

Afección de microplásticos en la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos de la cuenca del
río Pance

Daniela Ospina Escobar

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE INGENIERÍA, DISEÑO Y CIENCIAS APLICADAS

Biología con concentraciones en Conservación y Biología Molecular/Biotecnología

Ingeniería

Santiago de Cali

2024

Afección de microplásticos en la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos de la cuenca del
río Pance

Presentado por:

Daniela Ospina Escobar

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
PREGRADO EN BIOLOGÍA

Tutor:

Leonardo Herrera Orozco PhD

Santiago de Cali

2024

AVAL PARA LA ENTREGA DE PDG I

Firma del Asesor:

Vobos: LHP

Leonardo Herrera Orozco, Ph. D.

Firma del estudiante:

Daniela O.

Daniela Ospina Escobar

Resumen

Los microplásticos resultan ser una problemática a nivel mundial debido a su acumulación en ecosistemas naturales, los cuales causan gran variedad de efectos negativos en la salud de los seres vivos. Para determinar el efecto de las concentraciones de microplásticos en la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos del río Pance, se realizaron muestreos de agua y macroinvertebrados acuáticos en los sitios: Ecoparque Pance Mágico y el Balneario La Viga, y se identificaron los microplásticos según su tipo: Fibra, Esponja, Fragmento y Otro. Para las muestras de agua se realizó el respectivo filtrado e identificación de microplásticos, para macroinvertebrados se hizo identificación taxonómica, se degradó tejido y se establecieron los tipos de microplásticos presentes por Orden taxonómico. Se determinó las diferencias en las comunidades de macroinvertebrados entre sitios de muestreo, por medio de análisis estadísticos, observando número y similitud de familias por Orden entre sitios y análisis descriptivo de concentraciones en agua y macroinvertebrados. Los resultados indicaron presencia de microplásticos en el río Pance, mayores concentraciones de Fibras en los dos sitios de muestreo. Los Ordenes Coleoptera, Ephemeroptera y Trichoptera, fueron los que presentaron mayores concentraciones de microplásticos, en macroinvertebrados solo hubo presencia de Fibras microplásticas. La ingesta de microplásticos por parte de los organismos está relacionada con problemas en la salud, donde se compromete el crecimiento, desarrollo y reproductividad. De igual forma es necesario trabajar la problemática por microplásticos bajo un enfoque One Health, debido a la relación del impacto de las afecciones entre la vida silvestre, ecosistemas y seres humanos.

Introducción

El río Pance nace en el Parque Nacional Natural Farallones de Cali y desemboca en el río Jamundí, el cual posteriormente desemboca en el río Cauca; su cauce pasa por los corregimientos de Pance y La Vorágine, por el Ecoparque Pance mágico y el Parque ambiental Corazón de Pance (antes llamados en conjunto Parque de la Salud), clubes sociales y caseríos como La Umbría y La Viga¹. Todo esto en áreas de Santiago de Cali. El río Pance genera una gran diversidad de Servicios ecosistémicos por lo que es de gran importancia para la población caleña, local y visitante (además de turistas); aprovisiona de agua de consumo, uso doméstico y de riego a las poblaciones locales, promueve el reciclamiento de nutrientes, sirve como regulador de las altas temperaturas típicas de la ciudad, de los excesos aguas lluvias en momentos de La Niña, sus algas y vegetación de ribera capturan CO₂ y generan O₂ y además, este río genera servicios culturales como valor histórico, salud física y mental y recreación, ya que sus aguas tienen uso permitido por las autoridades ambientales como de contacto, por lo cual podemos bañarnos o nadar inmersos en el río ^{1,2}.

La falta de control y seguimiento a los usos dados al agua y área del río Pance, han generado algunos retos que amenazan sus Servicios ecosistémicos; por ejemplo, el turismo desmedido y sin evaluación de sostenibilidad, la expansión urbanística hacia este sector y en zonas más altas. Esto ha creado diferentes retos ambientales como la contaminación por aumento de carga orgánica y el desbalance de los flujos entre nitrógenos y fósforo, generando afecciones en la vegetación ficológica y la fauna acuática, contaminación sonora, contaminación por hidrocarburos por los vehículos que llegan a esta zona, contaminación por gran variedad de residuos sólidos y entre estos, los plásticos¹.

Los plásticos están entre los productos más consumidos a nivel mundial y en los últimos años se ha visto un incremento desmedido en la producción mundial de plásticos, pasando de 1,5 millones de toneladas en 1950 a 352,3 millones de toneladas en el 2021^{3,4}. La creciente preocupación sobre la contaminación por plásticos gira entorno a que, una vez usados los productos, se convierten en residuos, y en ocasiones, debido a mala gestión, algunos terminan en los ecosistemas naturales⁵, generando la impresión de suciedad, abandono y malas condiciones organolépticas de los ecosistemas acuáticos, pero más importante aún, promoviendo problemas de salud en la biota y probablemente en la humana (en especial, cuando hay contacto directo con el agua), situación que se presentan en los lugares de recreación y urbanización, como el río Pance. Esta situación es

particularmente silenciosa cuando se refiere a los Microplásticos; es decir, partículas plásticas con tamaño de 0,1 μm hasta 5 mm^{6, 7}. Existen dos tipos de microplásticos a partir de su origen: los primarios, producidos con el fin de adicionarlos en gran variedad de productos de cuidado personal, como abrasivos industriales, productos de limpieza, de revestimiento o de pintura^{5, 8}; y los secundarios, que se forman a partir de la erosión del plástico favorecidas por condiciones de temperatura, fuerza de fricción o exposición a rayos UV^{6, 9}. Los microplásticos son considerados omnipresentes pues han sido encontrados inclusive en lugares prístinos como: hielo marino del Ártico, la Antártida, cadenas montañosas remotas y fosas oceánicas profundas⁶. Este material representa un grave problema debido a que genera afectaciones en los organismos, comprometiendo la alimentación, el metabolismo, la reproducción y el comportamiento⁶. En el caso de los humanos, la exposición a los microplásticos puede ocurrir a través de la ingesta, inhalación y contacto dérmico y se ha asociado a trastornos gastrointestinales, deficiencias respiratorias, neurotoxicidad y algunos tipos de cáncer^{7, 10}. Por otra parte, los microplásticos forman biopelículas que sirven como vehículos para organismos exógenos, sustancias tóxicas y patógenas, lo cual perjudica la salud humana y en general la biota de los ecosistemas^{6, 11, 12, 13}.

La gran mayoría de investigaciones relacionadas con microplásticos se han realizado en ecosistemas y organismos marinos⁵. Los ecosistemas de agua dulce, en particular en humedales urbanos -que están más amenazados por la llegada de aguas residuales, envoltorios de alimentos, botellas, cubiertos de plástico, pinturas de carretera, textiles, neumáticos de vehículos, entre muchos otros-, han sido poco estudiados^{6, 14}. Sin embargo, por esta asociación con las principales fuentes de contaminación se han incrementado los estudios en estos ecosistemas, aunque con pocas investigaciones en niveles tróficos basales^{15, 16, 17}.

Debido a las características de los macroinvertebrados acuáticos, en cuanto a su abundancia, amplia distribución en ecosistemas de agua dulce, la variabilidad en la tolerancia a diferentes tipos de perturbaciones y de su gran importancia en el mantenimiento de los ecosistemas hídrico, al hacer parte de los niveles tróficos, donde juegan papel esencial en los procesos ecológicos de los cuerpos de agua -puesto que se relacionan e intervienen en los ciclos de los nutrientes, descomposición de materiales, productividad primaria y procesos de bioturbación^{18, 19, 20, 21, 22} esta investigación respondió a la pregunta: ¿Cómo afectan los microplásticos la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos de la cuenca del río Pance? A partir de la determinación del efecto

de las concentraciones de microplásticos en la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos del río Pance, Cali Valle del Cauca.

Metodología

Área de estudio

Se eligieron tres puntos de muestreo, dos en la Entrada 2 (Los Carboneros) del Ecoparque Pance Mágico (en el margen izquierdo y en el derecho), y un tercer punto, cauce abajo, en el Balneario La Viga (lateral a la avenida Cañasgordas) (Figura 1). La distancia aproximada entre los dos sitios de muestreo es de 5.500m. La distancia se tomó realizando una línea recta desde los puntos del Ecoparque Pance Mágico y el Balneario La Viga, con la herramienta Google Earth. Los dos puntos en Los Carboneros se diferenciaron porque las condiciones de cauce y ambientales son diferentes en los dos márgenes en este punto, el lado izquierdo presenta una menor corriente, se encuentra ubicado en la parte inicial del cauce lateral (división que se genera del río), donde hay mayor cobertura boscosa, comparado al lado derecho del cauce, el cual hace parte del cauce principal del río. El sitio de trabajo se encuentra en el corregimiento de Pance, área de la ciudad de Cali donde se presenta un estatus de uso del suelo que incluye actividades agropecuarias, como la ganadería y la agricultura, actividad de vivienda y actividades de parque y recreación, donde en la zona media del río predomina el turismo²³. Específicamente el Ecoparque Pance Mágico y el Balneario La Viga, son áreas donde se puede observar una problemática en cuanto al turismo desmedido e irresponsable, que generan en parte, contaminación visual y ambiental debido a residuos plásticos como: bolsas, envoltorios de alimento, cubiertos, plastos, pañales, ropa, entre otros^{1,6, 14, 24} que se encuentran.

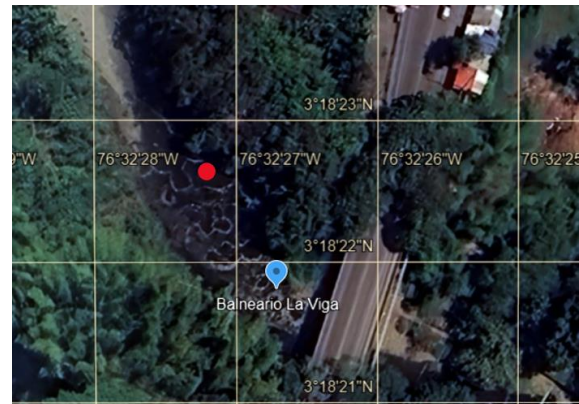


Figura 1. Puntos de muestreo: Ecoparque Pance Mágico (imagen de la izquierda) y Balneario La Viga Río Pance (imagen de la derecha). Tomada de:
<https://www.google.com/intl/es/earth/about/versions/>

Fase de campo

Para la toma de muestras se adaptó la metodología llevada a cabo por de León David et al (2020), en su "Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos". En donde, por medio de una red de fitoplancton se filtró 45L de agua de río para los dos puntos de Ecoparque Pance Mágico y 90L para el tercer punto. Para ello, se realizó la muestra de toda la columna de agua (con un balde con capacidad de 9L y en sitio donde hubo flujo constante de agua). Posteriormente, en frascos de vidrio se envasó 3/5 de agua y se adicionó 2/5 de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) a 4%, después se ratificó que los frascos quedaran bien cerrados y se guardaron de 4 a 5 días en un lugar seco, fresco y oscuro.

