



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

CARRERA DE BIOLOGÍA

TÍTULO DEL TRABAJO PRÁCTICO

Abundancia, volumen y tipo de microplásticos *en Balanus amphitrite*

(Darwin, 1854) en el archipiélago de Galápagos

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del Título de:

Biólogo

AUTOR: Samuel Eduardo Cevallos Moncayo

DOCENTE TUTOR: Blga. Jodie Darquea Arteaga, M. Sc.

LA LIBERTAD – ECUADOR – 2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

CARRERA DE BIOLOGÍA

TÍTULO DEL TRABAJO PRÁCTICO

Abundancia, volumen y tipo de microplásticos *en Balanus amphitrite*

(Darwin, 1854) en el archipiélago de Galápagos

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del Título de:

Biólogo

AUTOR: Samuel Eduardo Cevallos Moncayo

DOCENTE TUTOR: Blga. Jodie Darquea Arteaga, M. Sc.

LA LIBERTAD – ECUADOR – 2024

DECLARACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Integración Curricular, “Abundancia, volumen y tipo de microplásticos en *Balanus amphitrite* (Darwin, 1854) en el archipelago de Galápagos”, elaborado por Cevallos Moncayo Samuel Eduardo, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Bióloga, me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, apruebo en todas sus partes, encontrándose apto para la evaluación del docente especialista.

Atentamente



Blga. Jodie Darquea Arteaga, M. Sc

DOCENTE TUTOR

C.I. 0918674359

DECLARACIÓN DEL DOCENTE DE ÁREA

En mi calidad de Docente Especialista del Trabajo de Integración Curricular, "Abundancia, volumen y tipo de microplásticos *en Balanus amphitrite* (Darwin, 1854) en el archipelago de Galápagos", elaborado por Cevallos Moncayo Samuel Eduardo, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo/a, me permito declarar que luego de haber evaluado el desarrollo y estructura final del trabajo, éste cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, declaro que se encuentra apto para sustentación.

Atentamente



Acui. Sonnya Mendoza Lombana, Ph.D.

DOCENTE DE ÁREA

C.I. 0912802816

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que directa o indirectamente se involucraron en el desarrollo de mi formación como profesional. A mis padres, familiares y amigos quienes estuvieron presentes brindándome su amor y apoyo.

A mis maestros, aquellos que me motivaron a seguir aprendiendo transmitiendo sus conocimientos y experiencias. A mis compañeros, que sin ellos las jornadas transcurridas no hubieran sido tan llevaderas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y familia, quienes han sido y siguen siendo el principal apoyo durante mi formación profesional y personal, gracias por mostrarme que con esfuerzo y dedicación puedo alcanzar lo que me proponga. Agradezco a esos amigos que se han convertido en familia, que siempre estuvieron ahí cuando necesité apoyo, que gracias a ellos todo esto fue posible.

Mis agradecimientos al Dr. Rafael Bermúdez, que permitió que formara parte del proyecto bajo su dirección, a Isabel Timpe del programa de investigación GMaRE, a la Fundación Charles Darwin (FCD), al Parque Nacional Galápagos, a The Ocean Foundation, y a SY Acadia. Esta publicación tiene el número de contribución 2472 correspondiente a la FCD para las Islas Galápagos.

También agradezco a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, directivos y profesores de la institución, por ser la sede del conocimiento adquirido en estos años y haberme brindado la oportunidad de realizarme como profesional. A mis compañeros de laboratorio Nicholas Theux y Liseth Calle; mis supervisores José Pontón y Jodie Darquea, gracias por la paciencia. Por todo el apoyo brindado en la construcción de esta investigación desde el primer paso hasta el último, les quedo eternamente agradecido.

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **Samuel Eduardo Cevallos Moncayo** como requisito parcial para la obtención del grado de Biólogo/a de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Trabajo de Integración Curricular APROBADO el: 16 de julio del 2024



Blgo. Richard Duque Marin, Mgt.

DOCENTE GUÍA DE LA UIC II

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc

DIRECTOR DE CARRERA

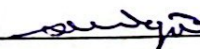
PRESIDENTE DE TRIBUNAL



Blga. Jodie Darquea Arteaga, M.Sc

DOCENTE TUTOR

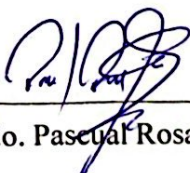
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Acui. Sonnya Mendoza Lombada, PhD.

DOCENTE DE ÁREA

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Lcdo. Pascual Rosa Silvestre, Mgtr.

SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de Propiedad intelectual de la institución; Samuel Eduardo Cevallos Moncayo doy mi consentimiento para que la UPSE realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.



Samuel Eduardo Cevallos Moncayo

CI 1350060073

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
JUSTIFICACIÓN	5
OBJETIVOS	7
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	7
1.3 HIPÓTESIS.....	7
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1 El plástico.....	8
2.2 Distribución del plástico en ecosistemas marinos	8
2.3 Bioacumulación de MP.....	9
2.4 Los giros oceánicos y el transporte del plástico.....	10
2.5 Polución plástica en las Galápagos	11
2.6 <i>B. amphitrite</i> como bioindicador de polución plástica en las Galápagos	12
3. METODOLOGÍA.....	13
3.1 Sitios de muestreo	13
3.2 Métodos de campo	17
3.2.1 Cálculo de volumen de muestras de <i>Balanus amphitrite</i>	17

