esta investigación demuestra que la presencia de MP puede llegar a ecosistemas acuáticos de agua dulce como los Humedales, lo cual es de gran preocupación, ya que según la literatura encontrada estas partículas pueden llegar a generar múltiples afectaciones tanto en el ambiente, como en la flora y fauna. También como se ha manifestado en esta investigación es importante aclarar que los Humedales son ecosistemas valiosos encargados de regular y controlar inundaciones, cambios climáticos, así como son partícipes en ciclos biogeoquímicos, lo que les da un gran valor en procesos biológicos; es por esto que se deben generar estrategias para evitar la contaminación de estos ecosistemas en este caso por los MPs, debido a que esta problemática no es tan visible y no existen normas para su regulación, dichas estrategias pueden contribuir con la preservación de estos territorios.

6.3 Análisis Microbiológico

La presencia de comunidades bacterianas en los humedales, indica que cumplen diferentes funciones dentro de los que se pueden mencionar la regulación de ciclos biogeoquímicos, conservación y liberación de nutrientes (58); Sin embargo, también existen bacterias patógenas en este ecosistema. En ese sentido de acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio se identificaron de forma presuntiva los siguientes microorganismos de interés Coliformes totales, *Escherichia coli*, *Salmonella spp*, *Shigella spp*, a través del aislamiento a partir de las muestras de agua, en medios de cultivo selectivos.

Se realizó la lectura de la técnica de NMP para coliformes en agua, evidenciando que en los 5 puntos muestreados el resultado fue positivo para las tres diluciones en las tres repeticiones lo que arrojó un resultado >1100 NMP/ 100 ml. Teniendo en cuenta que esta prueba es presuntiva de Coliformes totales se decidió continuar con la siembra en agares específicos (Anexo 3)

Posteriormente se llevó a cabo la lectura de los resultados de la filtración de membrana en agar ENDO, obteniendo crecimientos satisfactorios de colonias rosadas típicas de microorganismos fermentadores de lactosa. De igual manera, en los medios de cultivo sembrados por superficie se encontró que, en el medio MacConkey solamente en un punto (Barrio) se encontraron fermentadores de lactosa, colonias rosadas-rojizas, asociadas a la posible presencia de bacterias patógenas, específicamente coliformes; en el medio EMB, se aislaron colonias de color negro

azulado con un brillo metálico características de *Escherichia coli*, en tres de los cinco puntos (Av ciudad de Cali, Barrio y Cuerpo principal); en el medio *Salmonella-Shigella*, se identificaron colonias características de *Salmonella spp* que son incoloras con centro negro, en tres puntos (Canal, Barrio, Av ciudad de Cali), y colonias de *Shigella spp* las cuales son incoloras y estaban presentes en los cinco puntos. En cuanto a los resultados cuantitativos de los medios, las colonias fueron incontables en todas las placas, esto debido a que la siembra se realizó de forma directa de la muestra de agua recolectada por lo que se decidió solo determinar la presencia o ausencia de colonias representativas en el medio (Anexo 4)

Es importante mencionar que los dos primeros medios identificaron la misma capacidad metabólica de fermentar la lactosa, pero la finalidad de realizar la siembra en estos dos tipos de medios fue poder comparar las técnicas y los resultados, ya que al ser una muestra de agua natural, los comportamientos de las bacterias que están presentes en la muestra pueden ser diferentes, y esto fue lo que se evidenció ya que en cuanto a la siembra por superficie en agar MacConkey donde se tomaba 100 µL por punto muestreado, solamente un punto mostró el grupo de bacterias de interés que eran los coliformes totales, por otro lado la técnica de filtración por membrana donde se filtraba 100 mL por punto muestreado y siembra en agar ENDO mostró en los 4 puntos la presencia de estos microorganismos, se podría decir que este último abarcó un mayor volumen de muestra y demostró tener buena inhibición de bacterias acompañantes y su selectividad para las bacterias fermentadoras de lactosa fue satisfactoria (Anexo 5)

La técnica AquaChrom, se realizó posteriormente de haber leído el resultado de la siembra en el medio EMB, para poder verificar la presencia o ausencia de *Escherichia coli*. Esta técnica se fundamenta en el uso de un cromógeno específico lo que incrementa su especificidad y da mayor seguridad en el resultado. En los resultados se observó que cada punto muestreado presentó un resultado positivo para la presencia de *Escherichia coli* que se pudo evidenciar por el cambio de color de incoloro o traslucido a verde azulado con presencia de turbidez esto gracias a la acción del cromógeno que fue expuesto por la enzima que posee la bacteria de interés (Anexo 6)

Considerando todos los resultados anteriormente descritos y relacionándolos con la presentación Monitoreo Hidrobiológico en el Parque Ecológico Distrital de Humedal El Burro expuesta en la

mesa territorial, los cuales toman en cuenta la resolución 3964 del 2019 que considera los parámetros de calidad para la conservación y preservación de los humedales, se pudo establecer y rectificar que si hay presencia de coliformes totales, así como de *Escherichia coli*, las cantidades en las que están presentes sobrepasan los límites establecidos por la resolución, por lo que indica que hay una problemática en cuanto al control que se tiene de estos microorganismos en el agua del humedal, teniendo en cuenta que las fuentes de ingreso no son solamente por la fauna existente, sino igualmente de factores externos en especial de actividades del ser humano, como lo son el ingreso deliberado de personas en los puntos Av. Cali y Conjuntos, en específico habitantes de calle que pueden llegar a hacer sus necesidades en este espacio, adicionalmente durante el recorrido que se hizo para la toma de muestras se observó residuos domésticos que fueron arrojados dentro del humedal (59).

En la investigación de Wu y colaboradores, se demostró que los MP si suministran un hábitat con condiciones favorables para el crecimiento de biopelículas bacterianas, en específico en el estudio lo definen como microhábitat funcional en aguas dulces, dentro de las afectaciones que pueden generar estas relaciones están la introducción y transporte de nuevas especies no pertenecientes al entorno, el reservorio de bacterias patógenas y la transferencia horizontal de genes (HGT) que propicia la circulación de genes de resistencia a los antibióticos lo que resulta en un riesgo inminente para los ecosistemas (60).

Continuando Barros y colaboradores, realizaron una revisión bibliográfica donde se agrupaba información acerca de factores físicos y químicos que podrían llegar a afectar las propiedades de los MP, por ejemplo se evidenciaba que los MP con superficies más rugosas fomentan la colonización, mientras que las superficies más lisas son menos propensas a esto. Sin embargo, el tiempo y las condiciones a las que están sometidos generan reacciones que cambia la estructura de los MP facilitando la adhesión y por consiguiente los biofilm (61). Du y colaboradores, mencionan el término plastisfera que lo introdujo por primera vez Zettler y que describe la adhesión de comunidades microbiológicas al plástico, dentro de la revisión describen el proceso de formación que inicia por la unión microbiana, la secreción de sustancias poliméricas que aumentan la adherencia y la proliferación microbiana; otros aspectos como la hidrofobicidad y la forma de las partículas contribuyen al éxito de este proceso (6).

En la investigación de Stabnikova y colaboradores se analiza las bacterias que se pueden encontrar en los microplásticos de la superficie de los cuerpos de agua, donde mencionan géneros como *Bacterium*, *Chromobacterium*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Caulobacter*, *Corynebacterium* y la familia *Enterobacteriaceae*, además se concluyó que la presencia de diferentes bacterias estaría asociado al medio ambiente que lo rodea, por ejemplo la presencia de coliformes fecales en los MP, podría estar influenciado por la descarga de aguas residuales (62). El hallazgo de la familia *Enterobacteriaceae* es de importancia, ya que las bacterias seleccionadas como coliformes totales, *Escherichia coli*, *Salmonella spp*, *Shigella spp*, para este trabajo experimental pertenecen a dicha familia y son de interés al ser patógenas y perjudiciales para la preservación de la calidad del humedal, dentro de las problemáticas diagnosticadas en el plan de manejo ambiental del humedal el burro se encuentra el posible ingreso de aguas residuales por conexiones erradas o el Canal Castilla, para finalizar la presencia de microplásticos en el humedal El Burro y de bacterias indicadoras de mala calidad, puede llegar a permitir la generación de platisferas dentro del cuerpo de agua, que conducirán como ya se ha mencionado a afectaciones en el equilibrio del ecosistema (27).

6.4 Comunidades Hidrobiológicas

En la observación en fresco se visualizaron diversos microorganismos en las muestras 1, 2 y 3 de cada punto, estos se identificaron de acuerdo a su morfología y algunas claves taxonómicas.

Los organismos presentes en los cuerpos de agua de los humedales cumplen múltiples funciones como lo son aportar en los ciclos biogeoquímicos del agua, relacionarse entre sí generando toda una red trófica, contribuir en la dinámica hídrica del ecosistema y actuar como indicadores biológicos (63). La determinación y caracterización de estos puede generar una idea de las condiciones en las que se encuentra el ecosistema.

Inicialmente se observaron bacterias en forma de espirilo (Figura 8), estas generalmente se extienden en diversos ambientes, desde ecosistemas marinos hasta el agua dulce, cumpliendo diferentes funciones en numerosos procesos biológicos (64). Ogonowski y colaboradores

evidenciaron que las comunidades microbianas comunes en ambientes acuáticos expuestas a plásticos que generalmente componen los MP como lo son polietileno, poliestireno y polipropileno mostraron que a pesar de que pueden desarrollarse en estos compuestos la diversidad y productividad disminuyen en comparación con bacterias que crecen en ambientes sin plástico (65). Lo anterior sugiere que las bacterias pertenecientes al cuerpo de agua del humedal podrían disminuir su rendimiento y diversidad afectando los procesos biológicos del entorno acuático.

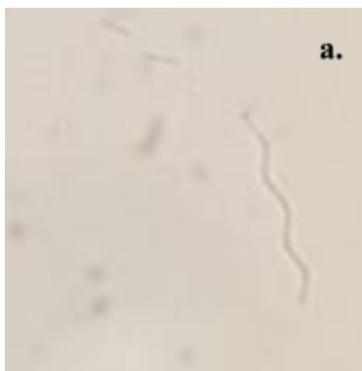


Figura 11: (a) *Bacterias*: forma delgada, alargada y helicoidal, Imagen propia.

Por otra parte se determinaron algunos microorganismos pertenecientes al fitoplancton en su mayoría microalgas y cianobacterias (Figura 9), encargadas de ser las productoras primarias en el ecosistema, siendo un recurso alimenticio importante para muchos invertebrados acuáticos, ciliados y bacterias. Estos microorganismos pueden realizar el proceso de fotosíntesis utilizando la luz para producir azúcares que posteriormente almacenan y oxígeno, lo que los convierte en determinantes clave del estado redox de los hábitats acuáticos (66). Además, las algas afectan los ciclos biogeoquímicos de los humedales, ya que pueden mantener la superficie oxigenada inhibiendo la liberación de fósforo y amoníaco de los sedimentos.

Entre algunos de los microorganismos pertenecientes al Fitoplancton se hallaron diatomeas presentes en todas las muestras, es decir que son abundantes en el Humedal, lo que sugiere que el agua tiene una buena calidad fisicoquímica, en consecuencia estas microalgas son importantes bioindicadores, altamente sensibles a los cambios en la naturaleza química o contaminación del medio, en particular a la concentración de nutrientes (P,N,Si), es por esto que no soportan

condiciones adversas que cambian el medio, porque pueden llegar a morir o a ser desplazadas de la zona afectada (67,68).

Algunos estudios han demostrado que las diatomeas y las algas en general se agregan con facilidad y, a veces, incluso colonizan por completo las superficies plásticas, lo que finalmente puede causar un bloqueo físico de la luz y el aire volviendo a las células incapaces de hacer fotosíntesis (6,69). También se han identificado cianobacterias adheridas al plástico, capaces de apropiarse de la superficie y captar la luz por medio de antenas recolectoras de luz (ficobilisomas), mecanismo que es completamente diferente al de las cianobacterias que se desarrollan sin plástico que codifican clorofila esencial para el proceso de fotosíntesis (6). Wright y colaboradores demostraron que la unión del fitoplancton al plástico puede aumentar la producción de especies reactivas de oxígeno, lo que indica un estado de estrés oxidativo que podría llegar a causar graves daños en la célula (69). De lo anterior se puede deducir que los MP pueden llegar a provocar daños en los microorganismos pertenecientes a las comunidades hidrobiológicas, haciendo que estos desarrollen cambios en las células causando efectos perjudiciales o la muerte de los individuos.

