



UNIVERSITAT^{DE}
BARCELONA

Distribución y abundancia de microplásticos en cuencas Mediterráneas

Fernanda Elizabeth González Saldías

Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y
Ciencias Ambientales (Sección Ecología), Universidad
de Barcelona.

Dr. Joan Gomà Martínez

3 de Octubre del 2019

Máster de Ecología, Gestión y Restauración del Medio
Natural



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Título: Distribución y abundancia de microplásticos en cuencas Mediterráneas

Autor: Fernanda Elizabeth González Saldías

Departamento: Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales
(Sección Ecología), Universidad de Barcelona.

Tutor: Joan Gomà Martínez

Fecha: 3 de Octubre del 2019

Master de Ecología, Gestión y Restauración del Medio Natural

Firma de la alumna

Fernanda Elizabeth
González Saldías

Firma del Tutor

Joan Gomà Martínez

Agradecimientos

Quisiera agradecer en primer lugar al Dr. Joan Gomà, por su guía y apoyo constante durante estos meses además de aceptarme como su estudiante considerando el poco tiempo que teníamos para desarrollar este desafiante trabajo final de máster (TFM).

Al Dr. Francesc Sabater, Dr. Jordi Sierra Llopart y a Erika Peñuela por la ayuda entregada en el desarrollo del TFM.

A mis compañeras Henar Margenat y Laura Escarmena con quien compartí largas tardes en el laboratorio.

Finalmente a Angel Rain y Mario Hugo por su amor y apoyo incondicional.

Índice

Resumen	1
Abstract	1
1. Introducción	2
2. Metodología	5
2.1. Zona de estudio.....	5
2.3. Trabajo de laboratorio	6
2.3.1. Análisis de muestras de microplásticos.....	6
2.3.2. Observación y conteo de microplásticos	7
2.3.3. Optimización de la metodología	8
2.3.4. Análisis del sedimento	9
2.4. Análisis de datos	9
3. Resultados.....	10
3.1. Optimización de la metodología.....	10
3.2. Caracterización de la cuenca.....	11
3.2.1. Besòs	11
3.2.2. Tordera.....	13
3.3. Microplásticos	14
3.3.1. Besos	14
3.3.2. Relación entre microplásticos y variables ambientales	15
3.3.3. Tordera.....	19
3.3.4. Relación entre microplásticos y variables ambientales	20
3.4. Comparación entre cuencas	21
4. Discusión	23
4.1. Optimización de metodología	24
5. Conclusiones	25
6. Bibliografía.....	26
7. Anexos:.....	30

Índice Tablas

Tabla 1: Características hidromorfológicas de la cuenca del río Besòs y Tordera caudal (L/s), velocidad media (m/s), ancho promedio (m), profundidad (m) de cada punto del río y porcentaje de materia orgánica.....12

Anexo-Tabla 1: Algunos tipos de plásticos existentes y su abreviatura.....30

Anexo-Tabla 2: Tipos de puebas realizadas para la optimización de la metodología para la extracción de microplásticos.....30

Índice Figuras

Figura 1: Zona de estudio. Cuenca del Besòs (izquierda) y la Tordera (derecha) con la red hidrográfica principal y no principal en cada cuenca. En rojo los puntos de muestreo.....5

Figura 2: Ejemplos de microplásticos extraídos de muestras de agua (A, B, C y F) y sedimento (D y E). En verde los microplásticos observados en filtro azul (A, B, C y D) y en azul microplásticos observados en filtro UV (E y F).....8

Figura 3: Granulometría de cada punto muestreado de la cuenca del Besòs (A) y de la Tordera (B) (porcentaje).....11

Figura 4: Uso del suelo de la cuenca del Besòs (A) y de la cuenca de la Tordera (B). Puntos negros son las zonas de muestreo.....13

Figura 5: Porcentaje de uso de suelo (Bosque, Agrícola y Urbano) en cada subcuenca asociada a cada punto de muestreo en la cuenca del Besòs y la Tordera.....13

Figura 6: Cantidad de microplásticos verde en la cuenca del Besòs (A y C) y la Tordera (B y D). Cantidad de microplásticos en muestras de sedimento (A y B) (escala 0-180/g) y muestras de agua (C y D) (escala 0-15/g). En el fondo el uso de suelo de cada cuenca.....17

Figura 7: Cantidad de microplásticos azules en la cuenca del Besòs (A y C) y la Tordera (B y D). Cantidad de microplásticos en muestras de sedimento (A y B) (escala 0-50/g) y muestras de agua (C y D) (escala 0-6/g). En el fondo el uso de suelo de cada cuenca.....18

Figura 8: Cantidad de microplásticos verdes (A y C) y azules (B y D) en 3 rangos de tamaño (50-100 µm, 100-200 µm y >200 µm) de muestras de agua (C y D) (Nº/L) y sedimento (A y B) (Nº/g) en las dos cuencas.....19

Figura 9: Boxplot de la cantidad de microplásticos de cada color por gramo de sedimento y litro de agua en las dos zonas de estudio (Besòs y Tordera).....22

Anexo-Figura 1: Fotografía de un campo de visión de muestras realizadas en optimización del método (4x). Muestra de 50 g (A), muestra de 10 g (B), muestra de 5 g (C) (Filtro azul) y muestra de 5 g (72 hrs digestión) (D en filtro azul y E en filtro UV). En verde brillante se observa una partícula de microplástico.....31

Anexo- Figura 2: Cantidad de microplásticos promedio por gramo de sedimento en distintos rangos de tamaño y en distintas cantidades de sedimento (50, 10 y 5 g). Barras grises claras representan muestras de 50 g, azules 50 g (20 mL H₂O₂), grises oscuras 10 g, negras en 5 g y rojas 5 g (72 hrs) de sedimento. Plásticos verdes (A, C y E) y azules (B, D y F). Distintos tipos de digestión 20 mL H₂O₂+Fenton (A y B), 40 mL H₂O₂+Fenton (C y D) y 80 mL H₂O₂+Fenton (E y F).....32

Resumen

La producción mundial de plástico ha aumentado en las últimas décadas, debido a su bajo costo en producción, versatilidad y durabilidad en el tiempo. El plástico se está utilizando ampliamente en diferentes actividades e incluso está reemplazando otros materiales. En la actualidad el plástico constituye el 10 % de los desechos municipales a nivel mundial pero solo una pequeña fracción de estos son reciclados. Debido a esto existe una gran contaminación de sedimentos y aguas superficiales a nivel global. Los ríos no son la excepción a la contaminación por plásticos, se han registrado presencia de plásticos en distintos ríos a nivel mundial, los ríos se comportan como acumulador y transportador. Los plásticos encontrados en los ríos cubren un amplio espectro de tamaño. Por todo ello el objetivo del estudio es determinar la abundancia y distribución de microplásticos en dos cuencas mediterráneas y discernir si su distribución está asociada al usos del suelo. Se realizó un muestreo en la cuenca de los ríos Besòs y Tordera dos cuencas con contrastados usos de suelo. Los microplásticos se encuentran presente en las dos cuencas estudiadas, tanto en agua como en sedimento. En promedio en el sedimento se encontró 75 partículas/g en el Besòs y 74 partículas/g en la Tordera. Las muestras de agua presentaron abundancias de microplásticos menores 2.78 partículas/L en el Besòs y 1.67 partículas/L en la Tordera. Las mayores abundancias de microplásticos fueron de tamaños entre 50-100 μm . La cantidad y distribución del microplásticos no está determinado por el uso del suelo de la cuenca, sino que por las características hidromorfológicas de los tramos. En la cuenca del Besòs los usos del suelo solo presentan un efecto cuando estan en combinación con las EDARS. La distribución de microplásticos esta ligada a la heterogeneidad de la cuenca y factores hidromorfológicos.

Abstract

In the last decades, global plastic production has been risen due to its low production cost, versatility, and long durability. Plastics are used in very diverse activities and they can even replace other materials. Nowadays, plastic represents 10% of urban wastes, however, only a small fraction is recycled, resulting in increased contamination in sediment sand surface waters globally. Recent studies show that rivers are not the exception and they have been affected by plastic contamination, accumulating and transporting plastics particles. Therefore, the aim of this study is to asses the potential effect of the land use in the abundance and distribution of microplastics. To carry out this research two Mediterranean “cuencas” (Besos and Tordera) with contrasting land use were sampled. Microplastics were found in the two sites both in sediment and in the water. In sediments, the average concentration of plastics was 74.5 ± 60.4 and 73.6 ± 20.5 particles/g for Besos and Tordera, respectively. Water samples show few numbers of microplastics compared to the sediments, reaching $2.78 \pm$ particles/g for Besos and of $1.6 \pm$ particles/g for Tordera. Greatest abundances were found for the size fraction between 50-100 μm . Our results showed that

microplastic abundance and distribution were not related to the land use alone, nevertheless, there is an effect of the hydromorphological characteristics of the places. For Besos site was found a combined effect of the land use and the presence of EDARS. Our results allow concluding that the distribution of microplastics is related to the heterogeneity of the sites and their hydromorphological properties.

1. Introducción

La producción mundial de plástico ha aumentado en las últimas décadas (Shim et al., 2016), debido a su bajo costo en producción, versatilidad y durabilidad en el tiempo (Li et al., 2018). El plástico se está utilizando ampliamente en diferentes actividades como en construcción, agricultura, equipos de salud y uso doméstico, incluso está reemplazando el uso de otros tipos de materiales como vidrio y metal (Dehghami et al., 2017). En la actualidad el plástico constituye el 10 % de los desechos municipales a nivel mundial (Barnes et al., 2009) pero solo una pequeña fracción de estos son reciclados (Dehghami et al., 2017). Debido a esto desde hace años se ha arrojado una gran cantidad de plástico al medio ambiente, contaminando sedimentos (continentales y marinos) y aguas superficiales a nivel global (Horton et al., 2016; Erni-Cassola et al., 2017, Hoellein et al., 2019).

Los ríos no son la excepción a la contaminación por plásticos, se han registrado presencia de plásticos en ríos de Austria, Alemania, Francia, China, Estados Unidos, Alemania, Reino Unido y Portugal (Horton et al., 2016; Dris et al., 2018; Rodrigues et al., 2018, Di & Wang, 2018; Liedermann et al., 2018), los ríos se comportan como un medio de acumulación y de transporte (Lechner et al. 2014). Los plásticos encontrados en los ríos cubren un amplio espectro de tamaño, desde grandes desechos industriales hasta partículas microscópicas.

Los plásticos de tamaño superior a 5mm se consideran macroplástico y es a partir de tamaños menores a este se consideran microplásticos (Erni-Cassola et al., 2017). El microplástico puede tener dos orígenes: primario y secundario. El microplástico primario proviene directamente de la industria que lo produce, por ejemplo, las partículas en productos cosméticos o fibras que se desprenden al lavar ropa. En cambio, el microplástico secundario se produce debido a la fragmentación del macroplástico por

diversos agentes como la radiación UV, altas temperaturas y fuerzas mecánicas (Erni-Cassola et al., 2017, Maes et al., 2017).

Existe una gran variedad de tipos microplásticos (Anexo-Tabla 1), con diferentes características. Una de estas puede ser la facilidad de fragmentación, los compuestos liberados en la degradación y en la forma en que sedimentan (Hoellin et al., 2019). Esta diversidad puede dificultar la identificación en muestras de campo.