Por otro lado, para la recolecta de macroinvertebrados acuáticos se tuvo en cuenta lo dicho por Ramírez Alfonso (2010) en "Métodos de recolección". Se realizó recolecta con red tipo D, donde esta se pasó principalmente por la ribera con vegetación. Sin embargo, también se tuvo en cuenta lugares con predominancia rocosa. Aproximadamente, el trabajo que se realizó con la red tipo D se hizo en 7m de las dos riberas del río (7m para el lado izquierdo del cauce y 7m para el lado derecho) por sitio respectivamente. De igual forma, se realizó muestreo manual con ayuda de pinzas entomológicas y pinceles. Teniendo en cuenta que la fijación inmediata con alcohol etílico al 70% puede ocasionar regurgitación, y en este estudio se requiere el mantenimiento del contenido intestinal, se realizó la fijación después de aproximadamente 15 minutos, los macroinvertebrados se encontraban en tubos de plástico con poca cantidad de agua de río. Lo anterior, con el fin de aumentar la concentración de dióxido de carbono en el medio y provocar un estado más relajado en los organismos²⁷. Todas las muestras recolectadas se etiquetaron con la siguiente información: Lugar de muestreo (Ecoparque Pance Mágico/Balneario La Viga), tipo de muestra (Agua/Macroinvertebrados) y fecha. Adicionalmente, para las muestras tomadas en el Ecoparque Pance Mágico, punto de muestreo (río principal-lado derecho/río lateral-lado izquierdo). En la Figura 2, se simplifica en un flujograma, la metodología de campo.

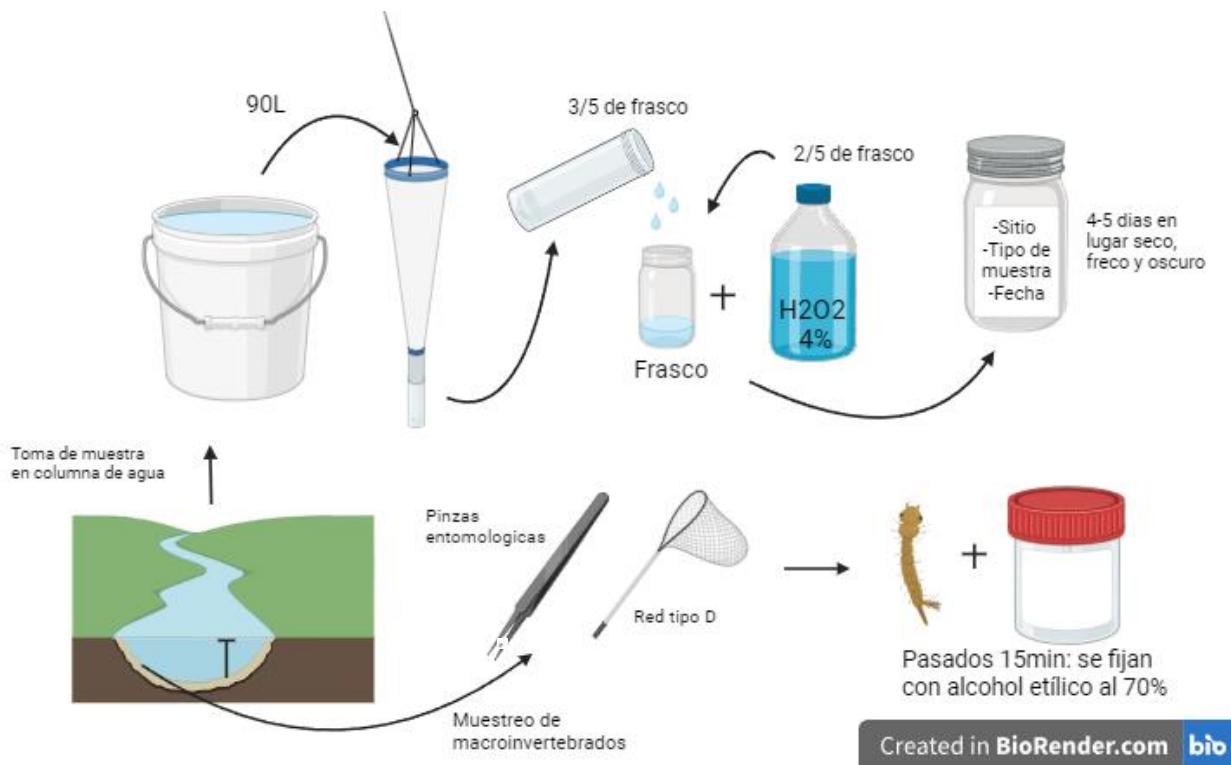


Figura 2. Metodología desarrollada para la fase de campo. En la parte superior de la figura se presentan los pasos realizados para la toma de muestras en el sitio de muestreo. En la figura se consignan los pasos metodológicos para la recolección y fijación de los macroinvertebrados.

Fase de laboratorio

Para obtener los microplásticos de las muestras de agua y los macroinvertebrados se siguió lo planteado por León David et al (2020) en su "Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos", donde las muestras tratadas previamente con H₂O₂ se filtraron por medio de un embudo de polisulfona y un filtro de nitrato de celulosa con poro de 0.45µm, utilizando una bomba de vacío. Asimismo, se realizaron lavados, con agua Tipo 2, de los frascos que contenían las muestras y de las paredes del embudo de polisulfona, con el fin de evitar pérdida de microplásticos. Una vez filtradas las muestras, con ayuda de unas pinzas, se pasó el filtro de nitrato a cajas Petri de 60x15mm y se adicionaron de 3-4 gotas de H₂O₂; pasados 3 días se identificaron los microplásticos, con ayuda de estereoscopio, en: Fibras, dadas por partículas de plástico con forma alargada y delgada; Esponjas, partículas plásticas con forma irregular y porosa; Fragmentos, dados por partículas irregulares planas y coloridas²⁵; y Otro, dado por partículas plásticas que no ingresan en ninguna de las clasificaciones anteriores. Para las muestras de los

macroinvertebrados, se adaptó la metodología de Windsor, et al (2019) en “Microplastic ingestion by riverine macroinvertebrates”.

Para el trabajo con los especímenes, primero se identificaron los individuos hasta el nivel taxonómico de Familia, por medio de observación en estereoscopio; en algunos casos se llegó a nivel de género, sin embargo, el uso de estos organismos como bioindicadores de calidad del agua, permite su identificación a niveles superiores. Posteriormente, se seleccionaron los individuos que no fueron dañados al ser manipulados durante la fase de muestreo e identificación, se les realizó un lavado con agua tipo 2 y se verificó por observación en estereoscopio que no hubiera presencia de fragmentos de microplásticos exteriores. Se separaron por nivel taxonómico de Orden en cajas Petri y se cubrieron con cinta Parafilm. Se dejaron secando a temperatura ambiental por 8 días, después se pesaron, por medio de balanza analítica con capacidad 60g-0.0001g, todos los individuos de cada Orden (muestra conjunta) por dos días seguidos, para verificar que el peso de los macroinvertebrados se mantuviera constante, logrando su “peso seco”; cabe resaltar que los órdenes que presentaban pocos individuos y, por tanto, que no marcaban un valor en peso, no se tuvieron en cuenta para el siguiente paso. Para extraer los microplásticos, se tomaron todos los individuos por Orden, de cada sitio respectivamente, y se maceraron con ayuda de mortero, se les adicionó agua salina a 1.2 g/mL de concentración. Se filtró el macerado utilizando los mismos materiales que para las muestras de agua. Posteriormente, el filtro se pasó a cajas Petri de 60x15mm y se adicionó de 6-7 gotas de H₂O₂ al 15%. pasados 3 días se identificaron los microplásticos en: Fibras, Esponjas, Fragmentos u Otro²⁵, con ayuda de estereoscopio. En la Figura 3, se simplifica en un flujograma, la metodología de laboratorio.

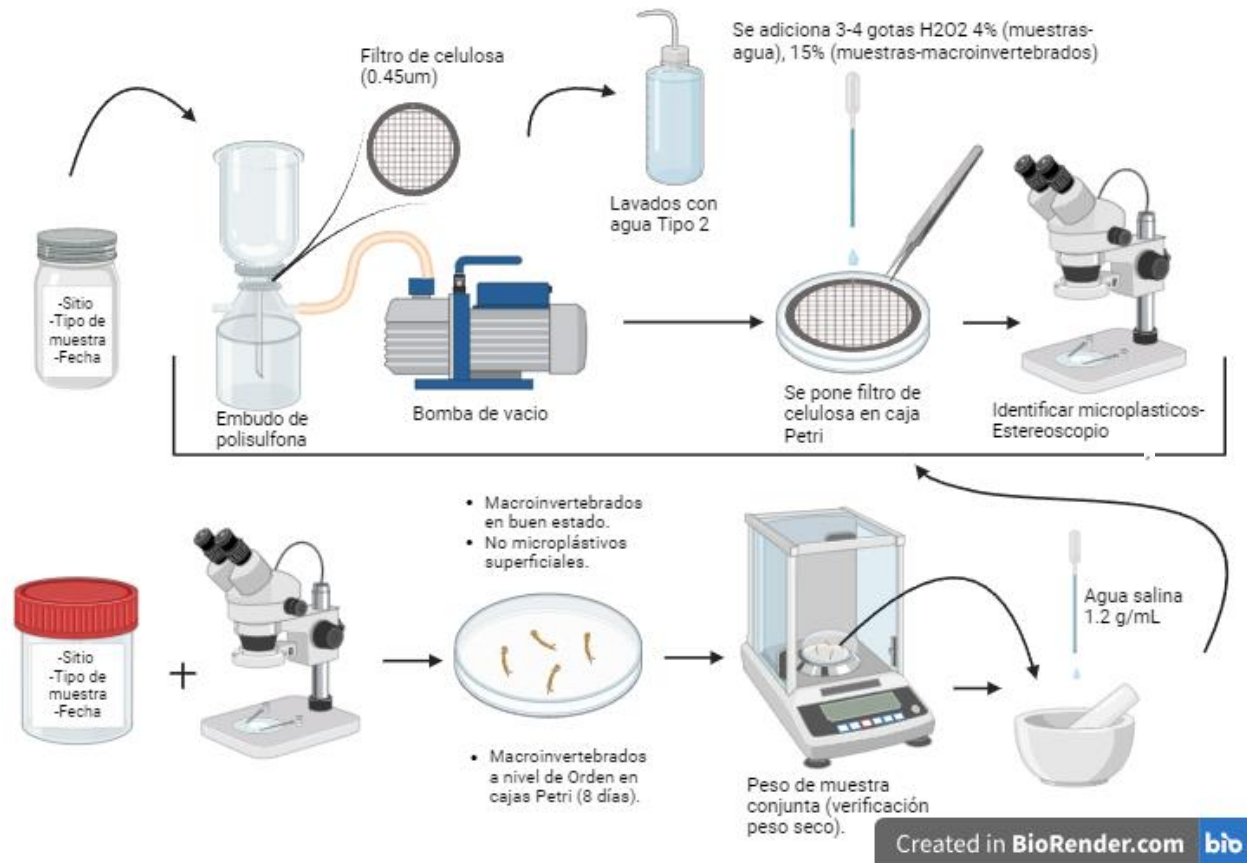


Figura 3. Metodología desarrollada para la fase de laboratorio. En la parte inferior se encuentra el montaje general utilizado para el filtrado de los microplásticos para las muestras de agua y para las muestras de macroinvertebrados, una vez se halla realizado los respectivos pasos de identificación taxonómica, secado, pesaje y macerado, que se encuentran en la parte inferior se la figura.