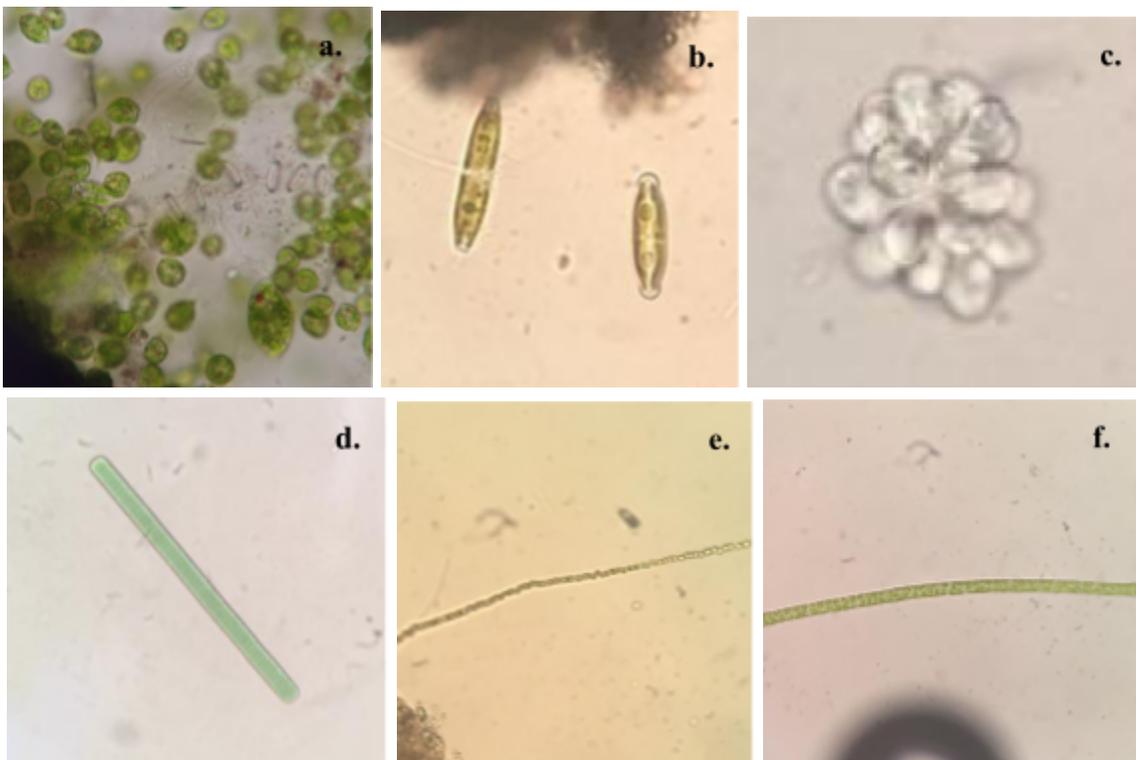


Figura 12: Fitoplancton (a) *Euglena texta*: Esféricas o piriformes, con múltiples cloroplastos de color verde oscuro, estigma de color naranja; (b) Derecha: *Navicula sp.* forma elíptica, extremos redondeados e Izquierda: *Stauroneis anceps*, extremos redondeados, birrafídea, tiene una zona hialina, sin estrías, que parte del centro de la valva hacia los márgenes; (c) *Coelastrum microporum*: Las células son esféricas y se reúnen entre sí en colonias globosas; (d) *Oscillatoria limosa*: Células anchas y cortas que se disponen linealmente, la célula terminal es convexa y más gruesa que las demás, tiene un color verde-azulado; (e) *Nostoc sp.*: La forma de las células es esférica, se agrupan linealmente y su color es verde (f) *Planktothrix sp.*: Células cilíndricas, agrupadas en forma de filamento rectos o algunas veces curvos. Imágenes propias.

Otras comunidades hidrobiológicas observadas están relacionadas con los organismos pertenecientes al zooplancton (Figura 10), en algunas muestras del canal se identificó el protozoo del género *Vorticella*, el cual se encuentra principalmente en sistemas acuáticos eutrofizados lo que indica que hay mucha abundancia de nutrientes principalmente fósforo y nitrógeno, probablemente debido al ingreso del canal Castilla que recibe las aguas residuales de la zona oriental y nororiental del barrio Pío XII y del barrio Castilla (70–72). Esto podría generar un aumento de las poblaciones de algas y cianobacterias, que causarían daños graves como la inhibición de la fotosíntesis y el agotamiento de oxígeno que necesitan otras especies para sobrevivir, afectando así la calidad del agua (72). Entre todas las muestras se identificaron otros microorganismos zooplanctónicos de los géneros *Paramecium*, *Rotíferos*, *Sphaerophryas* y *Nematodos*, que al igual que *Vorticella* tienen como función principal controlar ciertas poblaciones en la red trófica.

Los organismos zooplanctónicos son considerados como los principales consumidores de los ecosistemas acuáticos por lo que son necesarios para la transferencia de energía a niveles tróficos superiores (73). Es por esto que la ingesta de MP por estos organismos es de gran preocupación, debido a que algunos estudios han demostrado que el zooplancton en particular los miembros del componente herbívoro, ingieren partículas plásticas predominantemente en aguas superficiales donde la abundancia de este contaminante es alta aumentando las posibilidades de ingestión y permitiendo el ingreso de MP a la red alimentaria (69,74). Según algunos estudios en

condiciones de laboratorio se ha demostrado que las partículas que más ingieren los organismos pertenecientes al zooplancton son perlas de poliestireno debido a su color y forma esférica, los individuos pueden confundirse con la presa o ingerirlos pasivamente durante el comportamiento normal de alimentación debido a su tamaño similar (74,75). También se ha demostrado que los MP obstruyen los apéndices de alimentación y limitan la ingesta de alimentos, bloqueando o dañando el canal alimentario, además de generar un efecto perjudicial sobre el crecimiento y el desarrollo continuo debido al déficit de energía causado por la falta de alimento (74). Es importante resaltar la migración vertical diurna del zooplancton, ya que esta podría transportar los microplásticos a los depredadores que ocupan varias profundidades de la columna de agua originando daños en otras comunidades acuáticas (69). Es conveniente mencionar que en el Humedal El Burro existe una gran variedad de individuos pertenecientes al zooplancton que probablemente estén siendo afectados por la presencia de MP en el cuerpo de agua causando daños en el crecimiento y desarrollo normal de estos organismos. Por tal motivo es importante tomar medidas de vigilancia y control de este contaminante en los Humedales y ecosistemas acuáticos de agua dulce.

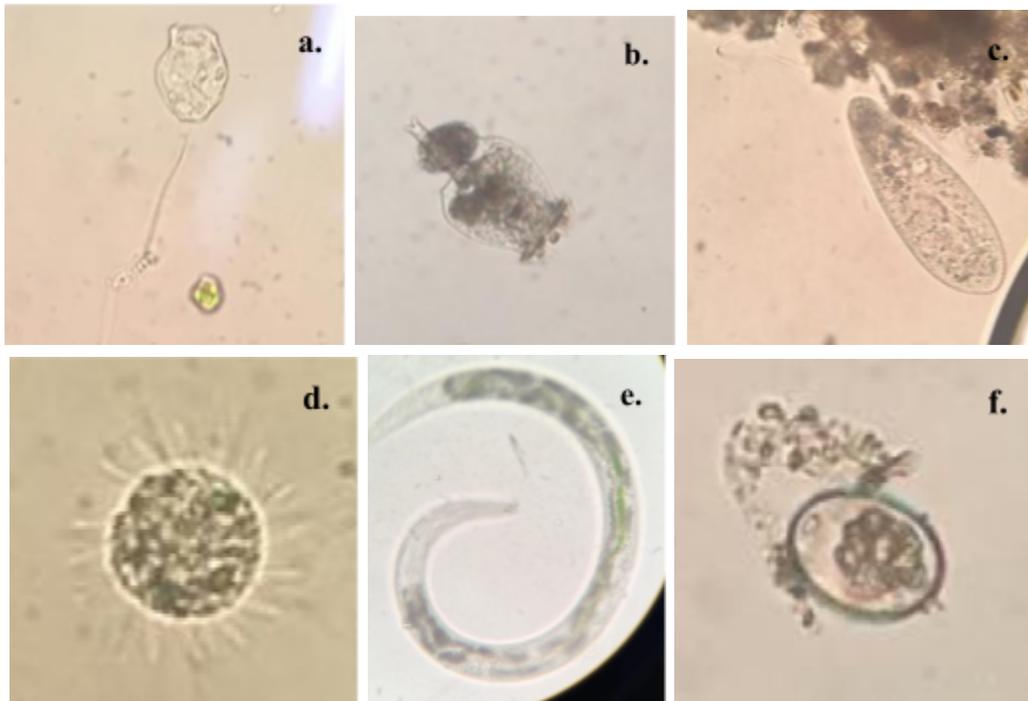


Figura 13: Zooplancton (a) *Vorticella aquadulcis*: Forma campanular, aparato oral con varios cilios, pedúnculo contráctil para fijarse, labio peristomial de menor diámetro que el cuerpo ; (b) *Brachionus plicatilis*: Corona de cilios en la parte anterior del cuerpo, hembra, ya que se observa la presencia de un huevo en la parte posterior, dos apéndices adherentes o dedos; (c) , *Paramecium aurelia*: Cuerpo alargado, con la parte anterior redondeada y la posterior más delgada, cilios dispuestos uniformemente alrededor; (d) *Sphaerophrya sp.*: Forma esférica, rodeado por gran número de tentáculos, sin pedúnculo; (e) *Nemátodo*: Forma filiforme, cuerpo delgado con los extremos aguzados gradualmente; (f) Huevo de *Nemátodo* sin identificar.

Imágenes Propias.

En cuanto a otras comunidades hidrobiológicas según los últimos dos informes divulgados en las mesas territoriales del Humedal El Burro con la comunidad, por el grupo de monitoreo de Biodiversidad perteneciente a la secretaría distrital de ambiente se identificaron peces *Poecilia reticulata*, mejor conocidos como Guppy en algunos sectores del humedal. Los MP también ponen en riesgo a estas especies, ya que según numerosas investigaciones los peces y sus larvas son depredadores visuales y pueden confundir las partículas plásticas con zooplancton pequeño y alimentarse de microplásticos que se asemejan más a sus presas, es decir, plástico blanco, tostado y amarillo, causando múltiples afectaciones en el desarrollo, crecimiento y reproducción de los organismos (69).

6.5 Análisis fisicoquímico

La determinación de los parámetros fisicoquímicos permitió realizar un análisis de los componentes químicos y propiedades físicas del agua en el Humedal (tabla 2). Estos diecinueve resultados, permiten la comparación con otros Humedales del territorio Colombiano, además orientan el estudio de la relación con los MP, sin embargo, debido a que el agua natural no cuenta con una norma de parámetros estableciendo límites de normalidad se realizó la comparación con la resolución 3964 de 2019, preservación de fauna y flora en los PEDH y con el Decreto 1076 de 2015 en el artículo 2.2.3.3.9.10. el cual habla de los criterios de calidad para preservación de flora y fauna tomando como referencia los valores en aguas dulces frías según lo recomendado por el grupo de Monitoreo de la Secretaría de ambiente, respecto a los MP no se obtuvo una relación directa comprobada, no obstante, mediante la literatura, fundamentos de las técnicas

analíticas y relaciones con el ecosistema se pudo llegar a establecer una probable conexión con algunas características fisicoquímicas.

Tabla 2. Resultado de análisis fisicoquímicos en muestra compuesta

Parámetro	Unidades	Resultados	Técnica Análítica
Turbiedad	UNT	33,7	Nefelometría
pH	Unidades	7,65	Potenciometría
Conductividad específica	mS/cm 25oC	320	Electrométrico
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	108	Titulación
Alcalinidad Bicarbonatos	mg/L CaCO ₃	108	Titulación
Dureza total	mg/L CaCO ₃	77	Titulación
Calcio	mg/L CaCO ₃	57	Cálculo
Magnesio	mg/L CaCO ₃	20	Absorción Atómica
Hierro	mg/L Fe + ³	0.1	Absorción Atómica
Manganeso	mg/L Mn + ⁷	< 0,1	Espectrofotométrico
Amonio	mg/L N- NH ₄	< 0,1	Cromatografía Iónica
Nitritos	mg/L N- NO ₂	0.2	Cromatografía Iónica
Nitratos	mg/L N- NO ₃	1.8	Cromatografía Iónica
Cloruros	mg/L Cl ⁻	15.4	Espectrofotométrico
Sulfatos	mg/L SO ₄	16.4	Espectrofotométrico
Ortofosfatos	mg/L-PO ₄ ⁻³	1.1	Gravimetría

Sólidos Totales	mg/L	245	Gravimetría
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	58	Potenciometría

Reporte de parámetros fisicoquímicos en muestra compuesta del Humedal “El Burro”, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería.

6.5.1 Turbiedad

La turbiedad está relacionada con los sólidos totales y sólidos suspendidos totales, ya que materiales como sedimentos, coloides y demás partículas en suspensión o disueltas impiden el paso de la luz, afectando directamente el proceso de la fotosíntesis, esto conlleva a una disminución en la producción del ecosistema. De acuerdo con la resolución 3964 de 2019, la turbiedad ideal para la preservación de fauna y flora en los PEDH es de 350 NTU (Figura 11). En el muestreo realizado el resultado obtenido fue de 33,7 NTU, un valor por debajo de la norma, sin embargo; en el estudio realizado por Fierro y Caballero en el Humedal Santa Maria del Lago, localidad de Engativá se observó un comportamiento parecido, ya que estaban en un rango de 1,82- 34,2 NTU lo cual se atribuyó a la cantidad de sólidos suspendidos que pueden contener material orgánico e inorgánico, proveniente del suelo, rocas, y de posibles vertimientos de residuos. También se debe tener en cuenta que la muestra compuesta se tomó en una época de lluvia lo cual hace que el transporte de material y MP aumenten, por tanto, estas partículas no influyeron de manera directa en el resultado obtenido ya que el parámetro estuvo por debajo de los estándares (76,77).

