

**Aporte de materia orgánica, invertebrados y
plásticos al ambiente marino-costero a través de dos arroyos de deshielo de la
Isla Rey Jorge (Antártida Marítima)**



Trabajo Final de Carrera
Licenciatura en Ciencia Biológicas
Profundización Ecología

Facultad de Ciencias, Universidad de la República

Bárbara De Feo

Tutor: Franco Teixeira de Mello
Co-tutora: Gissell Lacerot

2021

Índice

Agradecimientos.....	2
Resumen	3
1. Introducción	4
2. Objetivos	9
2.1. Objetivo general	9
2.2. Objetivos específicos	9
3. Hipótesis	9
4. Materiales y Métodos	10
4.1. Área de estudios	10
4.2. Trabajo de campo	12
4.3. Trabajo en Laboratorio	12
4.4. Análisis de datos	14
5. Resultados	16
5.1. Materia Orgánica	16
5.2. Invertebrados	17
5.3. Plásticos	23
6. Discusión	32
6.1. Materia Orgánica	32
6.2. Invertebrados	33
6.3. Plásticos	37
7. Conclusiones	41
8. Perspectivas	42
9. Bibliografía	43
10. Anexo	51

Agradecimientos

A Franco y a Gige por guiarme en este trabajo y estar siempre a disposición para ayudarme en todo momento.

A Enrique y Ernesto por aceptar ser parte del tribunal, por sus aportes y correcciones que enriquecieron este trabajo.

A mis padres y a mi familia por apoyarme en todo momento y a mis amigos, los de toda la vida, y los que fui haciendo en estos años de carrera que me acompañaron y alentaron a seguir en todo momento.

A todo el grupo de AntarPlast, por permitirme ser parte de este proyecto y por todas las oportunidades increíbles que me han puesto adelante. A Franco, Gige, Juanpi, Eve, Fio y Migue por los buenos momentos compartidos y al Instituto Antártico Uruguayo por permitir la realización de las campañas de verano desde hace años.

A todas las compañeras de laboratorio en el CURE y al Team Plásticos, Eve y Cami que siempre están dispuestas a dar una mano.

Resumen

Los arroyos son sistemas lóticos que además de transportar sedimentos, materia orgánica, nutrientes y organismos vivos, pueden transportar residuos de origen antrópico entre ellos los plásticos y microplásticos. Estos sistemas se encuentran ampliamente distribuidos en el continente antártico, tienen sus nacientes en lagos o glaciares y generan un importante aporte de materia orgánica particulada al ambiente marino-costero cuando el derretimiento de los glaciares es más intenso. Suelen presentar una biota limitada compuesta principalmente por algas e invertebrados planctónicos y bentónicos. Las actividades humanas en la Antártida han aumentado a lo largo de los años por establecimiento de bases científicas, pesquerías, turismo, entre otras, las cuales han llevado a producir gran cantidad de desechos y contaminar los ambientes acuáticos y terrestres con materiales y compuestos de distinta procedencia. Existe registro de la presencia de plásticos y microplásticos en agua, hielo y sedimento marino, así como también en zonas de ablación de glaciares, aguas continentales y zonas terrestres del continente antártico. El objetivo de este estudio fue evaluar el aporte de materia orgánica, invertebrados y plásticos hacia la zona marino-costera desde dos arroyos de deshielo con diferente origen y exposición a la actividad humana ubicados en la Península Fildes (Isla Rey Jorge, Antártida Marítima) durante los meses de verano austral. El arroyo AINA aledaño a la Base Científica Antártica Artigas y con nacimiento en un lago presentó mayor abundancia de invertebrados que el arroyo Drake con nacimiento en el Glaciar Collins. La concentración de materia orgánica aportada al sistema marino-costero fue mayor en el arroyo Drake. Si bien el arroyo Drake se considera con menor exposición a las actividades humanas, presentó mayor densidad de plásticos que el arroyo AINA, lo cual podría deberse a la acción del viento que es capaz de dispersar estos materiales en la isla. Este estudio brinda una exploración primaria sobre el aporte de sedimentos y materia orgánica que realizan arroyos de deshielo con distinto origen y presencia de actividad humana, al sistema marino-costero antártico. A su vez, amplía el conocimiento sobre la composición de invertebrados acuáticos en este tipo de arroyos y del transporte tanto de especies acuáticas como terrestres. Además, corresponde al primer estudio que evalúa la presencia de plásticos y microplásticos en arroyos de deshielo de la Isla Rey Jorge aportando a la comprensión sobre el transporte de plásticos en el área de estudio.

1. Introducción

Los arroyos son sistemas lóticos de tamaño medio (hasta orden seis) (Vannote et al., 1980), los cuales presentan una morfología lineal con una corriente de agua que fluye unidireccionalmente por un canal angosto y generalmente poco profundo que desemboca en un río, lago o en el mar. Esta corriente transporta y deposita sedimentos, así como también materia orgánica, nutrientes y organismos vivos. La integridad de estos sistemas es susceptible a la creciente contaminación derivada de las actividades antrópicas, las cuales generan modificaciones del hábitat, alteraciones en la química del agua y cambios en la biota (Malmqvist & Rundle, 2002).

El arrastre de materiales del fondo sumado a la erosión lateral en los arroyos provoca variaciones en la profundidad, generando una alternancia de zonas de baja profundidad con sustratos gruesos y de alta velocidad de flujo o flujo turbulento denominados correderas, y pozones, lo cuales son zonas de mayor profundidad y menor velocidad de corriente donde los sustratos finos suelen decantar sobre el sedimento. A su vez, el arrastre de la biota genera un efecto de deriva de diversos organismos, proceso que ocurre habitualmente en todos los ambientes de agua corriente (Lampert & Sommer, 2007). Usualmente, estos organismos son parte de las comunidades bentónicas de los arroyos. No se trata de un simple proceso aleatorio, más allá que el movimiento de organismos corriente abajo sea mayor en épocas de alta descarga, sino que representa para varias especies animales, principalmente insectos y crustáceos, parte de su ciclo de vida (Lampert & Sommer, 2007). Además, esta deriva puede ser intencional también para evitar por ejemplo condiciones desfavorables del ambiente como pulsos de contaminación o para evitar depredadores (Lampert & Sommer, 2007). Los procesos de deriva ocurren durante todo el día, pero los máximos en abundancia y biomasa suelen ocurrir en las horas de oscuridad (Haney, 1983; March et al., 2003).

En la Antártida existen múltiples arroyos de diferentes tamaños, los cuales están ampliamente distribuidos en el ambiente y son dependientes del clima y la topografía del lugar. Estos sistemas son corredores de flujo de agua rápidos y temporales, fluyendo por pocas semanas o meses cada año, generalmente entre noviembre y abril. Tienen sus nacientes en lagos o glaciares, y su caudal se alimenta de la nieve, lluvias y del derretimiento del hielo, alcanzando su nivel más alto a mediados de verano cuando el derretimiento es más intenso (Simonov, 1977). En este sentido, los arroyos antárticos cumplen un importante rol en la descarga del agua de deshielo y sedimentos hacia el mar, ya que concentran la descarga de hielo, las partículas en su interior y el sedimento subglacial que se encuentra por debajo, por lo que su comportamiento y estabilidad son esenciales para la dinámica de la

capa de hielo y el balance de masas (Bennett, 2003). Las aguas derivadas de glaciares son generalmente turbias, debido al material inorgánico que es arrastrado por la abrasión glaciaria, y de muy bajas temperaturas. Por otra parte, los arroyos también realizan un aporte de materia orgánica particulada (MOP) hacia la zona costera compuesta por fitoplancton, zooplancton y bacterias el cual puede hacerse más evidente en aguas superficiales de la zona costera en momentos donde el derretimiento de los glaciares es mayor (Toro et al., 2007; Venturini et al. 2020).

Debido a su característica de sistemas acuáticos temporales los arroyos antárticos poseen una biota limitada (Young, 1989), principalmente compuesta por algas e invertebrados planctónicos y bentónicos (Rautio et al., 2008). De forma similar a otras especies de invertebrados en las regiones polares frías algunos de estos organismos se encuentran cerca del extremo superior de su rango de tolerancia térmica, mientras que otras se han adaptado a la vida a bajas temperaturas, a una temporada de crecimiento corta, a largos períodos de cobertura de hielo y a un escaso suministro de alimentos (Rautio et al., 2008). Durante los períodos favorables para su desarrollo, la abundancia y biomasa de este tipo de fauna puede llegar a ser tan alta como en latitudes más bajas, especialmente en cuerpos de agua poco profundos donde las capas microbianas aumentan la complejidad del hábitat y la oferta de alimento (Rautio et al., 2008). Por ejemplo, en la desembocadura de lagos y arroyos en Groenlandia, con características similares al ambiente antártico, la riqueza de especies y abundancia de macroinvertebrados es mayor que en aquellos arroyos alimentados por el derretimiento de glaciares (Friberg et al., 2001).

La calidad ambiental de los ecosistemas de agua dulce en zonas frías se encuentra amenazada por presiones antropogénicas (Bard, 1999; Prowse et al., 2006; Heino et al. 2020) y el continente antártico no escapa a esta realidad. Las actividades humanas en la Antártida han aumentado a lo largo de los años ya sea por establecimiento de bases científicas, pesquerías, turismo, entre otras, las cuales han llevado a producir gran cantidad de desechos y a contaminar los ambientes acuáticos y terrestres con materiales y compuestos de distinta procedencia (Bueno et al., 2018; Gao et al., 2021; Kelly et al., 2020; Rodríguez et al., 2018; Tin et al., 2009; Tort et al., 2017). Un ejemplo son las aguas residuales provenientes de las distintas bases, las cuales pueden constituir una amenaza cuando no son bien gestionadas. Estas aguas aportan nutrientes (e.g. nitrógeno, fósforo), microorganismos, materia orgánica, detergentes, metales pesados, subproductos de desinfección e hidrocarburos (Bueno et al., 2018; Rodríguez et al., 2018; Romaniuk et al., 2018; Smith & Riddle, 2009; Tort et al., 2017). En este sentido, durante el otoño del año 2005, Gröndahl et al. (2009) llevaron a cabo una encuesta donde se consultó a los 28 países con presencia antártica acerca del sistema de

tratamiento de aguas residuales en sus bases. De 71 bases científicas, el 52% carecía de sistemas de tratamiento de aguas residuales, siendo un 37% correspondiente a bases con ocupación permanente y un 69% a bases con actividad durante el verano.

La materia orgánica es el contaminante más frecuentemente detectado y con mayor concentración en los tanques sépticos de las bases científicas. Se ha observado que pueden ocurrir desbordamientos de los tanques que provocan un aumento en la concentración de materia orgánica en muestras de suelo en las inmediaciones de los mismos (Tort et al., 2017). Otros contaminantes como los metales pesados provienen de fuentes naturales y su variación en los sedimentos de agua dulce y marina se ha relacionado con las diferencias en la composición mineral del suelo y las rocas (Bueno et al., 2018). Sin embargo, se ha observado que la variación en las concentraciones de ciertos metales pesados (e.g. Cr, Pb y Zn), generalmente en zonas ubicadas junto a los tanques sépticos y de combustibles, podrían ser producto de contaminación antropogénica y alcanzar los cursos de agua contiguos a estos (Bueno et al., 2018). Por otra parte, los hidrocarburos derivan tanto de fuentes naturales como antropogénicas. Estas últimas están asociadas con la quema de combustibles fósiles, los derrames accidentales de petróleo y la descarga de aguas residuales pudiendo alcanzar niveles de contaminación altos y predominar sobre las fuentes naturales (Rodríguez et al., 2018).

Los cursos de agua también pueden verse contaminados por materiales sintéticos como los residuos plásticos. El plástico es un material de bajo costo, duradero y versátil, y se ha convertido en una parte indispensable de nuestra vida moderna (Andrady & Neal, 2009). La producción anual mundial de plásticos ha aumentado de 1,7 a 288 millones de toneladas al año desde 1950 al 2012 y a 368 millones de toneladas en 2019 (PlasticsEurope, 2013; PlasticsEurope, 2020). El alto nivel de producción, el reciclaje inadecuado, la deficiente gestión de los residuos y acciones individuales irresponsables han dado lugar a la acumulación de basura plástica en hábitats de todo el mundo (Barnes et al., 2009; Moore et al., 2011; Gregory, 2009; Lozoya et al., 2015). Además, dada la alta estabilidad y durabilidad del plástico, el tiempo de degradación de este material suele ser alto (Barnes et al., 2009). Los residuos plásticos pueden clasificarse como microplásticos (MP), cuando su tamaño no excede los 5 mm. Estos, a su vez, se pueden clasificar en primarios, los que incluyen pellets y microperlas de preproducción, y secundarios cuando son el resultado de la degradación fotoquímica y mecánica de desechos plásticos más grandes en el ambiente (Cole et al., 2011; GESAMP, 2015). Los MP se encuentran distribuidos en todo el ambiente marino y representan una potencial amenaza para la biota (Cole et al., 2011) y si bien, no todo el plástico proviene de fuentes terrestres, ríos y arroyos transportan desde el continente grandes

cantidades de desechos plásticos a los mares costeros y océanos (Moore et al., 2011; Lebreton et al., 2017). Se estima que entre 1,15 y 2,41 millones de toneladas de plástico ingresan a los océanos mediante el sistema fluvial mundial cada año, encontrándose en Asia los principales ríos contaminantes representando el 86% del aporte anual mundial (Lebreton et al., 2017).

Varios estudios han reportado la contaminación por plásticos en el continente antártico (Anfuso et al., 2020; Cincinelli et al., 2017; González-Pleiter et al. 2020). Anfuso et al. (2020) realizaron un relevamiento de los residuos plásticos en 17 playas de la Bahía Almirantazgo (Isla Rey Jorge) en las cuales encontraron una gran variedad de residuos, como grandes fragmentos de plásticos y caucho, espumas de distinto tipo, entre otros, y muchos de estos parecían estar relacionados a las actividades humanas que se llevan a cabo en las bases científicas. Además, existe evidencia que residuos plásticos descartados a miles de kilómetros de distancia son transportados por las corrientes marinas alcanzando las costas del continente y provocando daños o la muerte de invertebrados, peces, aves y mamíferos marinos (Gregory, 2009). Varios estudios confirman la presencia de fibras, films y fragmentos de varios colores en muestras de sedimento marino en las Islas Shetland del Sur (revisado en Waller et al. 2017) y en Bahía Terra Nova sobre el Mar de Ross (Munari et al., 2017). En muestras de agua sub-superficial cerca de la costa y mar adentro en el Mar de Ross, se registraron densidades de MP que varían de 0,0032 a 1,18 ítems m^{-3} , con un valor medio de $0,17 \pm 0,34$ ítems m^{-3} (Cincinelli et al., 2017). Del mismo modo, en agua sub-superficial de la Bahía Maxwell se detectaron densidades de MP que van desde los $6,8 \pm 10,7$ ítems m^{-3} en 2016 hasta los $7,8 \pm 0,0$ ítems m^{-3} en 2017 y $0,5 \pm 0,2$ ítems m^{-3} en el 2018 (Krojmal, 2021). Incluso se registró la presencia de MP en el hielo marino antártico hallando concentraciones significativamente altas en comparación con aquellas encontradas en las aguas superficiales de la Antártida (promedio $3,1 \times 10^{-5}$ ítems L^{-1}) y aquellas tomadas cerca de la costa continental, pero mucho menores a las registradas en el hielo marino del Ártico (Kelly et al., 2020). A su vez, recientemente se evidenció la presencia de plástico en dos superficies de hielo pertenecientes a la zona de ablación del glaciar Collins en la Península Fildes (Isla Rey Jorge), mostrando concentraciones en un rango de 0,17 - 0,33 ítems m^{-2} (González-Pleiter et al. 2021) y se realizó la primera detección de MP en agua dulce, precisamente en un arroyo estacional localizado en la Península Byers (Isla Livingston), compuesta por fibras y films (González-Pleiter et al. 2020).

En este trabajo se pretende analizar la función de transporte que realizan dos arroyos de deshielo con diferentes características ambientales, uno con nacimiento en un lago y que circula por las inmediaciones de la Base Científica Antártica Artigas (Bahía Maxwell) y otro originado por el derretimiento de un glaciar alejado de la actividad humana en el Pasaje de Drake, ambos ubicados en la Península Fildes (Isla Rey Jorge, Antártida Marítima). Se pretende realizar un relevamiento de la fauna que se encuentra en los mismos, determinar el aporte de materia orgánica al sistema marino-costero y evaluar la presencia y transporte de plásticos en ambos arroyos.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el aporte de materia orgánica, invertebrados y plásticos hacia la zona marino-costera desde dos arroyos de deshielo con diferente origen y exposición a la actividad humana durante los meses de verano austral.

2.2. Objetivos específicos

1. Determinar el aporte de materia orgánica desde los dos arroyos hacia el sistema marino-costero entre los meses de enero, febrero y abril y en dos años consecutivos.
2. Determinar la composición y variabilidad de especies de invertebrados de los dos arroyos entre los meses de enero, febrero y abril y en dos años consecutivos, considerando su abundancia, tamaño y riqueza de especies.
3. Determinar el aporte de plásticos en ambos arroyos entre los meses de enero, febrero y abril y en dos años consecutivos.