Análisis estadístico

Con el fin de determinar el efecto de los microplásticos sobre la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos del río Pance, se plantearon las siguientes preguntas de investigación: ¿Cómo es la presencia de microplásticos en el río Pance? ¿Cómo esta afectando la ingesta de microplásticos a los macroinvertebrados acuáticos del rio Pance? Para la primera pregunta se realizó análisis descriptivo, determinando la presencia de microplásticos en las muestras de agua y de los macroinvertebrados de río Pance. Para la segunda pregunta, debido al

bajo número de muestras, se procedió a desarrollar la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, específicamente para establecer si había diferencias entre el número de Familias taxonómicas de macroinvertebrados por Orden entre los dos sitios de muestreo. Además, se determinó la similitud de las Familias taxonómicas entre los sitios por medio del índice de Jaccard. Tanto la prueba no paramétrica como el índice de similitud se calcularon por medio del programa R Studio, Versión 4.3.1.

3. Resultados y Discusión

Las muestras de agua tomadas el 20 de febrero del Ecoparque Pance Mágico y el 21 de febrero del Balneario La Viga presentaron partículas de microplásticos, clasificadas en cuatro tipos: Fibras, Esponja, Fragmento y Otro (Figura 4), Se encontró una mayor concentración de fibras en los dos sitios de muestro, con valores de 0.67 MP/L en el Ecoparque Pance Mágico y 0.81 MP/L en el Balneario La Viga; seguido por las esponjas, con valores de 0.078 MP/L para el Ecoparque Pance Mágico y 0.11 MP/L para el Balneario La Viga. Cabe destacar que, en el Ecoparque Pance Mágico no se registraron partículas de microplástico tipo Fragmento (de las muestras de agua que fueron tomadas) contrario al Balneario La Viga (Tabla 1). Este resultado se pudo haber obtenido por varias características como: la morfología irregular de los fragmentos, que puede ocasionar que estos se posicionen o se enreden en el sustrato²⁸. Pese a que se trató de muestrear toda la columna de agua en los dos sitios de muestro, para el Ecoparque Pance Mágico la probabilidad de tomar muestra de la parte inferior de la columna de agua era menor, pues se presentaba mayor altura, comparado en el punto de muestreo de el Balneario La Viga, donde la altura de la columna de agua coincidía con el ancho del recipiente utilizado para el muestreo. Para futuras investigaciones en necesario que se tenga en cuenta estas apreciaciones. Por otro lado, el resultado también podría estar influenciado por una posible resuspensión de microplásticos debido a la lluvia de la noche del 20 de febrero y madrugada del 21 de febrero, pues según Baldwin, A et al (2016) las concentraciones de fragmentos de microplásticos aumentan durante condiciones de lluvia^{29, 30}. Por lo anterior, se recomienda adelantar estudios en cuando al cambio en la biodisponibilidad de microplásticos en las temporadas de lluvia. Por otro lado, se debe tener en cuenta que, actividades como realización de “piscinas” artificiales en los ríos podría estar generar una retención de microplásticos en estas zonas de los ríos, por tanto, agravar la biodisponibilidad de microplásticos en temporadas de lluvias, con la resuspensión del sustrato (y por ende microplásticos encontrados allí).

Los autores Khatmullina, et al (2017) y Morét, et al (2019), proponen que las propiedades físicas de los microplásticos (densidad, forma y textura) varían dependiendo de las propiedades del material (polímero) y la duración de la exposición en el ambiente, por lo que estas condiciones físicas también afectan en cuanto a la biodisponibilidad en la columna de agua. las fibras y los fragmentos son los microplásticos más comunes en los ecosistemas acuáticos, y que se sospecha que la contaminación por fibras en estos ecosistemas puede llegar a ser mucho mayor que la contaminación por otro tipo de microplásticos^{31, 33, 34}. Sin embargo, aún falta una mayor inclusión del análisis de fibras en los estudios sobre microplásticos para afirmar esta suposición³¹. En este estudio, se presenta una mayor disponibilidad de fibras de microplástico que cualquier otro tipo, esto puede ser explicado porque las fuentes principales de contaminación por fibras microplásticas están dadas por lavado doméstico de prendas, vertederos y drenajes³⁵; particularmente es sabido que las zonas donde se realizó el muestreo presentan servicios ecosistémicos relacionados en la recreación para los habitantes de Cali y turistas, este tipo de uso del agua podría estar aumentando la cantidad de fibras plásticas encontradas en el río; es necesario adelantar estudios en cuanto a cómo cambia la biodisponibilidad de fibras plásticas y de microplásticos en general, en las temporadas de turismo (alta y baja), pues como informa la CVC en el estudio sobre capacidad de carga de río Pance realizado en convenio con la Universidad del Valle, el Ecoparque Pance Mágico, superan la capacidad de carga en un 85% (con ingreso de 1013 personas más) en temporadas altas³⁶. Además, es conocido que cada fin de semana se tiene una cantidad de visitantes al río Pance de 40000-70000 personas³⁷. Por lo tanto, debido a que las fuentes de contaminación de plásticos están relacionadas con las actividades humanas, este aumento en los visitantes podría generar una mayor disponibilidad de microplásticos, con mayor afección en los organismos acuáticos y los seres humanos (que presentan actividad de recreación con contacto directo del agua, el cual actuaría como medio de transporte de microplásticos).

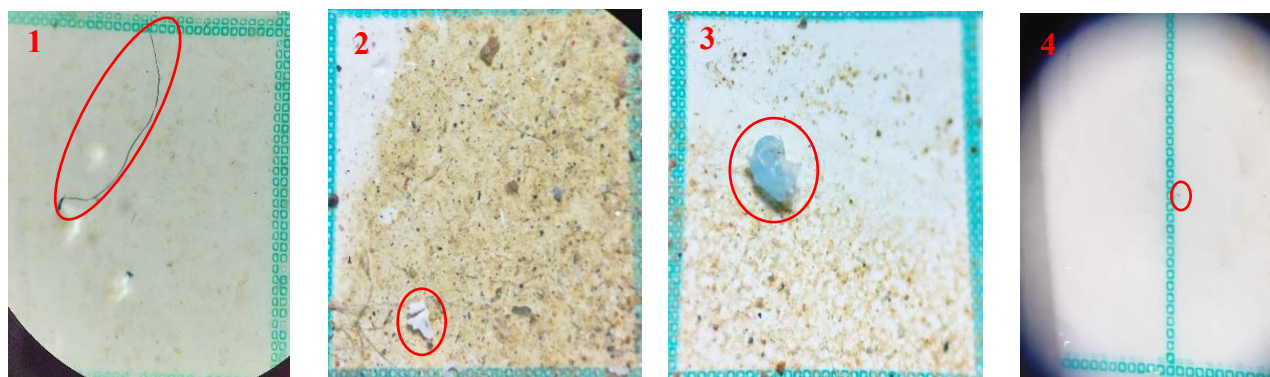


Figura 4. Tipos de microplásticos encontrados en río Pance, Cali Valle del Cauca. 1: Microplástico tipo Fibra. 2: Microplástico tipo Esponja. 3: Microplástico tipo Otro. 4: Microplástico tipo Fragmento (microplástico no encontrado en el Ecoparque Pance Mágico). Cada lado del cuadro que contiene a los microplásticos mide aproximadamente 3.1mm.

Tabla 1. Concentración de cada tipo de microplástico encontrado en las muestras de agua de los sitios de estudio: Ecoparque Pance Mágico (EPM) y Balneario La Viga (BLV). Las concentraciones se hallaron dividiendo el número de microplásticos, por tipo, en los litros de agua filtrada en cada sitio (90L).

Tipo de microplásticos	EPM (#MP)	BLV (#MP)	Concentración de microplásticos (#MP/L)-EPM	Concentración de microplásticos (#MP/L)-BLV
Fibra	60	73	0.67	0.81
Esponja	7	10	0.078	0.11
Fragmento	0	6	0	0.067
Otro	3	3	0.033	0.033
Total	70	92	0.78	1.0

3.2. Comunidad de macroinvertebrados en los sitios de muestreo

Según Hanson, et al (2010), las aguas lólicas presentan mayor diversidad de microhábitats que las aguas lénticas. Asimismo, Las aguas lólicas son las que contienen la mayor diversidad de macroinvertebrados (viéndose en mayor medida, en aguas limpias y bien oxigenadas) y a su vez las zonas con mayor diversidad de especies de macroinvertebrados en estas aguas son los llamados: espacios litorales¹⁸. Los macroinvertebrados acuáticos juegan un papel esencial en procesos ecológicos de los cuerpos de agua (ciclo de nutrientes, descomposición de materiales,

productividad primaria, procesos de bioturbación). Además, estos organismos permiten identificar el estado ecológico de los sistemas acuáticos, actuando como bioindicadores de la calidad del agua, por sus características de sensibilidad a perturbaciones o alteraciones del medio en el que se encuentran^{18, 19, 20, 21}.

En el Ecoparque Pance Mágico se encontraron: 8 Ordenes y 18 Familias; en el Balneario la Viga: 7 Ordenes y 10 Familias (Figura 5 y anexo Tabla 3). A continuación, se presenta una explicación general de los grupos encontrados:

Los insectos del Orden Ephemeroptera son todos acuáticos en estadios tempranos, se encuentran en mayor medida y diversidad en fondos rocosos de ríos; los insectos del Orden Odonata, en estadio inmaduro son acuáticos, en su mayoría viven en el fondo de los ríos o sobre la vegetación sumergida; los del Orden Plecoptera, en etapas tempranas son acuáticos, se pueden encontrar en la hojarasca que está en la corriente, bajo rocas o raíces; los del Orden Coleoptera se pueden presentar tanto adultos como larvas acuáticas. En zonas lóaticas (como ríos) se encuentran en hojarasca, vegetación ribereña, troncos, superficie de piedras o raíces; los del Orden Trichoptera, en estadios inmaduros son acuáticos, algunas viven en construcciones que realizan con diferentes materiales (sustratos, partículas o material vegetal), otras construyen redes para filtrar agua; el Orden Diptera, es el grupo con mayor cantidad de especies de macroinvertebrados dulceacuícolas; las planarias (Tricladida), viven debajo de piedras, troncos, agua con poca profundidad; los caracoles pulmonados de los Ordenes Sorbeoconcha y Basommatophora pertenecen a la clase Gastropoda y tienen la capacidad de tolerar variedad de condiciones ambientales^{38,39,40,41}.

Estas comunidades de macroinvertebrados acuáticos encontradas son similares entre sitios de muestreo (Figura 5 y 6), no se encontraron diferencias entre el número de Familias por Orden entre los sitios. Sin embargo, se encontraron algunas diferencias de similitud entre las comunidades, estas diferencias pueden estar dadas principalmente a las condiciones ambientales de cada punto como: amplitud del cauce, donde la parte media del río Pance (ubicado el Ecoparque Pance Mágico) presentan una amplitud menor comparado a la zona baja (Balneario La viga); corriente, la zona media presentan corrientes más fuertes, comparado a la zona baja del río Pance; e inclinación o pendiente del río; donde se presenta mayor inclinación en la zona media del río Pance, comparado a la parte baja del río. De igual forma por el grado de contaminación (orgánica e inorgánica), puesto que estudios realizados en el río Pance, han mostrado una tendencia en la

disminución de la diversidad de macroinvertebrados en el sitio Balneario La Viga, comparado al sitio Ecoparque Pance Mágico, dado por las condiciones organolépticas en los dos sitios de muestreo^{42, 43}.