Los microplásticos pueden ser encontrados en cuerpos de aguas continentales (Fischer et al., 2016; Shim et al., 2016; Li et al., 2018; Di & Wang, 2018), playas (Fok & Cheung, 2015; Shim et al. 2016), zonas costeras, océano profundo, en el sedimento marino a grandes profundidades (Dehghami et al., 2017), en las aguas polares Antártica y Ártico (Li et al., 2018) y en la atmósfera (Hoellein et al., 2019). Una vez que los microplásticos presentes en el sistema terrestre se incorporan a los sistemas acuáticos, se pueden acumular en los sistemas cerrados y estáticos como lagos y lagunas o son transportado hacia el océano por medio de sistemas dinámicos (ríos) (Li et al., 2018; Liedermann et al., 2018; Hoellein et al., 2019).

Aunque los ríos pueden también acumular microplásticos en función de las dinámicas hidromorfológicas. La cantidad de microplásticos presentes en el sedimento de los ríos es muy dinámica, pudiendo ser retenidos o movilizados dependiendo de factores hidrográficos e hidrológicos y en el periodo en que se toman las muestras (Anderson et al., 2017, Rodrigues et al., 2018).

Los microplásticos de mayor densidad (por ejemplo nylon, PVC y PET) tienden a sedimentar tempranamente en el río mientras que los de baja densidad (por ejemplo PE, PP y PS) son transportados hacia el mar (Lechner et al., 2014; Erni-Cassola et al., 2017; Maes et al., 2018; Di & Wang, 2018). Además, los microplásticos son transportados y sedimentan de manera similar a la materia orgánica (Hoellein et al., 2019).

Se ha registrado la presencia de microplásticos a lo largo los ríos, aunque la contaminación más severa se ha observado cuando estos fluyen a través de zonas urbanizadas (Di & Wang, 2018). Estas zonas pueden ser fuentes potenciales de microplásticos debido a las actividades de construcción, polvo de neumáticos, dispositivos utilizados en carreteras y el transporte de microplásticos por vía aérea (Dehghami et al.,

2017). Además, las zonas urbanas son susceptibles a ser fuentes de microplásticos debido a la presencia de depuradoras de aguas residuales (EDARS) que concentran microplásticos en los puntos de salidas (Dris et al., 2015; Mson et al., 2016; Anderson et al., 2017).

En algunas zonas el lodo obtenido de las depuradoras se suele utilizar en zonas agrícolas lo que contamina zonas con menor impacto industrial (Dris et al., 2015). Otra fuente de microplásticos en zonas que no presentan gran impacto antropogénico es por vía atmosférica y por medio de las precipitaciones (Li et al., 2018), estando más del 90% de la contaminación atmosférica compuesta por fibras y siendo el 50% de ellas de una longitud de 1000 μm (Dris et al., 2015).

Los microplásticos podrían tener un impacto sobre los ecosistemas, especialmente a través de su ingesta por organismos. Los de pequeño tamaño son consumidos a distintos niveles tróficos (Cole, 2016; Shim et al., 2016; Erni-Cassola et al., 2017; Maes et al., 2017) y también por la población humana (Dehghami et al., 2017). Se ha registrado en varios estudios que la especie *Daphnia magna* puede consumir microplásticos de tamaños 63 a 300 μm (Jemec et al., 2016; Rehse et al. 2016; Canniff et al., 2018). También se ha registrado que peces de ríos de zonas urbanizadas presentaron mayor ingesta de plástico que en zonas no urbanizadas (Anderson et al., 2017). Además, se ha registrado el consumo de microplásticos en niños y adultos por medio del polvo en suspensión de zonas urbanas, estimándose una media de 3223 partículas de microplásticos por año para los niños y 1063 para los adultos (Dehgami et al., 2017). Los microplásticos presentes en los cuerpos de agua pueden liberar compuestos tóxicos en su degradación (Cole, 2016) y pueden absorber contaminantes del agua y el suelo presentando un potencial riesgo para los organismos que lo consumen (Dehghami et al., 2017).

Por todo ello. el objetivo del estudio es determinar la abundancia y distribución de microplásticos en dos cuencas mediterráneas y discernir si su distribución está asociada a los usos del suelo. Nuestra hipótesis es que cuencas con mayor superficie de suelo urbano tendrán mayor cantidad de partículas de microplásticos debido a que este es de origen antropogénico.

Para llevar a cabo el objetivo, se i) Cuantificarán los microplásticos de la cuenca del Besòs y la cuenca de la Tordera, ii) Se asociará la cantidad de microplásticos al tipo de

uso de suelo de cada subcuenca y .iii) Si las EDARS influenciarán en la abundancia y distribución de microplásticos.

2. Metodología

2.1. Zona de estudio

Se realizó un muestreo en la cuenca de los ríos Besòs y Tordera dos cuencas con contrastados usos de suelo (Figura 1). Se muestrearon 15 puntos en la cuenca del Besòs entre el día 15 y el 26 de abril mientras que en la cuenca de la Tordera se tomaron 14 muestras entre el día 4 y 7 de Junio del 2019. En ambas cuencas se tomaron muestras considerando zonas de cabecera del río, tramos medios y zonas bajas.

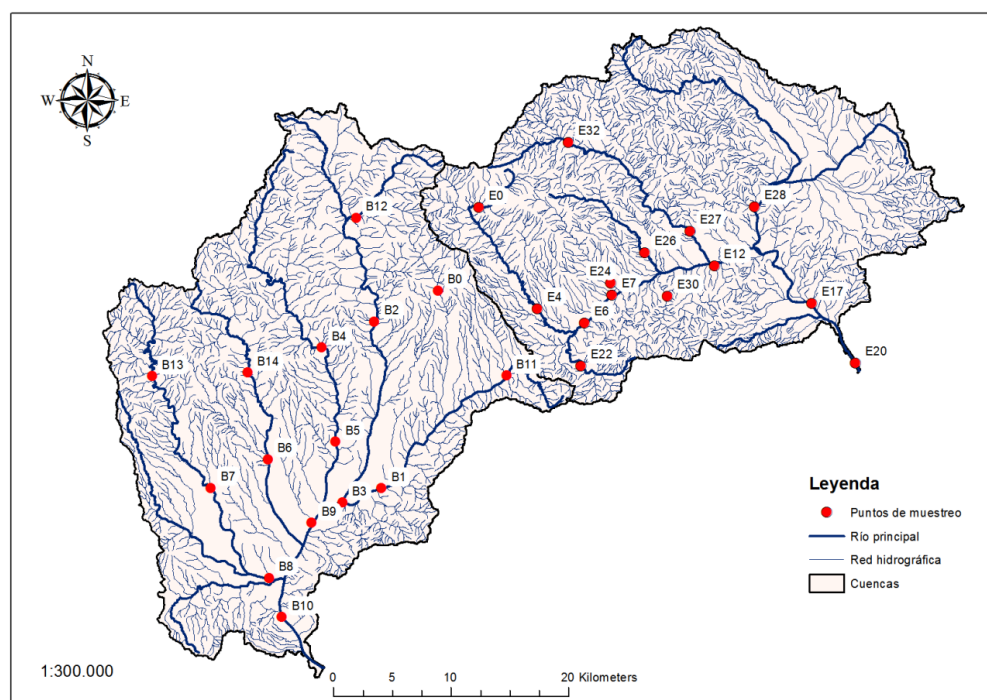


Figura 1: Zona de estudio. Cuenca del Besòs (izquierda) y la Tordera (derecha) con la red hidrográfica principal y no principal en cada cuenca. En rojo los puntos de muestreo.

2.2.Trabajo de campo

En cada punto se tomó muestras de sedimento y de agua con un balde metálico y posteriormente guardadas en frascos de vidrio. Para las muestras de sedimento se extrajeron sedimento de 5 puntos diferentes a lo largo de un tramo que varió de 25 a 50 metros,

caracterizando la heterogeneidad hidromorfológica del tramo. De estas se obtuvo una muestra compuesta. Para las muestras de agua se filtraron 100 litros de agua por un tamiz de 53 μm de porosidad. Todas las muestras fueron guardadas en frascos de vidrio para su posterior análisis. Las muestras de sedimento fueron secadas en una estufa a 60°C durante 20 días. En dos puntos de la cuenca de la Tordera no se tomaron muestras de agua debido a que no había agua en los puntos de muestreo.

El caudal se midió por medio de la técnica de medición de caudal mediante adiciones (Elosegi & Sabater, 2009). En cada punto se agregó una solución hipersalina de una conductividad conocida en un extremo del tramo y en el otro se colocó un conductímetro. Además, se midió el ancho de tramo del río cada 5 metros para obtener el ancho promedio por punto. Con esto se obtuvo una curva de conductividad con la cual se puede obtener la velocidad máxima y media del agua en cada punto muestreado y se puede estimar la profundidad promedio de cada punto.

2.3. Trabajo de laboratorio

2.3.1. Análisis de muestras de microplásticos

Para la obtención de microplásticos de sedimento y del agua se han empleado diversas técnicas de análisis (Dehghami et al., 2017). La extracción de los microplásticos del sedimento se realizó mediante separación por densidad usando la técnica de flotación (Maes et al., 2017), utilizándose una solución hipersalina de cloruro de zinc de densidad 1.5 g/cm^3 . Se tomó una submuestra de 10 gramos que se colocó en una columna de sedimentación de 39 cm de alto y 6 cm de diámetro y se agregaron 750 mL de solución de cloruro de zinc. El sedimento junto a la solución fueron resuspendidos por 10 minutos de forma manual con una varilla de madera. Se dejó reposar por 10 minutos y se filtró el sobrenadante (250 mL) de la muestra por un tamiz de 53 μm . La muestra separada en el tamiz fue enjuagada con agua destilada hasta sacar la mayor cantidad de solución salina. Posteriormente estas muestras se colocaron en frascos de vidrio con 20 mL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30% más 2 mL de solución de Fenton ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Agua destilada} + \text{Ácido sulfúrico concentrado}$) para acelerar la digestión de la materia orgánica (Masura et al., 2015). Se esperó a que hirviera la muestras debido a la reacción de digestión, después de esta reacción se esperó a que se enfriara la mezcla y se agregó nuevamente 20 mL de peróxido de hidrógeno más solución

de Fenton. Estas fueron dejadas a temperatura ambiente durante 24 horas bajo la campana de extracción.

Tras la digestión de la materia orgánica las muestras fueron filtradas por segunda vez por el tamiz de 53 μm , lavadas con agua destilada, y depositadas en un frasco de vidrio para finalmente realizar la tinción. El mejor método de tinción para los microplásticos es el pigmento rojo de Nilo que es un tinte lipofílico, este pigmento presenta mayor intensidad de fluorescencia y tinción de los plásticos (Maes et al., 2017). Para realizar el proceso de tinción se preparó una solución de Rojo de Nilo a una concentración de 1 mg/mL, esta se almacenó a 4°C cubierta con papel aluminio ya que es fotosensible (Maes et al., 2017). Se agregó 20 mL de agua mili-Q y 100 μL de Rojo de Nilo (1 mg/mL) (5 $\mu\text{g/mL}$ de concentración) a la muestra, se revolvió durante 10 segundos cada 10 minutos por 30 minutos y se dejó reposar por 24 horas a temperatura ambiente en oscuridad. Finalmente, estas muestras fueron filtradas por filtros de fibra de vidrio GF/F para ser posteriormente analizadas al microscopio de fluorescencia.