3. Hipótesis

El arroyo proveniente de un lago y cuyo curso de agua fluye por zonas de alta actividad humana, se caracteriza por presentar mayor abundancia y riqueza de invertebrados, y mayor aporte de materia orgánica y plásticos por volumen, que el arroyo con nacimiento en un glaciar y alejado de zonas antropizadas.

4. Materiales y Métodos

4.1. Área de estudio

La Isla Rey Jorge se encuentra ubicada en el archipiélago Shetland del Sur ($62^{\circ} 11' 04''$ S, $58^{\circ} 51' 07''$ O). Tiene una extensión aproximada de 80 km y un ancho de 30 km, siendo la isla más grande del archipiélago. Limita al norte con el Pasaje de Drake, al sur con el estrecho de Bransfield y al oeste con el mar de Bellingshausen. El glaciar Collins, con 1313 km² de extensión, ocupa casi la totalidad de la isla, a excepción del extremo suroeste, donde se ubica la Península Fildes, categorizada como Área Antártica Especialmente Protegida (ASPA). En dicha península, en la Bahía Maxwell, se encuentra ubicada la Base Científica Antártica Artigas (BCAA), siendo la más cercana al glaciar Collins y con varios sistemas acuáticos en sus alrededores como lagos, arroyos de deshielo y la zona marino-costera de la Bahía Maxwell (Fig. 1).

Arroyos de diferente origen desembocan tanto en la Bahía Maxwell como en el Pasaje de Drake (ubicado en el extremo opuesto), los cuales varían en sus características, intermitencia y posible impacto antropogénico. El arroyo denominado AINA se forma por el desagüe del lago Ionosférico, lago que se alimenta por el derretimiento del glaciar Collins, transcurre por detrás del edificio de la BCAA que lleva el mismo nombre (Área de Interpretación de la Naturaleza Antártica) y desemboca en la Bahía Maxwell (Fig. 1, B), por lo cual se considera como el más expuesto a la actividad humana. El arroyo Drake, alimentado directamente por el deshielo del glaciar Collins, desemboca en la mitad de la playa del Pasaje de Drake (Fig. 1, A) y se considera como menos sujeto a impacto antropogénico ya que no hay bases en su trayecto.

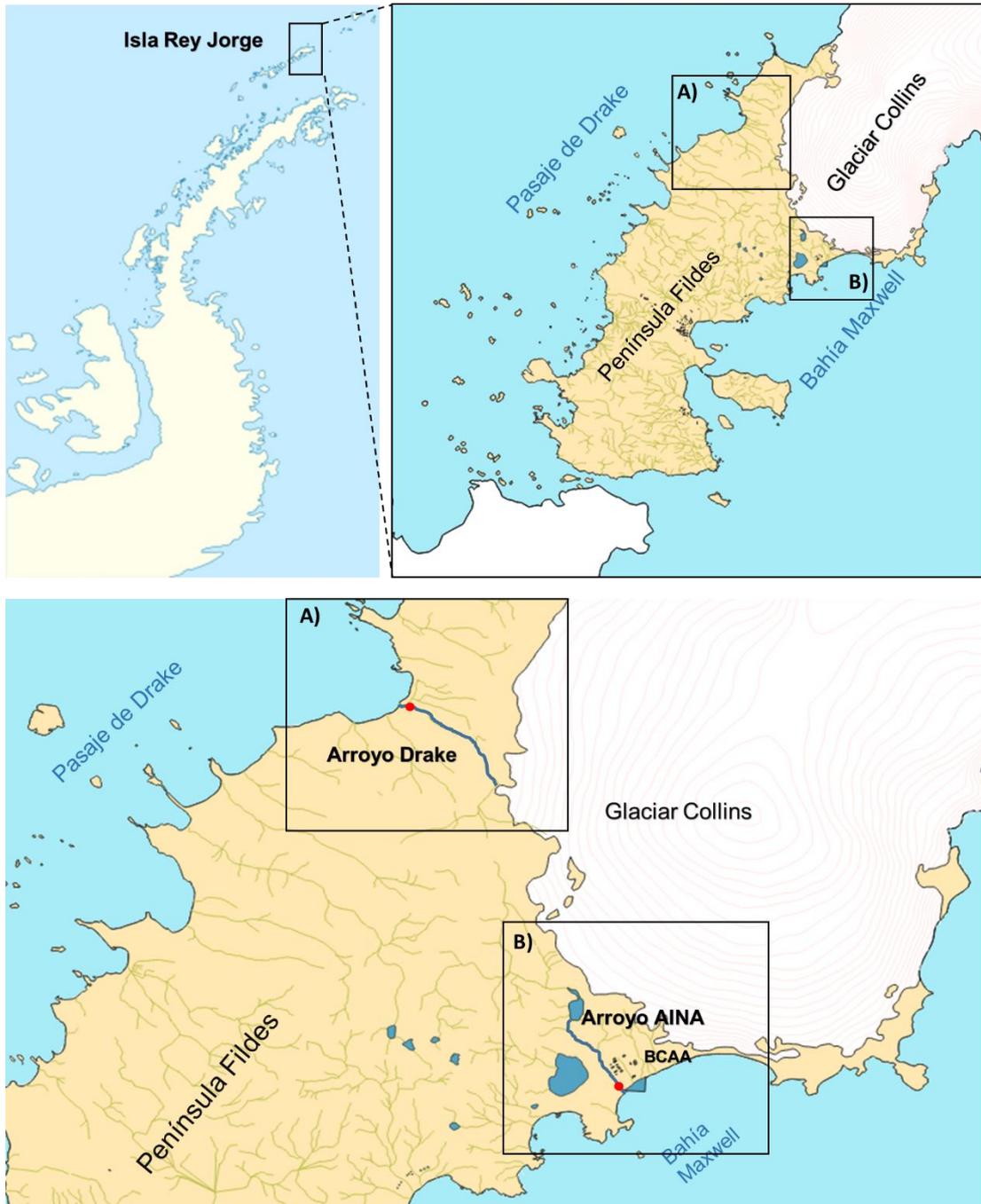


Figura 1. Panel arriba, izquierda y derecha: ubicación del área de estudio en la Península Fildes, Isla Rey Jorge ($62^{\circ}11'04''S$, $58^{\circ}51'07''O$), Antártida. Panel abajo: A) Ubicación del arroyo Drake que desemboca en el Pasaje de Drake y B) Ubicación del Arroyo AINA que desemboca en la Bahía Maxwell, frente a la BCAA. Los puntos rojos indican la zona de muestreo.

4.2. Trabajo de campo

Las muestras de agua se tomaron en un único día en los meses de enero y abril de 2018 en el arroyo AINA y en enero, febrero y abril de 2019 tanto en los arroyos AINA y Drake. Se utilizó una red tipo Surber con malla de 300 μm y un área de boca de 0,125 m² (largo: 0,50 m, ancho: 0,25 m). Esta fue colocada contracorriente próximo a la desembocadura de cada arroyo al mediodía durante una hora y no se realizaron réplicas (Fig. 2).

El volumen de agua filtrado fue estimado con un flujómetro colocado en el centro de la boca de la red. En los casos en que la profundidad del arroyo era menor al tamaño de la boca de la red y no la cubría en su totalidad, se ajustó la posición del flujómetro, y se midió el nivel de agua en la boca para el posterior cálculo de volumen filtrado. Las muestras obtenidas fueron fijadas con formol al 4% ya que evita los procesos de descomposición del material orgánico, para su posterior análisis en el Centro Universitario Regional del Este (CURE), Maldonado.



Figura 2. Muestreo del arroyo AINA (A) y arroyo Drake (B) con red tipo Surber.

4.3. Trabajo en laboratorio

El contenido de materia orgánica se estimó mediante el método de pérdida de peso por ignición (descrita en Arocena, 2016). Para ello, se tomó un peso conocido de la muestra (peso fresco), el cual se dejó secar en estufa a 80°C por 72 hs. Transcurrido ese tiempo, la muestra se dejó enfriar en un desecador con silicagel hasta alcanzar temperatura ambiente y posteriormente se pesó (peso seco) en una balanza analítica ($\pm 0,0001$). Luego la muestra seca se quemó en una mufla a 500°C por dos horas. Posteriormente se dejó enfriar en un desecador, y se volvió a pesar (peso ceniza). Por diferencia de peso, entre el peso seco (peso de la materia orgánica e inorgánica seca) y el peso ceniza (peso del material inorgánico), se

calculó el peso libre de ceniza, obteniendo así la cantidad de materia orgánica (g). Además, se calculó la concentración (g m^{-3}) y el porcentaje relativo de materia orgánica e inorgánica en cada muestra.

Las muestras se filtraron por una malla de 100 μm y lo retenido se depositó en una caja de Petri de vidrio para luego realizar observación directa con lupa binocular Olympus SZX7, 56X. Aquellas muestras en las cuales la cantidad de materia orgánica principalmente de origen algal y la cantidad de sedimento arrastrado por el arroyo y recolectado por la red fue alto, fueron subdivididas con un submuestreador y luego se procedió a su filtración y posterior observación. Las muestras de AINA 2018, enero AINA 2019 y enero y febrero Drake 2019 se observaron en su totalidad, la muestra de febrero de AINA 2019 se subdividió a la mitad y las muestras de abril de AINA 2019 y Drake 2019 se subdividieron a un cuarto de la muestra.

Los invertebrados fueron separados de la muestra, cuantificados, medidos con una reglilla milimetrada e identificados siempre que fuese posible hasta nivel de especie (Enríquez Miranda, 2017; Jurasz et al. 1983; Menu Marque, 2003; Trillo et al., 2013; Volonterio et al., 2013; Wirth & Gressitt, 1967) y de ser posible clasificados según sus estados de desarrollo.

Los plásticos encontrados se midieron con una reglilla milimetrada y se clasificaron según tipo, tamaño y color. Dado que el tamaño de poro de la red utilizada fue de 300 μm , no se tomaron en cuenta plásticos menores a ese tamaño. Los plásticos cuyo tamaño fue menor a 5 mm fueron considerados como microplásticos (MP), los mayores a 5 mm y menores a 25 mm fueron clasificados como mesoplásticos (ME) mientras que los mayores a 25 mm fueron considerados como macroplásticos (MA) (Cheshire et al., 2009). La clasificación según el tipo de plástico se basó en la realizada por Viršek et al. (2016) la cual clasifica a los MP en fibras, fragmentos, pellets, gránulos, films y espumas (Anexo Fig. I). Esta clasificación morfológica originalmente basada en MP, también se aplicó para los ME y MA encontrados. Además, dada la diversidad de plásticos encontrados, se incluyeron dos categorías más, siendo estas pinturas (i.e. láminas de pintura que se desprenden de múltiples infraestructuras) y conjuntos de fibras. Estos últimos fueron así definidos por tratarse de varias fibras agrupadas que no pudieron ser separadas por unidad. Los distintos tipos fueron cuantificados dependiendo del color que presentaban en azul, negro, rojo, gris, celeste, transparente, entre otros.

Durante la observación se utilizó una caja de Petri de vidrio con agua mili-Q cerca de la lupa la cual se utilizó como control de contaminación de laboratorio. Este control, se mantuvo abierto o cerrado al mismo tiempo que se abría o cerraba la caja de Petri de vidrio con la muestra. Al finalizar el análisis de cada muestra, se observó el control bajo la lupa. Los plásticos que coincidían en tipo, tamaño y color con los encontrados en dicho control, fueron

descontados del total. Para verificar su naturaleza sintética, los ítems encontrados se observaron con microscopio Nikon Eclipse 50i (type 104) equipado con un filtro de luz polarizada (Abbasi et al., 2018; Sierra et al., 2019; von Moos et al., 2012). Esta técnica consiste en colocar un objeto entre polarizadores cruzados mientras se deja pasar la luz polarizada. Los materiales birrefringentes anisotrópicos (e.g. plásticos) aparecen brillantes mientras que los materiales isotrópicos aparecen oscuros (Sierra et al., 2019) (Anexo Fig. II). Además, cuando resultaba difícil distinguir si se trataba de un material plástico, se realizó una prueba con aguja caliente, la cual consta en apoyar sobre el ítem en cuestión una aguja calentada a fuego y posterior observación a como este reacciona (De Witte et al., 2014) (Anexo Fig. III). Todos los instrumentos, previamente a su uso, fueron lavados con agua mili-Q para evitar contaminación.

4.4. Análisis de datos

Los invertebrados se clasificaron en acuáticos y terrestres, se determinó la riqueza de especies en cada muestra y se calculó la abundancia (ind m^{-3}) y el tamaño medio de los individuos por grupo y estado de desarrollo (i.e. larva, pupa, adulto). Se realizó un análisis de clusters según la presencia y ausencia de las especies en los distintos estados de desarrollo (grupos pareados, índice de similitud: Jaccard) (Hammer et al., 2001) y otro según la abundancia relativa de las especies acuáticas en los distintos estados de desarrollo (grupos pareados, índice de similitud: Bray-Curtis) (Hammer et al., 2001) en cada muestra.

En cuanto a los plásticos, se calculó el porcentaje sobre el número total de ítems y la densidad de microplásticos (MP), mesoplásticos (ME) y macroplásticos (MA) de acuerdo a su tamaño y al tipo de plástico (ítems m^{-3}). También, se calculó el tamaño medio de los ítems encontrados por tipo y el porcentaje de colores encontrados de fibras, fragmentos y pinturas. Por último, se realizó una regresión lineal entre la densidad de plásticos (ítems m^{-3}) y la cantidad de sedimento (g m^{-3}) recolectado en cada muestra para evaluar si existe una relación significativa entre el arrastre de sedimentos y la presencia de plásticos debido a que estos pueden estar retenidos en el sedimento.

Se realizaron comparaciones estadísticas sobre la concentración de materia orgánica, la abundancia total de invertebrados acuáticos y terrestres y la densidad total de plásticos y MP entre las muestras tomadas en el arroyo AINA y en el arroyo Drake en enero, febrero y abril de 2019. Para los conjuntos de datos que presentaban normalidad se aplicó el test de t el cual se trata de un test paramétrico que evalúa igualdad de varianzas y medias de dos muestras. Para los conjuntos de muestras que no presentaban normalidad, se aplicó el test de Mood Median, test no paramétrico que compara la mediana de dos muestras y es

recomendado por su robustez para evaluar datos no paramétricos con ausencia de homogeneidad de varianza (Hammer et al., 2001).

Para los diferentes análisis estadísticos (clusters y comparaciones estadísticas) se utilizó el software PAST (Hammer et al., 2001).

5. Resultados

5.1. Materia Orgánica

El mayor porcentaje de materia orgánica se registró en las muestras de AINA en el 2019 principalmente en enero y febrero, donde un 58% del aporte al sistema marino-costero fue de materia orgánica (Fig. 3; Tabla 1). Sin embargo, la concentración de materia orgánica aportada al sistema marino-costero, fue más alta en las muestras de Drake en 2019 con 5,96 g m⁻³ en febrero y 6,84 g m⁻³ en abril, mientras que en AINA el rango osciló entre 0,01 y 0,47 g m⁻³ (Tabla 1). La concentración de materia orgánica no fue significativamente diferente en las muestras de AINA y Drake en el 2019 (Test Mood, $Ch^2= 0,667$; $p= 0,414$) (Tabla 1).

Por otra parte, la concentración de materia inorgánica generalmente fue mayor a la de materia orgánica en todas las muestras y los valores más altos se registraron en Drake, principalmente en febrero y abril alcanzando los 188,33 y 106,30 g m⁻³ respectivamente (Tabla 1).

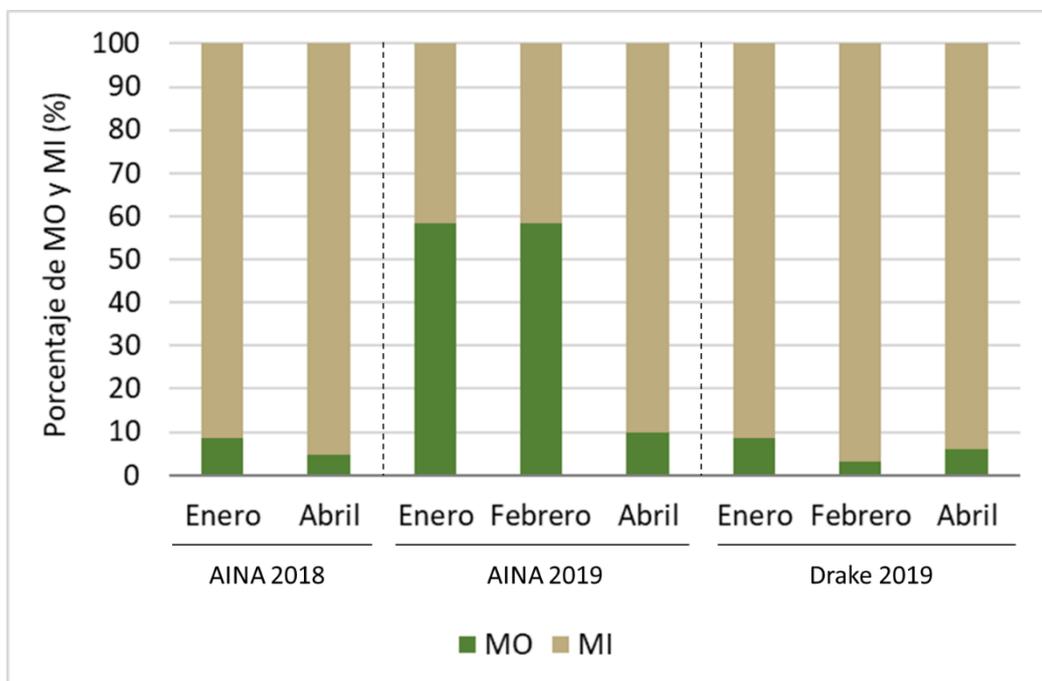


Figura 3. Porcentaje de materia orgánica (MO) e inorgánica (MI) en las distintas muestras de los dos arroyos.