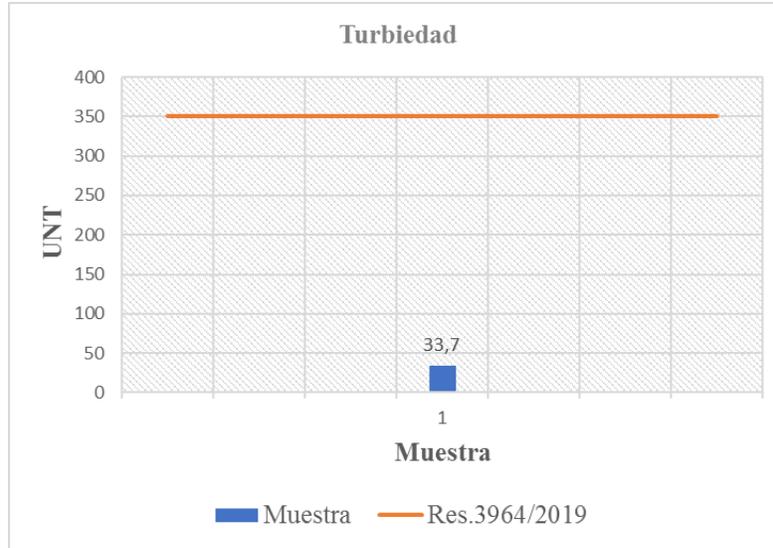


Figura 14: Turbidez obtenida comparada con el límite descrito en la Resolución 3964/2019

6.5.2 pH

El pH es controlado por varios factores como lo son, el dióxido de carbono, el bicarbonato, carbonato, sustancias constituyentes de humus como los ácidos húmicos que son el resultado de la descomposición y oxidación de la materia orgánica y ácidos fúlvicos, según la resolución 3964 del año 2019, lo ejemplar para la preservación de fauna y flora en los PEDH es que estén en el rango de 6 a 8 unidades mientras que en el Decreto 1076 de 2015 en el artículo 2.2.3.3.9.10 se informan los criterios de calidad para preservación de flora y fauna en agua dulce fría en un límite de 6,5 a 9,0; en ese sentido en el Humedal el Burro se encontró que este parámetro con 7,65 Unidades de pH estaba dentro de los rangos aceptados, por tanto, se indicó que el sistema bicarbonato-carbonato funcionaba al momento de tomar la muestra y por consiguiente la capacidad amortiguadora del agua se vio reflejada en la alcalinidad gracias a los iones bicarbonatos como también se muestra en los Humedales Juan Amarillo, Santa Maria del Lago y el Guaymaral (Figura 12) (78,79).

Respecto a los MP podrían influir en este parámetro, ya que como se mencionó anteriormente serían un vector para diferentes sustancias como metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes y/o emergentes altamente tóxicos, lo cual sería una situación bastante preocupante

ya que estas sustancias podrían alterar el pH del ecosistema, por consiguiente llevaría a la alteración de la microbiota y al equilibrio ácido-base del sistema pH (78,79).

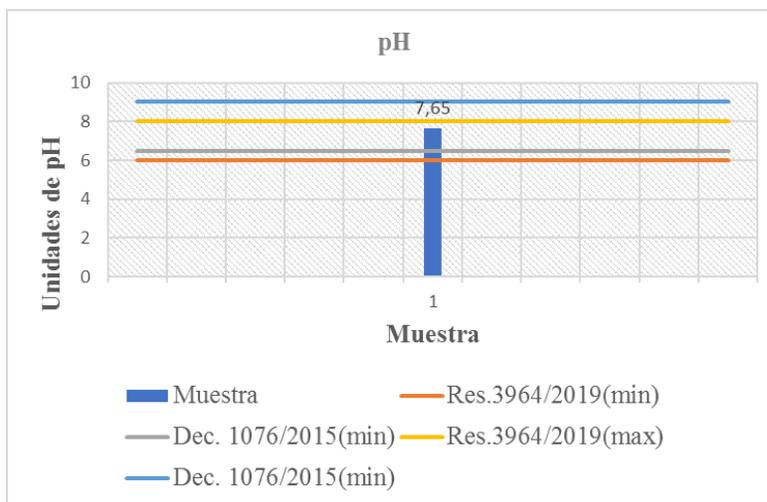


Figura 15: pH obtenido en Humedal el Burro respecto a los rangos del decreto 1076/2015 y la resolución 3964/2019.

6.5.3 Conductividad específica

Se ha establecido un rango para aguas naturales de 10 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo tanto el Humedal el Burro se encuentra dentro de este límite con 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esta propiedad está directamente relacionada con las concentraciones de sólidos disueltos por las sales minerales y los iones presentes en mayor cantidad. Sin embargo, con relación a los MP, los plásticos son malos conductores de electricidad por lo tanto no podrían influir en la elevación de este parámetro (80,81).

6.5.4 Alcalinidad Total y Alcalinidad de Bicarbonatos

La capacidad de neutralización del agua del Humedal el Burro respecto a la Alcalinidad se relaciona con los iones Bicarbonatos, con un valor de 108 mg/L CaCO_3 , esto dependió del pH, la composición mineral, la temperatura y la fuerza iónica. No obstante, se tuvo en cuenta el equilibrio carbónico, el cual consistió en la reacción del CO_2 libre con los posibles carbonatos presentes convirtiéndolos en bicarbonatos produciéndose una factible alcalinización del agua por otro lado también pudieron haber existido bicarbonatos propios en la muestra y acidificarla, en

conclusión según el pH la muestra se encuentra en un equilibrio. En relación con los MP, la presencia de estos pudo afectar este parámetro siendo vector de sustancias que intervinieron en el equilibrio carbónico. (80,82)

6.5.5 Dureza total

Este parámetro permitió clasificar el agua del Humedal el Burro en un agua moderadamente dura según los parámetros de Neira y colaboradores con una determinación de 77mg/L CaCO₃, lo cual significó que las sales disueltas en esta agua están en bajas cantidades y según la literatura posee bajas cantidades de Calcio y Magnesio, también mostró la posibilidad del contacto con rocas impermeables como el granito (83).

En comparación con los Humedales se reflejó diferentes valores como se puede observar en la tabla 3 . Sin embargo, al hacer el análisis del tiempo se pudo observar que los datos no eran tan lejanos a los actuales, lo que significó que las condiciones de dureza total son constantes por el tipo de agua superficial (83). No se encontró relación con los MP.

6.5.6 Calcio

Como anteriormente se mencionó el calcio forma parte de la Dureza total en un 95% y según Neira y colaboradores estaba en un rango normal de 5 a 500 mg/L CaCO₃, en el presente estudio se obtuvo un resultado de 57 mg/L CaCO₃, el cual confirmó la presencia de este mineral en el cuerpo de agua y su posible función de ayuda en la formación de esqueletos en organismos acuáticos (83). Respecto a los MP no se encontró ningún artículo o referencia que indicará una posible relación con el calcio en esta clase de ecosistema.

6.5.7 Magnesio

Es un elemento químico que se encuentra normalmente en las aguas superficiales, según la literatura en aguas dulces se debe encontrar aproximadamente 4 ppm. Sin embargo, en este estudio se obtuvieron 20 mg/L CaCO₃ y cuando se realizó la conversión se obtuvo 20 ppm, esto pudo ser influido por la composición del suelo, las especies vegetales, el clima y sus condiciones y el suministro del agua. Hace parte de los parámetros influyentes en la dureza (84).

6.5.8 Hierro

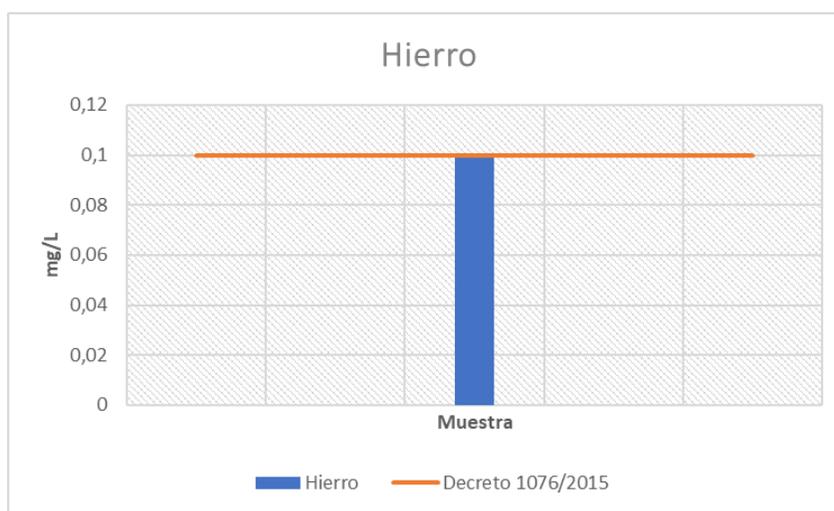


Figura 16: Niveles de Hierro en comparación con el Decreto 1076 de 2015

Según el Decreto 1076 este parámetro debe estar en $0,1\text{mg/L Fe}^{+3}$, en esta investigación se obtuvo un valor de 0.1 mg/L Fe^{+3} el cual se encuentra en el límite (Figura 13), según la literatura un valor elevado de este elemento es nocivo para el ecosistema acuático debido a la poca disolución en otros compuestos, según el decreto antes mencionado la concentración alta de este elemento produce la muerte al 50% de los organismos sometidos a bioensayos a las noventa y seis horas (79,85).

6.5.9 Manganeso

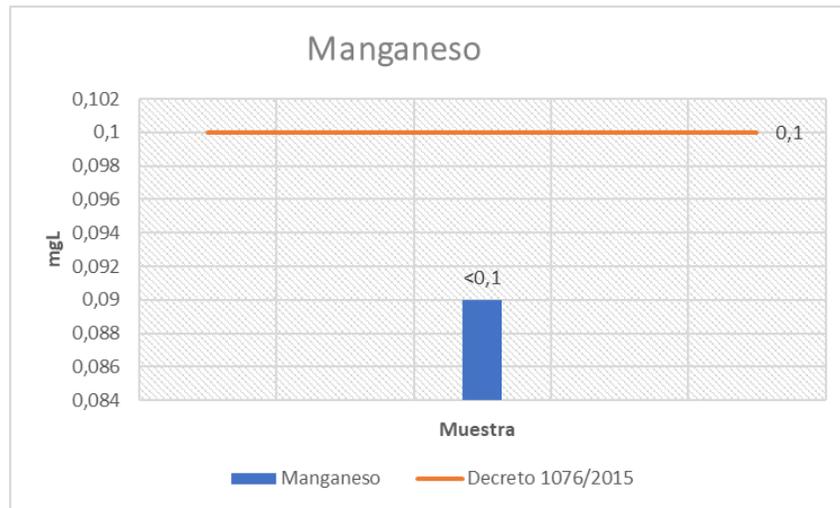


Figura 17: Manganeso de muestra compuesta del Humedal el Burro en comparación con el Decreto 1076/2015

Este compuesto es normal encontrarlo en aguas naturales y según el decreto 1076 debe estar inferior o igual a $0,1 \text{ mg/L Mn}^{+7}$, lo cual concordó con esta investigación, ya que el reporte fue menor que $0,1 \text{ mg/L Mn}^{+7}$ (Figura 14). La presencia de altas concentraciones representa un cambio amarillento en el color del agua por efectos de reducciones redox por medio de la materia orgánica y diferentes microorganismos. Adicionalmente según el decreto antes mencionado la concentración alta de este elemento produce la muerte al 50% de los organismos sometidos a bioensayos a las noventa y seis horas (79,86). Además según la literatura existen microorganismos los cuales producen manganeso peroxidasa, enzima que con una alta actividad puede degradar plástico polietileno, este compuesto es uno de los más encontrados en los MP (87,88).

6.5.10 Amonio

Este parámetro se estudia en aguas residuales debido a que es un residuo tóxico que pudo ser excretado por naturalidad de metabolismo de los animales, el uso en fertilizantes o de actividades industriales, se evita que llegue externamente a aguas como las del Humedal el Burro debido a los problemas de eutrofización descritos en la literatura, esta propiedad obtuvo un valor menor al $0,1 \text{ mg/L N-NH}_4$ lo cual indicó que el cuerpo de agua mantiene su nivel de amonio para evitar la

disminución del oxígeno disponible, por consiguiente evitar la muerte de microbiota por la anoxia que provocan las algas (89). Respecto a MP pudo ser un vector para la transferencia de amonio de aguas residuales del canal al resto del cuerpo de agua, sin embargo, como esta propiedad dio un valor normal fue poco probable (89).