Se trató de utilizar la menor cantidad de material de plástico, pero la columna de sedimentación, tamiz y dispensador (agua destilada, agua mili-Q y peróxido de hidrógeno) no se pudo evitar utilizarlo.

2.3.2. Observación y conteo de microplásticos

Los filtros teñidos fueron observados en un microscopio Nikon Eclipse E600 provisto de un equipo de fluorescencia. Para la observación se utilizaron filtros azules (Excitación 450-490 B-2A, y BA 520) y UV (Excitación 330-380 UV-2P, y BA 420). Los plásticos expuestos al filtro azul se observan como partículas fluorescentes verde y cuando son expuestas al filtro UV se observan en azul (Figura 2). Las partículas fluorescentes se categorizaron por color de la fluorescencia (verdes, azules) y tamaños (50-100, 100-200 y >200 μm) en 10 campos a 4x de aumento.

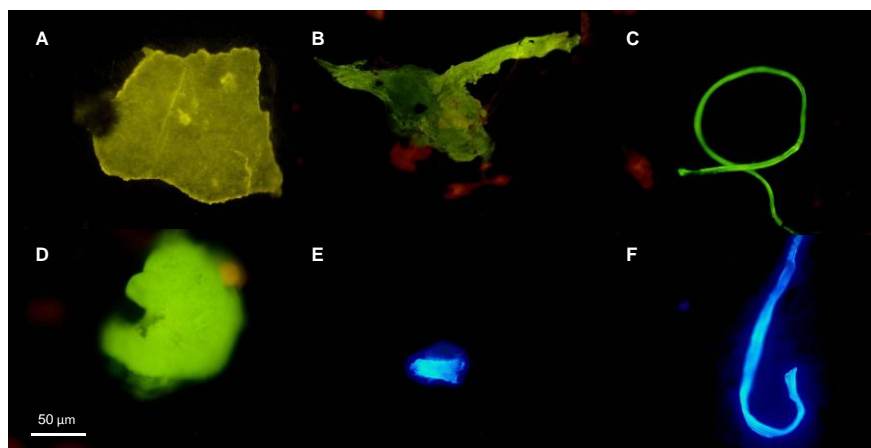


Figura 2: Ejemplos de microplásticos extraídos de muestras de agua (A, B, C y F) y sedimento (D y E). En verde los microplásticos observados en filtro azul (A, B, C y D) y en azul microplásticos observados en filtro UV (E y F).

2.3.3. Optimización de la metodología

Se realizaron pruebas de recuperación de microplásticos de sedimento. Para esta prueba se agregó entre 5 y 10 trozos de distintos tipos de plásticos conocidos a un sedimento de la zona libre de microplásticos. Con esto se realizó en la comuna de sedimentación agregando en el fondo una mosca para agitar la muestra con la solución en un agitador magnético. Con estas pruebas se recuperó un gran porcentaje de los tipos de plásticos (LDPE, EPS y PET) mayor al 60% menos en el caso de PVC que se recuperó entre el 20 y 50%, esto se debe a que este tipo de plástico se fragmenta en la agitación. Por esta razón se realizó una agitación manual con una varilla de madera.

La materia orgánica genera un gran problema en la visualización de las muestras de microplásticos debido a que esta flota junto con los microplásticos en el método de flotación. Además, esta se tiñe con el pigmento Rojo de Nilo emitiendo fluorescencia de forma similar a los microplásticos generando un error en el conteo de microplásticos (Maes et al., 2017). La reacción que ocurre en la digestión de la materia orgánica daña los microplásticos y así como también incrementos en la temperatura (Munno et al., 2017).

Debido a la gran cantidad de materia orgánica presente en los distintos puntos de las cuencas y a lo descrito anteriormente se realizó pruebas con distintas cantidades de sedimento para la extracción de microplásticos, digestión (tipo y cantidad), temperatura y tiempo para determinar la mejor metodología para la cuantificación de microplásticos en sedimentos de ríos (Anexo-Tabla 2).

2.3.4. Análisis del sedimento

Para evaluar la cantidad de materia orgánica presente en el sedimento se tomó 20 gramos de sedimento. Este fue llevado a la estufa a 60°C por 3 horas para quitar la humedad presente en las muestras, luego fueron pesadas y llevadas a la mufla a 500°C por 5 horas y finalmente se pesó la muestra después de ser muflada.

Para evaluar la composición del sedimento se realizó granulometría. El sedimento fue tamizado por 7 tamices con distintos tamaños entregando submuestras de diferentes rangos de tamaños (>2 mm, entre 2-1 mm, 1-0.5 mm, 0.5-0.25 mm, 0.25-0.1 mm, 0.1-0.032 mm y <0.032 mm). Con esto se logró determinar el porcentaje de grava (>2 mm), arena (Arena muy gruesa (2-1 mm), Arena gruesa (1-0.5 mm), Arena media (0.5-0.25 mm), Arena fina (0.25-0.1 mm), Arena muy fina (0.1-0.032 mm)) y limo (<0.032 mm).

2.4. Análisis de datos

Se realizó un mapa para cada cuenca con sus distintos usos del suelo por cada subcuenca, pero se seleccionó los que presentaron mayor porcentaje en las dos cuencas (agrícola, forestal y urbano) y depuradoras presentes, estos mapas se realizaron con el programa Arcgis versión 10.5.1. La definición de la subcuenca se realizó dibujando los polígonos que delimitan cada subcuenca. El mapa de usos de suelo fue obtenido en la página del Grupo de búsqueda de geobotánica y cartografía de la vegetación de la Universidad de Barcelona (obtenidos de la Generalitat de Catalunya, Departamento de Territorio y sostenibilidad) (<http://www.ub.edu/geoveg/cat/mapes.php>). El mapa de las cuencas y red hidrográfica se descargaron de la página de la agencia Catalana del agua, Generalitat de Catalunya (<http://aca.gencat.cat/ca/laigua/consulta-de-dades/descarrega-cartografica/>). Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa R versión (3.4.4).

Para evaluar la potencial relación entre las variables ambientales (Hidromorfológicas y de uso del suelo) y la distribución de microplásticos en el sedimento y agua de las dos cuencas se realizó una correlación de Spearman, para este análisis se utilizó el paquete "stats" y el "Hmisc".

Para evaluar si la combinación de variables ambientales (Hidromorfológicas, uso del suelo y EDARS) afectan la distribución de microplásticos en el sedimento y agua de las dos cuencas se realizó un modelo lineal múltiple mediante la función "lm".

Para evaluar diferencias entre la cantidad y variabilidad de microplásticos entre las dos cuencas (Besòs y Tordera) se realizó una ANOVA de un factor.

Cuando los datos no fueron paramétricos se realizó un Kruskal Wallis. Estos análisis se utilizaron para evaluar si existen diferencias entre las cuencas en sus variables ambientales (Hidromorfológicas y uso del suelo).

3. Resultados

3.1. Optimización de la metodología

Al observar las distintas muestras (50, 10 y 5 gramos de sedimento) se encontró que la muestra de 50 gramos tenía una gran cantidad de materia orgánica que dificultó la observación de la muestra al microscopio, en cuanto a la muestra de 10 gramos presentó una pequeña cantidad de materia orgánica pero la observación de la muestra fue más sencilla y finalmente la muestra de 5 gramos se observó muy poca materia orgánica (Anexo-Figura 1). A medida que se aumenta el tiempo de digestión y se aumentó la temperatura los microplásticos verdes se dañaron mucho (Anexo-Figura 1D y E).

La mayor cantidad de microplásticos verdes se obtuvo con 10 gramos de sedimento en todos los rangos de tamaños. Se observó una disminución de cantidad de microplásticos a medida que aumenta el tamaño de las partículas. En cuanto a las muestras observadas de 50 y 5 gramos de sedimento se encontró una menor cantidad de partículas de microplásticos verdes (Anexo-Figura 2). Se encontraron diferencias significativas entre la cantidad de partículas de microplásticos en el tamaño de 50-100 μm de las muestras de 50,10 y 5 gramos de sedimento ($p<0.05$) y entre 10 y 5 gramos de sedimento en los tamaños de 100-200 μm ($p<0.05$) (Anexo-Figura 2).

Con respecto al microplásticos azules se observó un aumento de éste a medida que disminuye la cantidad de sedimento en todos los rangos de tamaños de los microplásticos, pero estas diferencias no fueron significativamente diferentes ($p>0.05$) (Anexo-Figura 2).

Las distintas pruebas realizadas demostraron que la mejor combinación de tipo de digestión, tiempo, temperatura y cantidad de solución para este tipo de muestras fue 10 g, 48 horas, temperatura ambiente y 40 mL H_2O_2 +Fenton (Anexo-Figura 1, Anexo-Figura 2).

3.2. Caracterización de la cuenca

3.2.1. Besòs

En la cuenca del Besòs los caudales variaron entre 5.09 L/s y 308.57 L/s. Presentando el mayor caudal el punto B8 y el menor caudal el punto B14 (Tabla 1). La velocidad media mayor encontrada fue en el punto B8 (0.63 m/s) y la de menor magnitud fue en el punto B14 (0.05 m/s). El ancho promedio por punto varió entre 2.142 y 6.987 metros. Finalmente, la profundidad promedio varió entre 23 y 191 cm en los distintos puntos.

El punto con mayor cantidad de materia orgánica por gramo de sedimento es el punto B1 con 0.059 gramos (6%), lo sigue el punto B12, B13, B2 y B14. El punto B8 presentó la menor cantidad de materia orgánica (<1%) (Tabla 1).

La cuenca del Besòs presentó un mayor porcentaje de grava (52%) (>2mm), seguido por arena muy gruesa (2-1 mm), seguido por arena gruesa (1-0.5 mm), arena media, fina, muy fina y limo. El punto B13 presentó más de un 90% de grava y muy poco porcentaje de los otros. El punto B5 presentó mayor porcentaje de arena muy gruesa (46.19%) y muy bajo porcentaje de limo, pero este porcentaje de limo es uno de los más alto registrado en la cuenca. Luego de este el punto B11 que presentó 34.29% de arena muy gruesa. En el punto B4 más del 90% del sedimento fue de tamaño menor a 2 mm, en cambio el punto B12 solo el 8% del sedimento es menor a 2 mm (Figura 3).

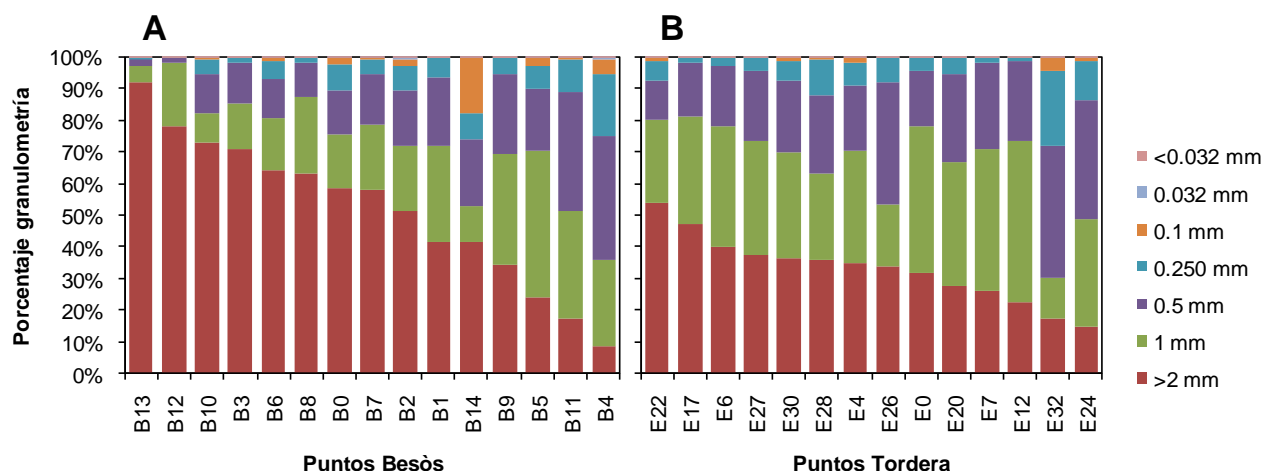


Figura 3: Granulometría de cada punto muestreado de la cuenca del Besòs (A) y de la Tordera (B) (porcentaje).