Tabla 1. Concentración y porcentaje de materia orgánica (MO) e inorgánica (MI) presente en las distintas muestras de los dos arroyos.

Arroyo	Muestreo	MO (g m ⁻³)	MO (%)	MI (g m ⁻³)	MI (%)
AINA 2018	Enero	0,01	8,63	0,14	91,37
	Abril	0,02	4,81	0,40	95,19
AINA 2019	Enero	0,47	58,31	0,33	41,69
	Febrero	0,04	58,37	0,03	41,63
	Abril	0,03	9,75	0,30	90,25
Drake 2019	Enero	0,02	8,71	0,24	91,29
	Febrero	5,96	3,07	188,33	96,93
	Abril	6,84	6,05	106,30	93,95

5.2. Invertebrados

Dentro del grupo de los invertebrados acuáticos, se detectó la presencia de larvas y pupas del díptero nativo *Parochlus steinenii* (Diptera, Chironomidae) cuyas abundancias fueron máximas en AINA 2019 y notoriamente más altas que en Drake. Además, se encontró el copépodo *Boeckella poppei* presente en casi todas las muestras de AINA y en una sola muestra de Drake (enero) con un solo individuo y el anostráceo *Branchinecta gaini* presente únicamente en muestras de AINA. También se observó una especie de anfípodo de origen marino únicamente presente en Drake (abril) (Fig. 4).

En el grupo de los invertebrados terrestres se detectó la presencia de adultos de *P. steinenii* con mayores abundancias en el arroyo AINA y muy bajas o nulas en Drake y un único ejemplar adulto del díptero no nativo *Trichocera maculipennis* (Diptera, Trichoceridae) en AINA en enero 2018. A su vez, se encontraron tres especies de colémbolos, *Cryptopygus antarcticus*, presente en casi todas las muestras y con mayor abundancia en Drake, *Folsomotoma octooculata*, presente tanto en AINA como en Drake encontrándose su mayor abundancia en abril de 2019 en AINA y *Gomphiocephalus hodgsoni* únicamente presente en Drake (enero). También se encontraron nematodos presentes en ambos arroyos, pero con mayor abundancia en Drake (Fig. 4).



Barra negra representa 1 mm.

Figura 4. Invertebrados acuáticos (A, B, G, H, I) y terrestres (C, D, E, F) encontrados en las distintas muestras de los dos arroyos. Díptero nativo *Parochlus steinenii* (A: larva, B: pupa y C: adulto), díptero invasor *Trichocera maculipennis* (D), especie de nematoda (E), colémbolos (F), *Gomphiocephalus hodgsoni* (a), *Folsomotoma octooculata* (b) y *Cryptopygus antarcticus* (c), copépodo *Boeckella poppei* (G), especie de anfípoda (H) y anostráceo *Branchinecta gaini* (I), larva (a) y adulto (b).

La abundancia de invertebrados en el arroyo AINA fue mayor en el mes de abril de 2019 con 173 ind m^{-3} , seguido por febrero y enero de 2019 con 143 y 118 ind m^{-3} respectivamente. En contraposición, la densidad más baja se registró en abril de 2018 con 9 ind m^{-3} , seguida por la encontrada en enero de 2018 con 37 ind m^{-3} (Fig. 5; Tabla 2).

En el arroyo Drake (2019), la mayor densidad se obtuvo en enero con 134 ind m^{-3} , mientras que en febrero y abril las densidades fueron notoriamente menores, con 2 y 3 ind m^{-3} respectivamente, siendo menores a las registradas en AINA en la misma fecha (Fig. 5; Tabla 2).

En promedio, la densidad de invertebrados en el arroyo AINA en el 2018 fue de $23 \pm 20 \text{ ind m}^{-3}$ mientras que en 2019 el promedio fue de $145 \pm 28 \text{ ind m}^{-3}$. En Drake, el promedio en 2019 fue de $47 \pm 76 \text{ ind m}^{-3}$.

Las especies acuáticas fueron las más abundantes en AINA, y las terrestres en Drake. La densidad de invertebrados acuáticos entre las muestras de AINA 2019 y Drake 2019 presentaron diferencias significativas (Test de t, $t= 13,326$; $p= 0,0002$), mientras que las diferencias en las abundancias de los terrestres no fueron significativas (Test Mood, $Ch^2= 0,667$; $p= 0,414$) (Fig. 5; Tabla 2).

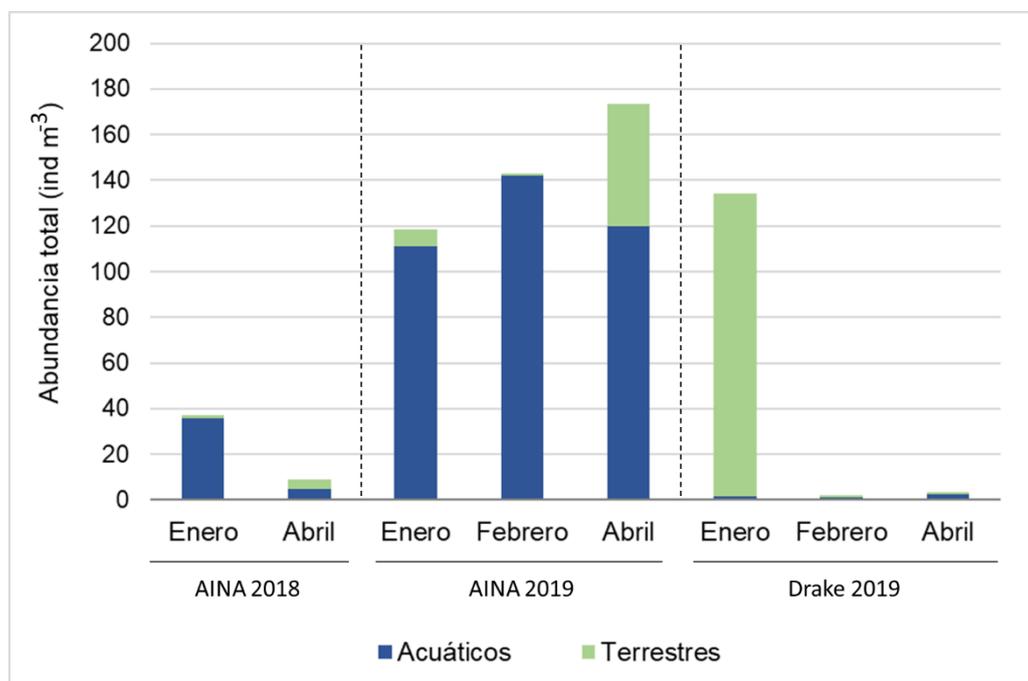


Figura 5. Abundancia de invertebrados acuáticos (azul) y terrestres (verdes) encontrados en las distintas muestras de los dos arroyos.

Tabla 2. Abundancia total (ind m⁻³) y número total de especies de invertebrados en los dos arroyos.

Arroyo	Muestreo	<i>P. steinenii</i> : Larva	<i>P. steinenii</i> : Pupa	<i>P. steinenii</i> : Adulto	<i>T. maculipennis</i> : Adulto	<i>C. antarcticus</i>	<i>F. octooculata</i>	<i>G. hodgsoni</i>	<i>B. poppei</i>	<i>B. gaini</i> : Larva	<i>B. gaini</i> : Adulto	Nematodo	Anfipodo	Abundancia Total	Nº total de especies
AINA 2018	Enero	1	1	0,4	0,01	0,2	0,1	-	33	0,3	1	0,3	-	37	7
	Abril	4	0,3	1	-	0,04	3	-	-	-	-	0,3	-	9	4
AINA 2019	Enero	110	1	5	-	2	-	-	0,4	-	-	0,4	-	118	4
	Febrero	137	-	1	-	1	-	-	5	-	0,1	-	-	143	4
	Abril	46	73	43	-	0,4	10	-	0,1	-	0,1	1	-	174	6
Drake 2019	Enero	0,4	1	0,1	-	128	4	0,2	0,1	-	-	-	-	134	5
	Febrero	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2	2
	Abril	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	3	3

Al tratarse de individuos, se realizó un redondeo hasta la unidad. En aquellas especies donde la abundancia no alcanzó la unidad, se anotó su valor con una cifra significativa. En azul, especies acuáticas y en verde, especies terrestres.

Según el análisis de clusters en base a la presencia y ausencia de las distintas especies encontradas se pudo establecer que existe una similitud por un lado entre las muestras tomadas en AINA 2018 y 2019 y por el otro las tomadas en Drake en 2019. La presencia principalmente de *B. poppei* y *B. gaini* fueron determinantes para el agrupamiento de las muestras de AINA, además de que en todas ellas se encuentran individuos de *P. steinenii* y *C. antarcticus*. Particularmente, la muestra de Drake tomada en enero de 2019 se asemeja a las del arroyo AINA, por la presencia de pupas y adultos de *P. steinenii* y dos especies de colémbolos (*C. antarcticus* y *F. octooculata*) también encontradas en AINA. Las muestras de febrero y abril en Drake se asemejan entre sí por la presencia de larvas de *P. steinenii* y por la ausencia de especies encontradas en el resto de las muestras (Fig. 6, A; Anexo Tabla I).

En cuanto a las abundancias relativas de invertebrados acuáticos también se puede observar el mismo patrón de similitud entre los arroyos. Existe una alta similitud entre los meses de enero y febrero en el arroyo AINA en 2019 por la semejanza en la abundancia relativa de larvas de *P. steinenii*. La muestra de abril del mismo año se asemeja con las anteriores por las abundancias similares de *B. poppei* y los adultos de *B. gaini*. Las muestras de AINA 2018 se encuentran alejadas entre sí, con la de abril guardando similitud con las de Drake 2019, debido a la semejanza en la abundancia de larvas de *P. steinenii* (Fig. 6, B; Anexo Tabla II).

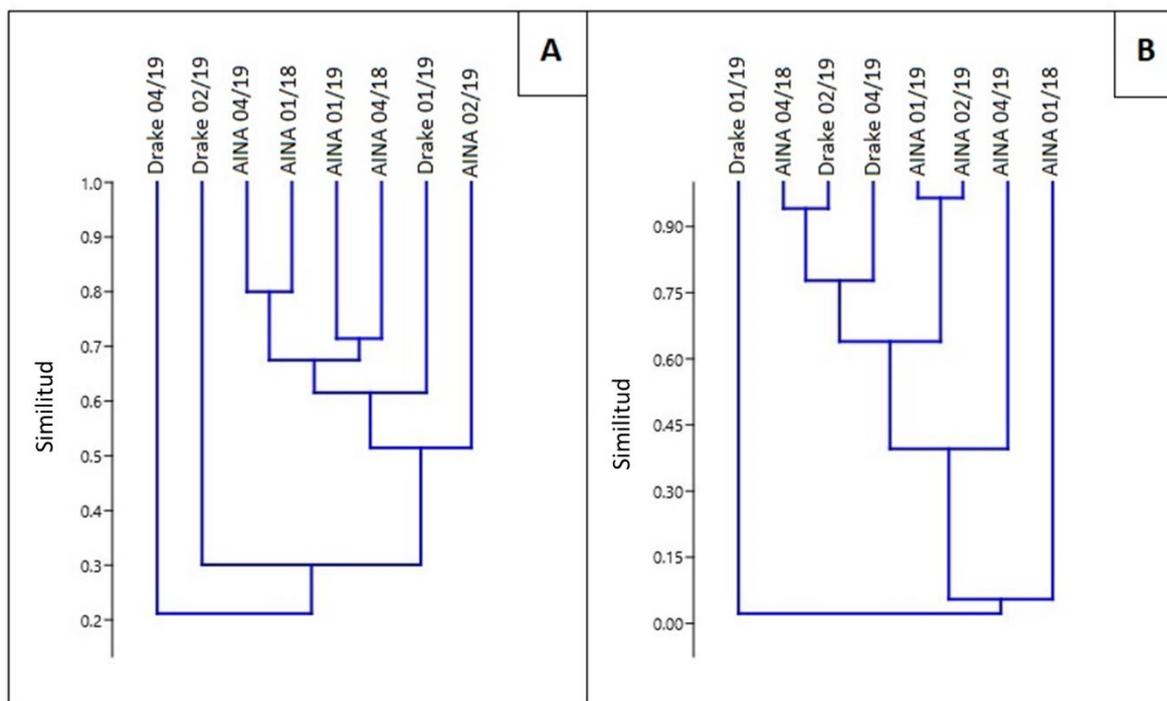
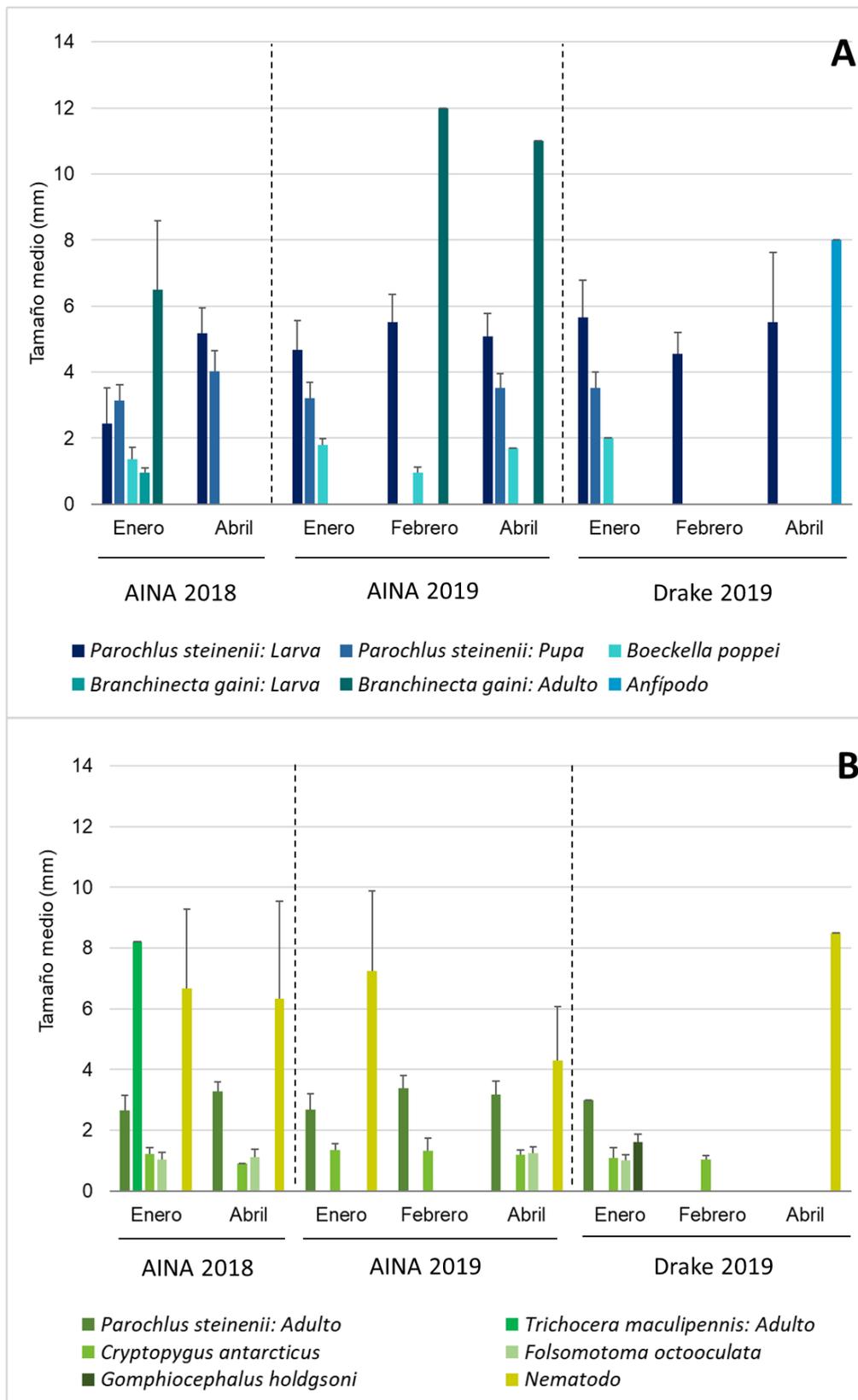


Figura 6. Análisis de clusters. En A, en base a la presencia y ausencia de especies de invertebrados y en B, en base a la abundancia relativa presente en las distintas muestras de los dos arroyos.