En comparación con los otros Humedales, el Burro obtuvo el menor puntaje, lo cual indica que presenta menos cantidad de amonio, por lo tanto, menos cantidad de algas y/o especies que dependan del amonio (89).

6.5.11 Nitritos

En este estudio se obtuvo una concentración de nitritos de 0,2 mg/L N- NO₂ valor que no excede los 0,3 mg/L propuestos por la OMS para agua natural, si bien es cierto que sobrepasa algunos valores en comparación con los otros Humedales, esto puede deberse al ciclo del Nitrógeno en el cual compuestos como nitratos y nitrógeno amoniacal se degradan hasta convertirse en estos, también puede deberse a la presencia de coliformes fecales (90,91). En relación con los MP como anteriormente se mencionó pueden ser vectores de microorganismos, existen microorganismos que cuentan con enzimas que oxidan los nitritos y los pasan a nitratos, por consiguiente, se explicaría una posible causa del porque el valor de nitritos es más bajo que el de nitratos (22,90,91) .

6.5.12 Nitratos

Los niveles de nitratos están aumentados en comparación con valores de referencia adoptados por la secretaría distrital de ambiente en la resolución 3964 de 2019 (Figura 15), que recomienda un nivel inferior a 0,3 mg/L de NO₃ para mantener una correcta calidad del agua en el Humedal.

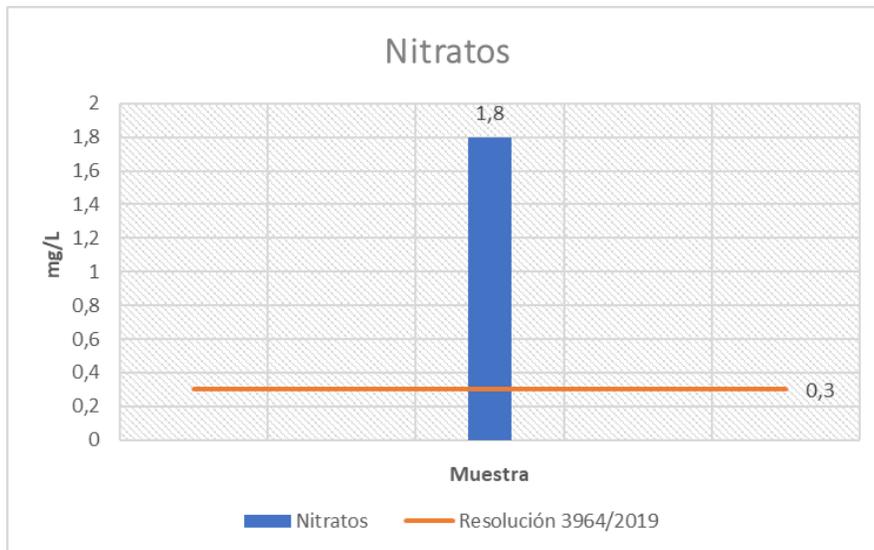


Figura 18: Nitratos de Muestra compuesta del Humedal el Burro

El nitrógeno es un nutriente ampliamente distribuido en el medio ambiente, a partir de este se genera el nitrato. Las posibles fuentes de nitratos al agua del Humedal pueden ser por deposiciones atmosféricas, entrada de agua con cargas contaminantes y desechos animales. El aumento de NO_3 observado en los resultados físicoquímicos puede generar problemas de toxicidad para los organismos acuáticos, además de cambios ambientales como la eutrofización del cuerpo de agua (92). Con relación a lo anterior, se ha informado que la abundancia de los MP se puede correlacionar con algunos parámetros como la turbidez, el fosfato y nitrato. Esto debido a que la contaminación por MP en los cuerpos de agua proviene principalmente de la entrada de aguas residuales, que como se mencionó anteriormente tienen una carga alta de este tipo de compuestos (93).

6.5.13 Cloruros

Este compuesto está presente en la mayoría de aguas naturales, tiene como origen diferentes factores como depósitos minerales, residuos industriales, vertidos agrícolas. Dentro de la literatura se encuentra que su concentración en aguas naturales es en promedio menor a 50 mg/L, los resultados se encuentran dentro de este valor, ya que se obtuvieron 15.4 mg/l, al igual que los humedales Jaboque y Santa María del Lago con valores por debajo del promedio (94). Respecto a los MP se puede hacer la observación del policloruro de vinilo, plástico compuesto por cloruro

de vinilo que a su vez viene del cloruro de sodio y petróleo, esta composición mediante la bibliografía mostró que se encuentran partículas de PVC en muestras de sangre, bilis, orina y en el líquido cefalorraquídeo de ratones, poniendo en riesgo a las especies *M. musculus*, y la rata urbana *R. rattus* encontradas en el humedal mediante el monitoreo de biodiversidad de la secretaría de ambiente en el año 2021 (43,95).

6.5.14 Sulfatos

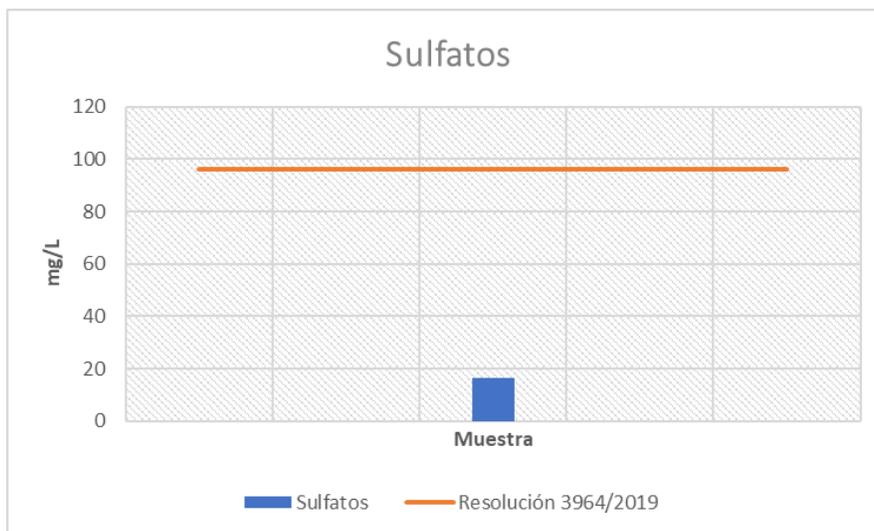


Figura 19: Sulfatos de Muestra compuesta del Humedal el Burro

Es un compuesto normal en el agua y es exclusivo de cada ecosistema acuático puede variar entre miligramos por litro hasta gramos, en este caso para el Humedal el Burro fue de 16,4 mg/L SO_4 (Figura 16). No se pudo realizar comparación con los otros Humedales debido a que no se realiza de manera habitual, sino solo a las aguas que pueden tener fin industrial o de consumo humano (96,97). Los plásticos como PVC, PP y el PET están compuestos de sulfatos, este tipo de sales son hidrosolubles y causan aceleración del tracto gastrointestinal en especies de felinos como *Felis catus* presente en el Humedal “El Burro” (43,98,99).

6.5.15 Ortofosfatos

La determinación de esta clase de fosfatos no es muy común en el agua, sin embargo, se obtuvo un resultado de 1,1 mg/L- PO_4^{-3} , estos son la parte soluble y útil para las plantas autótrofas en el

proceso de absorción por lo cual favorece el crecimiento de organismos fotosintéticos(100). Según la normativa consultada este parámetro no se encuentra registrado no obstante, se encontró en la forma de fósforo reactivo soluble y fósforo total en la resolución 3964 de 2019 con valores máximos de 1 y 2 mg/L respectivamente. No se encontró relación aparente entre los ortofosfatos y los MP.

6.5.16 Sólidos Totales

Como se mencionó anteriormente este parámetro es concomitante con la turbiedad y los sólidos suspendidos totales, el comportamiento registrado fue de 179.49 mg/L, lo cual se asocia con presencia de compuestos del suelo como la materia orgánica, el lecho, las rocas solubilizadas, sales y residuos orgánicos (101). Respecto a los MP se pueden tener en cuenta en la evaluación de este parámetro ya que existen materiales plásticos resistentes al calor (101).

6.5.17 Sólidos Suspendidos Totales

El comportamiento registrado fue de 58 mg/L, lo cual se asocia con la presencia de compuestos del suelo como la materia orgánica, el lecho, las rocas solubilizadas, sales y residuos orgánicos que quedan después de pasar la muestra de agua por un filtro de fibra de vidrio, un posterior secado a 103-105°C y un pesaje final (101).

En comparación con los otros Humedales como se observa en la Tabla 3, El Humedal el Burro tenía una proximidad al Humedal Juan amarillo, este poseía un valor de 52,69 mg/L. Respecto a los MP se pueden tener en cuenta en la evaluación de este parámetro ya que existen materiales plásticos resistentes al calor.

Tabla 3. Comparativo entre los Humedales el Burro, Tibanica, Jaboque, Juan amarillo, Santa Maria del Lago, Guaymaral, Conejera y El juncal (76,102).

Parámetro	Burro	Tibanica	Jaboque	Juan amarillo	Santa Maria del Lago	Guaymaral	Decreto 1076/2015	Resolución 3964/2019
Turbiedad	33,7	-	-	-	1,82 – 34,2	-	-	350

pH	7,65	6.93	9.04	7.34	7.16	7.09	6.5-9	6-8
Conductividad	320	1351.7	166.6	539.0	240.7	423.7	-	-
Alcalinidad Total	108	-	-	-	-	-	-	-
Dureza total	77	151.75	65.0	97.5	106.43	129.75	-	-
Calcio	57	-	-	-	-	-	-	-
Magnesio	20	-	-	-	-	-	-	-
Hierro	0.1	-	-	-	-	-	0.1	-
Manganeso	< 0,1	-	-	-	-	-	0.1	-
Amonio	< 0,1	1.03	0.79	16.09	0.47	0.82	-	-
Nitritos	0.2	0.002	0.08	1.76	0.25	0.009	-	-
Nitratos	1.8	0.59	0.75	0.83	0.49	0.59	-	0.3
Cloruros	15.4	83.75	19.25	32.0	19.25	46.38	-	-
Sulfatos	16.4	-	-	-	-	-	-	96
Ortofosfato	1.1	0.68	0.62	3.32	0.46	0.64	-	-
Sólidos Totales	245	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales	58	29.71	34.71	52.69	0.89	269.43	-	-

Tabla adaptada de Castro D. Promedios de las variables físicas y químicas medidas en los humedales: Tibanica, Jaboque, Juan Amarillo, Santa María del Lago y Guaymaral y de Fierro E. Evaluación de la calidad del agua del humedal de Santa María del Lago.(76,102).⁵

- No se realizó la medición de este parámetro

Debido a lo anterior se pudo evidenciar que el estudio de características fisicoquímicas en humedales ha sido de interés para la comunidad científica a lo largo de los años proporcionando datos que permiten llevar una trazabilidad a través del tiempo de estos cuerpos de agua, si bien es cierto que en la tabla 3 se mostraron algunos parámetros en algunos Humedales como el pH,

Conductividad, Dureza total, Amonio, Nitratos, Nitritos, cloruros, Ortofosfatos y sólidos suspendidos, según el decreto 1076 de 2015 también se pueden medir elementos como Bario, Berilio, Cadmio, Cianuro libre, Cinc, Grasas y aceites, residuos de plaguicidas con el fin de determinar la concentración óptima para una buena preservación y conservación de la flora y fauna en estos ecosistemas permitiendo así una visión prolongada de la calidad del agua y los cambios positivos o negativos de las intervenciones de la sociedad (79).

7. CONCLUSIONES

- Se determinó la presencia de MP en el Humedal el Burro mediante estereoscopía en los cinco puntos de muestreo en las tres repeticiones obteniéndose un promedio de 8 MP/L en el primer muestreo, 4 MP/L en el segundo y 9 MP/L en el tercero. Las características morfológicas de los MP identificados son fibras, fragmentos, film y esferas en orden descendente por la cantidad encontrada; por otro lado, en cuanto a la composición de las partículas no se puede afirmar el polímero que conforma estos MP, ya que en esta investigación no se realizó una caracterización química, no obstante según la literatura los compuestos más comúnmente encontrados por su capacidad de flotar o permanecer en la superficie de la masa de agua son polipropileno, polietileno, poliestireno, etilvinilacetato y poliuretano.
- Por el lado de las características socioambientales se evidenció un control activo por parte de la Secretaría de Ambiente, el Acueducto y la comunidad, sin embargo, no es suficiente debido a que la contaminación de estos cuerpos de agua se debe a factores externos que afectan directamente el Humedal como la fragmentación en dos sectores, el ingreso de aguas residuales, la presencia de habitantes de calle antes del encerramiento, la cercanía de los sitios residenciales y la inadecuada disposición de basuras, escombros y residuos sólidos, actividades que son fuente de MP para este ecosistema.
- El análisis microbiológico permitió identificar de forma presuntiva la presencia de bacterias que afectan la calidad del humedal para su preservación, además en conjunto con la presencia de MP se pudo hacer la comparación con diferentes investigaciones donde se encontró que estas partículas pueden favorecer la formación de plástisfera provocando el ingreso de nuevas especies, la generación de reservorios de bacterias patógenas y la transmisión de genes entre bacterias del biofilm y bacterias nativas del humedal.
- Se determinó que en el Humedal El Burro existe una variedad de individuos pertenecientes a las comunidades hidrobiológicas, que probablemente estén siendo afectados por la presencia de MP en el cuerpo de agua, causando daños en el crecimiento y desarrollo normal de estos organismos provocando además cambios a nivel celular debido a la adaptación que deben hacer para vivir en ambientes con este tipo de contaminación.
- El análisis fisicoquímico permitió determinar la concentración óptima para la preservación y conservación de flora y fauna, asimismo, se comparó la calidad del agua con

otros Humedales del territorio colombiano dando conclusión que los parámetros físico químicos poseen características similares esto puede deberse a las condiciones geográficas y climáticas propias del Distrito. Por parte de los microplásticos, estos pueden afectar las diferentes características fisicoquímicas.