Tabla 1: Características hidromorfológicas de la cuenca del río Besòs y Tordera caudal (L/s), velocidad media (m/s), ancho promedio (m), profundidad (m) de cada punto del río y porcentaje de materia orgánica.

Cuenca	Puntos	Caudal	Velocidad media	Ancho promedio	Profundidad promedio	% Materia orgánica
Besòs	B0	16.143	0.154	2.142	0.049	1.151
	B1	188.889	0.417	4.432	0.102	5.887
	B2	140.215	0.111	6.590	0.191	1.381
	B3	129.359	0.400	6.427	0.050	0.973
	B4	74.693	0.189	3.541	0.112	0.962
	B5	82.754	0.270	5.525	0.055	0.930
	B6	17.005	0.164	3.441	0.030	0.918
	B7	104.575	0.385	4.755	0.057	0.777
	B8	308.571	0.635	6.987	0.070	0.580
	B9	1291.557	0.473	25.000	0.109	0.793
	B10	2371.000	0.526	40.000	0.113	0.860
	B11	16.734	0.128	2.896	0.045	0.663
	B12	17.035	0.102	2.898	0.058	1.831
	B13	20.493	0.154	3.123	0.043	1.410
	B14	5.093	0.052	4.328	0.023	1.334
Tordera	E0	34.762	0.156	3.195	0.070	1.768
	E4	12.899	0.120	2.633	0.041	0.872
	E6	16.024	0.159	3.913	0.026	0.838
	E7	125.937	0.588	4.691	0.046	0.957
	E12	595.018	0.357	7.268	0.229	0.516
	E17	473.435	0.526	8.005	0.112	0.689
	E20	798.800	0.093	70.000	0.121	0.588
	E22	2.189	0.094	1.938	0.012	1.027
	E24	50.828	0.278	4.225	0.043	0.620
	E26	14.137	0.097	2.893	0.050	0.679
	E27	238.889	0.526	4.564	0.099	0.844
	E28	68.562	0.526	5.579	0.023	0.474
	E30	5.550	0.019	1.563	0.184	0.777
	E32	62.839	0.333	3.995	0.047	1.305

El mayor porcentaje de uso de suelo de la cuenca fue de bosque (43%), seguido por el agrícola (31%) y el urbano (24%). La subcuenca del punto B8 presentó el mayor porcentaje de uso de suelo urbano y presentó menor porcentaje de bosque. En cambio, el punto B0 presentó 0% de suelo urbano y 82% de bosque (Figura 4 y 5).

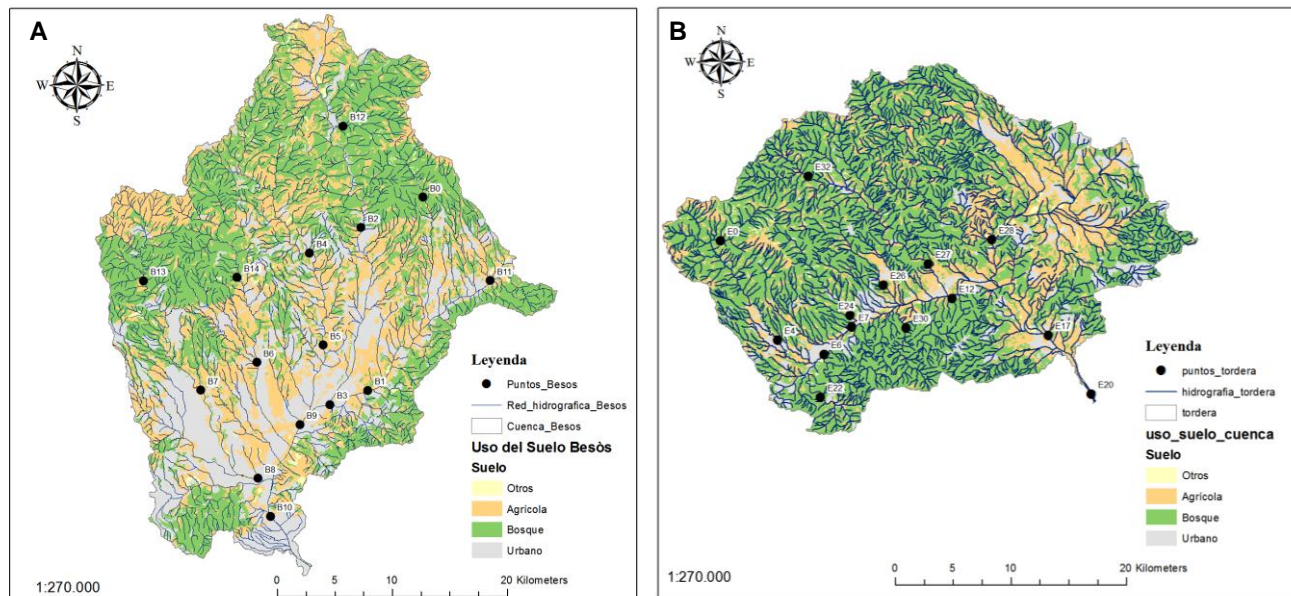


Figura 4: Uso del suelo de la cuenca del Besòs (A) y de la cuenca de la Tordera (B). Puntos negros son las zonas de muestreo.

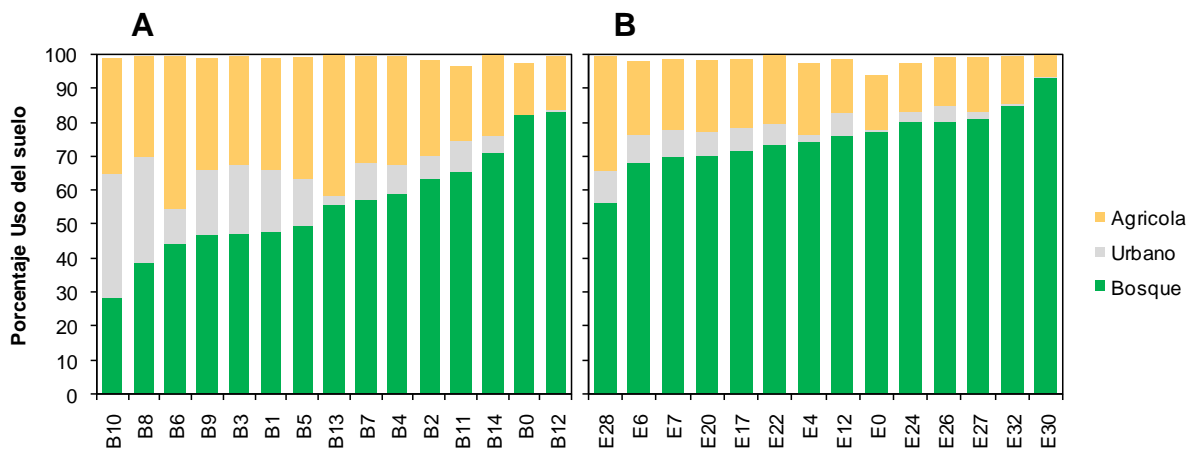


Figura 5: Porcentaje de uso de suelo (Bosque, Agrícola y Urbano) en cada subcuenca asociada a cada punto de muestreo en la cuenca del Besòs y la Tordera.

3.2.2. Tordera

Se encontraron caudales entre 5.550 y 473.435 (L/s). Encontrándose el menor caudal en un afluente del tramo principal (E30) y el mayor se encontró en la zona baja cercana a la

desembocadura del río (E17). La velocidad máxima de cada tramo varió entre 0.034 y 769 (m/s) y la velocidad media se encontró entre 0.019 y 0.588 (m/s). El ancho promedio de cada transecto de los puntos muestreados se encuentra entre 1.563 y 7.268 metros y la profundidad promedio del transecto varió entre 12 y 229 cm (Tabla 1).

La mayor cantidad de materia orgánica se encontró en el punto E0 con un 1.77% seguido por el punto E32 (1.30%), estos puntos son de la zona alta de la cuenca. En cambio, el punto E28 presentó menor porcentaje de materia orgánica en comparación con el resto de los puntos (Tabla 1).

Con respecto a la granulometría del sedimento los mayores porcentajes observados fueron grava, arena muy gruesa y arena gruesa (Figura 3). El punto E32 presentó un menor porcentaje de grava y arena muy gruesa. En cambio, el punto E22 presentó un gran porcentaje de grava y menor cantidad de arena gruesa (Figura 3).

El mayor porcentaje de uso de suelo es de bosque con un 56.04% del uso de la cuenca, seguido por uso agrícola (25%) y zonas urbanas (11.94%). El punto E30 presentó 93.63% de bosque en su subcuenca, 1.79% de suelo agrícola y 0.12% de zonas urbanas. En cambio, el punto E6 presentó un mayor porcentaje de zonas urbanas de la cuenca (19.66%), 56.75% de bosque y 20.11% de agrícola (Figura 4 y 5).

3.3. Microplásticos

3.3.1. Besos

En general la distribución de microplásticos verde en la cuenca es heterogénea tanto en el sedimento como en el agua. En el sedimento de los puntos muestreados se observó una mayor cantidad de microplásticos en los puntos B3, B1, B11 y B9. Los puntos B12, B2 y B8 presentaron la menor cantidad de microplásticos por gramo de sedimento. Los puntos muestreados más cercanos a la cabecera presentaron entre 20 y 100 partículas de microplásticos, a excepción de los puntos B12 y B2 que presentaron menos de 20 partículas (Figura 6A).

En cuanto a la cantidad de microplásticos encontrado en el agua de la cuenca, se observó que el punto B11 tuvo la mayor cantidad de partículas, seguida por el punto B1, B8 y B10. Los puntos B9, B0, B12, B14 y B4 presentaron la menor cantidad de partículas de microplásticos (Figura 6C).

En el punto B12 se observó la menor cantidad de partículas en el agua y en el sedimento. En el punto B8 se encontró mayor cantidad de microplásticos en el agua con respecto a los otros puntos y menor cantidad de partículas en el sedimento. El punto B11 presentó una gran cantidad de partículas de microplásticos en el sedimento y en el agua (Figura 6A y 6C).

La cantidad de microplásticos de color azul fue mucho menor que la cantidad de microplásticos verdes. Se observó que en los puntos B0 y B4 se encontró la mayor cantidad de microplásticos azules (27 y 23 microplásticos/gramo de sedimento respectivamente), seguido por el punto B10, B2, B7, B8 y B12 (Figura 7A).