En cuanto al tamaño medio de los invertebrados, dentro del grupo de los acuáticos, las larvas de *P. steinenii* presentaron su mayor tamaño en Drake (enero) seguidas por las de AINA 2019 (febrero), mientras que las pupas de esta especie obtuvieron su mayor tamaño en AINA 2018 (abril). El mayor tamaño medio de *B. poppei* se obtuvo en AINA 2019 (enero) aunque el único registro en Drake alcanzó un mayor tamaño que el promediado en AINA (Fig. 7; Anexo Tabla III).

Dentro del grupo de los terrestres, el único ejemplar adulto de *T. maculipennis* encontrado fue de mayor tamaño que los adultos de la especie *P. steinenii*. Estos últimos alcanzaron su mayor tamaño en AINA 2019 (febrero). Los colémbolos *C. antarcticus* y *F. octooculata* obtuvieron su mayor tamaño en AINA 2019, en enero y abril respectivamente y el único individuo de *G. hodgsoni* encontrado en Drake (enero) presentó mayor tamaño en comparación con las otras especies encontradas. Los individuos de Nematoda presentaron su máximo tamaño medio en AINA 2019 (enero) aunque el único individuo presente en Drake (abril) alcanzó un mayor tamaño que el promediado en AINA (Fig. 7; Anexo Tabla III).



P. steinenii, díptero nativo, *T. maculipenni*, díptero invasor, *B. poppei*, copépodo, *B. gaini*, anostráceo, *C. antarcticus*, *F. octooculata* y *G. hodgsoni*, colémbolos.

Figura 7. Tamaño medio de invertebrados acuáticos (A) y terrestres (B) encontrados en las distintas muestras de los dos arroyos.

5.3. Plásticos

En todas las muestras, el porcentaje de MP fue notoriamente mayor al de ME y MA. En AINA 2018, en el mes de abril, se obtuvo el mayor porcentaje de ME (24%) y MA (1,3%). En AINA 2019 nuevamente en abril, se encontraron los tres tipos de plásticos (MP 88,1%, ME 11,3%, MA 0,5%). En Drake 2019, el mayor porcentaje de MP se encontró en la muestra de febrero (89,7%), mientras que el mayor porcentaje de ME se obtuvo en enero (21,9%) y en ninguna de las tres muestras se observaron MA (Anexo Tabla IV).

Los MP estuvieron compuestos por fibras y fragmentos siendo las primeras las más abundantes, exceptuando la muestra del arroyo Drake en febrero de 2019 donde predominaron los fragmentos (48,5%). Los conjuntos de fibras alcanzaron un 1,1% en abril en el arroyo Drake mientras que las pinturas que aparecieron en casi todas las muestras de AINA, alcanzaron su mayor porcentaje (32%) en abril de 2019. Las espumas estuvieron mayormente representadas en enero de 2018 en AINA y en enero de 2019 en Drake con 5,8% y 4,1% respectivamente (Fig. 8; Anexo Tabla V).

En relación a los ME, las fibras estuvieron presentes en todas las muestras, alcanzando un 24% del número total de ítems en abril de 2018 en AINA. El mayor porcentaje de fragmentos se encontró en abril de 2019 en Drake (4,6%), mientras que el de conjunto de fibras en enero 2018 en AINA (1,9%). Un único fragmento de pintura se encontró en abril 2019 en AINA correspondiendo al 0,5% y un único film en enero 2019 en Drake que correspondió a un 1,4% sobre el total de ítems. Las espumas correspondieron al 3,8% en AINA enero 2018 (Fig. 8; Anexo Tabla V).

Los MA fueron el grupo menos representado con fragmentos presentes en un 1,3% del total de ítems en el mes de abril en AINA 2018 y films en un 0,5% en abril pero de AINA 2019 (Fig. 8; Anexo Tabla V).

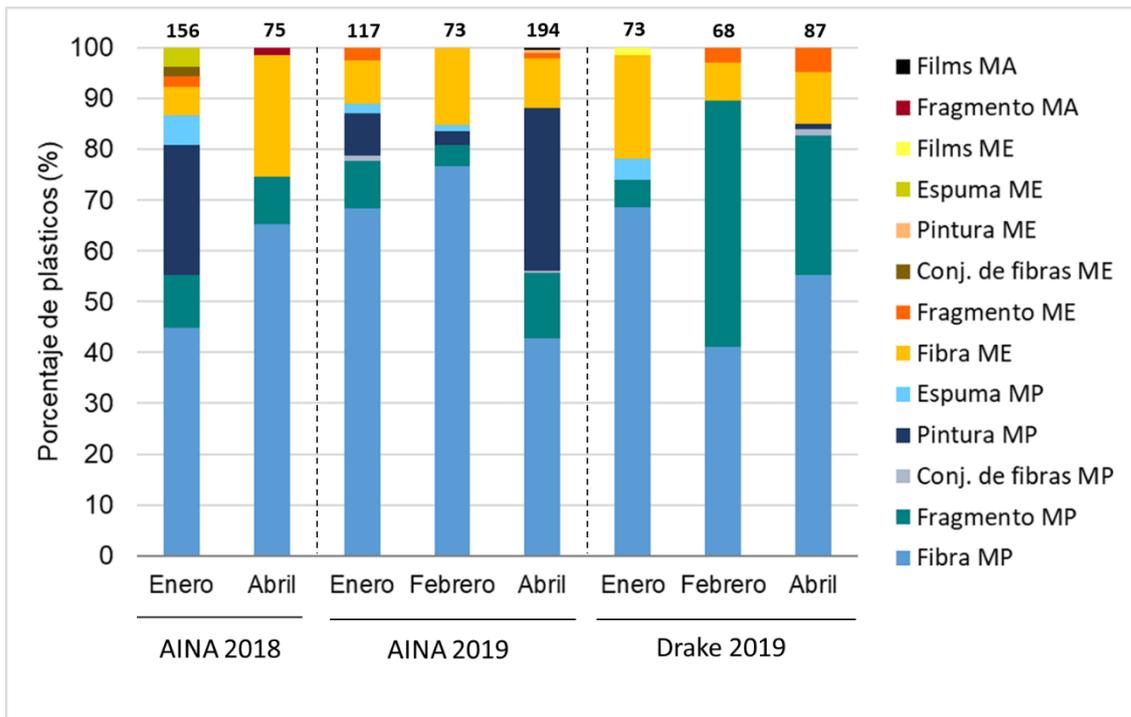


Figura 8. Porcentaje sobre el número total de microplásticos (MP), mesoplásticos (ME) y macroplásticos (MA) presentes en las distintas muestras de los dos arroyos. Sobre las barras se indica el número total de plásticos encontrados.

Los MP fueron la clase de tamaño más abundante en ambos arroyos, seguido por ME y por último MA. Las densidades de los tres tipos de plásticos en las muestras del arroyo AINA en 2018 fueron menores a las de AINA en 2019 y estas a su vez menores a las de Drake en 2019, exceptuando en el mes de enero. En ambos arroyos, la densidad de MP y ME fue mayor en abril (Fig. 9, Anexo Tabla VI). No se encontraron diferencias significativas entre las muestras de AINA 2019 y Drake 2019 en cuanto a la densidad total de plásticos (test de t, $t = 1,076$; $p = 0,342$) y la densidad de MP (test de t, $t = 1,062$; $p = 0,348$).

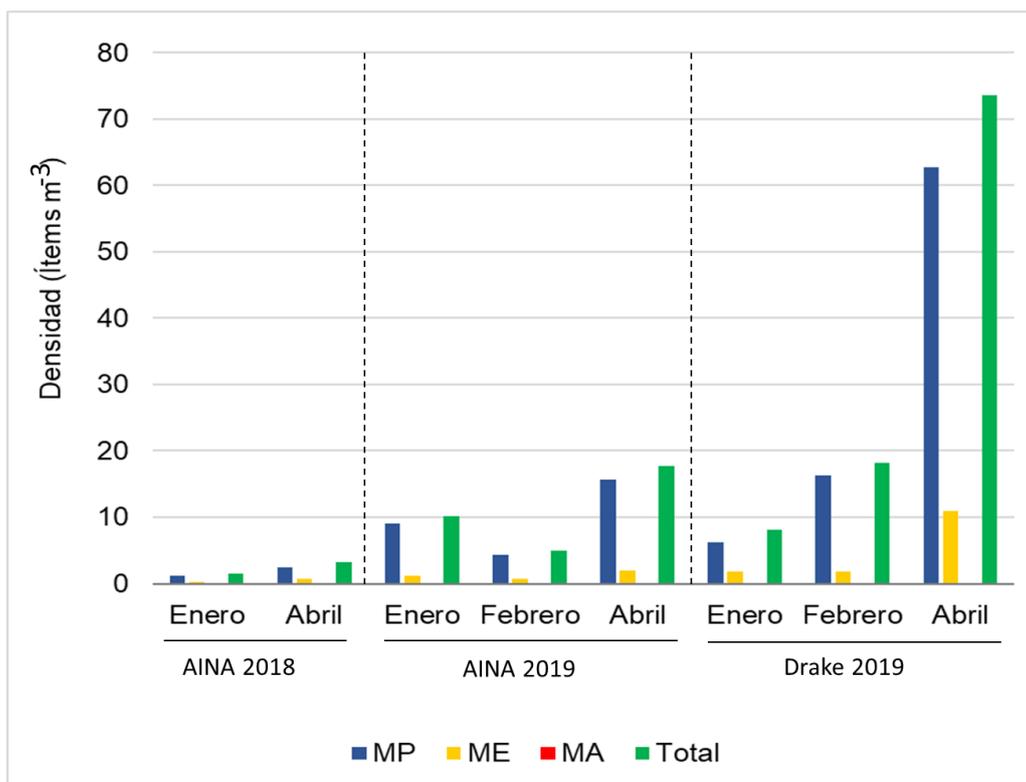


Figura 9. Densidad total de plásticos, microplásticos (MP), mesoplásticos (ME) y macroplásticos (MA) presentes en las distintas muestras de los dos arroyos.

Considerando únicamente los MP, las fibras y fragmentos fueron menos abundantes en AINA, presentando su mayor densidad en abril de 2019 con 7,59 ítems m⁻³ y 2,29 ítems m⁻³ respectivamente. En Drake la presencia de fibras y fragmentos fue de 40,63 ítems m⁻³ y 20,32 ítems m⁻³ en abril 2019. La densidad de los conjuntos de fibras y espumas fue mayor en Drake mientras que las de pinturas lo fue en AINA en el mes de abril con 5,67 ítems m⁻³ (Fig. 13; Anexo Tabla VII). Tomando en cuenta los ME, tanto en AINA 2018 y 2019 como en Drake, la densidad de fibras fue mayor en abril. La mayor densidad de fragmentos fue de 3,39 ítems m⁻³ en el mes de abril en Drake (Fig. 10; Anexo Tabla VII).

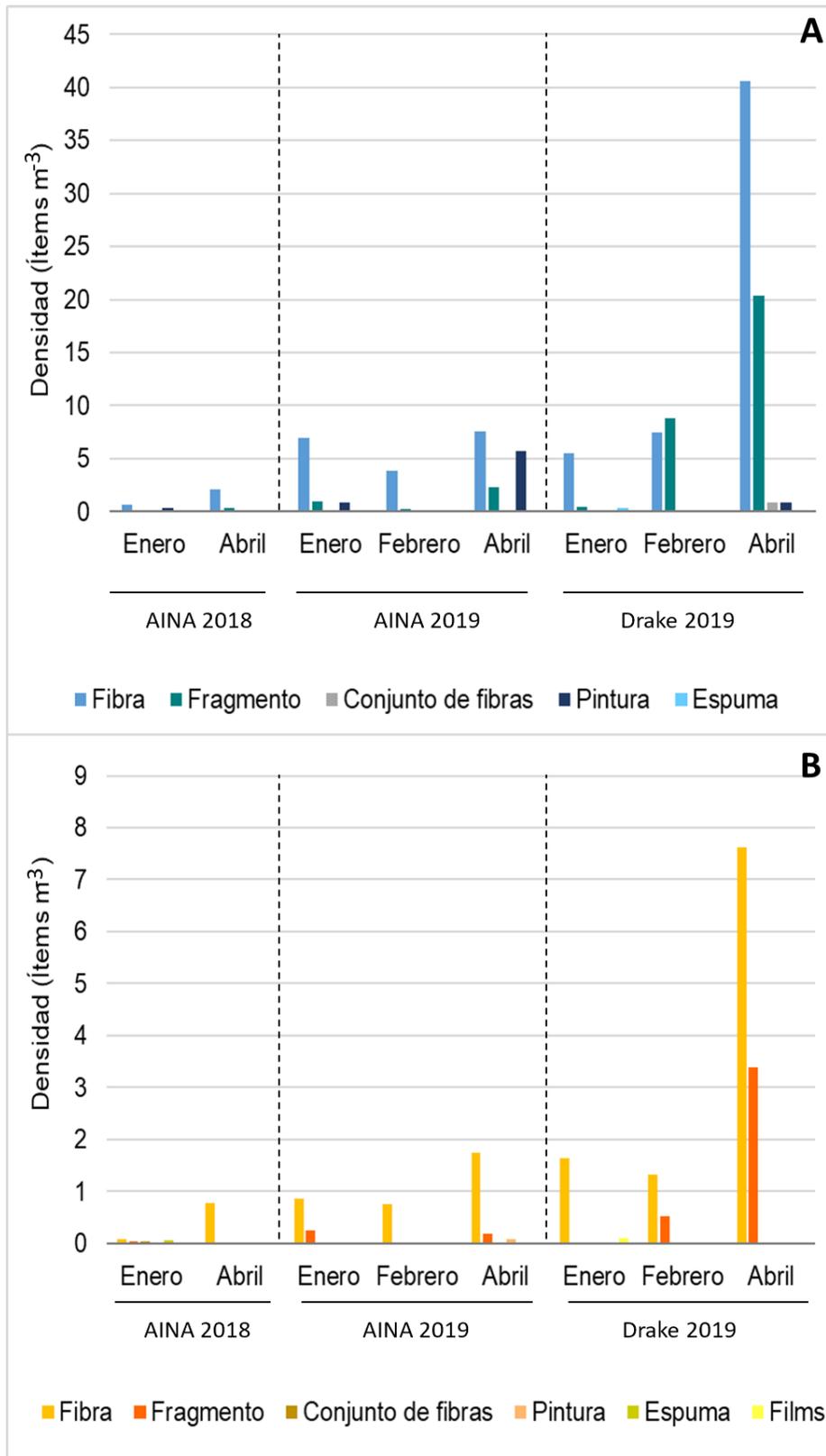


Figura 10. Densidad de los distintos tipos de microplásticos (A) y mesoplásticos (B) presentes en las distintas muestras de los dos arroyos. Nótese la diferencia de escala en el eje de las ordenadas entre ambas gráficas.

En cuanto al tamaño medio de los MP, considerando ambos arroyos, el mayor tamaño de espumas se encontró en enero de 2018 en el arroyo AINA, mientras que el de los conjuntos de fibras y pinturas fue en enero de 2019 en el mismo arroyo. Las fibras de mayor tamaño se encontraron en abril de 2019 en AINA y los fragmentos en enero de 2019 en el arroyo Drake (Fig. 11, A; Anexo Tabla VIII).

Con respecto a los ME, el tamaño medio de las fibras fue similar en todas las muestras de los dos arroyos, aunque en enero y febrero en el arroyo Drake presentaron sus valores máximos. Los fragmentos de mayor tamaño se encontraron en enero de 2019 en AINA, mientras que el de los conjuntos de fibras y las espumas fue en enero de 2018 en el mismo arroyo. El único ítem de pintura mayor a 5 mm se observó en AINA abril 2019 y el de films fue en Drake en enero 2019 (Fig. 11, B; Anexo Tabla VIII).