Figura 5. Representación de las Familias de macroinvertebrados acuáticos recolectados en el río Pance. 1: Basommatophora: Ancyliidae. 2: Coleoptera: Elmidae (Larva). 3: Coleoptera: Elmidae (Adulto). 4: Coleoptera: Psephenidae (Larva). 5: Diptera: Simuliidae (Larva). 6: Diptera:

Blepharoceridae (Larva). 7: Ephemeroptera: Baetidae (Ninfa). 8: Ephemeroptera: Leptophlebiidae (Ninfa). 9: Ephemeroptera: Tricorythidae (Ninfa). 10: Odonata: Calopterygidae (Ninfa). 11: Odonata: Coenagrionidae (Ninfa). 12: Odonata: Libellulidae (Ninfa). 13: Plecoptera: Perlidae (Ninfa). 14: Sorbeoconcha: Hydrobiidae (Adulto). 15: Trichoptera: Glossosomatidae (Larva). 16: Trichoptera: Helicopsychidae (Larva). 17: Trichoptera: Leptoceridae (Larva). 18: Trichoptera: Hydropsychidae (Larva). 19: Trichoptera: Hydrobiosidae (Larva). 20: Tricladida: Planariidae.

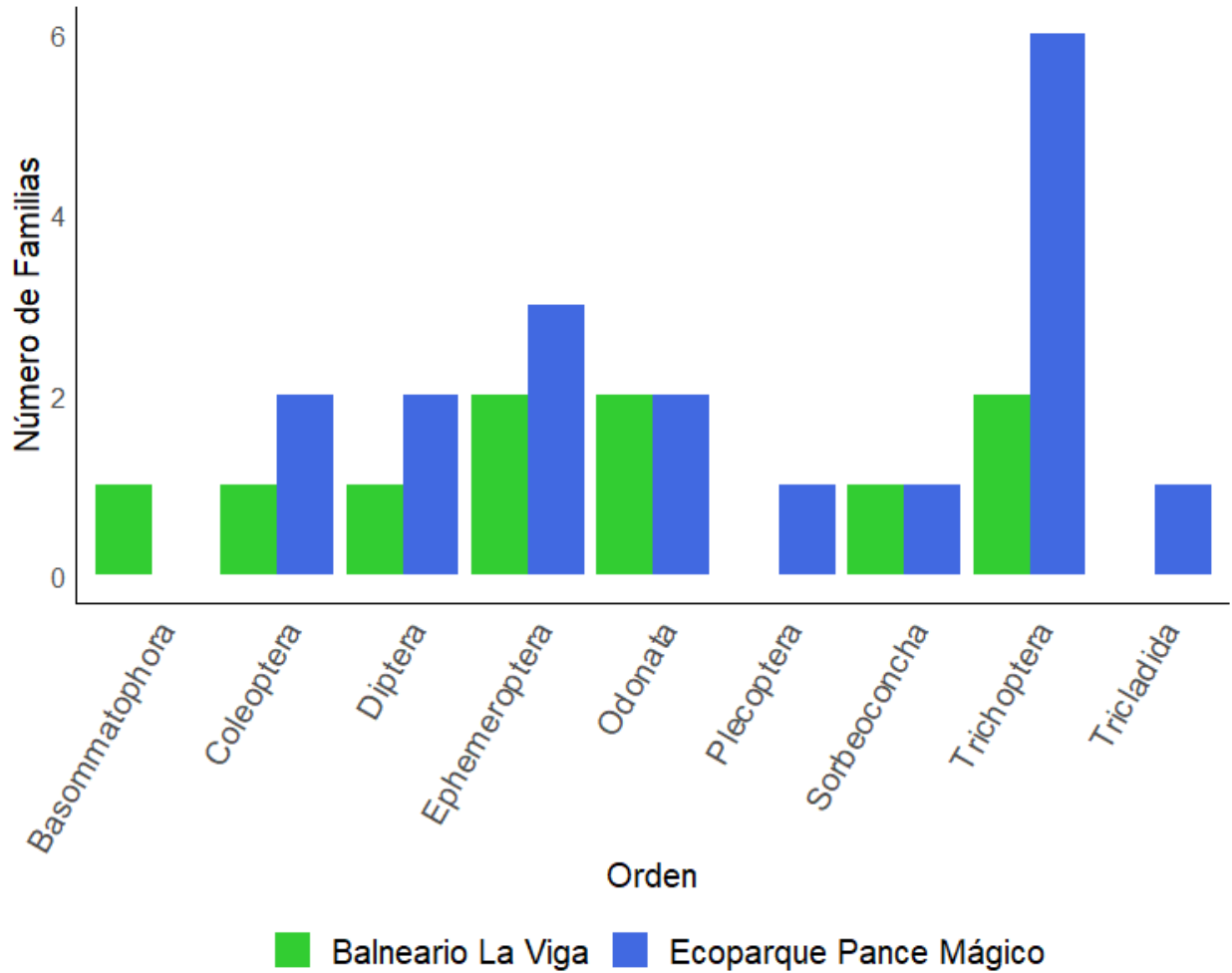
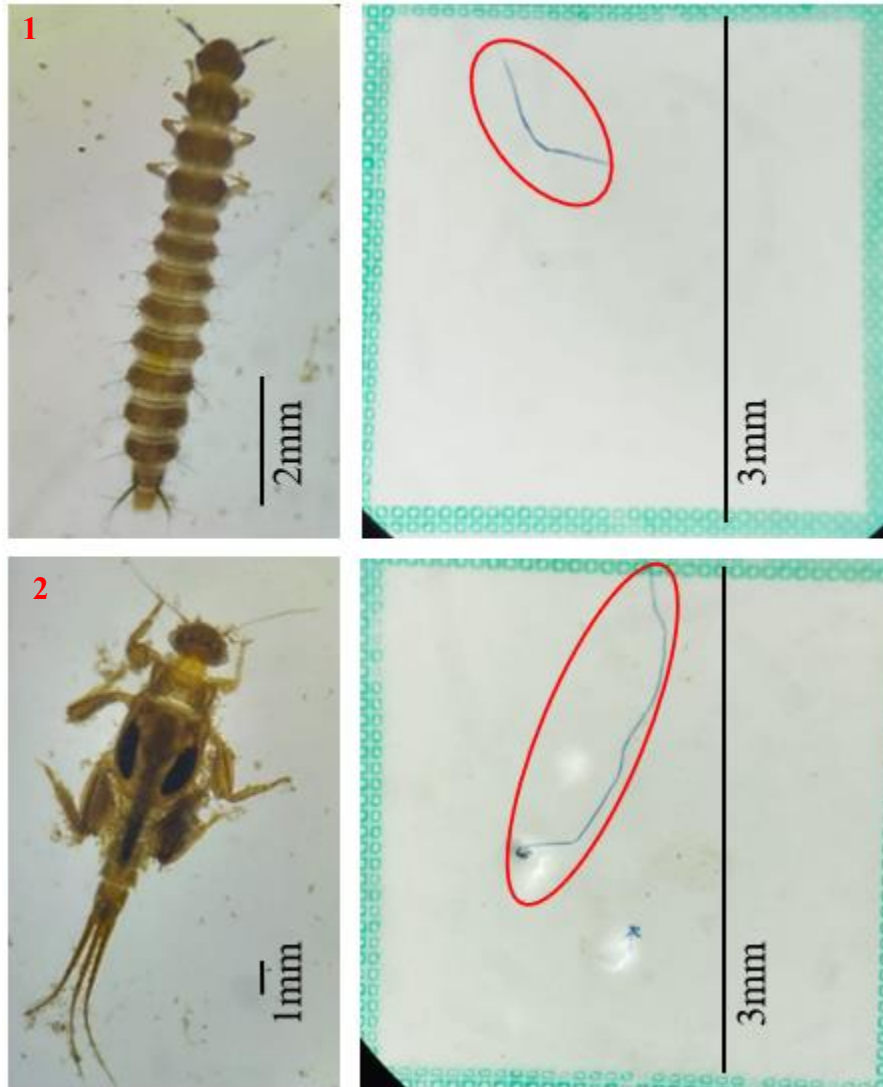


Figura 6. Número de Familias por cada Orden encontrado en los sitios de estudio “Balneario La Viga” y “Ecoparque Pance Mágico” en la ciudad de Cali.

3.2.1. Microplásticos presentes en los órdenes de macroinvertebrados

Los macroinvertebrados de agua dulce presentan una amplia variedad de adaptaciones, desde sus ciclos de vida hasta mecanismos para la obtención de alimento; dependiendo de estos mecanismos se clasifican en: raspadores, trituradores, filtradores y depredadores^{18, 19}. En este

estudio, se evidenció la presencia de microplásticos en los Ordenes Coleoptera, Ephemeroptera, Odonata, Trichoptera y Sorbeoconcha (Figura 7). Al igual que en las muestras de agua, se halló un mayor número de fibras de microplásticos (Tabla 1), lo cual es concordante con lo que se dice en otras investigaciones, una mayor concentración de un tipo de microplástico en las fuentes hídricas, conduce a una mayor ingestión de dicho tipo de microplástico, pues presenta mayor biodisponibilidad^{44, 45, 46, 47, 48}.



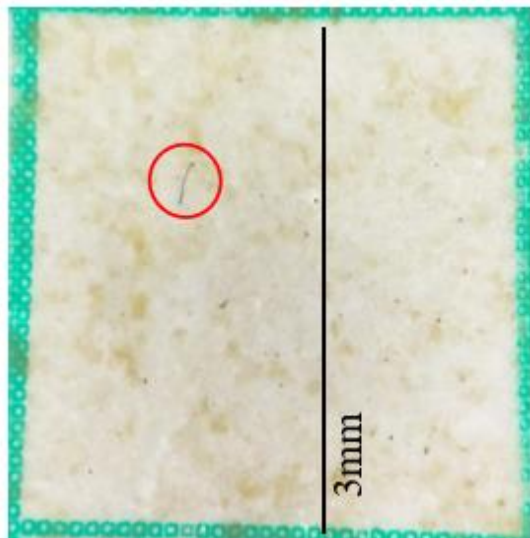
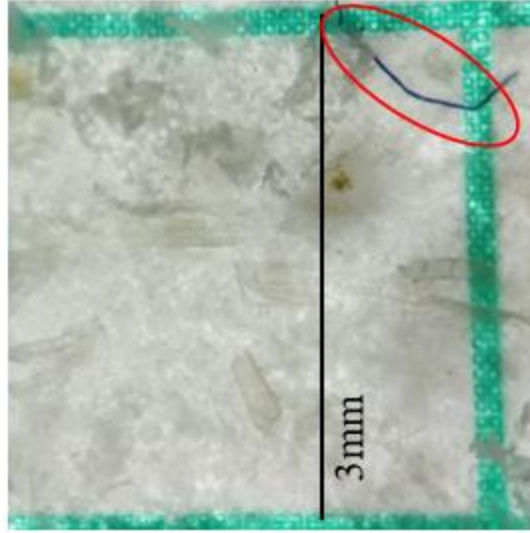
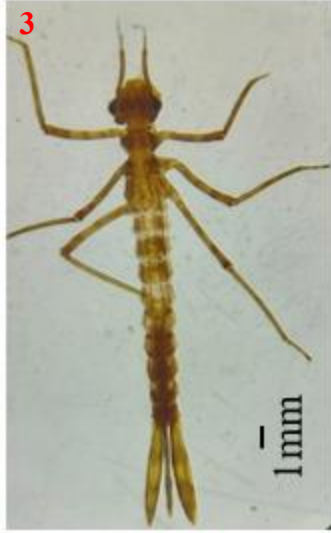


Figura 7. Escala en milímetros de los Ordenes de macroinvertebrados, y microplásticos que contenía cada Orden. En el lado izquierdo se encuentran individuos de macroinvertebrados que representan cada Orden, con su respectivo tamaño, tomando como referencia estimaciones de Roldán (1988). En el lado derecho se representa los microplásticos encontrados en cada Orden y el tamaño de la cuadrícula que los contenía. 1: Coleoptera (Larva) 2: Ephemeroptera (Ninfa). 3: Odonata (Ninfa). 4: Trichoptera (Ninfa). 5: Sorbeoconcha.