En el agua se observó la mayor cantidad en el punto B8 (6/L), seguida por el punto B5, B11 y B14. La menor cantidad se encontró en los puntos B1, B12 y B13 (1/L) (Figura 7B).

La mayor cantidad de microplásticos verdes en el sedimento se encontró en el rango de 50-100 μm y en los otros rangos de tamaño se observó muy poca cantidad de partículas, estas diferencias fueron significativas entre los tamaños 50-100 μm y los otros dos rangos ($p < 0.01$) y entre 100-200 μm y $> 200 \mu\text{m}$ ($p < 0.01$) (Figura 8A). Para los microplásticos azules se observó una mayor cantidad en el tamaño $> 200 \mu\text{m}$, pero no se encontraron diferencias significativas entre los rangos de tamaños ($p > 0.05$) (Figura 8B).

En el caso de los microplásticos verdes presentes en el agua se observó una distribución homogénea en todos los rangos de tamaños, y no se encontraron diferencias significativas entre los rangos de tamaños ($p > 0.05$) (Figura 8C). Los microplásticos azules fueron más abundantes en el rango $> 200 \mu\text{m}$ y los otros dos rangos de tamaño fueron menores, sólo se encontraron diferencias significativas entre $> 200 \mu\text{m}$ de tamaño y 100-200 μm ($p < 0.05$) (Figura 8D).

Se observó una correlación negativa y significativa entre la cantidad de microplásticos verde y azules presentes en las muestras de sedimento ($\rho = -0.572$, $p < 0.05$).

3.3.2. Relación entre microplásticos y variables ambientales

Al realizar correlaciones de la cantidad de microplásticos con las distintas variables hidromorfológicas, uso de suelo y EDARS (cantidad y distancia promedio) no se

encontraron correlaciones significativas, tanto para microplásticos verdes y azules en muestras de sedimento y agua ($p>0.05$).

Al realizar el modelo lineal múltiple se observó que del total de las variables hidromorfológicas las que mejor explicaban la distribución de microplásticos verde en el sedimento fueron materia orgánica, arena gruesa y arena media ($AIC=115.92$). Este modelo presentó un ajuste de 61% a los datos ($p<0.05$).

En el caso de los microplásticos azules las variables hidromorfológicas que mejor explican la distribución de estos fueron el caudal, arena gruesa, arena media y arena fina ($AIC=43.12$). Este modelo presentó un ajuste de 82% a los datos ($p<0.01$).

En las muestras de agua para los microplásticos verdes el mejor modelo fue con las variables caudal, arena muy gruesa, arena gruesa, arena media y arena fina ($AIC=34.48$). Este modelo presentó un ajuste de 56% a los datos, pero no fue significativo ($p>0.05$).

En cuanto a los microplásticos azules presentes en el agua las variables hidromorfológicas que mejor explican la distribución de estos fueron materia orgánica, arena muy gruesa, arena fina y limo ($AIC=6.37$). Presentando un ajuste de 62% a los datos ($p<0.05$).

Al realizar el modelo lineal múltiple entre la cantidad de microplásticos (verdes y azules) con la superficie del uso del suelo (urbano, bosque y agrícola) no se encontró relación con ninguno. de estas. Pero sí presentó una relación entre los microplásticos verdes del sedimento con el porcentaje de uso de suelo, superficie de bosque y agrícola y EDARS (Cantidad y distancia) ($AIC=107.96$) ($R^2=0.90$, $p>0.05$) y lo mismo ocurrió para los microplásticos verdes del agua ($AIC=28.9$) ($R^2=0.81$, $p>0.05$).

En el caso de los microplásticos azules del sedimento se encontró relación con el porcentaje de uso de suelo (urbano y agrícola), superficie de bosque y agrícola y EDARS (Cantidad y distancia) ($AIC=62.25$) ($R^2=0.57$, $p>0.05$).

La cantidad de microplásticos azules en el agua está determinado por la distancia a las EDARS y el porcentaje de uso de suelo urbano ($AIC=10.76$) ($R^2=0.43$, $p>0.05$).

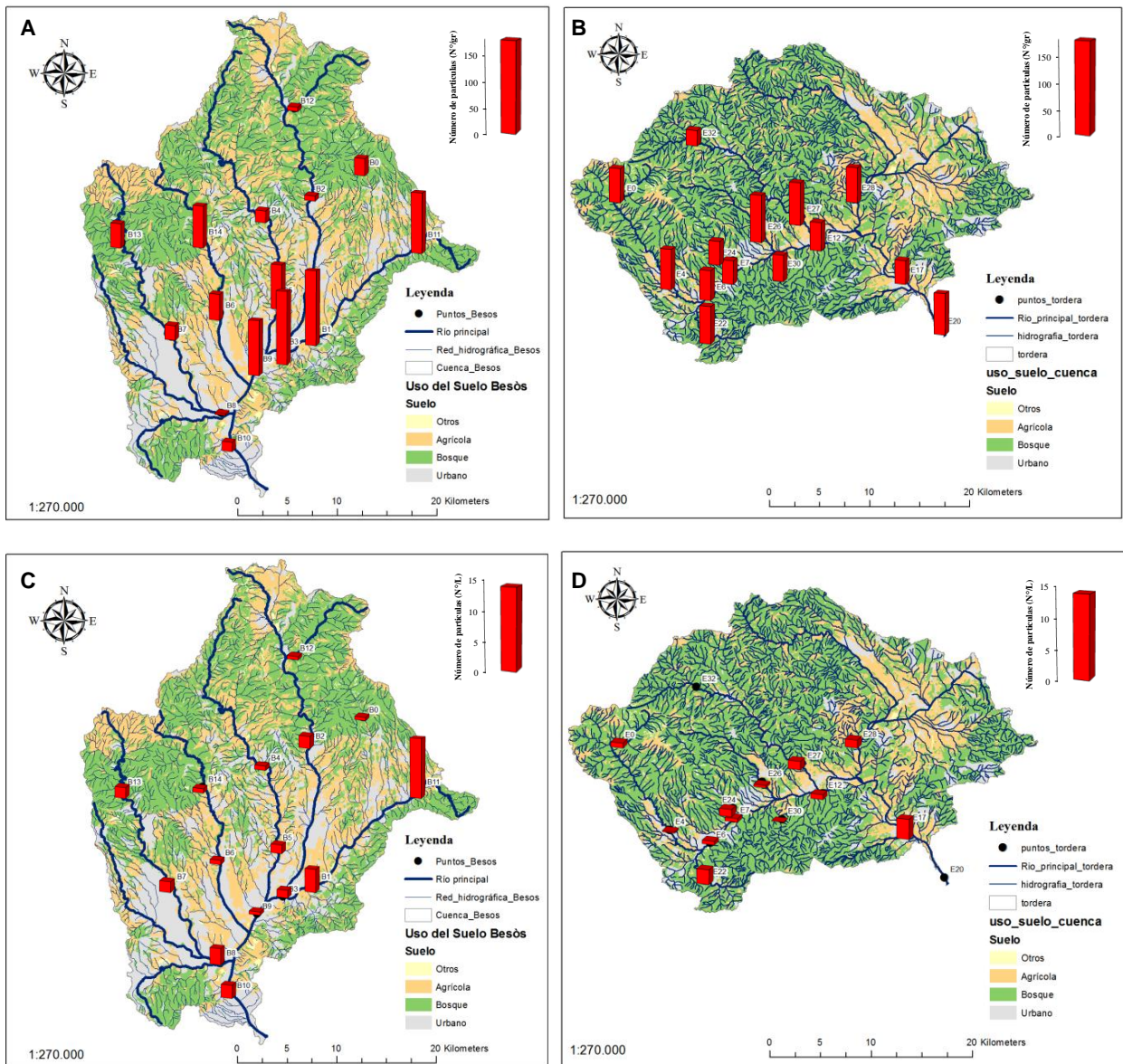


Figura 6: Cantidad de microplásticos verde en la cuenca del Besòs (A y C) y la Tordera (B y D). Cantidad de microplásticos en muestras de sedimento (A y B) (escala 0-180/g) y muestras de agua (C y D) (escala 0-15/g). En el fondo el uso de suelo de cada cuenca.

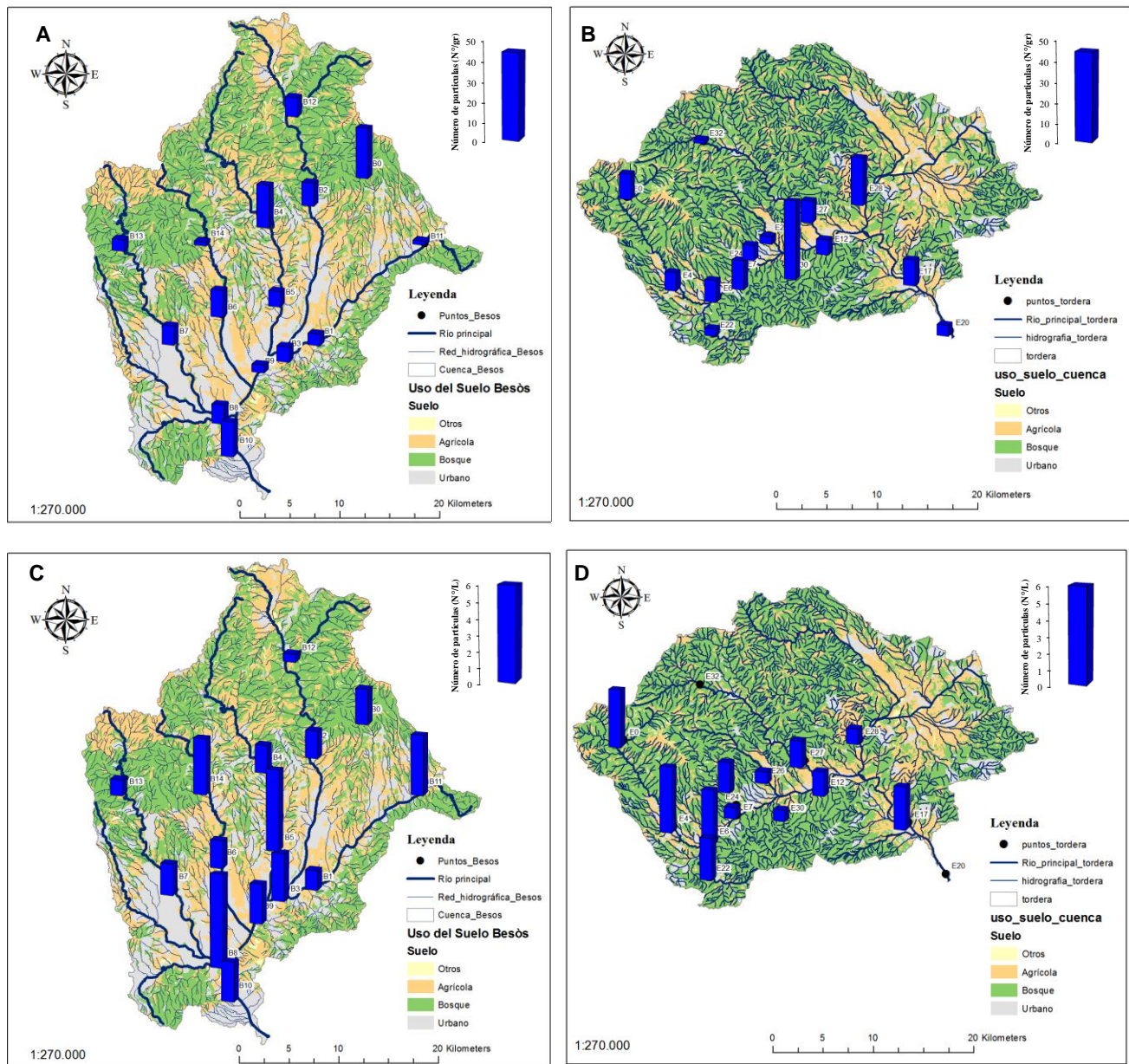


Figura 7: Cantidad de microplásticos azules en la cuenca del Besòs (A y C) y la Tordera (B y D). Cantidad de microplásticos en muestras de sedimento (A y B) (escala 0-50/g) y muestras de agua (C y D) (escala 0-6/g). En el fondo el uso de suelo de cada cuenca.