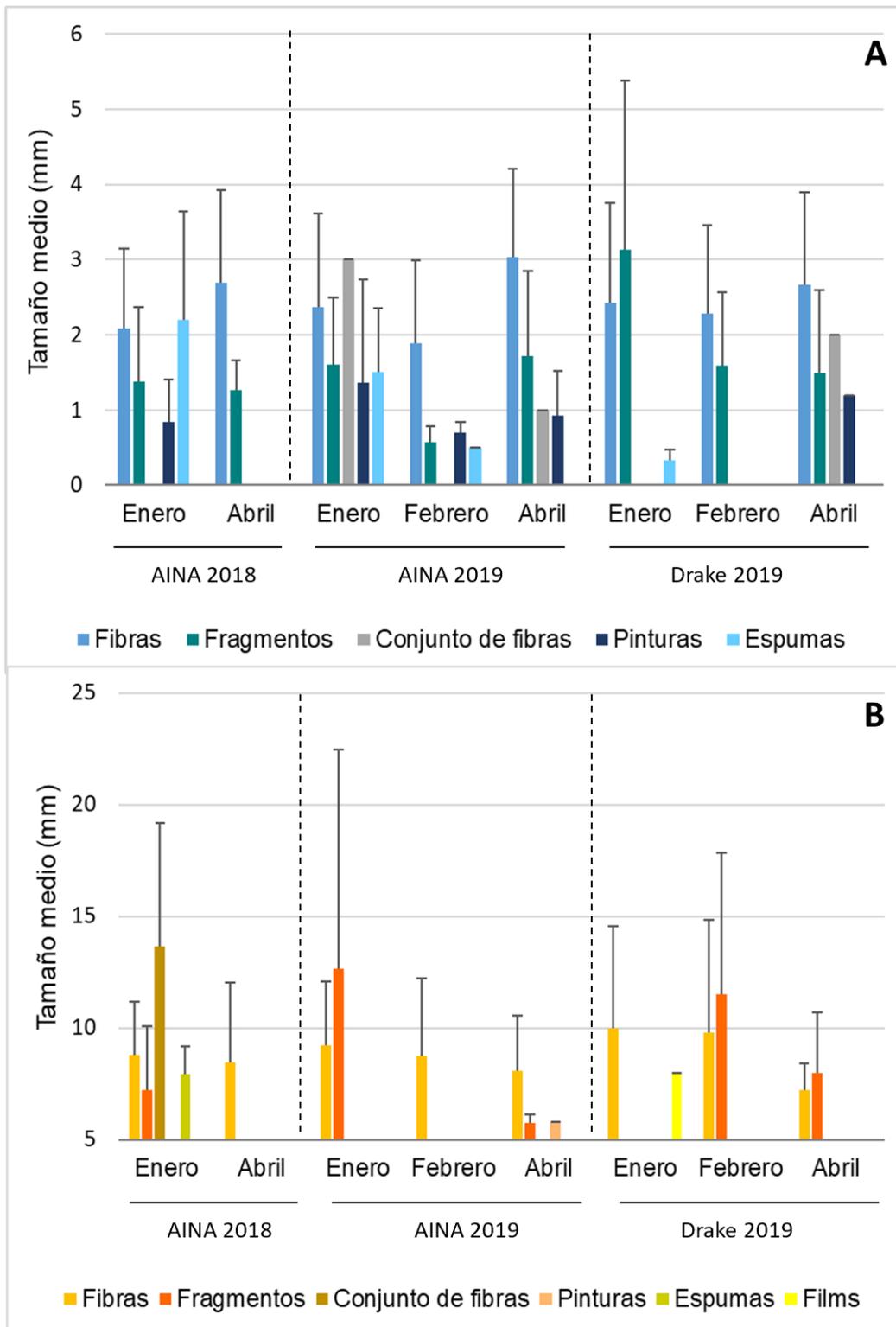


Figura 11. Tamaño medio de los plásticos encontrados de acuerdo a los distintos tipos de microplásticos (A) y mesoplásticos (B). Nótese que, en B el eje de ordenadas comienza en 5 mm.

Acerca de los colores de todos los plásticos encontrados incluyendo las tres categorías de tamaño (MP, ME y MA), las fibras azules, negras y rojas se encontraron en todas las muestras con los mayores porcentajes. Las azules llegaron a representar el 63,6% del total de fibras (Drake, febrero 2019), mientras que el porcentaje más alto de fibras negras fue de 52,6% (Drake, abril 2019). Además, se encontraron fibras de color rojo, violeta, lila, rosado, celeste, gris, blanco, verde y transparente. Del mismo modo, los fragmentos presentaron colores variados, entre ellos azul, rojo, celeste, gris, verde, naranja, blanco y transparente, siendo los de color rojo, blanco y gris los más predominantes. Por último, las pinturas encontradas fueron de color rojo, naranja, amarillo y blanco, siendo el rojo el color dominante con una presencia igual o superior al 85% en aquellas muestras donde estuvieron presentes (Fig.12).

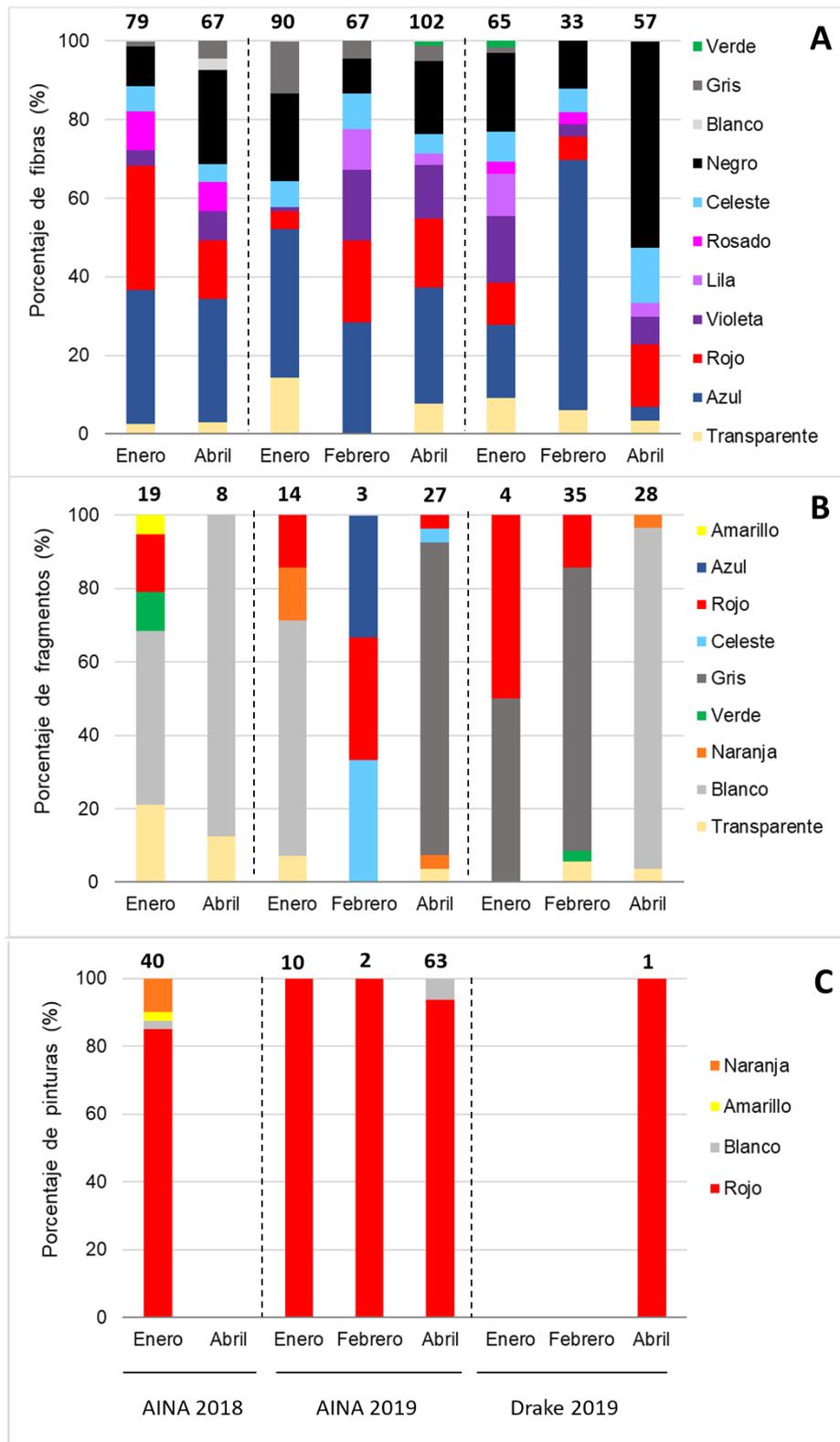


Figura 12. Porcentajes sobre el número total de fibras (A), fragmentos (B) y pinturas (C) de acuerdo a su color incluyendo micro, meso y macroplásticos. Sobre las barras se indica el número total de plásticos encontrados.

Se encontró una relación lineal significativa ($r^2= 0,684$; $p= 0,011$) entre la densidad de ítems plásticos y la concentración de sedimentos totales en las muestras tomadas en ambos arroyos (Fig. 13).

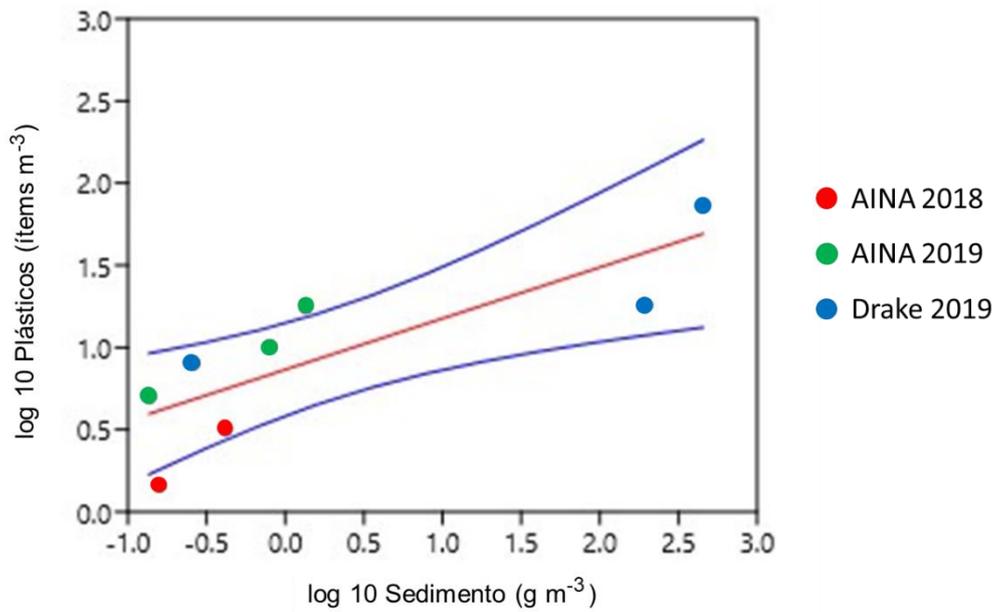


Figura 13. Regresión lineal (Log-Log) entre la densidad de plásticos (ítems m⁻³) y la concentración de sedimentos (g m⁻³) presente en las distintas muestras de los dos arroyos. Puntos rojos, muestras de AINA 2018, puntos verdes, muestras de AINA 2019 y puntos azules, muestras de Drake 2019.

6. Discusión

Este estudio brinda una exploración primaria acerca del aporte de sedimentos y materia orgánica que realizan arroyos con distinto origen y presencia de actividad humana, al sistema marino-costero antártico. A su vez, amplía el conocimiento acerca de la composición de invertebrados acuáticos en estos arroyos y del transporte tanto de especies acuáticas como terrestres. Por otra parte, es el primer estudio que evalúa la presencia de plásticos y MP en arroyos de la Isla Rey Jorge y aporta a la comprensión sobre el transporte de plásticos en el área de estudio.

6.1. Materia Orgánica

El aporte de sedimentos totales al sistema marino-costero durante los muestreos realizados en este estudio fue más alto en las muestras de Drake en 2019. Sin embargo, el mayor porcentaje de materia orgánica aportada al sistema marino-costero se registró en las muestras de AINA en 2019, principalmente en enero y febrero. Estas diferencias pueden estar asociadas a las características de cada arroyo.

El arroyo Drake en su tramo final transcurre sobre una playa arenosa (ver Fig. 3) y en su transcurso va erosionando sus márgenes, por lo que el transporte de sedimentos arenosos en general es elevado, los cuales poseen un bajo contenido de materia orgánica. Además, este sistema transporta algas marinas que las mareas y el viento depositan a varios metros de la costa. Por otra parte, el arroyo AINA transcurre sobre una playa rocosa (ver Fig. 3) con escasa presencia de arena y los principales aportes de materia orgánica están dados por algas perifíticas, restos de macrófitas provenientes del lago, así como también invertebrados. Esta característica explicaría que, si bien los aportes proporcionales de materia orgánica son mayores en AINA, la cantidad total de sedimentos aportados es menor que en Drake.

En momentos de clima frío con menor derretimiento del Glaciar Collins y esorrentía de agua de deshielo, se ha observado que, en aguas costeras de la Bahía Collins, los principales componentes de la MOP fueron fitoplancton marino y MOP asociada al hielo con predominio de diatomeas, bacterias y zooplancton. En cambio, en momentos donde el derretimiento fue mayor debido a condiciones climáticas cálidas, la MOP consistió en fitoplancton marino, detritus de macroalgas y hubo una mayor contribución terrestre (Venturini et al., 2020). En nuestros muestreos, la temperatura media del ambiente en el mes de enero en 2018 y 2019, fue de 1,2 y 0,9 °C respectivamente, por lo que nos encontramos en momentos de clima cálido donde el derretimiento del glaciar sería elevado. Por el otro lado, en abril de 2018 y 2019 la temperatura media fue de -0,9 y -1,1 °C respectivamente, lo cual el derretimiento del

glaciar y el aporte de materiales terrestres sería menor. Considerando que la variación en el derretimiento del glaciar y el aporte de materiales asociados tienen el potencial de generar cambios en la composición del agua oceánica y de la biota marino-costera, aumentar la frecuencia de muestreo en estos arroyos y evaluar el aporte de materia orgánica asociada al sedimento y su relación con las condiciones climáticas locales puede contribuir a profundizar nuestro conocimiento sobre la importancia de los arroyos de deshielo en el transporte de MOP hacia el sistema marino-costero antártico.

6.2. Invertebrados

Las diferencias significativas observadas en la abundancia de invertebrados acuáticos entre los arroyos AINA y Drake en 2019 podría deberse a sus distintos orígenes. Los lagos antárticos presentan una gran variedad y abundancia de invertebrados y el arroyo AINA al estar conectado al Lago Ionosférico, recibiría el aporte de fauna de este lago. El arroyo Drake presenta una menor abundancia de especies acuáticas debido a que se encuentra conectado al Glaciar Collins. Este mismo patrón se ha observado en arroyos con nacientes en lagos y glaciares en zonas frías con similares características al ambiente antártico. Friberg et al. (2001) reportaron una mayor riqueza y abundancia de macroinvertebrados en arroyos con nacientes en lagos en comparación con aquellos alimentados por el derretimiento de glaciares. Sin embargo, entre AINA y Drake no se observaron diferencias significativas en la abundancia de invertebrados terrestres, aunque la distribución de la abundancia entre las especies encontradas fue distinta, posiblemente por las diferencias ya mencionadas en las características de cada sistema.

A nivel de especies, el díptero alado *P. steinenii* presentó una alta densidad de individuos en el arroyo AINA principalmente en 2019 y en general la densidad de larvas fue mayor a la de pupas y adultos. Tanto en este arroyo en 2018 como en Drake, la densidad de individuos fue muy baja y en algunos casos las pupas y los adultos fueron raras o estuvieron ausentes. El ciclo de vida de *P. steinenii* dura alrededor de un año y las generaciones probablemente se solapan entre sí (Wirth & Gressitt, 1967). Presenta metamorfosis completa, las larvas son normalmente acuáticas y se encuentran en sedimentos en el fondo de lagos y arroyos (Richard et al. 1994; Shimada et al., 1991), mientras que las pupas, también acuáticas, en su último estadio flotan hasta llegar a la orilla donde posteriormente se transforman en individuos adultos (Barticevic, 2015). Los adultos suelen encontrarse en las rocas, al borde de los cuerpos de agua (Wirth & Gressitt, 1967; Hahn & Reinhardt, 2006), donde puede ocurrir una incubación masiva en condiciones adecuadas (Richard et al., 1994). Estos individuos pueden formar grandes enjambres voladores en días de calma cuando no son perturbados, o formar agregaciones en el suelo cuando el clima es menos adecuado, con

intensa actividad reproductiva (Convey & Block, 1996). Este díptero se encuentra en gran abundancia en la región de las Islas Shetland del Sur (Antártida) y ha sido registrado en las Islas Georgias del Sur (Reino Unido) y a lo largo de la cadena montañosa de los Andes (Chile) (Edward & Usher, 1985). El primer relevamiento de esta especie en la Península Fildes en zonas cercanas de la BCAA corresponde a Trillo et al. (2013), quienes colectaron muestras en las inmediaciones de la BCAA, en la Isla Ardley, y en zonas aledañas del Pasaje de Drake y en los tanques de la base rusa. Estos autores registraron una mayor abundancia de este díptero en los alrededores de la BCAA (módulo del comedor, Lago Uruguay y Lago Ionosférico) en comparación con el resto de los sitios muestreados. Si bien las técnicas de muestreo en el estudio de Trillo et al. (trampas de caída, trampas de intercepción de vuelo, embudo de Berlese y recolección manual) difieren de la utilizada en este trabajo (red surber), ambos estudios arriban a resultados similares, particularmente en lo relacionado a las diferencias de abundancias de esta especie entre ambas zonas de muestreo. El arroyo AINA es rocoso (propicio para las agregaciones de apareamiento e incubación) y generalmente más profundo que el arroyo Drake, el cual además fluye por zonas abiertas de playas, con escasa presencia de rocas y posee sedimentos finos. Además, el arroyo AINA al nacer en el Lago Ionosférico, recibe el aporte de invertebrados que allí habitan incluyendo este díptero, cuyos tres estados de desarrollo también suelen estar presentes en sedimentos de lagos y en sus orillas (Shimada et al., 1991; Richard et al. 1994; Trillo et al., 2013).