Los órdenes Coleoptera, Ephemeroptera y Trichoptera fueron los que presentaron las mayores concentraciones de microplásticos en el río Pance, (Figura 8, Tabla 2). El orden Coleoptera presentó una concentración de 0.74MP/mg en el sitio Ecoparque Pance Mágico y 0.52MP/mg en el Balneario La Viga. Específicamente las familias encontradas de coleópteros, en este estudio, presentan una alimentación basada en algas, detritus y material de origen vegetal^{49, 50, 51}; este comportamiento alimenticio podría generar que los macroinvertebrados ingieran microplásticos que se encuentran retenidos entre los sustratos vegetales. Por otro lado, tanto Ephemeroptera, con concentraciones de 0.11MP/mg en el Ecoparque Pance Mágico y 0.21MP/mg en el Balneario La Viga, como Trichoptera, con concentraciones de 0.16MP/mg en el Ecoparque Pance Mágico y 0.10MP/mg en el Balneario La Viga, presentan mecanismos de alimentación muy variados como: trituración, donde al igual que Coleoptera, podrían ingerir los macroplásticos que se retienen en la materia orgánica de la cual se alimentan; filtración, donde pueden ingerir accidentalmente microplásticos que se encuentran en el agua que filtran para consumir el material orgánico que se encuentra en suspensión; y depredación, donde podrían consumir individuos que han acumulado macroplásticos^{15, 33, 34, 35}. Se ha sugerido en otras investigaciones que organismos que presentan mecanismo de alimentación de filtración son los que ingieren una mayor cantidad de microplásticos, debido a la eficiencia de la absorción de partículas en la columna de aguas^{52, 53, 54}. Inclusive, Windsor, et al (2019), ha planteado que la ocurrencia de los microplásticos en los macroinvertebrados se da independientemente del gremio, sin embargo, se presenta un riesgo mayor al ingreso de microplásticos en la red trófica por medio de alimentación detritívora y de filtración.

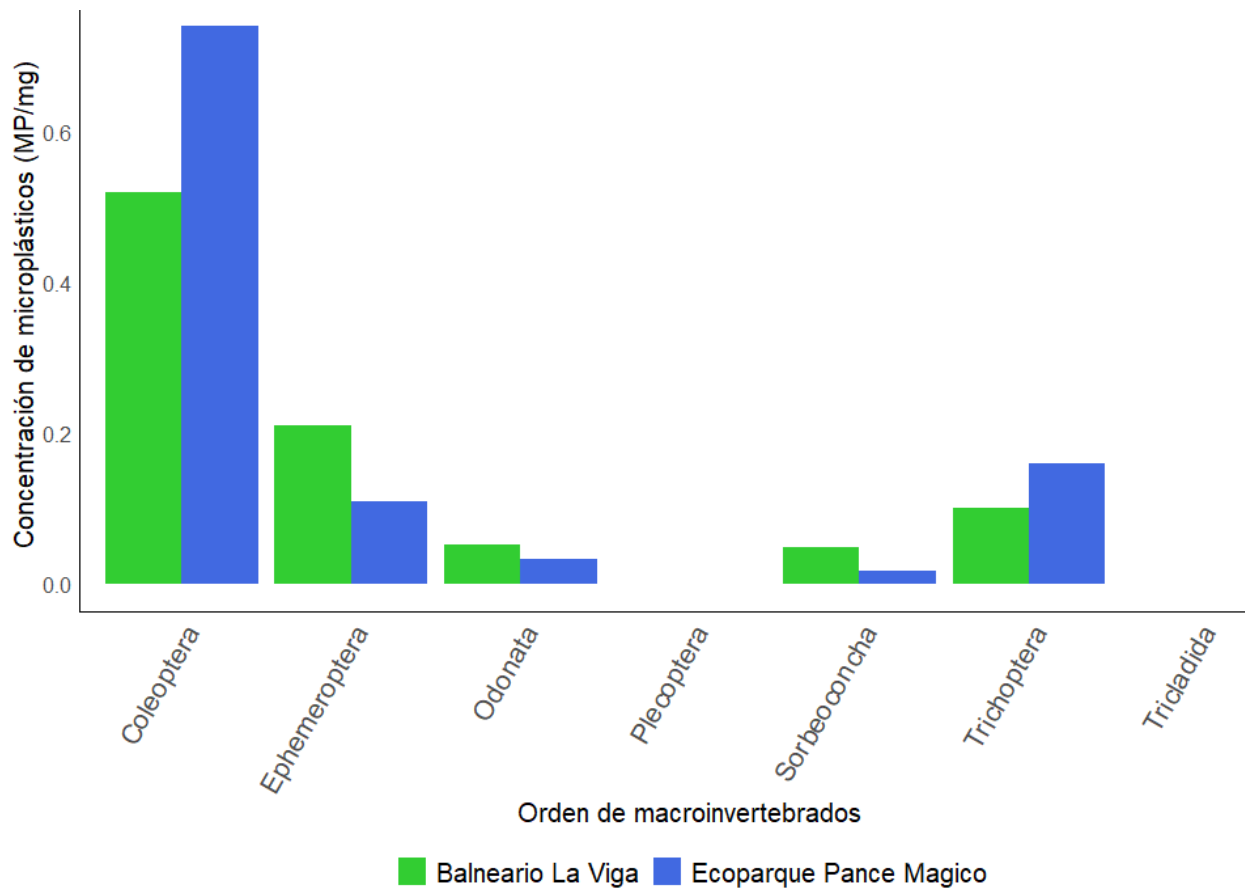


Figura 7. Concentración de microplásticos encontrados en los Ordenes de macroinvertebrados acuáticos en los sitios de muestreo Ecoparque Pance Mágico y el Balneario La Viga.

Tabla 2. Concentración de microplásticos en macroinvertebrados acuáticos del Ecoparque Pance Mágico y Balneario La Viga. Se presenta el peso seco de las muestras compuestas por órdenes de macroinvertebrados recolectados de los sitios de muestro, al igual que la cantidad de microplásticos encontrados en cada muestra compuesta. La concentración se halló a partir de la división del número de microplásticos en muestra compuesta por el peso seco de la muestra compuesta respectivamente.

Sitio de muestro	Orden	Peso seco de muestra compuesta (mg)	Cantidad de microplásticos	Concentración de microplásticos (#MP/mg)
Ecoparque Pance Mágico	Coleoptera	2.7	2	0.74
Ecoparque Pance Mágico	Trichoptera	62	10	0.16
Ecoparque Pance Mágico	Ephemeroptera	18	2	0.11
Ecoparque Pance Mágico	Odonata	30	1	0.033
Ecoparque Pance Mágico	Sorbeoconcha	55	1	0.018
Ecoparque Pance Mágico	Plecoptera	12	0	0
Ecoparque Pance Mágico	Tricladida	0.70	0	0
Balneario la Viga	Coleoptera	1.9	1	0.52
Balneario la Viga	Ephemeroptera	9.1	2	0.21
Balneario la Viga	Trichoptera	96	10	0.10
Balneario la Viga	Odonata	19	1	0.052
Balneario la Viga	Sorbeoconcha	42	2	0.048

La transferencia de microplásticos ha sido muy bien estudiada en ecosistemas marinos, donde se establece que hay una mayor probabilidad de ocurrencia de microplásticos en los niveles tróficos más altos, esto se da por medio de procesos como la bioacumulación, donde hay absorción directa de microplásticos del medio ambiente por medio de diferentes organismos; y la biomagnificación, donde se da la transferencia de microplásticos a través de la red trófica por la depredación de organismos que previamente habían bioacumulado microplásticos^{15, 55, 56}. Lo contrario ocurre con las fuentes de agua dulce, donde ha sido muy poco estudiado como se da el comportamiento de los microplásticos en la red trófica^{15, 57}. Por lo anterior, es clave plantear que, en esta investigación se puede identificar la entrada de microplásticos a la red trófica desde niveles basales.

Ahora bien, la presencia de estas partículas plásticas llega a ser realmente problemática para los organismos, pues traen consigo diferentes afecciones en su salud, causados por toxicidad de sustancias, patógenos y parásitos⁹. Específicamente, el poliestireno, que resulta ser de los microplásticos más utilizados a nivel mundial, causa en la ostra *Crassostrea gigas* disminución del 38% del número de ovocitos y reduce en un 23% el diámetro y la velocidad de los espermatozoides⁵⁸, esto afecta el *fitness* reproductivo de los individuos⁵⁹. Otro ejemplo es el poliqueto *Arenicola marina*, el cual en experimentos con poliestireno y cloruro de polivinilo no plastificado (uPVC), muestra inhibición de la actividad de alimentación por medio de la disminución de partículas ingeridas o reducción en la eficiencia de absorción de partículas^{60, 61}. Por otro lado, algunos plásticos contienen sustancias como los ftalatos, algunos como el DEHP y DEP son muy utilizadas como plastificantes, con el fin de conferir mayor flexibilidad a los plásticos; investigaciones sobre los efectos que traen estas sustancias, demuestran que actúan como disruptores endocrinos en animales⁶², por ejemplo, en el pez *Carassius auratus* se produjo una disminución de la producción y motilidad de espermatozoides al exponerse a DEHP, los niveles de StAR disminuyeron, indicando interferencia con funciones hormonales del testículo y la pituitaria⁶².

Los microplásticos presentan una particularidad, donde además de producir efectos directos en los organismos que son expuestos a estas partículas (por el material del que se componen y su estructura), presentan un efecto indirecto, ya que forman biopelículas que sirven como vehículos para organismos no nativos, sustancias tóxicas y patógenos. Por ejemplo, los organismos que se adhieren a biopelículas descritos por Zettler et al (2013), quienes denominaron “Plastíferas”, a las comunidades microbianas asociadas a los desechos plásticos, las cuales presentan una mayor capacidad infecciosa que los que viven libremente, a su vez, en estas comunidades se da la transferencia de plásmido por conjugación^{6, 8}. Además, los patógenos asociados a los microplásticos en ecosistemas acuáticos son muy diversos (Figura 8). Asimismo, las partículas de microplásticos tienen la capacidad de adsorber químicos tóxicos, sustancias que están relacionadas con procesos mutagénicos, teratogénicos y cancerígenos; entre ellos se encuentran: Cobre (Cu), Plata (Ag), Plomo (Pb), Hidrocarburos poliaromáticos (HAP), Pesticidas organoclorados⁶³. Un ejemplo claro está dado por el estudio realizado por Santos, et al (2021) en larvas del pez *Danio rerio*, que fueron expuestas a diferentes tratamientos, entre estos microplásticos con el metal pesado: Cobre (Cu), los microplásticos por presentar una gran superficie superficial y otras características como

propiedades hidrofóbicas, tienen la capacidad de absorber diferentes sustancias a las que son expuestas. La exposición de estos microplásticos en asociación con el Cobre produjo una disminución en la velocidad y ángulo de giro en las larvas, afectando su capacidad de natación⁶⁴. El efecto que se produce en las larvas en últimas influye en la supervivencia de estos organismos en los ecosistemas acuáticos, pues podrían ser más susceptibles a la depredación.