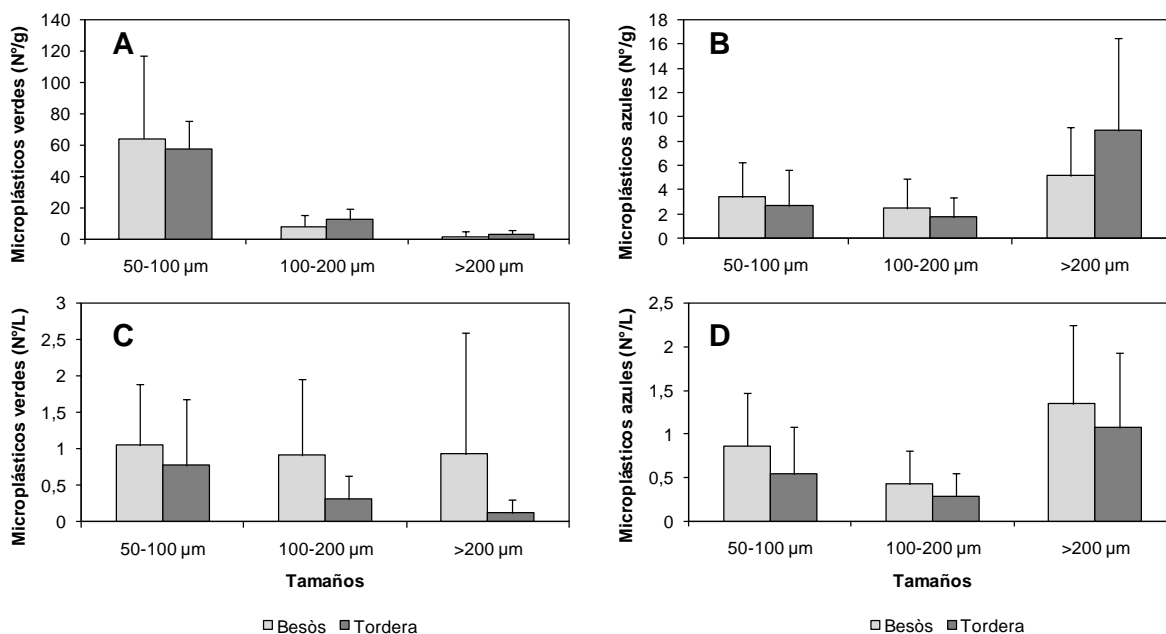


Figura 8: Cantidad de microplásticos verdes (A y C) y azules (B y D) en 3 rangos de tamaño (50-100 µm, 100-200 µm y >200 µm) de muestras de agua (C y D) (N°/L) y sedimento (A y B) (N°/g) en las dos cuencas.

3.3.3. Tordera

En la cuenca de la Tordera la distribución del microplásticos verdes en el sedimento y en el agua es bastante homogénea. En el sedimento el punto E32 presentó la menor cantidad de microplásticos (36 partículas/gramo) seguido por el punto E17 con 55 partículas por gramo de sedimento. El punto E20 que se encuentra cerca de la desembocadura del río presentó una gran cantidad de microplásticos, pero el punto E24 presentó la mayor cantidad de partículas (Figura 6B).

En el caso de las muestras de agua se observó la mayor cantidad de microplásticos en el punto E17, seguido por el punto E22. Los otros puntos presentaron una menor cantidad y en los puntos E4 y E30 se observó la menor cantidad de partículas de microplásticos (Figura 6D).

La cantidad de partículas de microplásticos azules fue menor a las verdes en el sedimento. En el punto E30 se observó la mayor cantidad, seguido por el punto 28 y E7. La menor cantidad se observó en el punto E26 (4/g) (Figura 7B).

En cuanto a las muestras de agua se observó que en los puntos E0, E4 y E6 se encontró la mayor cantidad de microplásticos azules (4/L) y la menor cantidad en los puntos E7, E26, E28 y E30 (1/L) (Figura 7D).

Se observó que la mayor cantidad de microplásticos verdes en el sedimento se encontró en los rangos de 50 -100 μm y en los otros dos rangos de tamaños se observó muy poca cantidad, estas diferencias fueron significativas entre los rangos 50-100 μm y los otros dos rangos de tamaños ($p < 0.01$) y se encontró diferencias significativas entre 100-200 μm y $> 200 \mu\text{m}$ ($p < 0.01$) (Figura 8A). En el caso de los microplásticos azules se observó la mayor cantidad en el tamaño $> 200 \mu\text{m}$. Se encontraron diferencias significativas entre el tamaño $> 200 \mu\text{m}$ y los otros dos rangos de tamaños (50-100 μm y 100-200 μm) ($P < 0.01$) (Figura 8B).

La mayor abundancia de microplásticos verdes presentes en el agua fue en los tamaños entre 50-100 μm , pero no se encontraron diferencias significativas entre los rangos de tamaño ($p > 0.05$) (Figura 8C). Los microplásticos azules presentes en el agua fueron más abundantes en el tamaño $> 200 \mu\text{m}$, solo se encontró diferencias significativas entre los microplásticos de tamaño $> 200 \mu\text{m}$ y 100-200 μm ($p < 0.05$) (Figura 8D).

3.3.4. Relación entre microplásticos y variables ambientales

Al realizar correlaciones de la cantidad de microplástico con las distintas variables ambientales hidromorfológicas no presentaron correlaciones significativas entre ellos, tanto para microplásticos verdes y azules en muestras de sedimento y agua. Solo se observó una correlación significativa entre la cantidad de microplásticos azules y el porcentaje de limo (0.594, $p < 0.05$).

Para los microplásticos verdes presentes en el sedimento se observó que las variables hidromorfológicas que explican la distribución de estos fueron materia orgánica, arena gruesa, arena media, arena fina y limo ($\text{AIC}=87.53$). Este modelo explicó un 43% de la distribución de los datos, pero este no fue significativo ($p > 0.05$).

En el caso de los microplásticos azules las variables que mejor explicaron fue el caudal, materia orgánica, arena muy gruesa, arena fina, arena muy fina y limo ($\text{AIC}=58.9$). El ajuste del modelo a los datos fue de un 78% ($p < 0.05$).

Para los microplásticos verdes presentes en el agua las variables ambientales que mejor explicaron la distribución de estos fueron arena muy gruesa, arena gruesa y arena fina (AIC=6.04). El modelo presentó un ajuste de un 36% de los datos, este no fue significativo ($p>0.05$).

La abundancia de microplásticos azules en el agua fue mejor explicada por el caudal, arena gruesa, arena fina y arena muy fina (AIC=3.47). Este modelo presentó un ajuste de un 79% a los datos ($p<0.01$).

Al realizar el modelo lineal múltiple entre la cantidad de microplásticos y el uso del suelo de la cuenca no se encontró relación con ninguno de ellos.

3.4.Comparación entre cuencas

La cantidad de microplásticos verdes en el agua entre cuencas fue similar ($p>0.05$, ANOVA), lo mismo ocurrió el caso de los microplásticos azules ($p>0.05$, ANOVA) (Figura 6). No se encontraron diferencias significativas entre las variables hidrológicas de las dos cuencas (caudal, velocidad, ancho y profundidad) ($p>0.05$). En cuanto a la granulometría entre zonas se encontró diferencias significativas entre cuencas en arena muy gruesa, arena gruesa, arena muy fina y limo ($p<0.05$) (Figura 3).

La cuenca del Besòs presentó mayor porcentaje de zonas urbanas en comparación con la cuenca de la Tordera (24% y 8% respectivamente). En cambio, el porcentaje de uso de suelo de bosque en la Tordera (66%) fue mayor que en la cuenca del Besòs (43%). En cuanto al uso de suelo agrícola fue un poco mayor en la cuenca del Besòs (31%) que en la cuenca de la Tordera (25%) (Figura 4 y 5).

La cantidad de microplásticos verdes en el sedimento fue similar en las dos cuencas (Besos 74.5 ± 60.4 y Tordera 73.6 ± 20.5) ($p>0.05$, ANOVA). Para evaluar la variabilidad de la cantidad de microplástico de las dos cuencas se realizó una normalización de los datos por la cantidad máxima de cada cuenca, presentando diferencias significativas entre la cuenca del Besòs (0.42 ± 0.34) y la Tordera (0.69 ± 0.19) ($p<0.05$), siendo más variable la cuenca del Besòs (Figura 9). Con respecto a la cantidad de microplásticos azules no se encontraron diferencias significativas entre cuencas ($p>0.05$).

En relación a los rangos de tamaños encontrados en el sedimento, se observó que la mayor cantidad de microplásticos verdes fueron de tamaños entre 50 y 100 μm , seguidos por el tamaño entre 100 y 200 μm y los $>200 \mu\text{m}$ fueron muy poco abundantes en ambas cuencas (Figura 8A). En cambio, los microplásticos azules la mayor cantidad se encontró en los tamaños $>200 \mu\text{m}$, seguido por tamaños entre 50-100 μm en ambas cuencas (Figura 8B).

En las muestras de agua se observó que en la cuenca del Besòs presentó mayor cantidad de microplásticos verdes que la cuenca de la Tordera y fue similar en todos los rangos de tamaños. En cambio, en la Tordera se encontró la mayor cantidad en los rangos de tamaño de 50-100 μm y fue disminuyendo a medida que aumentó el tamaño (Figura 8C).

Para los microplásticos azules en las dos cuencas se encontraron patrones similares, la mayor cantidad se observó en los tamaños mayores a 200 μm y en los de 50-100 μm (Figura 8D). No se encontraron diferencias significativas entre cuencas para los dos tipos de microplásticos (verdes y azules) ($p>0.05$).