La presencia del copépodo *B. poppei* y del anostráceo *B. gaini* solo en el arroyo AINA puede estar directamente relacionado a que son especies lenticas características de lagos antárticos (Toro et al., 2007) que son exportadas por los arroyos. *Boeckella poppei* alcanzó su máximo de densidad en el mes de enero en 2018 y en febrero de 2019 siendo esta última menor a la primera. Se ha observado que en el ciclo de vida de este copépodo ocurren al menos tres cohortes de larva nauplio y copepodito, y los picos de densidad de los copépodos en sus distintos estados de desarrollo son muy fluctuantes en cada mes (Pociecha & Dumont, 2008). *Branchinecta gaini* también obtuvo su máximo de densidad tanto de larvas como de adultos en enero de 2018. En su ciclo de vida, los primeros ejemplares de larva nauplio eclosionan en octubre cuando el hielo de los lagos comienza a derretirse hasta diciembre, mientras que de noviembre a enero aparecen ejemplares de metanauplio y los adultos suelen encontrarse desde enero hasta principios de mayo (Pociecha & Dumont, 2008). La fase de reposo del ciclo de vida de esta especie es en invierno (junio - septiembre), cuando el lago se congela (Pociecha & Dumont, 2008). Además, es esperable que las densidades sean muy dependientes de las variaciones climáticas entre años ya que la especie adapta su ciclo de vida a las condiciones locales del ambiente (temperatura, oxígeno, radiación ultravioleta, entre otros), ajustando la duración de su desarrollo y la producción de huevos en reposo

(Jurasz et al. 1983). En enero de 2019, no se encontraron larvas nauplio, lo que puede estar asociado a que las condiciones del ambiente no fueran óptimas para la eclosión de los huevos y posterior desarrollo de los individuos, o bien porque el lago estaba descargando menos caudal de agua hacia el arroyo en ese año, lo cual se vio reflejado en la cantidad de individuos y escasez de larvas observados en la muestra.

Un único individuo de *T. maculipennis* fue observado en el arroyo AINA en enero de 2018. La presencia de este díptero invasor en la Isla Rey Jorge se remonta al año 2006 cuando Volonterio et al. (2013) realizaron el primer registro de esta especie en la Antártida, en los alrededores de la BCAA. Es una especie asociada a las instalaciones de las bases que posiblemente fue introducida al continente a través de las cañerías destinadas a la construcción de las cámaras sépticas (Trillo et al., 2018). Estas cámaras son propicias para el desarrollo de estos individuos debido a que el agua que por ellas circula no se congela por la adición de anticongelantes, la temperatura es mayor con respecto al exterior y son un resguardo contra el viento (Trillo et al., 2018). De hecho, Remedios-De León et al. (2020) encontraron en las cámaras sépticas de la BCAA la mayor abundancia del díptero en comparación al resto de sitios muestreados en las inmediaciones de la base, confirmando que allí se encuentran las mejores condiciones ambientales para su desarrollo. La cercanía de las cámaras sépticas al arroyo AINA puede estar relacionado con nuestro registro, ya que el individuo puede haber caído al arroyo y ser arrastrado por la corriente. Es posible que *T. maculipennis* tenga antecedentes de vida y características fisiológicas que hayan facilitado su supervivencia durante el transporte y el establecimiento en el ambiente antártico (Volonterio et al., 2013). Debido a la proximidad que existe entre varias bases de investigación en la Isla Rey Jorge, y a que se han observado individuos más allá de las edificaciones y los límites de la Base Artigas, existe el riesgo de que *T. maculipennis* establezca poblaciones en otras estaciones en las inmediaciones de la Península Fildes (Volonterio et al., 2013). De hecho, varios estudios indican que esta especie se encuentra en seis bases científicas de la Península Fildes, además de la BCAA, siendo estas la Base Presidente Eduardo Frei Montalva (Vallejos, V., com. pers. citado en Remedios-De León et al., 2021) y Base Profesor Julio Escudero (Convey, P., obs. pers; Contador, T., com. pers. citados en Remedios-De León et al., 2021) de Chile, la Base Bellingshausen de la Federación Rusa (COMNAP, 2019) y Base La Gran Muralla de China (Uruguay et al., 2019), todas ellas ubicadas en la Península Fildes. Además, se han encontrado ejemplares en la Base Rey Sejong de Corea del Sur ubicada en la Península Barton (Republic of Korea et al., 2016) y en la Base Arctowski de Polonia en la Bahía Almirantazgo (Potocka & Krzeminska, 2018). El monitoreo de la presencia y distribución de esta especie invasora en la Península Fildes es relevante ya que estudios recientes muestran que poseen una mayor tolerancia a aumentos en la temperatura

que la especie nativa, lo que puede potencialmente facilitar su proceso invasivo en la Península Fildes (Pertierra et al., 2021).

La densidad de colémbolos fue muy variada entre los arroyos. El máximo de densidad se observó en el arroyo Drake, principalmente en enero. La distribución de estos organismos está asociada a una gran variedad de factores entre ellos, la temperatura del suelo, la materia orgánica, la humedad, entre otros (Enríquez Miranda, 2017). En las zonas marino-costeras, los colémbolos suelen localizarse en los espacios intersticiales de los primeros metros desde la orilla, con una abundancia máxima en la rompiente y una diferencia en composición faunística entre las playas arenosas y rocosas (Greenslade & van Klinken, 1994). También suelen encontrarse en ambientes con vegetación, principalmente musgos y algas (Greenslade, 2016). Si bien estos artrópodos son terrestres, podrían ingresar al arroyo por la erosión lateral que en estos ocurre desde tramos superiores a tramos inferiores. Además, tras un evento de precipitación, nevada o deshielo aumenta el caudal de agua del arroyo y se genera un incremento de la escorrentía que los podría transportar hacia la desembocadura.

La densidad de nematodos fue baja en comparación con las encontradas en otras especies. La diversidad de estos organismos en la Antártida es muy amplia y son pocas las especies identificadas. En nuestro caso, no fue posible identificar la especie a la cual pertenecen los individuos encontrados. La abundancia de nematodos podría estar relacionada con la materia orgánica del suelo y el contenido de agua, ambas características asociadas a la vegetación (principalmente musgos) donde estos organismos habitan (Yergeau et al., 2007).

Por otra parte, el anfípodo de origen marino observado en abril 2019 en el arroyo Drake podría estar evidenciado el ingreso de fauna por acción de las mareas. Existen evidencias sobre el ingreso y la presencia de fauna marina en la zona intermareal en microambientes llamados pozas de marea, las cuales se forman por la erosión provocada por las olas y la variación del nivel de marea. Ocampo (2020) realizó el primer relevamiento de la comunidad de anfípodos en pozas de marea en la Bahía Collins encontrando 13 especies distintas. La acción del viento también podría estar interviniendo en el transporte de estos artrópodos, efecto que se ha evidenciado con otros grupos de invertebrados (Nkem et al., 2006).

6.3. Plásticos

Tres categorías de plásticos según su rango de tamaño (MP, ME, MA) fueron encontradas en las distintas muestras de los dos arroyos de deshielo. Los predominantes en porcentaje y densidad fueron los MP, seguidos por los ME y por último los MA. Las fibras y fragmentos fueron los tipos de plásticos más frecuentemente encontrados, tanto MP como ME, en las distintas muestras. Las pinturas estuvieron presentes principalmente en las muestras del arroyo AINA en 2018 y 2019 y se registró un único ítem en el arroyo Drake en 2019. Los conjuntos de fibras, las espumas y los films se encontraron en una baja proporción en ambos arroyos. Contrario a lo esperado, el arroyo Drake fue el que presentó una mayor cantidad de plásticos a pesar de que es el que se encuentra más alejado de la actividad humana, aunque las diferencias entre ambos arroyos, exclusivamente para el 2019 y considerando las muestras de enero, febrero y abril como réplicas del verano, no fueron significativas.

La contaminación por plásticos en el arroyo AINA podría surgir debido a las actividades humanas que tienen lugar en la BCAA ubicada contigua a este, las cuales se intensifican durante el verano. Las fibras y los conjuntos de fibras podrían provenir del agua residual derivada del edificio AINA. Esto sería esperable si el sistema de cámaras de aguas residuales tuviera desbordes hacia el arroyo, lo cual ha sido previamente observado al detectar la presencia de efluentes humanos en el arroyo en situaciones de desbordes de las mismas (Tort et al. 2017).

La presencia de fragmentos de pintura podría atribuirse a la presencia de las propias bases científicas y las actividades de mantenimiento que se llevan a cabo en ellas (Anfuso et al., 2020). El poliéster es uno de los componentes de las pinturas sintéticas que se utilizan en edificaciones antiguas y este componente fue detectado en los fragmentos de pintura encontrados en la zona de ablación del glaciar Collins (González-Pleiter et al. 2021). La mayoría de estos fueron de color rojo, mismo color con el que se encuentran pintados los edificios de la BCAA, así como la mayoría de los edificios de la isla, mientras que las pinturas de color amarillo y blanco podrían provenir del edificio del AINA (Fig. 14). Una vez que se desprenden de los edificios debido a la acción del clima o al mantenimiento de los mismos, estos fragmentos pueden ser transportados por acción del viento (González-Pleiter et al. 2021).

Los fragmentos, espumas y films podrían tener distinto origen. Una gran cantidad y amplia variedad de plásticos fueron documentados por Anfuso et al. (2020) en 17 playas de la Bahía Almirantazgo entre ellos espumas de diferentes tipos (poliuretano y poliestireno),

grandes fragmentos de plásticos, botellas, gomas, cuerdas y bolsas plásticas. Debido a la degradación fotoquímica y mecánica, esta basura plástica comienza a fragmentarse en pequeñas partículas (Cole et al., 2011; GESAMP, 2015) que luego por la acción del viento son capaces de transportarse (González-Pleiter et al. 2021). Las espumas generalmente utilizadas para transporte, aislamiento, artes de pesca, etc, presentan gran flotabilidad por lo que en general se las puede encontrar en las superficies de los océanos y en playas remotas (Anfuso et al., 2020). Estas espumas han sido detectadas en el glaciar a orillas del Lago Ionosférico desde donde nace este arroyo (González-Pleiter et al. 2021) así como en las orillas de los arroyos y en todas las playas (datos no publicados proyecto AntarPlast).



Figura 14. Edificios de la BCAA (Base Científica Antártica Artigas). A la izquierda, de color blanco, celeste y amarillo, edificio AINA y a la derecha, de color rojo, los demás módulos de la base.

La zona de ablación del glaciar Collins y por tanto la naciente del arroyo Drake están catalogadas como áreas protegidas. Si bien se asume una menor actividad humana ya que no existen bases científicas ni refugios en su área de drenaje, la densidad de plásticos fue mayor en febrero y marzo de 2019 en comparación con AINA en 2018 y 2019 y además se encontraron los mismos tipos de plásticos que en AINA. Dicho esto, si bien las actividades humanas cumplen un rol determinante, no es posible atribuir la presencia de plásticos únicamente a estas. La presencia de plástico en dos superficies de la zona de ablación del Glaciar Collins (próximas al Lago Uruguay y al Lago Ionosférico), glaciar que da origen al arroyo Drake, mostró concentraciones en un rango de 0,17 - 0,33 ítems m⁻², siendo áreas con bajo tránsito de personas, sobre todo el Lago Ionosférico y se atribuyó a la acción del viento y a las diferencias en las actividades antropogénicas que suceden alrededor de estos lagos (González-Pleiter et al., 2021). En el mes de abril se observó un fragmento de pintura de color rojo, similar a aquellos encontrados en ambos años en el arroyo AINA. Este hecho sugiere la

dispersión de plásticos por acción del viento desde zonas antropizadas hacia ambientes cercanos. Otra posible fuente de dispersión de plásticos en el área de estudio son las aves que consumen plásticos y podrían transportarlos desde las zonas cercanas a las bases hasta sus nidos (Bresesti, 2021) y que luego podrían dar lugar a microplásticos por fragmentación ambiental.

Así mismo, la fuente de MP que transportan los arroyos no necesariamente tienen que responder únicamente a aportes terrestres ya que es posible que existan aportes desde el mar como ya se ha observado MP en la playa del Pasaje de Drake (e.g. pellets) (datos no publicados proyecto AntarPlast). En las zonas marino-costeras la acción de los vientos y las mareas pueden transportar, enterrar y suspender los MP tanto en la columna de agua como en el sedimento (Wu et al., 2020). Por lo tanto, es posible que parte de este plástico se entierre bajo la arena debido a la dinámica costera en la playa donde desemboca el arroyo Drake. Además, se ha observado que la presencia y distribución de MP en sedimentos de zonas intermareales se relaciona con la granulometría del mismo, encontrando que la acumulación de MP en sedimento de grano fino es mayor que en aquellos de grano grueso (Pazos, 2021). Dicho esto, los plásticos podrían retornar al sistema marino-costero a medida que se da el transporte de sedimentos por el arroyo. En este primer acercamiento pudimos observar que existe una relación positiva y significativa entre el transporte de sedimentos y plásticos en estos arroyos, tendencia que deberá ser corroborada en futuros muestreos.

Esta no es la primera evidencia de plásticos presentes en arroyos antárticos, pero sí lo es para la Isla Rey Jorge. Existe una única evidencia reciente de la presencia de MP en un arroyo localizado en la Península Byers (Isla Livingston) en el cual detectaron una concentración de 0,95 ítems 1000m^{-3} compuesta por fibras y films (González-Pleiter et al. 2020). Estas densidades son notablemente menores a las de MP encontradas en el arroyo AINA (máxima en abril 2019 con 15,64 ítems m^{-3}) y Drake (máxima en abril 2019 con 62,65 ítems m^{-3}). Esto puede deberse a que la Península Byers es considerada como una Zona Antártica Especialmente Protegida en la cual la presencia humana se encuentra restringida e investigadores acceden allí únicamente mediante la aprobación de las autoridades pertinentes (Quesada et al., 2013). Se considera que las fuentes de MP en el arroyo de esta zona no podrían ser locales por la escasa presencia de actividades humanas pero sí, dadas las condiciones climáticas, la llegada podría darse por el transporte de MP a través del viento desde otras bases científicas, entre ellas las ubicadas en la Isla Rey Jorge (González-Pleiter et al. 2020). Además, las ráfagas de viento en la zona alcanzan los 100 - 140 km h^{-1} , pudiendo arrastrar los desechos de origen marino que llegan a la península y se encuentran en las

playas, hacia los sistemas de agua dulce en la meseta central, proceso que se ha observado con macroalgas marinas (González-Pleiter et al. 2020).

El ingreso de MP desde los arroyos particularmente desde el arroyo AINA con desembocadura en la Bahía Maxwell podría considerarse una de las fuentes de los MP que se han detectado en el agua sub-superficial marina en dicha bahía (Krojmal, 2021).

La evidencia de la presencia de plásticos en los distintos ambientes de la Antártida, tanto en agua (Cincinelli et al., 2017; Krojmal, 2021) (Fig. 15, B), sedimento (Munari et al., 2017; revisado en Waller et al., 2017) (Fig. 15, B) y hielo marino (Kelly et al., 2020) (Fig. 15, F), como en zona de ablación glaciaria (González-Pleiter et al., 2021) (Fig. 15, D), agua continental (González-Pleiter et al. 2020) (Fig. 15, E) y zonas terrestres (Anfuso et al., 2020; datos no publicados AntarPlast) (Fig. 15, A), permiten suponer que es posible el transporte de plásticos y MP entre ellos, desde su llegada al continente por actividades antrópicas locales o desde el mar, pudiendo ingresar a los lagos, arroyos y glaciares, con el viento actuando como principal dispersor de los plásticos (González-Pleiter et al., 2021) (Fig. 15, C) y regresando nuevamente al sistema marino-costero a través de los arroyos (Fig. 15).

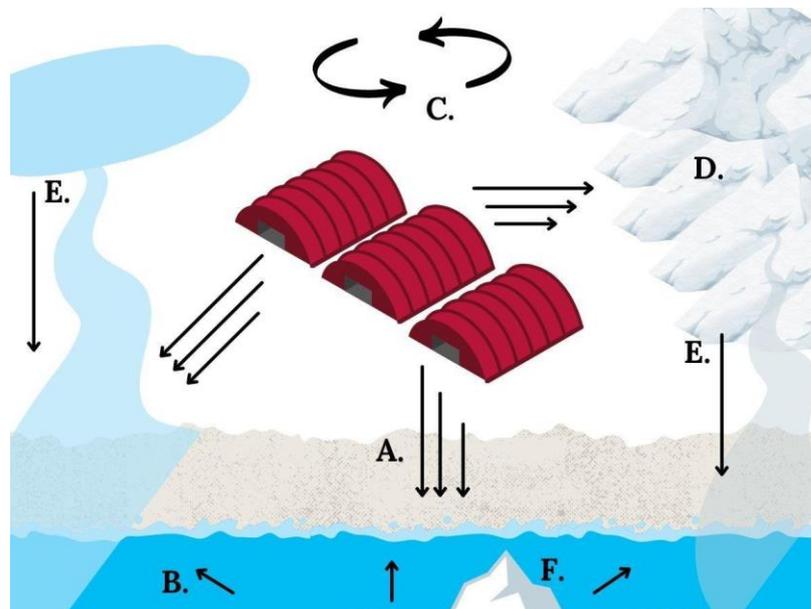


Figura 15. Esquema de las posibles vías de transporte del plástico en la Antártida considerando la información existente. A, aporte de residuos plásticos a los distintos sistemas debido a las actividades antrópicas locales (Anfuso et al., 2020; datos no publicados AntarPlast). B, presencia de plásticos en el mar (Cincinelli et al., 2017; Krojmal, 2021; Munari et al., 2017) y llegada de plásticos al continente desde el mar (Anfuso et al., 2020; datos no publicados AntarPlast). C, transporte de plásticos por acción del viento (González-Pleiter et al., 2021). D, presencia de plásticos en glaciares (González-Pleiter et al., 2021). E, transporte de plásticos por arroyos con nacimiento en lagos o glaciares (González-Pleiter et al., 2020; el presente trabajo) y F, presencia y liberación de plásticos en hielo marino (Kelly et al., 2020).