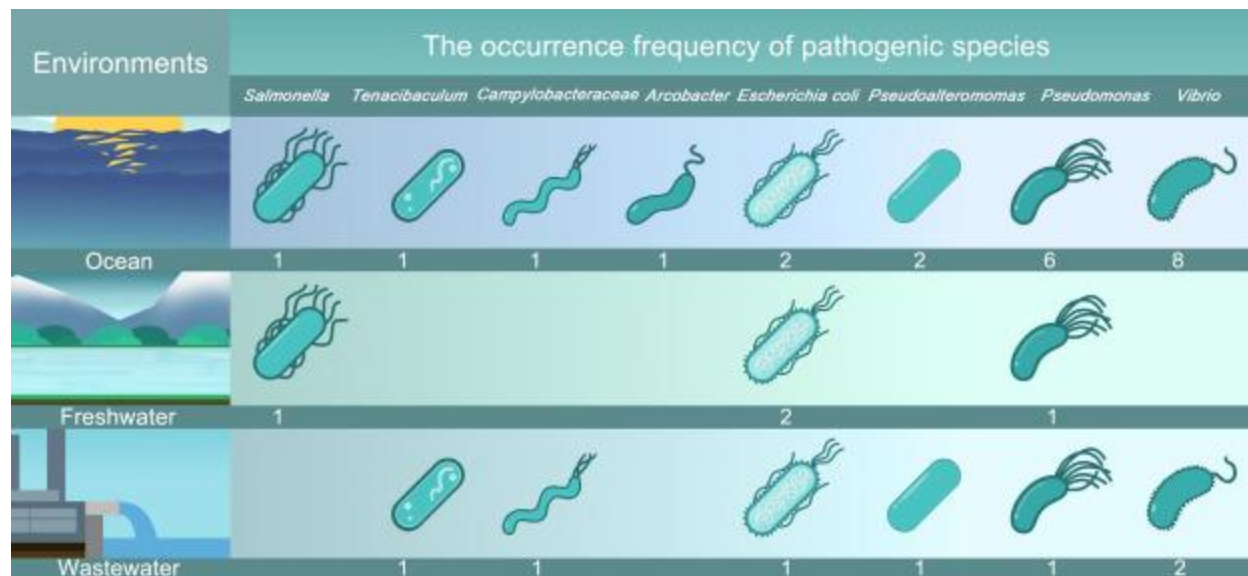


Figura 8. Organismos patógenos asociados a ecosistemas hídricos. Adaptado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772985023000352#bib15>

3. 3. Problemática por microplásticos y enfoque One Health

El plástico resulta ser uno de los principales productos más consumidos a nivel mundial. Desde su auge en la posguerra de la segunda guerra mundial y la naciente sociedad de consumo, ha sustituido gran gama de materiales debido a sus características, que le confieren practicidad y menos costo, conllevando a un aumento continuo en su consumo¹⁴. En los últimos años se ha visto un incremento desmedido en la producción mundial de plásticos, pasando de 1,5 millones de toneladas en 1950 a 390,7 millones de toneladas en 2021^{65, 66}. Pese a que del 2019 al 2020 hubo una reducción en la producción (debido a la pandemia del COVID-19), en el 2021, se recuperó la producción aumentando de 340 millones de toneladas a 352,3 millones de toneladas (Figura 9). Ahora bien, las cifras dadas anteriormente no resultarían problemáticas si la gestión al final de la vida útil de los productos fabricados con plásticos fuera eficiente (Figura 9). Una vez usados los productos fabricados a partir de plástico se convierten en residuos, se dice que estos en su mayoría

son eliminados en vertederos, incinerados o se reciclan. Sin embargo, en ocasiones, debido a mala gestión, algunos terminan en los ecosistemas naturales⁵.

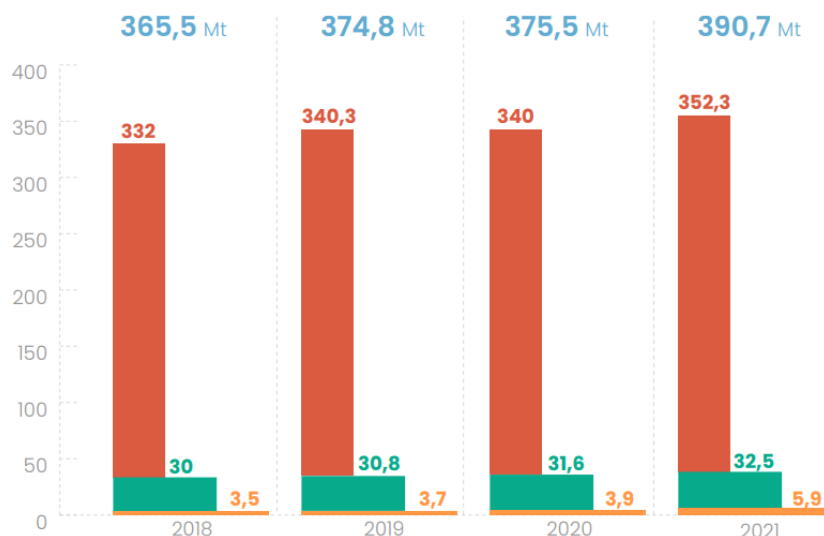


Figura 9. Producción mundial de plásticos. Plastics Europe. Plásticos - Situación en 2022. (2022). Adaptado de: <https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2023/02/PLASTICOS-SITUACION-2022-esp.pdf>

Los plásticos, a pesar de que no se pueden degradar, sufren fragmentación al exponerse a ciertas condiciones donde interviene la luz ultravioleta y la fuerza de fricción⁶, produciendo partículas más pequeñas llamadas microplásticos (0,1 μm -5 mm) que a su vez se convierten en nanopartículas (<1 μm)⁵. Ahora bien, existen dos tipos de microplásticos, clasificados según su formación: los microplásticos primarios, los cuales son producidos intencionalmente y se encuentran en gran variedad de productos de cuidado personal, abrasivos industriales, productos de limpieza, revestimiento y pintura, entre otros^{5,7}. Los microplásticos secundarios se forman a partir de la erosión del plástico^{5,7}.

Es necesario plantear la problemática de microplásticos bajo un enfoque One Health, pues esta tiene implicaciones en la salud animal, salud humana y de los ecosistemas⁶⁷. Los problemas que ocasionan los microplásticos en los animales y en los ecosistemas influyen en la salud y bienestar de los seres humanos, ya sea por la afectación de servicios ecosistémicos como recursos aprovechables por los seres humanos, un ejemplo claro de esto es la presentada en sectores de pesca y acuicultura⁶⁸ donde se han detectado microplásticos en gran cantidad de organismos, los

humanos al consumirlos ingresan las partículas a su cuerpo, las cuales viajan por el sistema gastrointestinal hasta llegar a las células intestinales, donde pueden ocasionar efectos sobre la expresión genética y viabilidad celular⁶⁹, o incluso la afección de los mismos recursos aprovechables, por problemas en cuanto a reproducción, crecimiento y desarrollo de estos organismos de interés económico, donde los microplásticos podrían influenciar en cuanto a la disminución de las poblaciones de estos.

Otras afectaciones se pueden producir directamente, a partir de las rutas de exposición a los microplásticos en humanos: ingestión, ya sea por identificación errónea como alimento y consumo accidental^{8, 10}. Por inhalación, donde las partículas de microplástico puede derivar de textiles, neumáticas, procesos de flocado^{8, 10}; y contacto dérmico, donde ingresan por contacto de agua y suelos contaminados, específicamente por microplásticos menores a 25µm, que podrían atravesar la piel por medio de poros con diámetro 40 a 80µm¹⁰. Un acercamiento de esto, podría ser el caso del río Pance, donde al ser utilizado para actividades de recreación, las personas que ingresan al agua pueden estar expuestos a los microplásticos que se encuentran en la fuente hídrica, por medio de contacto dérmico o incluso de la ingesta directa accidental.

Se han empezado a adelantar estudios en cuanto a las problemáticas de los microplásticos en la salud humana, Lee, et al (2023) informan que para la síntesis de polímeros se utilizan productos químicos que en su mayoría actúan como disruptores endocrinos. Estos agentes hormonalmente activos pueden ocasionar daños en los seres humanos provocando cáncer y trastornos del sistema reproductivo⁷⁰. Estudios han planteado la posibilidad de que los microplásticos estén asociados a la infertilidad en los humanos, al reducir la viabilidad de los espermatozoides^{71, 72}. Los microplásticos también pueden llegar a otros órganos, como pulmones, donde pueden ocasionar proinflamación y enfermedades de vía respiratoria^{73, 74}. Además, la exposición dérmica puede ocasionar citotoxicidad en las células epiteliales⁷⁶.

4. Conclusión

En esta investigación se pudo identificar la presencia de microplásticos en el río Pance, se determinaron las concentraciones de microplásticos en el agua, con mayor abundancia de Fibras microplásticas en los dos sitios de muestreo, en el Ecoparque Pance Mágico 0.67MP/L y el Balneario La Viga 0.81MP/L. Asimismo se establecieron las concentraciones para los macroinvertebrados acuáticos, con concentraciones mayores en los Ordenes Coleoptera,

0.74MP/mg en el Ecoparque Pance Mágico y 0.52MP/mg en el Balneario La Viga; Ephemeroptera, 11MP/mg en el Ecoparque Pance Mágico y 0.21MP/mg en el Balneario La Viga; y Trichoptera, 0.16MP/mg en el Ecoparque Pance Mágico y 0.10MP/mg en el Balneario La Viga. Los macroinvertebrados acuáticos son de gran importancia para mantener la salud de los ecosistemas acuáticos, debido a que participan en la descomposición de material orgánico y permiten el flujo de energía de la productividad primaria en la red trófica, por lo anterior es problemático encontrar microplásticos en estos individuos, pues la ingesta de microplásticos está asociada con variedad de afecciones en el crecimiento, desarrollo y reproductividad de los organismos que lo ingieren. Asimismo, Los hallazgos sugieren que los microplásticos están entrando en la cadena trófica desde los niveles basales, lo cual es preocupante debido a la posibilidad del paso de microplásticos en la red trófica por procesos como la biomagnificación, llegando así a otros organismos.

Por otro lado, es necesario plantear e intervenir la problemática de microplásticos desde un enfoque One health, debido a que las afecciones que presentan en los animales y los ecosistemas afectan directamente a los seres humanos, además de las implicaciones directas que presentan sobre los seres humanos: efectos sobre expresión genética, muerte celular, estrés oxidativo, disruptores endocrinos, cánceres, infertilidad. Por último, porque la presencia de microplásticos en los ecosistemas pueden afectar los servicios ecosistémicos que dan soporte a la economía, salud y bienestar de los seres humanos.