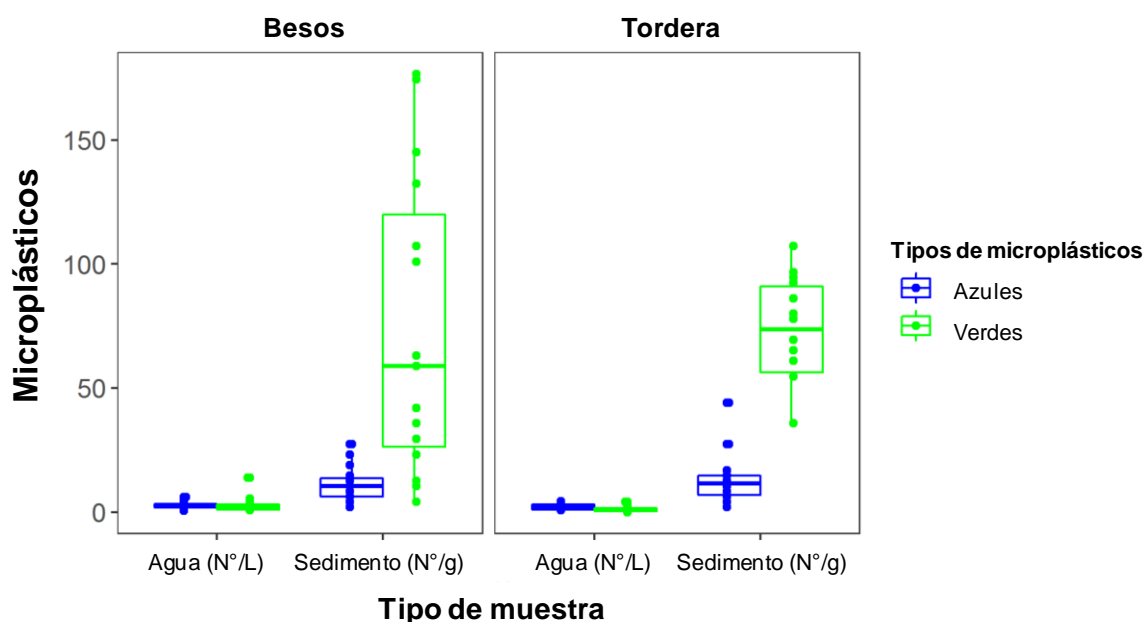


Figura 9: Boxplot de la cantidad de microplásticos de cada color por gramo de sedimento y litro de agua en las dos zonas de estudio (Besòs y Tordera).

4. Discusión

Este es el primer estudio de microplásticos realizado en las cuencas del Besòs y la Tordera. En ambas cuencas se encontraron altas concentraciones de microplásticos tanto en el agua como en el sedimento. En el sedimento del Besòs se encontró en promedio 74.5 ± 60.4 y 73.6 ± 20.5 en la cuenca de la Tordera, estos resultados fueron mayores a los encontrados en el río Yangtze en China donde se observó en promedio 0.082/g (Di & Wang, 2018) ya los encontrados por Rodrigues y colaboradores (2018) en Portugal (min-max: 0.018-0.629/g). En el caso de las muestras de agua observamos abundancias de microplásticos de 2.78 ± 2.52 partículas/L en el Besòs y 1.67 ± 1.34 partículas/L para Tordera, las cuales fueron menores a las previamente reportadas para el río Yangtze (4.70/L) y en Alemania (9/L) (Di & Wang, 2018; Murphy et al., 2016), pero mayores a los encontrados en Portugal (min-máx: 0.058-1.265/L) y en Austria (promedio: 0.000317/L) (Leschner et al., 2014; Rodrigues et al., 2018).

Contrariamente a nuestra hipótesis, no se encontró relación entre la cantidad de microplásticos y el uso del suelo de las ninguna de las cuencas, no concordando con los resultados obtenidos por Di & Wang, 2018 donde sí observaron importantes diferencias en el número de microplásticos a lo largo del río Yangtze en China debido al uso del suelo (zona rural vs urbana). Sin embargo, otros estudios han reportado que la distancia a zonas urbanas y áreas industriales podrían ser importantes para determinar la cantidad de microplásticos en riberas (Rodrigues et al., 2018), esto sólo lo pudimos comprobar en la cuenca del Besòs donde se observó un efecto combinado del uso de suelo, la cantidad y distancia de las EDARS sobre la distribución de los microplásticos.

Las distintas combinaciones de variables hidromorfológicas de las cuencas podrían afectar en mayor medida la distribución de microplásticos en el sedimento y en el agua. Evidencia de esto puede ser encontrada en el estudio de Hoellein y colaboradores (2019), quienes observaron que las partículas de microplásticos se comportan de forma similar a la materia orgánica en cuanto a la sedimentación y transporte, por lo tanto, deberían ser afectados por las características hidromorfológicas de la cuenca. El estudio realizado por Rodrigues y colaboradores (2018) encontró que las condiciones hidrográficas de las cuencas generan un cambio en la cantidad y composición de microplásticos en el agua y sedimento.

La distribución de microplásticos del sedimento y del agua fue diferenciada en algunos puntos. En puntos con mayor cantidad de microplásticos en el sedimento presentó menor cantidad en el agua en comparación con los otros puntos en la cuenca del Besòs. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en los ríos de China y Portugal (Rodrigues et al., 2018; Di & Wang, 2018). Esta distribución diferenciada de microplásticos entre el sedimento y el agua podría ser explicado porque estos microplásticos están siendo transportados y no acumulados en el sedimento.

Se encontró mayor cantidad de microplásticos verdes en los rangos de tamaño entre 50-100 μm , esto concuerda con los resultados obtenidos por Erni-Cassola y colaboradores (2017) donde encontró que la mayor cantidad de microplásticos fueron entre los tamaños 30-100 μm muestreados en el mar en Plymouth Sound en Reino Unido y los obtenidos en el río Dutch donde se encontraron tamaños entre 10-300 μm (Leslie et al., 2017). En cambio en China se encontraron tamaños entre 200 -500 μm y tamaños entre 300 y 1000 μm en el río Rhine (Mani et al., 2015).

Principalmente los microplásticos de las dos cuencas están asociados a variables hidromorfológicas y presentaron pequeños tamaños en el sedimento. Esto podría estar explicado porque las partículas que logran penetrar en el sedimento son de tamaños menores. Es por esta razón que están asociados a la grava y a los diferentes tipos de arenas.

La mayoría de los microplásticos encontrados fueron de tamaños pequeños los cuales que podrían generar problemas a los organismos que se desarrollan en estos ríos. Los microplásticos de tamaños pequeños pueden ser consumidos por organismos filtradores y detritívoros no selectivos presentes ya que estos se pueden alimentar de partículas de tamaños de alrededor de 350 μm (Merritt et al. 2008). Existe evidencia que el consumo de microplásticos afecta al tamaño y fitness de las especies que lo consumen (Canniff et al., 2018, Jemec et al., 2016).

4.1. Optimización de metodología

La gran cantidad de materia orgánica encontrada en las dos cuencas estudiadas interfirió con la observación de las muestras al microscopio. Dado que la materia orgánica se tiñe de igual forma que el microplásticos, se genera gran error en la cuantificación de

microplásticos. Esto se ha registrado por otros autores quienes recomiendan una buena digestión de la materia orgánica (Erni-Cassola et al., 2017; Maes et al., 2018).

Por esta razón, se realizaron distintas pruebas con distintas cantidades de sedimento y distintos métodos de digestión. La mejor combinación se obtuvo utilizando 10 gramos de sedimento y 24 horas de digestión de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno y solución de fenton a temperatura ambiente.

Al digerir la materia orgánica esta no mostró una fluorescencia tan intensa como los microplásticos. Sin embargo, los microplásticos más densos tienden a teñirse de forma menos eficaz con el pigmento Rojo de Nilo, estos microplásticos podrían confundirse con materia orgánica y viceversa (Erni-Cassola et al., 2017).

La cantidad de microplásticos cuantificados en las muestras de 50 gramos de sedimento fue menor debido a que se utilizó la misma cantidad de Rojo de Nilo, probablemente solo se tiñó toda la materia orgánica y no el total de la parte de microplásticos. En cambio, se logró eliminar la mayor cantidad de materia orgánica en las muestras de 10 gramos, el pigmento solo tiñó los microplásticos presente en estas muestras.

El pigmento utilizado en este estudio tiene algunas limitaciones como, por ejemplo, la tinción de materia orgánica y la tinción deficiente de microplásticos de alta densidad (PET y PVC). A pesar de esto es el mejor método de bajo costo para la tinción de microplásticos y el que los tiñe de mejor forma obteniendo mayor intensidad y pigmentación en estos (Maes et al., 2017).

Este estudio tiene una gran importancia ya que es uno de los primeros realizados en las cuencas de Cataluña. Esto entrega conocimientos para evaluar la distribución de los microplásticos en las cuencas y los rangos de tamaño que se puede encontrar. También da información del potencial efecto de los microplásticos presentes en las cuencas de Cataluña en los organismos que interaccionan con ellos.

5. Conclusiones

Los microplásticos se encuentran presentes en las dos cuencas estudiadas, tanto en el agua como en el sedimento. En promedio en el sedimento se encontró 75 partículas/g en

el Besòs y 74 partículas/g en la Tordera. Las muestras de agua presentaron abundancias de microplásticos menores 2.78 partículas/L en el Besòs y 1.67 partículas/L en la Tordera.

Contrario a lo preliminarmente propuesto, la cantidad y distribución de los microplásticos no está determinado por el uso del suelo de la cuenca, sino que por las características hidromorfológicas de los tramos. En la cuenca del Besòs, los usos del suelo solo presentan un efecto cuando están en combinación con las EDARS.

La distribución de microplásticos está ligada a la heterogeneidad de la cuenca, tanto a nivel de cuenca (uso de suelo) como a nivel de tramo (características hidromorfológicas). Los microplásticos fueron encontrados en todos los sitios muestreados y su distribución parece estar determinada por factores hidrográficos e hidromorfológicos.

Las mayores abundancias de microplásticos presentes en las dos cuencas correspondieron a tamaños entre 50-100 μm , esto podría deberse a que las partículas que logran penetrar en el sedimento son de tamaños pequeños debido a la estructura de este, con espacios intersticiales de este rango de tamaños.

Los tamaños encontrados pueden generar un potencial efecto nocivo en los organismos que habitan los ríos como filtradores no selectivos.

Se debe realizar más pruebas de la metodología tanto en el campo como en el laboratorio, para obtener mejores resultados en la cuantificación y explicación del origen de los microplásticos en los ríos de Cataluña.

6. Bibliografía

Anderson, P. J., Warrack, S., Langen, V., Challis, J. K., Hanson, M. L., & Rennie, M. D. (2017). Microplastic contamination in lake Winnipeg, Canada. *Environmental pollution* 225: 223-231.

Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plasticdebris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: BiologicalSciences* 364(1526): 1985-1998.

Canniff, P. M., & Hoang, T. C. (2018). Microplastic ingestion by *Daphnia magna* and its enhancement on algal growth. *Science of the Total Environment* 633: 500-507.

Cole, M. (2016). A novel method for preparing microplastic fibers. *Scientific reports* 6:34519.

Dehghani, S., Moore, F., & Akhbarizadeh, R. (2017). Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 24(25): 20360-20371.

Di, M., & Wang, J. (2018). Microplastics in surfacewaters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of the Total Environment* 616: 1620-1627.

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment?. *Marine pollution bulletin* 104(1-2): 290-293.

Eslozegi, A. & Sabater, S. (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Primera edición. Rubes Editorial. España.

Erni-Cassola, G., Gibson, M. I., Thompson, R. C., & Christie-Oleza, J. A. (2017). Lost, but found with Nile Red: a novel method for detecting and quantifying small microplastics (1 mm to 20 μ m) in environmental samples. *Environmental science & technology* 51(23):13641-13648.

Fischer, E. K., Paglialonga, L., Czech, E., & Tamminga, M. (2016). Microplastic pollution in lakes and lake shoreline sediments—a case study on Lake Bolsena and Lake Chiusi (central Italy). *Environmental pollution* 213: 648-657.