- Finalmente se observó que el presente trabajo fue pionero en el estudio de estas partículas en los Humedales, según registros bibliográficos hay muy poca información acerca del tema. Demostrando que los MP deben ser de mayor preocupación a nivel mundial, dado que generan un impacto importante en el ecosistema, en el cual los principales afectados son los organismos que viven o tienen contacto directo con el Humedal generando problemáticas como la Bioacumulación y Biomagnificación.

8. RECOMENDACIONES

En las limitaciones de este estudio se encontró la falta de acceso a herramientas y equipos de una tecnología más avanzada como micro-espectroscopía infrarroja de transformación de Fourier (μ FTIR) y la espectrometría de masas por cromatografía de gases por pirólisis (Py-GC MS) lo cual brindaría una mayor información de los MP encontrados respecto al material que los conforma y las posibles fuentes de producción de los mismos teniendo así un análisis más completo como se encuentra de diferentes cuerpos de agua como los es el mar.

Por otro lado esta investigación tiene grandes repercusiones en el territorio Colombiano debido a que este cuenta con más de 31.702 humedales y el 60% de los páramos del mundo por lo tanto puede ser un pilar para futuros estudios de Humedales y cuerpos de Agua dulce no solo en cuantificación como el presente estudio sino también la caracterización de los MP como se mencionó anteriormente y convertirlos en un indicador a nivel mundial de calidad de agua así mismo mostrar la afectación ocurrida por esta problemática en el total del agua dulce del planeta -2,5%- ya que es un tema poco estudiado y con una falta de apropiación social por la Humanidad.

9. REFERENCIAS

1. Hidalgo-Ruz V, Gutow L, Thompson RC, Thiel M. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environ Sci Technol* [Internet]. 20 de marzo de 2012 [citado 10 de marzo de 2022];46(6):3060-75. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es2031505>
2. Sarijan S, Azman S, Said MIM, Jamal MH. Microplastics in freshwater ecosystems: a recent review of occurrence, analysis, potential impacts, and research needs. *Environ Sci Pollut Res* [Internet]. enero de 2021;28(2):1341-56. Disponible en: <https://link.springer.com/10.1007/s11356-020-11171-7>
3. Martínez Silva P, Nanny MA. Impact of Microplastic Fibers from the Degradation of Nonwoven Synthetic Textiles to the Magdalena River Water Column and River Sediments by the City of Neiva, Huila (Colombia). *Water* [Internet]. 24 de abril de 2020 [citado 12 de febrero de 2021];12(4):1210. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/4/1210>
4. Carriquiriborde P. Principios de Ecotoxicología. En: CAPÍTULO 3 Biodisponibilidad, bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación [Internet]. Argentina: Universidad Nacional de La Plata (EDULP); 2021 [citado 17 de marzo de 2022]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/131168/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. Perez E. ¿Qué es la serigrafía? Parte 1 [Internet]. BRILDOR. 2021. Disponible en: <https://www.brildor.com/blog/es/que-es-la-serigrafia-parte-1/>
6. Du Y, Liu X, Dong X, Yin Z. A review on marine plastisphere: biodiversity, formation, and role in degradation. *Comput Struct Biotechnol J* [Internet]. 2022 [citado 2 de mayo de 2022];20:975-88. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2001037022000459>
7. Quintana RD. Humedales, biodiversidad y servicios ecosistémicos. ¿Hacia dónde vamos? [citado 31 de marzo de 2022];20. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/299817865.pdf>
8. Decenio de las Naciones Unidas sobre la Biodiversidad. Convenio sobre la Diversidad Biológica [Internet]. Documento Oficial ONU; 2020. Disponible en: <https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheets-es-web.pdf>
9. Ramsar. La Convención de Ramsar: ¿de qué trata? [Internet]. [citado 24 de mayo de 2022]. Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/fs_6_ramsar_convention_sp_0.pdf
10. Jardín Botánico de Bogotá. Humedales en Colombia [Internet]. Jardín Botánico de Bogotá. [citado 24 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://jbb.gov.co/generacion-de-conocimiento/humedales-en-colombia/>
11. CAR. Las comunidades lideran los procesos de recuperación ambiental en el marco del Día Mundial de los humedales [Internet]. Las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible. 2022. Disponible en: <https://www.car.gov.co/saladeprensa/las-comunidades-lideran-los-procesos-de-recuperacion-ambiental-en-el-marco-del-dia-mundial-de-los-humedales>

12. Grobicki A, Chalmers C, Jennings E, Jones T, Peck D, Ramsar. Manual de la Convención de Ramsar 5a Edición [Internet]. Secretaría de la Convención de Ramsar; 2016 [citado 11 de junio de 2021]. Disponible en:
https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontoconvention_s_final.pdf
13. Rozman U, Turk T, Skalar T, Zupančič M, Čelan Korošič N, Marinšek M, et al. An extensive characterization of various environmentally relevant microplastics – Material properties, leaching and ecotoxicity testing. *Sci Total Environ* [Internet]. junio de 2021 [citado 12 de febrero de 2021];773:10. Disponible en:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969721006446>
14. Oficina de Normas Internacionales y Asuntos Legales Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas [Internet]. UNESCO; 1971 [citado 13 de mayo de 2021]. Disponible en:
https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_s.pdf
15. García S. Referencias Históricas y Evolución de los Plásticos. *Rev Iberoam Polímeros* [Internet]. enero de 2009 [citado 15 de marzo de 2022];10(1):10. Disponible en:
<https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2009-garcia.pdf>
16. Greenpeace. UN MILLÓN DE ACCIONES CONTRA EL PLÁSTICO [Internet]. Revista Greenpeace; 2018 [citado 17 de marzo de 2022]. Disponible en:
<https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/04/TOOLKIT-PLASTICOS-v3.pdf>
17. Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AWG, et al. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science* [Internet]. 7 de mayo de 2004 [citado 10 de abril de 2021];304(5672):838-838. Disponible en:
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1094559>
18. Wagner M, Scherer C, Alvarez-Muñoz D, Brennholt N, Bourrain X, Buchinger S, et al. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environ Sci Eur* [Internet]. diciembre de 2014 [citado 10 de abril de 2021];26(1):12. Disponible en:
<https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-014-0012-7>
19. Lusher AL, Tirelli V, O'Connor I, Officer R. Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and subsurface samples. *Sci Rep* [Internet]. diciembre de 2015 [citado 10 de abril de 2021];5(1):14947. Disponible en:
<http://www.nature.com/articles/srep14947>
20. Sarria-Villa RA, Gallo-Corredor JA. La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *J Cienc E Ing* [Internet]. agosto de 2016 [citado 30 de enero de 2021];8(1):21-7. Disponible en: <https://jci.uniautonoma.edu.co/2016/2016-3.pdf>
21. Li J, Liu H, Paul Chen J. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Res* [Internet]. junio de 2018 [citado 30 de enero de 2021];137:362-74. Disponible en:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135417310515>
22. Allen S, Allen D, Phoenix VR, Le Roux G, Durántez Jiménez P, Simonneau A, et al. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nat Geosci* [Internet]. mayo de 2019 [citado 12 de febrero de 2021];12(5):339-44. Disponible en:
<http://www.nature.com/articles/s41561-019-0335-5>
23. Dong M, Luo Z, Jiang Q, Xing X, Zhang Q, Sun Y. The rapid increases in microplastics in

- urban lake sediments. *Sci Rep* [Internet]. diciembre de 2020 [citado 12 de febrero de 2021];10(1):848. Disponible en: <http://www.nature.com/articles/s41598-020-57933-8>
24. Duan Z, Zhao S, Zhao L, Duan X, Xie S, Zhang H, et al. Microplastics in Yellow River Delta wetland: Occurrence, characteristics, human influences, and marker. *Environ Pollut* [Internet]. marzo de 2020 [citado 10 de marzo de 2021];258:113232. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749119334992>
 25. Kirstein IV, Hensel F, Gomiero A, Iordachescu L, Vianello A, Wittgren HB, et al. Drinking plastics? – Quantification and qualification of microplastics in drinking water distribution systems by μ FTIR and Py-GCMS. *Water Res* [Internet]. enero de 2021 [citado 12 de febrero de 2021];188:9. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004313542031054X>
 26. Lee J, Chae KJ. A systematic protocol of microplastics analysis from their identification to quantification in water environment: A comprehensive review. *J Hazard Mater* [Internet]. febrero de 2021 [citado 12 de febrero de 2021];403:71. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389420320392>
 27. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales (IDEA). Plan de Manejo Ambiental Del Humedal El Burro [Internet]. Instituto de Estudios Ambientales (IDEA); 2008 [citado 3 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://oab.ambientebogota.gov.co/descargar/15021/>
 28. Moreno V, García J, Villalba J. Descripción General de los Humedales de Bogotá, D.C [Internet]. Sociedad Geográfica de Colombia; 2002 [citado 5 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.sogeocol.edu.co/documentos/humed.pdf>
 29. Castiblanco C. ¿Sabes cuáles son los humedales de Bogotá? ¡Descúbrelos! [Internet]. Bogota. 2020 [citado 11 de junio de 2021]. Disponible en: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/humedales-de-bogota-cuantos-humedales-hay-en-bogota>
 30. Matta W. Ecosistemas de humedal e imaginarios sociales: humedal El Burro y su transformación a partir de la segunda mitad del siglo XX [Internet] [Magister de Hábitat]. [Bogota, Colombia]: Universidad Nacional de Colombia; 2019 [citado 30 de marzo de 2022]. Disponible en: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79306/Documento_Ecosistemas%20de%20humedal%20e%20imaginarios%20sociales_WXMG_Repositorio.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 31. Malankowska M, Echaide-Gorriz C, Coronas J. Microplastics in marine environment: a review on sources, classification, and potential remediation by membrane technology. *Environ Sci Water Res Technol* [Internet]. 2021 [citado 20 de febrero de 2021];7(2):243-58. Disponible en: <http://xlink.rsc.org/?DOI=D0EW00802H>
 32. Lusher A, Hollman PCH, Mendoza-Hill J. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety [Internet]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2017 [citado 20 de febrero de 2021]. 126 p. (FAO fisheries and aquaculture technical paper). Disponible en: <https://www.fao.org/3/I7677E/I7677E.pdf>
 33. Hoellein TJ, Rochman CM. The “plastic cycle”: a watershed-scale model of plastic pools and fluxes. *Front Ecol Environ* [Internet]. abril de 2021 [citado 11 de junio de 2021];19(3):176-83. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fee.2294>
 34. Marine & Environmental Research Institute, editor. The Guide to Microplastic Identification

- [Internet]. Marine & Environmental Research Institute; 2015 [citado 15 de marzo de 2022]. Disponible en:
https://www.ccb.se/documents/Postkod2017/Mtg050317/Guide%20to%20Microplastic%20identification_MERI.pdf
35. De Witte B, Devriese L, Bekaert K, Hoffman S, Vandermeersch G, Cooreman K, et al. Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types. *Mar Pollut Bull* [Internet]. agosto de 2014 [citado 2 de junio de 2022];85(1):146-55. Disponible en:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X14003671>
 36. Maldonado V, Vargas L. Capítulo 9: Filtración. En: Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida MANUAL I : TEORÍA [Internet]. Organización Panamericana de la Salud y Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. Perú; 2004 [citado 15 de marzo de 2022]. Disponible en:
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf>
 37. Instrumentación Científico Técnica, S.L. Catálogo whatman [Internet]. Instrumentación Científico Técnica, S.L.; 2009 [citado 15 de marzo de 2022]. Disponible en:
<http://www.ictsl.net/downloads/whatman.pdf>
 38. Charcosset C. Microfiltración. En: Membrane Processes in Biotechnology and Pharmaceutics [Internet]. Elsevier; 2012 [citado 15 de marzo de 2022]. p. 101-41. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444563347000034>
 39. Luna V. Atlas de Ciliados y otros Microorganismos frecuentes en sistemas de tratamiento aerobio de Aguas Residuales [Internet]. 1.ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México; 2006 [citado 15 de marzo de 2022]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/41693860_Atlas_de_ciliados_y_otros_microorganismos_frecuentes_en_sistemas_de_tratamiento_aerobio_de_aguas_residuales_VM_Luna_Pablo
 40. García E, editor. Atlas de organismos planctónicos en los humedales de Andalucía [Internet]. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 2010 [citado 15 de marzo de 2022]. Disponible en:
https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/rediam/contenidos_ordenacion/PDF/Atlas_Org_Planctonicos_1.pdf
 41. Toro M. Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características físico-químicas. *Limnetica* [Internet]. 15 de diciembre de 2002 [citado 2 de marzo de 2022];21(2):63-75. Disponible en:
<https://www.limnetica.net/documentos/limnetica/limnetica-21-2-p-63.pdf>
 42. Cruz MEE. Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del Humedal el Juncal y su reconocimiento como ecosistema estratégico dentro de la educación básica primaria [Internet] [Magíster en Ciencias Ambientales]. [Colombia, Bogotá]: Universidad Jorge Tadeo Lozano; 2017 [citado 17 de marzo de 2022]. Disponible en:
<https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/2398/Documento%20Tesis%20Maestria%20en%20Ciencias%20Ambientales%20Eliana%20Espejo.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
 43. Secretaría Distrital de Ambiente Subdirección de Ecosistemas y Ruralidad Grupo de Monitoreo de Biodiversidad. INFORME ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS MONITOREOS DE LA BIODIVERSIDAD AÑO 2021 DEL PARQUE ECOLÓGICO DISTRITAL DE HUMEDAL EL BURRO INFORME FINAL [Internet]. Secretaria Distrital