5. Agradecimientos

Agradezco enormemente a mis padres: Juan Carlos Ospina y Emilia del Socorro Escobar; mis hermanos: Juan David y Juan Pablo; y hermanas: Isabella y Mariana, por ser el pilar en mi vida y por su constante apoyo y motivación a lo largo de mi carrera profesional. A mi tutor, el Dr. Leonardo Herrera Orozco, por brindarme su apoyo, conocimiento y ser un guía constante durante este proyecto de investigación. A Miguel Cardona por su colaboración en la recolección de macroinvertebrados utilizados para este estudio. Por último, agradezco a mis amigos y demás familiares, por su comprensión y apoyo incondicional que han sido fundamentales para la culminación de esta etapa en mi vida.

Referencias bibliográficas

1. Salamanca, V., & Ossa, I. Análisis de las causas de contaminación hídrica del río Pance desde las perspectivas científico – tecnológico, social, ética, estética e interdisciplinar. *Universidad Del Valle*. (2016).
2. Pérez, A., & Salazar, I. Rio Pance: Crónica de una muerte anunciada. *Universidad ICESI*. (2019).
3. Bui, X, Vo, T., Nguyen, P. T., Nguyen, V., Dao, T. & Nguyen, P. D..Microplastics pollution in wastewater: Characteristics, occurrence and Removal Technologies. *Environmental Technology & Innovation* **19**, 101013 (2020).
4. Plastics Europe. Plásticos - Situación en 2022. <https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2023/02/PLASTICOS-SITUACION-2022-esp.pdf>. (2022).
5. Hale, R., Seeley, M., La Guardia, M., Mai, L. & Zeng, E. A global perspective on microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans* **125**, (2020).
6. Barnes, D., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **364**, 1985–1998 (2009).
7. Lv, M., Jiang, B, Xing, Y., Ya, H., Zhang, T. & Wang, X. Recent advances in the breakdown of microplastics: Strategies and future perspectives. *Environmental Science and Pollution Research* **29**, 65887–65903 (2022).
8. Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F. & Manzano, C. Microplastics: A contaminant that grows in all environmental areas, its characteristics and possible risks to public health from exposure. *Revista Boliviana de Química* **37**, (2020).
9. Bollaín, C., & Vicente, D. Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Rev Esp Salud Pública* **93**, (2019).
10. Pang, L., Sonagara, S., Oduwole, O., Gibbins, C. & Kang Nee, T. Microplastics - an emerging silent menace to Public Health. *Life Sciences, Medicine and Biomedicine* **5**, (2021).
11. Bowley, J., Baker-Austin, C., Porter, A., Hartnell, R. & Lewis, C. Oceanic hitchhikers – assessing pathogen risks from marine microplastic. *Trends in Microbiology* **29**, 107–116 (2021).

12. Zettler, E. R., Mincer, T. J. & Amaral-Zettler, L. A. Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris. *Environmental Science & Technology* **47**, 7137–7146 (2013).
13. Verla, A. W., Enyoh, C. E., Verla, E. N. & Nwarnorh, K. O. Microplastic–Toxic Chemical Interaction: A review study on quantified levels, mechanism and implication. *SN Applied Sciences* **1**, (2019).
14. Woldemar, D. Plastics recycling worldwide: current overview and desirable changes. *Field Actions Science Reports*, Special Issue 19. <http://journals.openedition.org/factsreports/5102>. (2019).
15. Windsor, F. M., Tilley, R. M., Tyler, C. R. & Ormerod, S. J. Microplastic ingestion by riverine macroinvertebrates. *Science of The Total Environment* **646**, 68–74 (2019).
16. Weber, A., Scherer, C., Brennholt, N., Reifferscheid, G. & Wagner, M. Pet microplastics do not negatively affect the survival, development, metabolism and feeding activity of the freshwater invertebrate gammarus pulex. *Environmental Pollution* **234**, 181–189 (2018).
17. Hurley, R. R., Woodward, J. C. & Rothwell, J. J. Ingestion of microplastics by freshwater tubifex worms. *Environmental Science & Technology* **51**, 12844–12851 (2017).
18. Hanson, P., Springer, M., & Ramírez, A. Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical* **58**, 3-37. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800001&lng=en&tlng=es. (2010).
19. Wallace, J. B. & Webster, J. R. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual Review of Entomology* **41**, 115–139 (1996).
20. Chakraborty, A., Saha, G. K. & Aditya, G. Macroinvertebrates as engineers for bioturbation in Freshwater Ecosystem. *Environmental Science and Pollution Research* **29**, 64447–64468 (2022).
21. Jonsson, M. & Sponseller, R. A. The role of macroinvertebrates on plant litter decomposition in streams. *The Ecology of Plant Litter Decomposition in Stream Ecosystems* 193–216 (2021).

22. Gamboa, M., Reyes, R. & Arrivillaga, J. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, **48**, 109-120 (2008).
23. Plan de desarrollo estratégico corregimiento de Pance, 2004-2008. Recuperado de: <https://www.cali.gov.co/publico2/documentos/planeacion/planterritorial/pance.pdf>
24. Pérez, M., Sanchez, L. & Zuñiga, M. Conflicto ambiental en el río Pance, entre diversos usos y usos del agua. (2017).
25. León, D., Peñalver, P., Franco, E., & Benfatti, E. Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos. (2020).
26. Ramírez, A. Capítulo 2: Métodos de recolección. *Revista de Biología Tropical* **58**, 41-50 (2010).
27. Anderson, J. T., Zilli, F., Montalto, L., & Marchese, M. Sampling and processing aquatic and terrestrial invertebrates in wetlands. *Wetland Techniques*, 143–195 (2013).
28. Na, S.-H., Kim, M.-J., Kim, J., Batool, R., Cho, K., Chung, J., Lee, S. & Kim, E.-J. Fate and potential risks of microplastic fibers and fragments in water and wastewater treatment processes. *Journal of Hazardous Materials* **463**, 132938 (2024).
29. Baldwin, A., Corsi, S., & Mason, S. Plastic Debris in 29 Great Lakes Tributaries: Relations to Watershed Attributes and Hydrology. *Environmental science & technology* **50**, 10377–10385 (2016).
30. Allen, S., Allen, D., Karbalaie, S., Maselli, V. & Walker, T. R. Micro(Nano)plastics sources, fate, and effects: What we know after ten years of research. *Journal of Hazardous Materials Advances* **6**, 100057 (2022).
31. Khatmullina, L. & Isachenko, I. Settling velocity of microplastic particles of regular shapes. *Marine Pollution Bulletin* **114**, 871–880 (2017).
32. Morét, S., Lavender, K., Proskurowski, G., Murphy, E., Peacock, E. & Reddy, C. The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin* **60**, 1873-1878 (2010).
33. Gago, J., Carretero, O., Filgueiras, A. V. & Viñas, L. Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments. *Marine Pollution Bulletin* **127**, 365–376 (2018).

34. Woods, M. N., Stack, M. E., Fields, D. M., Shaw, S. D. & Matrai, P. A. Microplastic fiber uptake, ingestion, and egestion rates in the blue mussel (*mytilus edulis*). *Marine Pollution Bulletin* **137**, 638–645 (2018).
35. Periyasamy, A. P. & Tehrani-Bagha, A. A review on microplastic emission from textile materials and its reduction techniques. *Polymer Degradation and Stability* **199**, 109901 (2022).
36. Gómez, D., Olaya, H. & García, W. Actualmente Pance puede recibir 7.737 personas al día. Portal CVC. (2022).
37. Plan de desarrollo estratégico corregimiento de Pance, 2004-2008. Recuperado de: <https://www.cali.gov.co/publico2/documentos/planeacion/planterritorial/pance.pdf>
38. Gutiérrez, P. E. Capítulo 6: Plecoptera. *Revista de Biología Tropical* **58**, 139-148 (2010).
39. Hanson, P., Springer, M. & Ramirez, A. Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical* **58**, 3-37 (2010).
40. Arias, D., Reinoso, G., Guevara, G. & Villa, F. Distribución espacial y temporal de los coleópteros acuáticos en la cuenca del río coello (tolima, colombia). *Caldasia* **29**, 177-194 (2007).
41. Roldán-Pérez, G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Bogotá: FEN, Colciencias, Universidad de Antioquia. (1988).
42. Plan de ordenamiento del recurso hídrico - Porh del río Pance, 2023. Recuperado de: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2024-03/Documento%20s%C3%ADntesis%20del%20PORH%20del%20r%C3%ADo%20Pance_1.pdf.
43. Balcazar, M. & Echeverri, D. Evaluación de la calidad del agua utilizando indicadores ecológicos en el río Pance, Valle del Cauca-Colombia. Universidad Autónoma de Occidente. (2009).
44. Botterell, Z., Beaumont, N., Dorrington, T., Steinke, M., Thompson, R. & Lindeque, P. Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review. *Environmental Pollution* **245**, 98-110 (2019).

45. Kaposi, K., Mos, B., Kelaher, B. & Dworjanyn, S. Ingestion of Microplastic Has Limited Impact on a Marine Larva. *Environmental Science & Technology* **48**, 1638-1645 (2014).
46. Cole, M. & Galloway, T. Ingestion of Nanoplastics and Microplastics by Pacific Oyster Larvae. *Environmental Science & Technology* **49**, 14625-14632 (2015).
47. Messinetti, S., Mercurio, S., Parolini, M., Sugni, M. & Pennati, R. Effects of polystyrene microplastics on early stages of two marine invertebrates with different feeding strategies. *Environmental Pollution* **237**, 1080-1087 (2018).
48. Kye, H., Kim, J., Ju, S., Lee, J., Lim, C. & Yoon, Y. Microplastics in water systems: A review of their impacts on the environment and their potential hazards. *Heliyon* **9**, (2023).
49. Gonzáles, M., Zúniga, M. & Manzo, V. The Elmidae family (Insecta: Coleoptera: Byrrhoidea) in Colombia: Taxonomic richness and distribution. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **44**, 522-553 (2020).
50. Brown, H. Biology of riffle beetles. *Annual Review of Entomology* **32**, 253-273 (1987).
51. Elliot, J. The ecology of riffle beetles (Coleoptera: Elmidae). *Freshwater Reviews* **1**, 189-203 (2008).
52. Setälä, O., Norkko, J. & Lehtiniemi, M. Feeding type affects microplastic ingestion in a coastal invertebrate community. *Marine Pollution Bulletin* **102**, 95-101 (2016).
53. Thushari, G., Senevirathna, J., Yakupitiyage, A. & Chavanich, S. Effects of microplastics on sessile invertebrates in the eastern coast of Thailand: An approach to coastal zone conservation. *Marine Pollution Bulletin* **124**, 349-355 (2017).
54. Ward, J. & Shumway, S. Separating the grain from the chaff: particle selection in suspension- and deposit-feeding bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **300**, 83-130 (2004).
55. Nelms, S., Galloway, T., Godley, B., Jarvis, D. & Lindeque, P. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environmental Pollution* **238**, 999-1007 (2018).
56. Miller, M., Hamann, M. & Kroon, F. Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: A review and meta-analysis of current data. *Public Library of Science* **15**, (2020).