Fok, L., & Cheung, P. K. (2015). Hong Kong at the Pearl River Estuary: a hotspot of microplastic pollution. *Marine pollution bulletin* 99(1-2):112-118.

Hoellein, T. J., Shogren, A. J., Tank, J. L., Risteca, P., & Kelly, J. J. (2019). Microplastic deposition velocity in streams follows patterns for naturally occurring allochthonous particles. *Scientific reports* 9(1), 3740.

Horton, A. A., Svendsen, C., Williams, R. J., Spurgeon, D. J., & Lahive, E. (2017). Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK—Abundance, sources and methods for effective quantification. *Marine Pollution Bulletin* 114(1): 218-226.

Jemec, A., Horvat, P., Kunej, U., Bele, M., & Kržan, A. (2016). Uptake and effects of microplastic textile fibers on freshwater crustacean *Daphnia magna*. *Environmental pollution* 219: 201-209.

Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., & Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental pollution* 188: 177-181.

Leslie, H. A., Brandsma, S. H., Van Velzen, M. J. M., & Vethaak, A. D. (2017). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, waste water treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment international* 101: 133-142.

Li, J., Liu, H., & Chen, J. P. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water research* 137: 362-374.

Liedermann, M., Gmeiner, P., Pessenlehner, S., Haimann, M., Hohenblum, P., & Habersack, H. (2018). A methodology for measuring microplastic transport in large or medium rivers. *Water* 10(4): 414.

Maes, T., Jessop, R., Wellner, N., Haupt, K., & Mayes, A. G. (2017). A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red. *Scientific Reports* 7: 44501.

Mani, T., Hauk, A., Walter, U., & Burkhardt-Holm, P. (2015). Microplastics profile along the Rhine River. *Scientific reports* 5: 17988.

Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.

Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D., & Rogers, D. L. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution* 218: 1045-1054.

Merritt, R. W., Cummins, K. W. & Berg, M. B. (2008). An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall-Hunt. Dubuque, Iowa.

Munno, K., Helm, P. A., Jackson, D. A., Rochman, C., & Sims, A. (2018). Impacts of temperature and selected chemical digestion methods on microplastic particles. *Environmental toxicology and chemistry* 37(1): 91-98.

Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental science & technology*, 50(11): 5800-5808.

Rehse, S., Kloas, W., & Zarfl, C. (2016). Short-term exposure with high concentrations of pristine microplastic particles leads to immobilisation of *Daphnia magna*. *Chemosphere* 153: 91-99.

Rodrigues, M. O., Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. (2018). Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal). *Science of The Total Environment* 633: 1549-1559.

Shim, W. J., Hong, S. H., & Eo, S. E. (2017). Identification methods in microplastic analysis: a review. *Analytical methods* 9(9): 1384-1391.

7. Anexos:

Tabla 1: Algunos tipos de plásticos existentes y su abreviatura.

Tipos de plásticos	Abreviatura
Polipropileno	PP
Poliétileno	PE
Poliétileno de baja densidad	LPDE
Poliétileno de alta densidad	HDPE
Poliéster	PES
Poliestireno	PS
Poliamina	(Nylon 6)
Policarbonato	PC
Poliuretano	PUR
Poliétileno tereftalato	PET
Cloruro de polivinilo	PVC
Poliestireno expandido	EPS
Poliétileno-vinil acetato	PEVA

Tabla 2: Tipos de puebas realizadas para la optimización de la metodología para la extracción de microplásticos.

Puebas	Cantidad sedimento (g)				Digestión				Temperatura (°C)				Tiempo (hrs)		
	50	10	5	20mL H ₂ O ₂	20mL H ₂ O ₂ +2mL Fenton	40mL H ₂ O ₂ +4mL Fenton	80mL H ₂ O ₂ +8mL Fenton	Ambiente	Ambiente 60°C	+	60°C	24	48	72	
1	x			x				x				x			
2	x	x			X			x				x			
3		x	x			x		x				x			
4		x				x			x				x		
5			x			x			x				x		
6		x	x				x		x				x		
7			x				x			x				x	

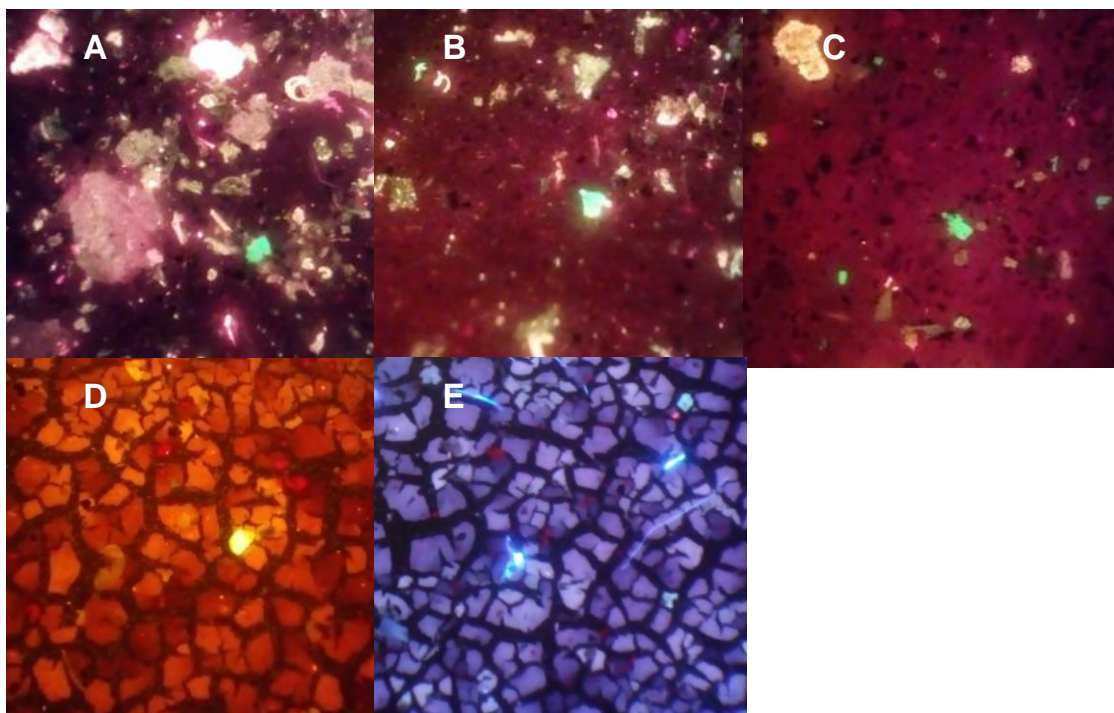


Figura 1: Fotografía de un campo de visión de muestras realizadas en optimización del método (4x). Muestra de 50 g (A), muestra de 10 g (B), muestra de 5 g (C) (Filtro azul) y muestra de 5 g (72 hrs digestión) (D en filtro azul y E en filtro UV). En verde brillante se observa una partícula de microplástico.

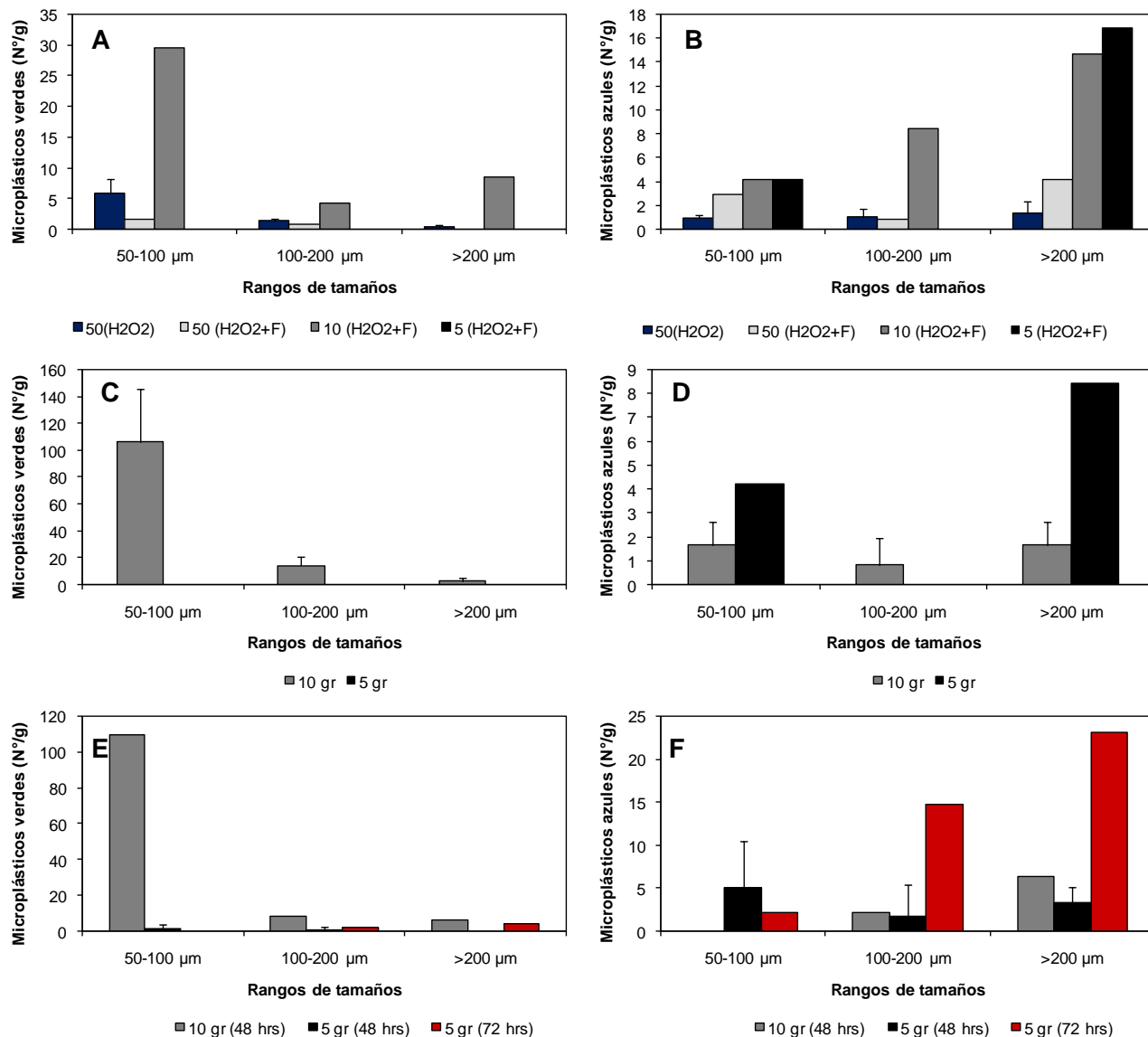


Figura 2: Cantidad de microplásticos promedio por gramo de sedimento en distintos rangos de tamaño y en distintas cantidades de sedimento (50, 10 y 5 g). Barras grises claras representan muestras de 50 g, azules 50 g (20 mL H₂O₂), grises oscuras 10 g, negras en 5 g y rojas 5 g (72 hrs) de sedimento. Plásticos verdes (A, C y E) y azules (B, D y F). Distintos tipos de digestión 20 mL H₂O₂+Fenton (A y B), 40 mL H₂O₂+Fenton (C y D) y 80 mL H₂O₂+Fenton (E y F).