- de Ambiente; 2021 [citado 17 de marzo de 2022]. Disponible en:
<https://ambientebogota.gov.co/documents/10184/2884782/BURRO-Informe+monitoreo+bio+diversidad.pdf/73443662-aa4e-4065-9f3a-05b5007fa76d>
44. Sandle T. Microbiology laboratory techniques. En: Pharmaceutical Microbiology [Internet]. Elsevier; 2016 [citado 16 de marzo de 2022]. p. 63-80. Disponible en:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081000229000062>
 45. Bodelier PLE, Dedysn SN. Microbiology of wetlands. Front Microbiol [Internet]. 2013 [citado 16 de marzo de 2022];4. Disponible en:
<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2013.00079/abstract>
 46. Análisis de agua - determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa-036-1980) [Internet]. Secretaría de economía México; 2001 [citado 2 de marzo de 2022]. Disponible en:
<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa036-01.pdf>
 47. Congreso de la República de Colombia. Ley 1973 de 2019. Imprenta Nacional, Diario Oficial [Internet]. 19 de julio de 2019 [citado 31 de mayo de 2022];2. Disponible en:
https://www.acoplasticos.org/boletines/2019/NormasAmbientales/DO_51019_Ley_SanAndres.pdf
 48. Congreso de la Republica de Colombia. PROYECTO DE LEY 010 DE 2020 CÁMARA, ACUMULADO CON EL PROYECTO DE LEY 274 DE 2020 CÁMARA [Internet]. 010 DE 2020 dic 14, 2020. Disponible en:
<https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2021-02/TEXTO%20APROBADO%20PL%20010%20de%202020C%20acum%20PL%20274%20de%202020C.07.14.2020.pdf>
 49. Williams M, Busta F. TOTAL VIABLE COUNTS | Most Probable Number (MPN). En: Encyclopedia of Food Microbiology [Internet]. 1999 [citado 16 de marzo de 2022]. p. 2166-8. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0122270703040009>
 50. Chandrapati S, Williams MG. TOTAL VIABLE COUNTS | Most Probable Number (MPN). En: Encyclopedia of Food Microbiology [Internet]. Elsevier; 2014 [citado 16 de marzo de 2022]. p. 621-4. Disponible en:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123847300003335>
 51. IDEAM. Boletín Climatológico Mensual Septiembre 2021 [Internet]. 2021 [citado 30 de marzo de 2022]. Disponible en:
http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual?p_p_id=110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=2&_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_struts_action=%2Fdocument_library_display%2Fview_file_entry&_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Ftiempo-y-clima%2Fclimatologico-mensual%2F%2Fdocument_library_display%2FxYvIPc4uxk1Y%2Fview%2F113579674&_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_fileEntryId=119681958
 52. IDEAM. Boletín Climatológico Mensual Octubre 2021 [Internet]. 2021 [citado 30 de marzo de 2022]. Disponible en:
http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual?p_p_id=110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=2&_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_struts_action=%2Fdocument_library_display%2Fview_file_entry&_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Ftiempo-y-clima%2Fclimatologico-mensual%2F

- %2Fdocument_library_display%2FXYvIPc4uxk1Y%2Fview%2F113579674&_110_INSTAN
NCE_xYvIPc4uxk1Y_fileEntryId=120006196
53. Kumar R, Sharma P, Bandyopadhyay S. Evidence of microplastics in wetlands: Extraction and quantification in Freshwater and coastal ecosystems. *J Water Process Eng* [Internet]. abril de 2021 [citado 3 de junio de 2022];40:101966. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214714421000532>
 54. Gupta P, Saha M, Rathore C, Suneel V, Ray D, Naik A, et al. Spatial and seasonal variation of microplastics and possible sources in the estuarine system from central west coast of India. *Environ Pollut* [Internet]. noviembre de 2021 [citado 19 de marzo de 2022];288:14. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749121012471>
 55. Muez DL, Duque PP, Fuentes EF, Benfatti E. Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos. :68. Disponible en: https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2020/06/Protocolo_muestreo_an%C3%A1lisis_micropl%C3%A1sticos_r%C3%ADos_Proyecto_Libera_HyT-web.pdf
 56. De la Torre G. Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar. *Rev Cienc Tecnol* [Internet]. 4 de septiembre de 2019 [citado 31 de mayo de 2022];15(4):27-37. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2647>
 57. Anderson JC, Park BJ, Palace VP. Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. *Environ Pollut* [Internet]. noviembre de 2016 [citado 2 de junio de 2022];218:269-80. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749116305620>
 58. Hartman WH, Richardson CJ, Vilgalys R, Bruland GL. Environmental and anthropogenic controls over bacterial communities in wetland soils. *Proc Natl Acad Sci* [Internet]. 18 de noviembre de 2008 [citado 15 de marzo de 2022];105(46):17842-7. Disponible en: <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0808254105>
 59. Secretaria distrital de ambiente subdirección de ecosistemas y ruralidad, grupo humedales. -Informe de Gestión de parques Ecológicos Distritales de Humedales - PEDH EL BURRO [Internet]. Secretaria Distrital de Ambiente; 2021 [citado 31 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://ambientebogota.gov.co/documents/10184/3036576/RDHBU+INFORME+DE+GESTION+2021-EL+BURRO.pdf/0e0584dc-bcb7-4d96-81df-7e20e6204311>
 60. Wu X, Pan J, Li M, Li Y, Bartlam M, Wang Y. Selective enrichment of bacterial pathogens by microplastic biofilm. *Water Res* [Internet]. noviembre de 2019 [citado 20 de marzo de 2022];165:12. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135419307535>
 61. Barros J, Seena S. Plasticsphere in freshwaters: An emerging concern. *Environ Pollut* [Internet]. diciembre de 2021 [citado 3 de junio de 2022];290:118123. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026974912101705X>
 62. Stabnikova O, Stabnikov V, Marinin A, Klavins M, Klavins L, Vaseashta A. Microbial Life on the Surface of Microplastics in Natural Waters. *Appl Sci* [Internet]. 9 de diciembre de 2021 [citado 3 de junio de 2022];11(24):11692. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/24/11692>
 63. Cantoral Uriza EA, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla. Querétaro, Mexico. The ecological importance of algae in rivers. *Hidrobiológica* [Internet]. 15 de abril de 2016 [citado 3 de junio de 2022];26(1):1-8. Disponible en: <http://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/436>

64. Hylemon PB, Wells JS, Krieg NR, Jannasch HW. The Genus *Spirillum*: a Taxonomic Study. *Int J Syst Bacteriol* [Internet]. 1 de octubre de 1973 [citado 15 de marzo de 2022];23(4):340-80. Disponible en:
<https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/ijsem/10.1099/00207713-23-4-340>
65. Ogonowski M, Motiei A, Ininbergs K, Hell E, Gerdes Z, Udekwu KI, et al. Evidence for selective bacterial community structuring on microplastics: Selective bacterial community structuring. *Environ Microbiol* [Internet]. agosto de 2018 [citado 3 de junio de 2022];20(8):2796-808. Disponible en:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1462-2920.14120>
66. Francoeur SN, Rier ST, Whorley SB. Methods for Sampling and Analyzing Wetland Algae. En: Anderson JT, Davis CA, editores. *Wetland Techniques* [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 2013 [citado 15 de marzo de 2022]. p. 1-58. Disponible en:
http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-6931-1_1
67. Guzmán B, Leiva D. Uso de Diatomeas (Bacillariophyceae) como bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas. *Rev Investig Científica UNTRM* [Internet]. agosto de 2016 [citado 16 de marzo de 2021];2(1):16-21. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/321204426_Diatomeas_como_bioindicadores_para_la_evaluacion_de_la_calidad_del_agua_en_la_cuenca_del_rio_Utcubamba_Amazonas_-_Peru
68. Blanco S, Bécares E, Hernández N, Ector YL. Evaluación de la calidad del agua en los ríos de la cuenca del Duero mediante índices diatomológicos. *Univ Ón Esp* [Internet]. diciembre de 2007 [citado 16 de marzo de 2022];5. Disponible en:
<https://buleria.unileon.es/handle/10612/7001>
69. Wright SL, Thompson RC, Galloway TS. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environ Pollut* [Internet]. julio de 2013 [citado 16 de marzo de 2022];178:483-92. Disponible en:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749113001140>
70. Bastidas OH, Pérez AR. Microorganismos de importancia en el agua. Universidad Antioquia [Internet]. 2011 [citado 15 de abril de 2022];2(1):3. Disponible en:
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/hm/article/download/10881/10000/32802>
71. Isac L, Rodríguez E, Salas D, Fernández N. Protozoos en el Fango Activo [Internet]. Departamento de Microbiología III. Facultad de Biología Universidad Complutense de Madrid; 2008 [citado 15 de marzo de 2022]. Disponible en:
http://www.biblioteca.gbs.com/archivos/089_156_capficha_protozoos.pdf
72. Miranda FGG, Rosales VM. EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO. Universidad Autónoma Estado México UAEM [Internet]. octubre de 2018 [citado 17 de marzo de 2022];15. Disponible en: Universidad Autónoma del Estado de México, UAEM
73. Lagos A, Angulo A, Daza A, Toro D, Gonzalez J, León V, et al. Zooplancton. Infozoa, Boletín de Zoología [Internet]. marzo de 2014 [citado 16 de marzo de 2022];3. Disponible en:
https://www.unimagdalena.edu.co/Content/Public/Docs/Entrada_Facultad3/adjunto_1029-20181004104749_622.pdf
74. Botterrell ZLR, Beaumont N, Dorrington T, Steinke M, Thompson RC, Lindeque PK. Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review. *Environ Pollut*

- [Internet]. febrero de 2019 [citado 3 de junio de 2022];245:98-110. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749118333190>
75. Sun X, Li Q, Zhu M, Liang J, Zheng S, Zhao Y. Ingestion of microplastics by natural zooplankton groups in the northern South China Sea. *Mar Pollut Bull* [Internet]. febrero de 2017 [citado 3 de junio de 2022];115(1-2):217-24. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X16309900>
 76. Fierro E, Caballero Luis. Evaluación de la calidad del agua del humedal de santa maría del lago mediante el uso de índices biológicos y físicoquímicos para su implementación en otros humedales. [Internet]. [Colombia, Bogotá]: Universidad Santo Tomás; 2015 [citado 16 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/1700/2015luiscaballero.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
 77. Pohl F, Eggenhuisen JT, Kane IA, Clare MA. Transport and Burial of Microplastics in Deep-Marine Sediments by Turbidity Currents. *Environ Sci Technol* [Internet]. 7 de abril de 2020 [citado 10 de marzo de 2021];54(7):4180-9. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.9b07527>
 78. Choque PAG. REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AIREACIÓN Y COSECHA DE LENTEJA DE AGUA EN LA DEL LAGO TITICACA,PUNO [Internet] [Magíster en gestión integral de cuencas hidrográficas]. [Perú]: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2021 [citado 17 de marzo de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5003/ginez-choque-percy-arturo.pdf?sequence=1>
 79. Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible [Internet]. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; 2015 [citado 16 de marzo de 2022]. Disponible en: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=78153
 80. Beita-Sandí W, Barahona-Palomo M. Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica. *UNED Res J* [Internet]. 1 de diciembre de 2010 [citado 15 de marzo de 2022];2(2):157-79. Disponible en: <https://investigades.uned.ac.cr/revistas/index.php/cuadernos/article/view/156>
 81. Davie T. *Fundamentals of hydrology* [Internet]. 2. ed., repr. (twice). London: Routledge; 2010 [citado 17 de marzo de 2022]. 200 p. (Routledge fundamentals of physical geography series). Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=x0HfA6HJvogC&pg=PA131&lpg=PA131&dq=because+conductivity+is+directly+proportional+to+the+concentration+of+dissolved+solids&source=bl&ots=f17xilfDKW&sig=ACfU3U2cSp42HdDY8jy9s-r3K1WxdLX5tA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiOos3Y1Lz2AhXPQzABHeyCC78Q6AF6BAg7EAM#v=onepage&q=because%20conductivity%20is%20directly%20proportional%20to%20the%20concentration%20of%20dissolved%20solids&f=false>
 82. Ramírez C. *Calidad del Agua* [Internet]. Primera. Medellín, Colombia: Ediciones de la u, Conocimiento a su alcance; 2011 [citado 15 de marzo de 2022]. 460 p. Disponible en: <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2568>
 83. Neira M. *Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación* [Internet]. Universidad de Chile; 2006 [citado 3 de marzo de 2022]. Disponible en: https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf
 84. Potasznik A, Szymczyk S. MAGNESIUM AND CALCIUM CONCENTRATIONS IN THE SURFACE WATER AND BOTTOM DEPOSITS OF A RIVER-LAKE SYSTEM. Chair