57. Horton, A., Jürgens, M., Lahive, E., Van Bodegom, P. & Vijver, M. The influence of exposure and physiology on microplastic ingestion by the freshwater fish *Rutilus rutilus* (roach) in the River Thames, UK. *Environmental Pollution* **236**, 188-194 (2018).
58. Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y. & Huvet, A. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **113**, 2430-2435 (2016).
59. Brommer, J. The evolution of fitness in life-history theory. *Biological Reviews* **75**, 377-404 (2000).
60. Wright, S., Rowe, D., Thompson, R. & Galloway, T. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Current Biology* **23**, R1031-R1033 (2013).
61. Besseling, E., Wegner, A., Foekema, E., Van den Heuvel, M. & Koelmans, A. Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environmental Science & Technology* **47**, 593-600 (2012).
62. Mu, X., Huang, Y., Li, J., Yang, K., Yang, W., Shen, G., Li, X., Lei, Y., Pang, S., Wang, C., Li, X. & Li, Y. New insights into the mechanism of phthalate-induced developmental effects. *Environmental Pollution* **241**, 674-683 (2018).
63. Barnes, D., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **364**, 1985–1998 (2009).
64. Santos, D., Luzio, A., Matos, C., Bellas, J., Monteiro, S. & Félix, L. Microplastics alone or co-exposed with copper induce neurotoxicity and behavioral alterations on zebrafish larvae after a subchronic exposure. *Aquatic Toxicology* **235**, 105814 (2021).
65. Bui, X., Vo, T., Nguyen, P., Nguyen, V., Dao, T. & Nguyen, P. Microplastics pollution in wastewater: Characteristics, occurrence and Removal Technologies. *Environmental Technology & Innovation* **19**, 101013 (2020).
66. Plastics Europe. Plásticos - Situación en 2022. <https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2023/02/PLASTICOS-SITUACION-2022-esp.pdf>. (2022). *The Science of the total environment* **777**, 146094 (2021).

67. Patra, J., Da Costa, J., Lopes, I., Andraday, A., Duarte, A. & Rocha, T. A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health.
68. FAO. 2017. Los Microplásticos en los sectores de pesca y acuicultura. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615.
69. Forte, M., Iachetta, G., Tussellino, M., Carotenuto, R., Prisco, M., De Falco, M., Laforgia, V. & Valiante, S. Polystyrene nanoparticles internalization in human gastric adenocarcinoma cells. *Toxicology in Vitro* **31**, 126–136 (2016).
70. Lee, Y., Cho, J., Sohn, J. & Kim, C. Health Effects of Microplastic Exposures: Current Issues and Perspectives in South Korea. *Yonsei Medical Journal* **64**, 301-308 (2023).
71. Zhang, C., Chen, J., Ma, S., Sun, Z. & Wang, Z. Microplastics May Be a Significant Cause of Male Infertility. *American Journal of Men's Health* **16**, 15579883221096549 (2022).
72. D'Angelo, S. & Meccariello, R. Microplastics: A Threat for Male Fertility. *Environmental Research and Public Health* **18**, 2392 (2021).
73. Brown, D. M., Wilson, M. R., MacNee, W., Stone, V. & Donaldson, K. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: A role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines. *Toxicology and Applied Pharmacology* **175**, 191–199 (2001).
74. Prata, J. C. Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental Pollution* **234**, 115–126 (2018).
75. Schirinzi, G., Pérez, I., Sanchís, J., Rossini, C., Farré, M. & Barceló, D. Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. *Environmental Research* **159**, 579–587 (2017).
76. Google Earth. Ecoparque Pance Mágico. Recuperado de:
<https://www.google.com/intl/es/earth/about/versions/>
77. Google Earth. Balneario La Viga. Recuperado de:
<https://www.google.com/intl/es/earth/about/versions/>
78. Zhong, H., Wu, M., Sonne, C., Lam, S., Kwong, R., Jiang, Y., Zhao, X., Sun, X., Zhang, X., Li, C., Li, Y., Qu, G., Jiang, F., Shi, H., Ji, R. & Ren, H. The hidden risk of

microplastic-associated pathogens in aquatic environments. *Eco-Environment & Health* **2**, 142-151 (2023).

ANEXOS

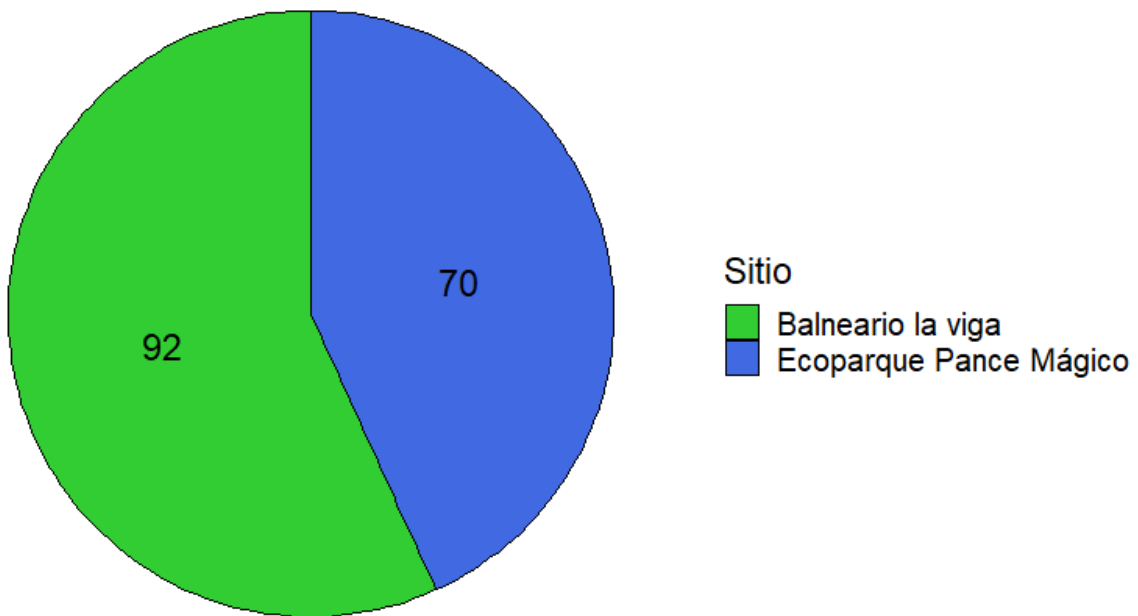


Figura 10. Número total de microplásticos en muestras de agua de 90L encontrados en los sitios de muestreo.

Tabla 3. Macroinvertebrados acuáticos encontrados en los sitios de estudio.

Sitio de muestro	Orden	Familia
Ecoparque Pance Mágico	Coleoptera	Elmidae
Ecoparque Pance Mágico	Coleoptera	Psephenidae
Ecoparque Pance Mágico	Diptera	Simuliidae
Ecoparque Pance Mágico	Diptera	Blepharoceridae
Ecoparque Pance Mágico	Ephemeroptera	Baetidae
Ecoparque Pance Mágico	Ephemeroptera	Leptophlebiidae
Ecoparque Pance Mágico	Ephemeroptera	Tricorythidae
Ecoparque Pance Mágico	Odonata	Calopterygidae
Ecoparque Pance Mágico	Odonata	Libellulidae
Ecoparque Pance Mágico	Plecoptera	Perlidae
Ecoparque Pance Mágico	Sorbeoconcha	Hydrobiidae
Ecoparque Pance Mágico	Trichoptera	Glossosomatidae
Ecoparque Pance Mágico	Trichoptera	Helicopsychidae
Ecoparque Pance Mágico	Trichoptera	Hydrobiosidae
Ecoparque Pance Mágico	Trichoptera	Hydropsychidae
Ecoparque Pance Mágico	Trichoptera	Leptoceridae
Ecoparque Pance Mágico	Trichoptera	Odontoceidae
Ecoparque Pance Mágico	Tricladida	Planariidae
Balneario la Viga	Basommatophora	Ancylidae
Balneario la Viga	Coleoptera	Psephenidae
Balneario la Viga	Diptera	Simuliidae
Balneario la Viga	Ephemeroptera	Baetidae
Balneario la Viga	Ephemeroptera	Tricorythidae
Balneario la Viga	Odonata	Calopterygidae
Balneario la Viga	Odonata	Coenagrionidae
Balneario la Viga	Sorbeoconcha	Hydrobiidae
Balneario la Viga	Trichoptera	Hydropsychidae
Balneario la Viga	Trichoptera	Leptoceridae

Tabla 4. Numero de cada tipo de microplásticos encontrados en las muestras de macroinvertebrados acuáticos de los sitios de estudio.

Sitio de muestro	Orden	Tipo de microplásticos	Número de microplásticos
Ecoparque Pance Mágico	Coleoptera	Fibra	2
Ecoparque Pance Mágico	Coleoptera	Esponja, Fragmento, Otro	0
Ecoparque Pance Mágico	Ephemeroptera	Fibra, Fragmento	1
Ecoparque Pance Mágico	Ephemeroptera	Esponja, Otro	0
Ecoparque Pance Mágico	Odonata	Fibra	1
Ecoparque Pance Mágico	Odonata	Esponja, Fragmento, Otro	0
Ecoparque Pance Mágico	Plecoptera	Fibra, Esponja, Fragmento, Otro	0
Ecoparque Pance Mágico	Sorbeoconcha	Fibra	1
Ecoparque Pance Mágico	Sorbeoconcha	Esponja, Fragmento, Otro	0
Ecoparque Pance Mágico	Trichoptera	Fibra	10
Ecoparque Pance Mágico	Trichoptera	Esponja, Fragmento, Otro	0
Ecoparque Pance Mágico	Tricladida	Fibra, Esponja, Fragmento, Otro	0
Balneario la Viga	Coleoptera	Fibra	1
Balneario la Viga	Coleoptera	Esponja, Fragmento, Otro	0
Balneario la Viga	Ephemeroptera	Fibra	2
Balneario la Viga	Ephemeroptera	Esponja, Fragmento, Otro	0
Balneario la Viga	Odonata	Fibra	1
Balneario la Viga	Odonata	Esponja, Fragmento, Otro	0
Balneario la Viga	Sorbeoconcha	Fibra	2
Balneario la Viga	Sorbeoconcha	Esponja, Fragmento, Otro	0
Balneario la Viga	Trichoptera	Fibra	10
Balneario la Viga	Trichoptera	Esponja, Fragmento, Otro	0

Tabla 5. Número de individuos por Orden y concentración de microplásticos en muestra compuesta en macroinvertebrados acuáticos del Ecoparque Pance Mágico y Balneario La Viga

Sitio de muestro	Orden	Número de individuos	Peso seco de muestra compuesta (mg)	Número de microplásticos	Concentración de microplásticos (#MP/mg)
Ecoparque Pance Mágico	Coleoptera	6	2.7	2	0.74
Ecoparque Pance Mágico	Ephemeroptera	65	17.6	2	0.11
Ecoparque Pance Mágico	Sorbeoconcha	39	55.2	1	0.018
Ecoparque Pance Mágico	Odonata	7	30.2	1	0.033
Ecoparque Pance Mágico	Plecoptera	5	12.2	0	0
Ecoparque Pance Mágico	Trichoptera	97	62.4	10	0.16
Ecoparque Pance Mágico	Tricladida	5	0.7	0	0
Balneario la Viga	Coleoptera	1	1.9	1	0.52
Balneario la Viga	Ephemeroptera	64	9.1	2	0.21
Balneario la Viga	Sorbeoconcha	15	42	2	0.048
Balneario la Viga	Odonata	11	19.4	1	0.052
Balneario la Viga	Trichoptera	22	95.5	10	0.10