7. Conclusiones

Este trabajo resalta la importancia de los arroyos antárticos en el transporte de materia orgánica, invertebrados y contaminantes emergentes como son los plásticos, siendo potencialmente un importante eslabón en los procesos biogeoquímicos en la Antártida.

Pudimos evidenciar el mayor aporte de materia orgánica en el arroyo Drake asociado al gran aporte de sedimentos transportados hacia el sistema marino-costero.

Fue posible determinar la composición de invertebrados en los arroyos y profundizar en el conocimiento de la fauna existente en el área de estudio. Las nacientes de los arroyos y las características propias de cada uno son determinantes de la fauna que en estos se encuentra. Se pudo observar que estos arroyos participan en el transporte de los invertebrados hacia el mar, lo cuales generan un aporte de materia orgánica al ambiente marino-costero además de que podrían estar siendo incluidas en las tramas tróficas marinas al ser potencialmente ingeridos por la fauna marina.

Fue posible evidenciar el potencial aporte de plásticos que realizan estos arroyos al sistema marino-costero por lo cual esta primera aproximación nos permite considerar que los arroyos son un componente más del transporte de plásticos en el área de estudio. Actualmente, hay evidencia de la presencia de microplásticos en el glaciar, en los arroyos y en el medio marino, por lo que este trabajo realiza un aporte significativo en la comprensión de las posibles vías de transporte y distribución de estos contaminantes.

La presencia de plásticos en densidades mayores en el arroyo Drake en comparación con el arroyo AINA demuestra que no es posible atribuir la presencia de plásticos únicamente a la cercanía de los arroyos a zonas de intensa actividad humana. La acción del viento podría ser un factor determinante en el transporte de plásticos en los distintos ambientes del área de estudio.

8. Perspectivas y recomendaciones

Para comprender mejor la función de transporte que cumplen los arroyos de deshielo antárticos y evaluar la descarga, sería recomendable determinar los caudales al momento de la toma de las muestras. Además, sería interesante evaluar la variabilidad en el aporte de materia orgánica, invertebrados y plásticos a una escala temporal menor (entre meses), por lo cual sería recomendable incluir un mayor número de muestras y réplicas en los muestreos de cada mes para poder realizar comparaciones estadísticas.

A su vez, en cuanto al análisis de plásticos y MP se debería también analizar la composición polimérica de los distintos tipos de plásticos encontrados lo cual permitiría establecer un posible origen de los mismos y aportar a la comprensión del transporte de plásticos que ocurre en el área de estudio.

También sería interesante evaluar la posible interacción entre los invertebrados y los MP en los arroyos incluyendo aproximaciones experimentales que permitan evaluar la posible ingesta de estas partículas y su posible ingreso a las cadenas tróficas marinas.

9. Bibliografía

Abbasi S, Soltani N, Keshavarzi B, Moore F, Turner A, Hassanaghaei M. (2018). Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf. *Chemosphere* 205:80–87.

Andrady, A. L. & Neal, M. (2009). Applications and societal benefits of plastics. In: *Phil. Trans. Royal Soc. B Biol. Sci.* 364, 1977–1984.

Anfuso, G., Bolívar-Anillo, H. J., Asensio-Montesinos, F., Manzolli, R. P., Portz, L., & Daza, D. A. V. (2020). Beach litter distribution in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111657.

Arocena, R. (2016). *Principios y métodos de limnología: ejemplos de Uruguay*. 2da ed. Editorial DIRAC-Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo. 328 pp

Bard, S. M. (1999). Global transport of anthropogenic contaminants and the consequences for the Arctic marine ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*, 38(5), 356-379.

Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R.C. & Barlaz, M., (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil. Trans. Royal Soc. B Biol. Sci.* 364, 1985-1998.

Barticevic, E. (2015). The life history of the Antarctic midge. *Beyond the south*, 2:19-22.

Bennett, M.R. (2003). Ice streams as the arteries of an ice sheet: their mechanics, stability and significance. *Earth-Science Reviews*, 61(3-4): 309-339.

Breستي, F. (2021). Ecología trófica de aves del género *Catharacta* spp. y su posible interacción con residuos antropogénicos en zona marino-costeras de la Península Fildes, Isla Rey Jorge (Antártida). Tesis de grado, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. 34 pp

Bueno, C., Kandratavicius, N., Perez, L., Iglesias, K., Venturini, N., Figueira, RCL. & E. Brugnoli. (2018). *Origin of metals in terrestrial and aquatic environments near the Artigas Antarctic Scientific Base (King George Island, Maritime Antarctica)*. *Water, Air and Soil Pollution*. 229:398. p. 4-11. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-4045-1>

Cheshire, A. C., Adler, E., Barbière, J., Cohen, Y., Evans, S., Jarayabhand, S., Jeftic, L., Jung, R. T., Kinsey, S., Kusui, E. T., Lavine, I., Manyara, P., Oosterbaan, L., Pereira, M. A., Sheavly, S., Tkalin, A., Varadarajan, S., Wenneker, B. & Westphalen, G. (2009). UNEP/IOC guidelines on survey and monitoring of marine litter. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 186, IOC Technical Series. (No. 83, 120 p).

Cincinelli, A., Scopetani, C., Chelazzi, D., Lombardini, E., Martellini, T., Katsoyiannis, A., Fossi, M. C. & Corsolini, S. (2017). Microplastic in the surface waters of the Ross Sea (Antarctica): occurrence, distribution and characterization by FTIR. *Chemosphere*, 175, 391-400.

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. & Galloway T.S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2588-2597.

COMNAP (2019). Report on the extent of sewage treatment plant infestations across the Antarctic Treaty area: survey results. Information Paper 38. Antarctic Treaty Consultative Meeting XLII, Prague, Czech Republic, 1–11 July 2019

Convey, P. & Block, W. (1996). Antarctic Diptera: ecology, physiology and distribution. *Eur. J. Entomol.* 93: 1-13.

De Witte, B.; Devriese, L.; Bekaert, K.; Hoffman, S.; Vandermeersch, G.; Cooreman, K.; Robbens, J. (2014). Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 146–155.

Enríquez Miranda, N. (2017). Colémbolos (Hexapoda, Collembola) de la Antártida: una aproximación ecológica y biogeográfica para la comprensión de su patrón de distribución. Tesis de doctorado. Universidad autónoma de Madrid.

Edwards M. & Usher M.B. (1985). The winged Antarctic midge *Parochlus steinenii* (Gerke) (Diptera: Chironomidae) in the South Shetland Islands. *Biol. J. Linn. Soc.* 26: 83–93.

Friberg, N., Milner, A.M., Svendsen L.M., Lindegaard, C. & Larsen, S.E. (2001). Macroinvertebrate stream communities along regional and physico-chemical gradients in Western Greenland. *Freshwater Biology.* 46, 1753–1764.

Gao, Y., Li, R., Gao, H., Hou, C., Jin, S., Ye, J. & Na, G. (2021). Spatial distribution of cumulative impact on terrestrial ecosystem of the Fildes Peninsula, *Antarctica. Journal of Environmental Management*, 279, 111735.

GESAMP (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. IMO/FAO/ UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.

González-Pleiter, M., Lacerot, G., Edo, C., Lozoya, J. P., Leganés, F., Fernández-Piñas, F., Rosal, R. & Teixeira de Mello, F. (2021). A pilot study about microplastics and mesoplastics in an Antarctic glacier. *The Cryosphere*, 15, 1–8, 2021

- González-Pleiter, M., Edo, C., Velázquez, D., Casero-Chamorro, M. C., Leganés, F., Quesada, A., Leganés, F., Quesada, A., Fernández-Piñas, F. & Rosal, R. (2020).** First detection of microplastics in the freshwater of an Antarctic Specially Protected Area. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111811.
- Greenslade, P. (2006).** The Invertebrates of Macquarie Island. Australian Antarctic Division. Kingston. 344 pp.
- Greenslade, P. & van Klinken, R. D. (1994).** Marine littoral and coastal Collembola on the subantarctic Macquarie Island. *Acta Zoologica Fennica* 195: 58-61.
- Gregory, M. R. (2009).** Environmental implications of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Phil. Trans. Royal Soc. B Biol.* 364, 2013–2025.
- Gröndahl, F., Sidenmark, J. & Thomsen, A. (2009).** Survey of waste water disposal practices at Antarctic research stations, *Polar Research*, 28:2, 298-306.
- Haney, J.F., Beaulieu, T.R., Berry, R.P., Mason, D.P., Miner, C.R., McLean, E.S., Price, K.L., Trout, M.A., Vinton, R.A., and Weiss, S.J. (1983).** Light intensity and relative light change as factors regulating stream drift. *Arch. Hydrobiol.*, 97, 73–88.
- Hahn, S., & Reinhardt, K. (2006).** Habitat preference and reproductive traits in the Antarctic midge *Parochlus steinenii* (Diptera: Chironomidae). *Antarctic Science*, 18(2), 175.
- Hammer, Ø., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001).** PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 9.
- Heino, J., Culp, J. M., Erkinaro, J., Goedkoop, W., Lento, J., Rühland, K. M., & Smol, J. P. (2020).** Abruptly and irreversibly changing Arctic freshwaters urgently require standardized monitoring. *Journal of Applied Ecology*, 57(7), 1192-1198.
- Jurasz, W., Kittel, W., Presler, P. (1983).** Life cycle of *Branchinecta gaini* Daday, 1910, (Branchiopoda, Anostraca) from King George Island, South Shetland Islands. *Pol. Polar Res.* 4:143–154.
- Kelly, A., Lannuzel, D., Rodemann, T., Meiners, K. M., & Auman, H. J. (2020).** Microplastic contamination in east Antarctic sea ice. *Marine Pollution Bulletin*, 154, 111130.
- Krojmal, E. (2021)** Microplásticos en la Bahía Collins (Península Fildes, Antártida) y su interacción con el zooplancton mediante un modelo experimental. Tesis de grado, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. 57 pp

Lampert, W., & Sommer, U. (2007). Limnoecology: the ecology of lakes and streams. Oxford university press.

Lebreton, L. C., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature communications*, 8, 15611.

Lozoya, J.P., Carranza, A., Lenzi, J., Machín, E., Teixeira de Mello, F., González, S., Hernández, D., Lacerot, G., Martínez, G., Scarabino, F., Sciandro, J., Vélez-Rubio, G., Burgues, F., Carrizo, D., Cedrés, F., Chocca, J., Álava, D.d., Jiménez, S., Leoni, V., Limongi, P., López, G., Olivera, Y., Pereira, M., Rubio, L. & Weinstein, F. (2015). Management and research on plastic debris in Uruguayan aquatic systems: update and perspectives. *J. Coast. Zone Manag.* 15, 377–393.

Malmqvist, B. & Rundle, S. (2002). Threats to the running water ecosystems of the world. *Environmental conservation*, 134-153.

March, J. G., Benstead, J. P., Pringle, C. M., & Luckymis, M. (2003). Benthic Community Structure and Invertebrate Drift in a Pacific Island Stream, Kosrae, Micronesia 1. *Biotropica*, 35(1), 125-130.

Menu Marque, S. A. (2003). Las especies del género *Boeckella* (Copepoda, Calanoida, Centropagidae) de la República Argentina y taxa afines. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Moore, C.J., Lattin, G.L. & Zellers, A.F., (2011). Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *J. Integr. Coast. Zone Manag.* 11, 65-73.

Munari, C., Infantini, V., Scoponi, M., Rastelli, E., Corinaldesi, C., & Mistri, M., (2017). Microplastics in the sediments of Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Marine pollution bulletin*, 122(1-2), 161-165.

Nkem, J.N., Wall, D.H., Virginia, R.A., Barrett, J.E., Broos, E. J., Porazinska, D.L., Adams, B.J. (2006). Wind dispersal of soil invertebrates in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Polar Biology*, 29(4), 346-352.

Ocampo, B. (2020). Caracterización de la comunidad de anfípodos en pozas intermareales, Bahía Collins, Antártida. Tesis de grado, Facultad de Ciencias, Universidad de la República.

30 pp

Pazos, R. S. (2021). Estudio de microplásticos en la columna de agua, sedimento intermareal y biota residente en la costa del estuario del Río de la Plata (Franja Costera Sur). Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de La Plata. 217 pp

Pertierra, L. R., Escribano-Alvarez, P. & Olalla-Tárraga, M. A. (2021). Cold tolerance is similar but heat tolerance is higher in the alien insect *Trichocerca maculipennis* than in the native *Parochlus steinenii* in Antarctica. *Polar Biology*, 1-6. <https://doi.org/10.1007/s00300-021-02865-w>

PlasticsEurope, (2013). Plastics - the Facts 2013: An analysis of European latest plastics production, demand and waste data. Plastics Europe.

PlasticsEurope, (2020). Plastics - the Facts 2020: An analysis of European latest plastics production, demand and waste data. Plastics Europe.

Pociecha, A., & Dumont, H. J. (2008). Life cycle of *Boeckella poppei* Mrazek and *Branchinecta gaini* Daday (King George Island, South Shetlands). *Polar Biology*, 31(2), 245-248.

Potocka M. & Krzeminska, E. (2018). *Trichocera maculipennis* (Diptera) –an invasive species in Maritime Antarctica. PeerJ. DOI: 10.7717/peerj.5408

Prowse, T. D., Wrona, F. J., Reist, J. D., Gibson, J. J., Hobbie, J. E., Lévesque, L. M., & Vincent, W. F. (2006). Climate change effects on hydroecology of Arctic freshwater ecosystems. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 35(7), 347-358.

Quesada, A., Camacho, A., Lyons, W.B., 2013. Multidisciplinary research on Byers Peninsula, Livingston Island: a future benchmark for change in Maritime Antarctica. *Antarct. Sci.* 25, 123–127.

Rautio, M., Bayly I., Gibson J. & Nyman, M. (2008). Zooplankton and zoobenthos in high-latitude water bodies. W. F. Vincent & J. Laybourn-Parry (eds). *Polar Lakes and Rivers*. Oxford University Press, New York, pp. 231–247.

Remedios-De León, M. L., Santana, M., Hagopián, D., Bentancur-Viglione, G., & Morelli, E. (2020). Aportes al estudio de *Trichocera (Saltrichocera) maculipennis* Meigen, 1818 (Diptera: Trichoceridae) en la Isla Rey Jorge. *Bol. Soc. Zool. Uruguay*, 29(2), 99-105.

Remedios-De León, M., Hughes, K. A., Morelli, E., & Convey, P. (2021). International response under the Antarctic Treaty System to the establishment of a non-native fly in Antarctica. *Environmental Management*, 67(6), 1043-1059.