- Water Resour Climatol Environ Manag Univ Warm Mazury Olszt [Internet]. septiembre de 2015 [citado 15 de marzo de 2022];20(3):677-92. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/283132040_Magnesium_and_calcium_concentrations_in_the_surface_water_and_bottom_deposits_of_a_river-lake_system
85. Bolaños J, Montero N, Rodríguez N, Sánchez A. Calidad de aguas superficiales: estudio de la quebrada Estero, ubicada en el cantón de San Ramón, Costa Rica. Rev Pensam Actual [Internet]. 2015 [citado 16 de marzo de 2022];15(25):61-76. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5821477.pdf>
 86. Zhang Z, Xiao C, Adeyeye O, Yang W, Liang X. Source and Mobilization Mechanism of Iron, Manganese and Arsenic in Groundwater of Shuangliao City, Northeast China. Water [Internet]. 14 de febrero de 2020 [citado 10 de marzo de 2021];12(2):534. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/2/534>
 87. Paucarima K, Quirola B. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE MANGANESO PEROXIDASA EN MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL SUELO DEL PÁRAMO DEL VOLCÁN CHILES, PROVINCIA DEL CARCHI, PARA EVALUAR SU POTENCIAL COMO BIODEGRADADORES DE PLÁSTICO POLIETILENO (PE) [Internet] [Investigación]. [Ecuador]: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO; 2020 [citado 31 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18891/1/UPS%20-%20TTS034.pdf>
 88. Achury N. Expresión de manganeso peroxidasa en *Pichia pastoris* X-33 bajo el control del promotor constitutivo GAP [Internet] [Investigación]. [Bogotá, Colombia]: Pontificia Universidad Javeriana; 2020 [citado 31 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/52049/Tabajo%20de%20grado%20Nixon%20Achury%20FIRMADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 89. Cid A. Estudio de viabilidad de un proceso de eliminación de amonio mediante electro oxidación en la EDAR Valle del Vinalopó (Elda) [Internet]. [España]: Universidad de Alicante; 2014 [citado 16 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://iuaca.ua.es/master-agua/documentos/gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm08/tfm08-angel-cid-amor.pdf>
 90. Molina EC, Garciadiego LH, Ruíz HG. Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. 1 de marzo de 2003 [citado 10 de marzo de 2022];47(1):5. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014#:~:text=Los%20niveles%20de%20nitratos%20y,los%20niveles%20de%20estos%20aumenten.
 91. WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Nitrate and nitrite in drinking-water [Internet]. World Health Organization; 2016 [citado 15 de marzo de 2022]. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratennitrite2ndadd.pdf
 92. Núñez M del R. Evaluación de la eficiencia en remoción de nitrato de un humedal construido a escala de laboratorio [Internet] [Magister en Ecohidrología]. [Argentina]: Universidad Nacional de La Plata; 2017 [citado 17 de febrero de 2022]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/60955>
 93. Sarkar DJ, Das Sarkar S, Das BK, Praharaj JK, Mahajan DK, Purokait B, et al. Microplastics removal efficiency of drinking water treatment plant with pulse clarifier. J Hazard Mater [Internet]. julio de 2021 [citado 19 de marzo de 2022];413:9. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389421003101>
 94. Brandt MJ, Johnson KM, Elphinston AJ, Ratnayaka DD. Chemistry, Microbiology and

- Biology of Water. En: Twort 's Water Supply [Internet]. Elsevier; 2017 [citado 19 de marzo de 2021]. p. 235-321. Disponible en:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081000250000077>
95. Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo. Cloruro de Polivinilo (PVC) fracción respirable [Internet]. DLEP; 2016 [citado 24 de mayo de 2022]. Disponible en:
[https://www.insst.es/documents/94886/289981/DLEP+105.pdf/8b1ac9ad-eb47-40b8-851d-a1c062de654f#:~:text=El%20cloruro%20de%20polietileno%20\(PVC,fin%2C%20inodoro%20y%20qu%2C%20micamente%20inerte.&text=oxidantes%2C%20hidrocarburos%20alif%2C%20A1ticos%2C%20aceite%20mineral,alcohol%20et%2C%20ADlico%20y%20%2C%20A9ter%20diet%2C%20ADlico.\)](https://www.insst.es/documents/94886/289981/DLEP+105.pdf/8b1ac9ad-eb47-40b8-851d-a1c062de654f#:~:text=El%20cloruro%20de%20polietileno%20(PVC,fin%2C%20inodoro%20y%20qu%2C%20micamente%20inerte.&text=oxidantes%2C%20hidrocarburos%20alif%2C%20A1ticos%2C%20aceite%20mineral,alcohol%20et%2C%20ADlico%20y%20%2C%20A9ter%20diet%2C%20ADlico.))
 96. Bojaca R. SULFATOS EN AGUA POR EL MÉTODO NEFELOMÉTRICO. Instituto de Hidrología Meteorología Estudios Ambientales Ministerio Ambiente Vivienda Desarrollo Territorial - República Colombia [Internet]. 1 de junio de 2007 [citado 20 de marzo de 2022];(03):9. Disponible en:
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Sulfato+en+agua+por+Nefelometr%C3%ADa.pdf/f65867a2-079f-420c-9067-b1c4c3139e89>
 97. Ecofluidos Ingenieros S.A. ESTUDIO DE LA CALIDAD DE FUENTES UTILIZADAS PARA CONSUMO HUMANO Y PLAN DE MITIGACIÓN POR CONTAMINACIÓN POR USO DOMÉSTICO Y AGROQUÍMICOS EN APURÍMAC Y CUSCO [Internet]. Fondo para el Logro de los ODM; 2012 [citado 16 de marzo de 2022]. Disponible en:
<https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
 98. Noval Y. Toxicología en gatos domésticos [Internet] [Monografía]. [Bogota, Colombia]: UDCA; 2017 [citado 31 de mayo de 2022]. Disponible en:
<https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/672/1/MONOGRAF%C3%8DA%20TOXICOLOGIA%20EN%20FELINOS%20DOM%C3%89STICOS%20%28FELIS%20CATUS%29%20yesika%20noval%20%281%291.pdf>
 99. López J, Alarcón M. Sulfato de calcio: propiedades y aplicaciones clínicas. Rev Clínica Periodoncia Implantol Rehabil Oral [Internet]. diciembre de 2011 [citado 31 de mayo de 2022];4(3):138-43. Disponible en:
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-01072011000300012
 100. Maisterrena V. DETERMINACIÓN DE ORTOFOSFATOS EN AGUA [Internet]. 1999 [citado 2 de marzo de 2022]. Disponible en:
<http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/anuavet/n1999a33maisterrena.pdf>
 101. Hernandez AM. Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C [Internet]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 7 1. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia; 2007 [citado 15 de marzo de 2022]. Disponible en:
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>
 102. Castro-Roa, Denisse, Pinilla-Agudelo, Gabriel. Periphytic diatom index for assessing the ecological quality of the Colombian Andean urban wetlands of Bogotá. Limnetica [Internet]. 15 de diciembre de 2014 [citado 29 de marzo de 2022];(33):297-312. Disponible en:
<https://www.limnetica.net/documentos/limnetica/limnetica-33-2-p-297.pdf>

10. ANEXOS

ANEXO 1. Recolección de muestras, filtrado y evidencia de acompañamiento de la Secretaría de Ambiente



Figura 20. Recolección de muestras, filtrado y evidencia de acompañamiento de la Secretaría de Ambiente: a. Recolección y filtrado en el punto Av. Cali, b. Recolección de muestra en el punto Canal, c. Recolección de muestra y filtrado en el punto Conjuntos, d. Recolección de muestra en el punto Conjuntos, e. Recolección de muestra en el punto Barrio, e. Recorrido y primera toma de muestras en compañía de la Secretaría de Ambiente.

ANEXO 2. Procesamiento en el Laboratorio



a. Prueba de elasticidad



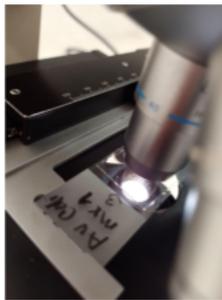
b. Siembra manual de las muestras



c. Instalación del equipo



D. Equipo manifold



e. Observación de cada muestra por microscopio óptico



f. Segunda filtración



g. Proceso de secado



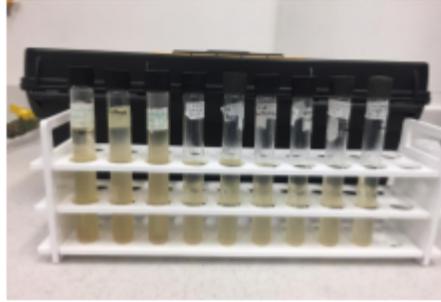
h. Observación estereoscópica

Figura 21. Procesamiento en el Laboratorio

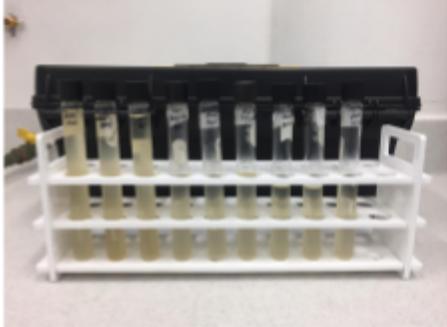
ANEXO 3. Resultados análisis microbiológicos técnica NMP



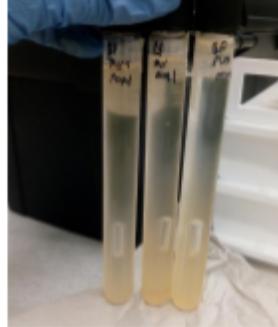
a.Presencia de turbidez y gas en punto el Av. cali



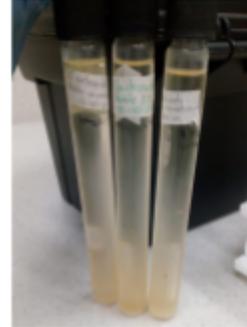
b.Presencia de turbidez y gas en el punto Barrio



c.Presencia de turbidez y gas en el punto Conjuntos



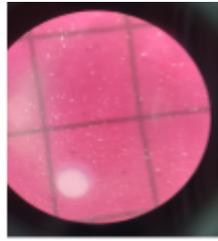
d.Presencia de turbidez y gas en el punto Cuerpo Principal



e.Presencia de turbidez y gas en el punto Canal

Figura 22. Resultados presuntivos para Coliformes totales por técnica NMP

ANEXO 4. Resultados analisis microbiológicos filtración por membrana



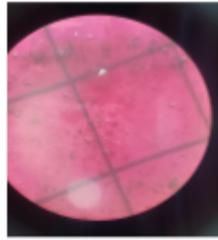
a. Presencia de colonias rosadas fermentadoras de lactosa en el punto Canal.



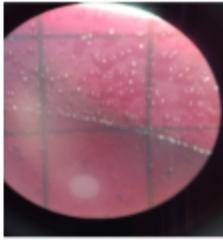
b. Presencia de colonias rosadas fermentadoras de lactosa en el punto Av. cali



e. Presencia de colonias rosadas fermentadoras de lactosa en el punto Cuerpo Principal.

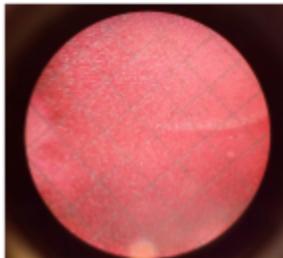


c. Presencia de colonias rosadas fermentadoras de lactosa en el punto Barrio

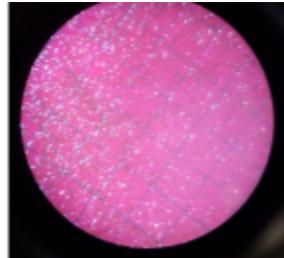


d. Presencia de colonias rosadas fermentadoras de lactosa en el punto Conjunto

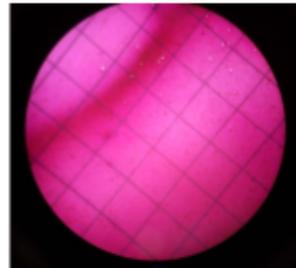
Figura 23. Resultados crecimiento de colonias en agar ENDO primer muestreo.



a. Punto de muestreo Canal en Agar Endo



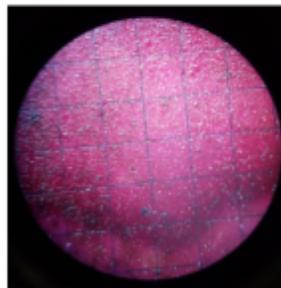
b. Punto de muestreo Av. Cali en Agar Endo



e. Punto de muestreo Conjunto Principal en Agar Endo



c. Punto de muestreo Barrio en Agar Endo



d. Punto de muestreo Conjuntos en Agar Endo

Figura 24. Resultados crecimiento de colonias en agar ENDO segundo muestreo.

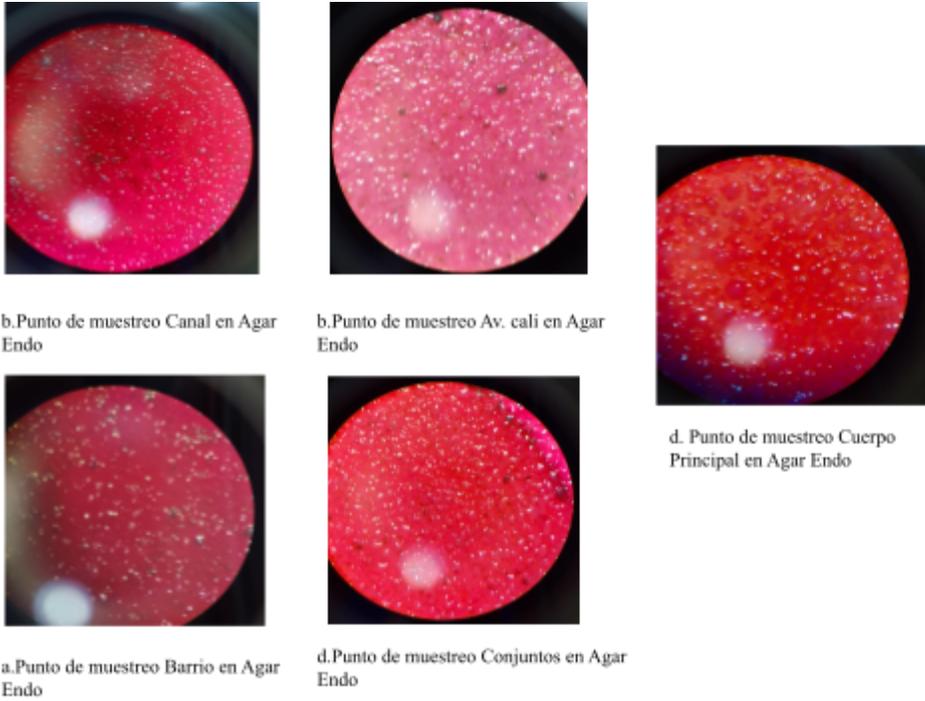


Figura 25. Resultados crecimiento de colonias en agar ENDO tercer muestreo.

ANEXO 5. Resultados análisis microbiológico siembra por superficie

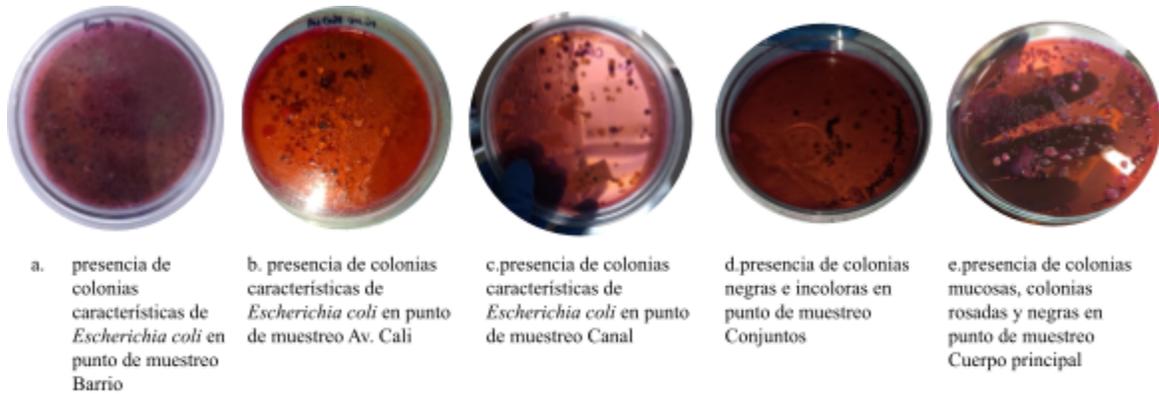


Figura 26. Resultados del crecimiento de colonias en agar EMB.



Figura 27. Resultados crecimiento de colonias en agar MacConkey



Figura 28. Resultados del crecimiento de colonias en agar S.S.

ANEXO 6. Resultados análisis microbiológico AquaChrom



Figura 29. Resultados positivos para *Escherichia coli* en análisis microbiológico Aqua Chrom

ANEXO 7. Gestión con la Secretaría de Ambiente y taller con la Comunidad

En primer lugar, se gestionaron los permisos pertinentes frente a Secretaría Distrital de Ambiente, donde se solicitó autorización para ingreso y toma de muestras de agua en el Humedal El Burro con fines investigativos y siguiendo la política pública de humedales de distrito capital, y los correspondientes planes de manejo ambiental de estos ecosistemas, en respuesta al radicado se obtuvo el compromiso de presentar los resultados obtenidos ante la Secretaría Distrital de Ambiente, así como la socialización en los espacios de participación mesa territoriales.

Se llevó a cabo la convocatoria a través de las redes sociales (figura 30) a una actividad en la cual se desarrollaron temas como: qué son los MP, el ciclo, la importancia y prevención de la contaminación por estas partículas; con la ayuda de la administración del Humedal El Burro y la Secretaria Distrital de Ambiente, quienes apoyaron esta actividad con la difusión de la información acerca del taller y por medio de un recorrido guiado a través del cuerpo de agua. Además se presentó el proyecto ante las mesas territoriales desarrolladas por la Secretaría Distrital de Ambiente los días 23 de septiembre y 16 de diciembre del año 2021, asistiendo también con el fin de aprender más acerca del Humedal el Burro y dar a conocer algunos resultados preliminares de la investigación difundiendo la información con la comunidad para que se apropien más el ecosistema.



Figura 30. Publicidad recorrido y taller de MP

Mesas Territoriales y Taller con la comunidad.

Se asistió a las mesas territoriales programadas por la Secretaría Distrital de Ambiente en las cuales se presentaron temas como el estado actual del humedal, los resultados de monitoreo, el mantenimiento y los proyectos que están activos actualmente en PEDH lo que originó un intercambio de conocimientos reconociendo las problemáticas del humedal y la biodiversidad presente, además se brindó la oportunidad de presentar el proyecto con los resultados preliminares tomando en cuenta las observaciones dadas por la comunidad en estos espacios.

Los MP se han convertido en un problema a nivel mundial debido a que pueden causar daños graves tanto a los organismos como a los ecosistemas, es por esto que es importante dar a conocer esta problemática a la comunidad. Además, es importante que las personas conozcan y se apropien de los territorios en los que viven para que cuiden y preserven lugares como el Humedal El Burro.

En total se contó con la asistencia de 26 personas a la charla- recorrido por El Humedal El Burro, se realizaron diferentes actividades lúdicas y explicativas para abordar todo lo relacionado con los MP y la afectación de estos en el ecosistema.



Figura 31 : Charla recorrido acerca de MP en Humedal El Burro, Imagen propia

La participación de las personas fue activa, a pesar de que no se conocía mucho acerca de los MP, para la comunidad sí es importante cuidar este tipo de ecosistemas, ya que son únicos dentro de la ciudad, cumpliendo diversas funciones ambientales, que son vitales para una gran cantidad de organismos.

También se realizó una encuesta de satisfacción para evaluar la charla recorrido, enviada por medio de los correos registrados el día de la actividad. En total se recibieron 16 respuestas, los resultados obtenidos demostraron que tanto la organización como el dominio del tema fue muy bueno según el 93,8% de los encuestados.

¿Cómo calificaría la organización de la Charla sobre Microplásticos?
¿Cómo calificaría el dominio del tema realizado por las estudiantes de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca?
16 respuestas

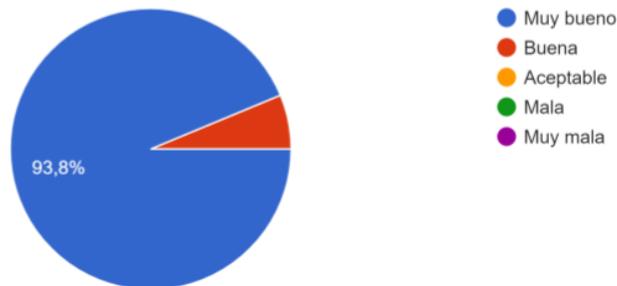


Figura 32. ¿Cómo calificaría la organización de la Charla sobre Microplásticos?

En cuanto a la puntuación de la calificación de la charla, el 87,5% de los encuestados expresaron la máxima satisfacción, es decir que la charla fue muy buena, muy adecuada y se sentían complacidos con la actividad. También es importante mencionar que el restante de los encuestados (12,5%) expresaron que la charla fue buena y quedaron satisfechos.

En una escala del 1 al 5, siendo el 5 el más alto, ¿Cómo calificaría la charla?

16 respuestas

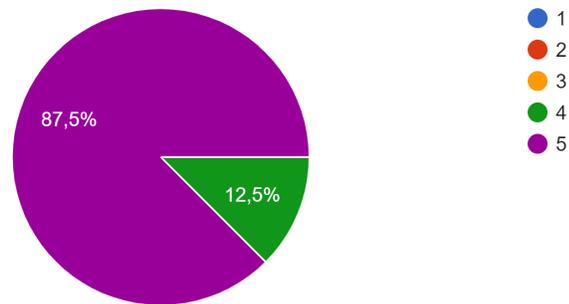


Figura 33. En una escala del 1 al 5, siendo el 5 el más alto, ¿Cómo calificaría la charla?

El 56,3% de los encuestados expresaron que la información compartida acerca de los MP y la contaminación de estos en El Humedal El Burro fue extremadamente útil. Además, el 46,8% restante expresaron que fue muy útil, demostrando que para la comunidad el parque ecológico es de gran importancia y que se le debe prestar más atención a los contaminantes que ingresan a este.

¿Cree que la información brindada en este evento fue útil?

16 respuestas

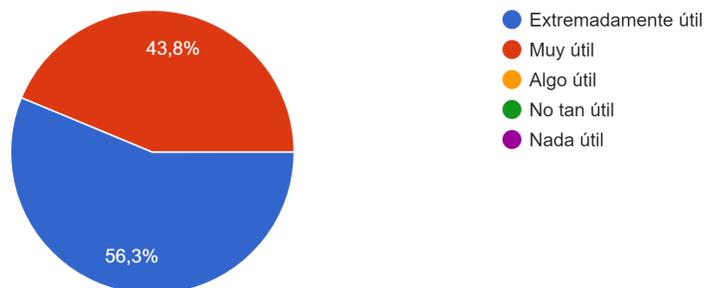


Figura 34. ¿Cree que la información brindada en este evento fue útil?

Finalmente el 100% de los encuestados están de acuerdo en que aprendieron algo nuevo con esta actividad y que los recursos lúdicos utilizados fueron prácticos, claros y comprensibles. Esto

demuestra que la charla cumplió con la meta de compartir la importancia de los MP y de su impacto en este tipo de ecosistemas

¿Considera usted que aprendió algo nuevo respecto a la temática de microplásticos y su relación con el ambiente?
¿Lo recursos lúdicos utilizados fueron prácticos, claros y comprensibles en el desarrollo de las actividades ?
16 respuestas

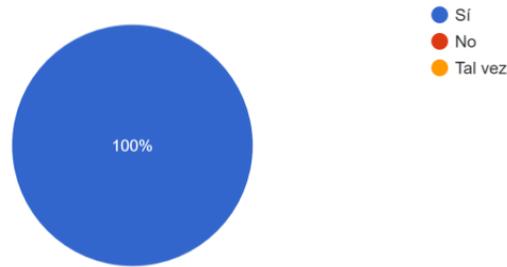


Figura 35. ¿Considera usted que aprendió algo nuevo respecto a la temática de microplásticos y su relación con el ambiente?

Conclusión: Se identificó que para la comunidad es de gran interés el tema medio ambiental que involucra el Humedal “El Burro”, ya que en actividades programadas como la presentación del proyecto en las mesas territoriales organizadas por la Secretaría Distrital de Ambiente y el taller de MP, hubo una aceptación y participación activa por parte de las personas que habitan en las cercanías del PEDH, estas experiencias generaron un intercambio de saberes entre la comunidad y la presente investigación.