- Republic of Korea, United Kingdom, Chile, Uruguay. (2016).** Non-native flies in sewage treatment plants on King George Island, South Shetland Islands. Working Paper 52. Antarctic Treaty Consultative Meeting XXXIX, Santiago, Chile, 23 May–1 June 2016
- Richard, K.J., Convey P. & Block, W. (1994).** The terrestrial arthropod fauna of the Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands. *Polar Biol.* 14: 371–379.
- Rodríguez, C., Iglesias, K., Bicego, M., Taniguchi, S. Sasaki, S., Kandratavicius, N., Bueno, C. Brugnoli, E. & N. Venturini. (2018).** *Hydrocarbons in soil and melt water stream sediments nearby the Artigas Antarctic Research Station: origin, sources and levels.* Antarctic Science. pp 1-13. [http:// doi:10.1017/S0954102018000019](http://doi:10.1017/S0954102018000019)
- Romaniuk, K., Ciok, A., Decewicz, P., Uhrynowski, W., Budzik, K., Nieckarz, M., Pawlowska, J., Zdanowski, M. K., Bartosik, D., & Dziewit, L. (2018).** Insight into heavy metal resistome of soil psychrotolerant bacteria originating from King George Island (Antarctica). *Polar Biol.* 41, 1319–1333.
- Shimada, K., Ohyama, Y. & Pan C.X. (1991).** Cold-hardiness of the Antarctic winged midge *Parochlus steinenii* during the active season at King George Island. *Polar Biol.* 11: 311-314.
- Sierra, I., Chialanza, M. R., Faccio, R., Carrizo, D., Fornaro, L., & Pérez-Parada, A. (2019).** Identification of microplastics in wastewater samples by means of polarized light optical microscopy. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-11.
- Simonov, I.M. (1977).** Physical- geographic description of the fildes peninsula (South Shetland Islands), *Polar Geography*, 1:3, 223-242.
- Smith, J.J. & Riddle, M.J. (2009).** Sewage disposal and wildlife health in Antarctica. In: Kerry, K.R., Riddle, M. (Eds.), *Health of Antarctic Wildlife.* Springer, Berlin Heidelberg, pp. 271–315.
- Tin, T., Fleming, Z.L., Hughes, K.A., Ainley, D.G., Convey, P., Moreno, C.A., Pfeiffer, S., Scott, J. & Snape, I. (2009).** Impacts of local human activities on the Antarctic environment. *Antarctic Science*, 21(1), 3–33.
- Toro, M., Camacho, A., Rochera, C., Rico, E., Bañón, M., Fernández-Valiente, E., Marco, E., Justel, A., Avendaño, M. C., Ariosa, Y., Vincent, W. F. & Quesada, A. (2007).** Limnological characteristics of the freshwater ecosystems of Byers Peninsula, Livingston Island, in maritime Antarctica. *Polar Biology* 30, 635–649.
- Tort, L. F. L., Iglesias, K., Bueno, C., Lizasoain, A., Salvo, M., Cristina, J., ... & Victoria, M. (2017).** Wastewater contamination in Antarctic melt-water streams evidenced by virological and organic molecular markers. *Science of the Total Environment*, 609, 225-231.

Trillo, M.C., Stanley, E., Rodríguez, V., Laborda, A. & Castro, M. (2018). Composición y abundancia de la artropofauna terrestre en la Península Fildes. *Bol. Soc. Zool. Uruguay. Vol. 27* (1): 19-24.

Uruguay, Argentina, Brazil, Chile, China, Germany, Republic of Korea, Russian Federation. (2019). Report of the 2018/2019 summer campaign of the joint monitoring programme of non-native flies in King George Island/Isla 25 de Mayo. Information Paper 120. Antarctic Treaty Consultative Meeting XLII, Prague, Czech Republic, 1–11 July 2019

Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 37(1), 130-137.

Venturini, N., Zhu, Z., Bessonart, M., García-Rodríguez, F., Bergamino, L., Brugnoli, E., Muniz, P. & Zhang, J. (2020). Between-summer comparison of particulate organic matter in surface waters of a coastal area influenced by glacier meltwater runoff and retreat. *Polar Science*, 26, 100603.

Viršek, M. K., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., & Kržan, A. (2016). Protocol for microplastics sampling on the sea surface and sample analysis. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (118), e55161.

Volonterio, O., Ponce de León, R., Convey, P., & Krzemińska, E. (2013). First record of Trichoceridae (Diptera) in the maritime Antarctic. *Polar Biology*, 36(8): 1125-1131.

von Moos N, Burkhardt-Holm P, Koehler A (2012) Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environ Sci Technol* 46:327–335.

Waller, C. L., Griffiths, H. J., Waluda, C. M., Thorpe, S. E., Loaiza, I., Moreno, B., Pachterres, C. O., Hughes, K. A., (2017). Microplastics in the Antarctic marine system: an emerging area of research. *Sci. Total Environ.* 598, 220–227.

Wirth W.W. & Gressitt J.L. (1967). Diptera: Chironomidae (midges). *Antarct. Res. Ser.* 10: 197–203.

Wu, F., Pennings, S. C., Tong, C., Xu, Y. (2020). Variation in microplastics composition at small spatial and temporal scales in a tidal flat of the Yangtze Estuary, China. *Science of the Total Environment*, 699, 134252.

Yergeau, E., Bokhorst, S., Huiskes, A. H., Boschker, H. T., Aerts, R. & Kowalchuk, G. A. (2007). Size and structure of bacterial, fungal and nematode communities along an Antarctic environmental gradient. *FEMS microbiology ecology*, 59(2), 436-451.

Young, E.C. (1989). Ecology and conservation of the polar regions. *Ambio* 18, 23–33.

10. Anexo



Figura I. Clasificación de MP según Viršek et al. (2016). Fotos tomadas de la misma publicación.

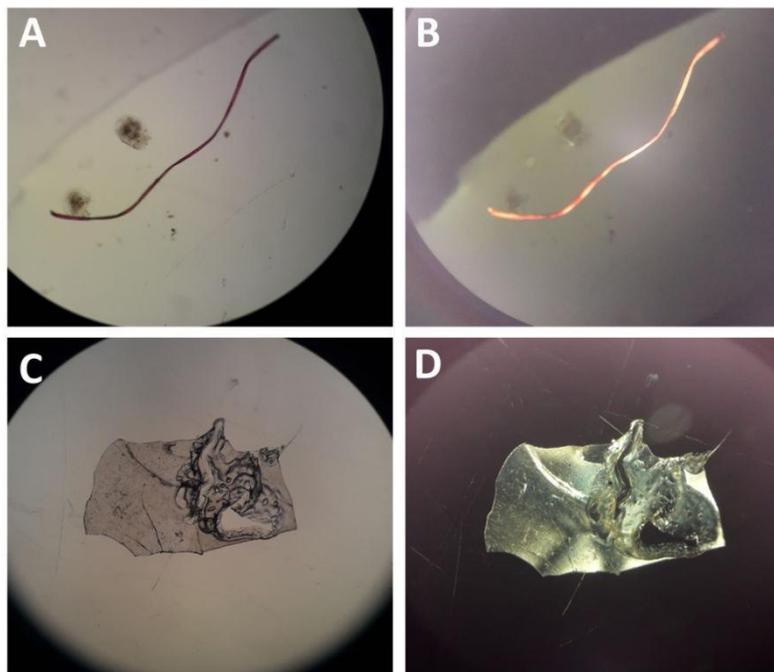


Figura II. Observación de ítems plásticos al microscopio con luz polarizada. Se observa una fibra (A) y un film (C) en microscopio sin filtro de luz polarizada. B y D muestra los mismos objetos brillar bajo el filtro de luz polarizada.

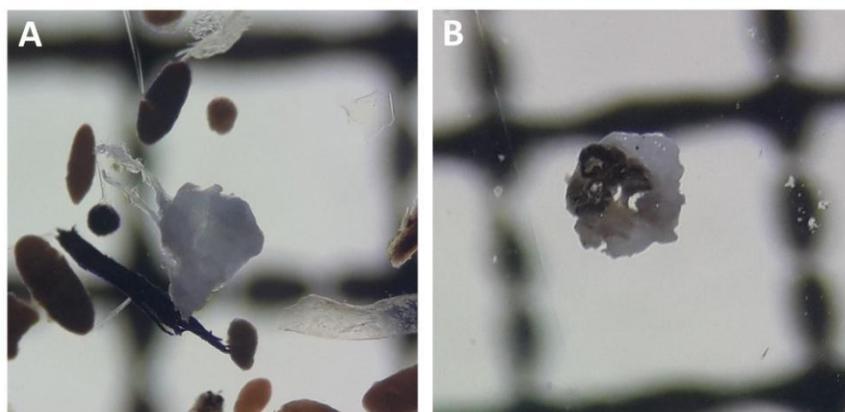


Figura III. Prueba de aguja caliente. En A, objeto antes de ser calentado con la aguja, en B luego de ser calentado.

Tabla I. Presencia (1) y ausencia (0) de especies de invertebrados en los diferentes estados de desarrollo en las distintas muestras de cada arroyo. En azul, especies acuáticas y en verde, especies terrestres.

Arroyo	Muestreo	<i>P. steinenii:</i> Larva	<i>P. steinenii:</i> Pupa	<i>P. steinenii:</i> Adulto	<i>T. maculipennis:</i> Adulto	<i>C. antarcticus</i>	<i>F. octooculata</i>	<i>G. hodgsoni</i>	<i>B. poppei</i>	<i>B. gaini:</i> Larva	<i>B. gaini:</i> Adulto	Nematodo	Anfípodo
AINA 2018	Enero	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
	Abril	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0
AINA 2019	Enero	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	Febrero	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
Drake 2019	Abril	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
	Enero	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Drake 2019	Febrero	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Abril	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

En azul, especies acuáticas y en verde, especies terrestres.

Tabla II. Abundancia relativa de invertebrados acuáticos (ind m⁻³) en sus distintos estados de desarrollo presente en las distintas muestras de cada arroyo.

Arroyo	Muestreo	<i>P. steinenii</i> : Larva	<i>P. steinenii</i> : Pupa	<i>B. poppei</i> :	<i>B. gaini</i> : Larva	<i>B. gaini</i> : Adulto	Anfípodo
AINA 2018	Enero	0,035	0,013	0,903	0,008	0,013	-
	Abril	0,477	0,037	-	-	-	-
AINA 2019	Enero	0,928	0,007	0,003	-	-	-
	Febrero	0,957	-	0,034	-	0,001	-
	Abril	0,267	0,423	0,001	-	0,001	-
Drake 2019	Enero	0,003	0,008	0,001	-	-	-
	Febrero	0,500	-	-	-	-	-
	Abril	0,500	-	-	-	-	0,250

Tabla III. Tamaño medio de invertebrados (mm) encontrados en las distintas muestras de los dos arroyos.

		AINA 2018		AINA 2019			Drake 2019		
Nombre común	Nombre específico	Enero	Abril	Enero	Febrero	Abril	Enero	Febrero	Abril
Díptero nativo	<i>P. steinenii</i> : Larva	2,43 ± 1,10	5,17 ± 0,77	4,68 ± 0,87	5,52 ± 0,84	5,08 ± 0,70	5,65 ± 1,12	4,55 ± 0,64	5,50 ± 2,12
	<i>P. steinenii</i> : Pupa	3,13 ± 0,49	4,03 ± 0,62	3,21 ± 0,48	-	3,52 ± 0,43	3,52 ± 0,48	-	-
	<i>P. steinenii</i> : Adulto	2,66 ± 0,49	3,27 ± 0,32	2,69 ± 0,51	3,39 ± 0,42	3,17 ± 0,46	3,00 ± ---	-	-
Díptero invasor	<i>T. maculipenni</i> : Adulto	8,20 ± ---	-	-	-	-	-	-	-
Colémbolo	<i>C. antarcticus</i>	1,21 ± 0,23	0,90 ± ---	1,34 ± 0,23	1,33 ± 0,42	1,18 ± 0,17	1,09 ± 0,35	1,03 ± 0,13	-
	<i>F. octooculata</i>	1,04 ± 0,24	1,11 ± 0,26	-	-	1,25 ± 0,21	1,02 ± 0,18	-	-
	<i>G. hodgsoni</i>	-	-	-	-	-	1,60 ± 0,28	-	-
Copépodo	<i>B. poppei</i>	1,36 ± 0,36	-	1,78 ± 0,21	0,95 ± 0,18	1,70 ± ---	2,00 ± ---	-	-
Anostráceo	<i>B. gaini</i> : Larva	0,94 ± 0,16	-	-	-	-	-	-	-
	<i>B. gaini</i> : Adulto	6,50 ± 2,07	-	-	12,00 ± ---	11,00 ± ---	-	-	-
Nematodo	-	6,68 ± 2,60	6,32 ± 3,21	7,25 ± 2,63	-	4,29 ± 1,78	-	-	8,50 ± ---
Anfípodo	-	-	-	-	-	-	-	-	8,00 ± ---

Tabla IV. Porcentajes de microplásticos (MP), mesoplásticos (ME) y macrolásticos (MA) presentes en las distintas muestras de los dos arroyos.

Arroyo	Muestreo	MP	ME	MA
AINA 2018	Enero	86,5	13,5	0,0
	Abril	74,7	24,0	1,3
AINA 2019	Enero	88,9	11,1	0,0
	Febrero	84,9	15,1	0,0
	Abril	88,1	11,3	0,5
Drake 2019	Enero	78,1	21,9	0,0
	Febrero	89,7	10,3	0,0
	Abril	85,1	14,9	0,0

Tabla V. Porcentaje de los distintos tipos de microplásticos (azul), mesoplásticos (naranja) y macrolásticos (rojo) presentes en las distintas muestras de los dos arroyos.

Arroyo	Muestreo	Fibras	Fragmentos	Conjunto de Fibras	Pinturas	Espuma	Fibras	Fragmentos	Conjunto de Fibras	Pinturas	Espumas	Films	Fragmentos	Films
AINA 2018	Enero	44,9	10,3	-	25,6	5,8	5,8	1,9	1,9	-	3,8	-	-	-
	Abril	65,3	9,3	-	-	-	24,0	-	-	-	-	-	1,3	-
AINA 2019	Enero	68,4	9,4	0,9	8,5	1,7	8,5	2,6	-	-	-	-	-	-
	Febrero	76,7	4,1	-	2,7	1,4	15,1	-	-	-	-	-	-	-
Drake 2019	Abril	42,8	12,9	0,5	32,0	-	9,8	1,0	-	0,5	-	-	-	0,5
	Enero	68,5	5,5	-	-	4,1	20,5	-	-	-	-	1,4	-	-
	Febrero	41,2	48,5	-	-	-	7,4	2,9	-	-	-	-	-	-
	Abril	55,2	27,6	1,1	1,1	-	10,3	4,6	-	-	-	-	-	-

Tabla VI. Densidad total de plásticos, microplásticos (MP), mesoplásticos (ME) y macroplásticos (MA) (ítems m⁻³) presentes en las distintas muestras de los dos arroyos.

Arroyo	Muestreo	MP	ME	MA	Total
AINA 2018	Enero	1,25	0,20	-	1,45
	Abril	2,39	0,77	0,04	3,20
AINA 2019	Enero	9,00	1,13	-	10,13
	Febrero	4,27	0,76	-	5,03
	Abril	15,64	2,01	0,09	17,75
Drake 2019	Enero	6,28	1,76	-	8,04
	Febrero	16,27	1,87	-	18,13
	Abril	62,65	11,01	-	73,65

Tabla VII. Densidad de los distintos tipos de microplásticos (azul) y mesoplásticos (naranja) (ítems m⁻³) presentes en las distintas muestras de los dos arroyos.

Arroyo	Muestreo	Fibras	Fragmentos	Conjunto de Fibras	Pinturas	Espumas	Fibras	Fragmentos	Conjunto de Fibras	Pinturas	Espumas	Films
AINA 2018	Enero	0,65	0,15	0,00	0,37	0,08	0,08	0,03	0,03	-	0,06	-
	Abril	2,09	0,30	-	-	-	0,77	-	-	-	-	-
AINA 2019	Enero	6,93	0,95	0,09	0,87	0,17	0,87	0,26	-	-	-	-
	Febrero	3,86	0,21	-	0,14	0,07	0,76	-	-	-	-	-
	Abril	7,59	2,29	0,09	5,67	0,00	1,74	0,18	-	0,09	-	-
Drake 2019	Enero	5,51	0,44	-	-	0,33	1,65	-	-	-	-	0,11
	Febrero	7,47	8,80	-	-	-	1,33	0,53	-	-	-	-
	Abril	40,63	20,32	0,85	0,85	-	7,62	3,39	-	-	-	-

Tabla VIII. Tamaño medio (mm) de los distintos tipos de microplásticos (azul) y mesoplásticos (naranja) presentes en las distintas muestras de los dos arroyos.

Arroyo	Muestreo	Fibras	Fragmentos	Conjunto de Fibras	Pinturas	Espumas	Fibras	Fragmentos	Conjunto de Fibras	Pinturas	Espumas	Films
AINA 2018	Enero	2,09 ± 1,05	1,38 ± 0,99	-	0,84 ± 0,57	2,20 ± 1,44	8,78 ± 2,39	7,23 ± 2,86	13,67 ± 5,51	-	7,93 ± 1,24	-
	Abril	2,70 ± 1,23	1,27 ± 0,39	-	-	-	8,44 ± 3,60	-	-	-	-	-
AINA 2019	Enero	2,37 ± 1,24	1,61 ± 0,89	3,00 ± ---	1,37 ± 1,37	1,50 ± 0,85	9,21 ± 2,88	12,67 ± 9,81	-	-	-	-
	Febrero	1,89 ± 1,10	0,57 ± 0,21	-	0,70 ± 0,14	0,50 ± ---	8,73 ± 3,48	-	-	-	-	-
	Abril	3,03 ± 1,17	1,72 ± 1,13	1,00 ± ---	0,93 ± 0,59	-	8,08 ± 2,47	5,75 ± 0,35	-	5,80 ± ---	-	-
Drake 2019	Enero	2,42 ± 1,33	3,13 ± 2,25	-	-	0,33 ± 0,15	10,00 ± 4,57	-	-	-	-	8,00 ± ---
	Febrero	2,28 ± 1,17	1,59 ± 0,98	-	-	-	9,80 ± 5,02	11,50 ± 6,36	-	-	-	-
	Abril	2,67 ± 1,22	1,49 ± 1,10	2,00 ± ---	1,20 ± ---	-	7,23 ± 1,18	8,00 ± 2,71	-	-	-	-