3.2.2	Procesamiento de muestras de Balanus amphitrite y de agua.....	18
3.2.3	Cálculo de abundancia y volumen de microplástico, y análisis estadísticos	21
4.	RESULTADOS	25
4.1	Análisis e interpretación de resultados	25
4.1.1	Abundancia y volumen relativo de MP ingeridos en muestra de B. amphitrite	25
4.1.2	Contrastar abundancias y volúmenes relativos de MP en muestras de la columna de agua y B. amphitrite entre localidades.....	34
4.1.3	Potencial efecto de ciertos parámetros oceanográficos en los patrones espaciales encontrados	40
4.2	Discusión.....	43
	CONCLUSIÓN GENERAL	47
	REFERENCIAS.....	48
	ANEXOS	55
	Director de Carrera de la Escuela de Biología.....	61
	Blga. Jodie J. Darquea Arteaga M.Sc Docente - Investigador UPSE.....	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Fecha de muestreos y ubicación geográfica de los sitios</i>	16
Tabla 2 <i>Muestras procesadas</i>	20
Tabla 3 <i>Resultados de ANOVA</i>	39
Tabla 4 <i>Tabla resumen de abundancia y volumen de microplásticos en muestras de agua</i>	41
Tabla 5 <i>Promedios (y desviación estándar) de temperatura, salinidad y fluorescencia</i>	42
Tabla 6 <i>Post-hoc (TukeyHSD) del ANOVA de abundancia de microplásticos en B. amphitrite</i> ..	55
Tabla 7 <i>Post-hoc (TukeyHSD) del ANOVA de volumen de microplásticos en B. amphitrite</i>	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Mapa de las islas Galápagos, Ecuador, con los sitios de muestreo</i>	15
Figura 2 <i>Balanus amphitrite</i>	18
Figura 3 <i>Fórmulas geométricas para el cálculo de volumen de microplásticos</i>	24
Figura 4 <i>Composición de abundancias promedio de microplásticos por tipo (partículas/cm³)</i>	26
Figura 5 <i>Composición de volumen promedio de microplásticos por tipo (partículas/cm³)</i>	27
Figura 6 <i>Composición de abundancias promedio de microplásticos por forma (partículas/cm³)</i>	28
Figura 7 <i>Composición de volúmenes promedio de microplásticos por forma (μm³/cm³)</i>	29
Figura 8 <i>Análisis de componentes principales (PCA) sobre composición de abundancias</i>	31
Figura 9 <i>Análisis de componentes principales (PCA) sobre composición de volúmenes</i>	33
Figura 10 <i>Comparación de rango de tamaño de partículas de microplástico (μm³)</i>	35
Figura 11 <i>Distribución de abundancias promedio de microplástico entre islas (partículas/cm³)</i>	37
Figura 12 <i>Distribución de volumen promedio de microplástico entre isla (μm³/cm³)</i>	38

Figura 13 *Distribución de volumen promedio de microplásticos en muestras de B. amphitrite.. 57*

Figura 14 *Distribución de volumen promedio de microplástico en muestras de según el color.. 58*

ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de la Varianza
B/BRTLM	Bartolomé
FLO/FLRN	Floreana
RR	Roca Redonda
WLF	Wolf
DRWN	Darwin
ESP/SPNL	Española
MCH/MRCHN	Marchena
DPGN	Dirección del Parque Nacional Galápagos
SD	Desviación Estándar
MP	Microplástico/microplásticos
PNG	Parque Nacional Galápagos
PVC	Cloruro de Polivinilo
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PET	Polietileno tereftalato

SIMBOLOGIA

g	Gramo
km	Kilómetro
km ²	Kilómetro Cuadrado
m	Metro
mm	Milímetro
cm ³	Centímetro cúbico
mg	Miligramo
L	Litro
ml	Mililitro
µm	Micrómetro
µm ³	Micrómetro cúbico
µg	Microgramo
‰	Salinidad
v	Volumen
°C	Grados Centígrados
t	Tonelada
r	Radio

RESUMEN

En este trabajo titulado “Abundancia, volumen y tipo de microplásticos en *Balanus amphitrite* (Darwin, 1854) en el archipiélago de Galápagos” se contrastó diferencias espaciales de abundancia, volumen, forma y tamaño de microplásticos (MP) en muestras de *B. amphitrite* entre siete islas de la región Insular del Ecuador. Las islas en donde los balanos mostraron mayor abundancia y volumen de MP se ubicaron al Noreste del Archipiélago, esto posiblemente se debe a que el monitoreo tuvo lugar en la época caliente del año (i.e., Feb 2021), cuando el afloramiento de la Corriente de Cromwell en el centro del archipiélago y la convergencia con la Corriente panameña desde el Noreste predomina respecto a la corriente de Humboldt en el Sureste. Las muestras de estas islas (Bartolomé, Marchena y Roca Redonda) presentaron una abundancia y volumen de MP relativamente mayor respecto de las islas (Floreana y Española) en que las corrientes marinas son más leves en esta época del año. Se contabilizaron más de 4400 MP, la isla Bartolomé presentó la mayor abundancia ($n = 157.4$ partículas/cm³) y volumen de MP (2.79 um³/cm³) respecto a las otras islas. La forma de MP más abundante en muestras de *B. amphitrite* fueron los pellets con más de 2500 partículas entre todas las muestras, y las fibras, aunque menos abundantes presentaron un rango de volumen mayor debido a las diferencias en tamaño. No se detectó una relación directa con los parámetros fisicoquímicos del agua de mar y la distribución de MP, pero se cree que las distribuciones horizontales y verticales de MP en el agua pueden verse afectadas por los cambios de temperatura y salinidad por corrientes y procesos de afloramiento, e incluso la distancia desde la costa y profundidad puede influir en las diferencias espaciales en las densidades de MP. En Galápagos, la bioacumulación de MP a través de la red trófica, debido a su alta biodisponibilidad, está provocando la introducción de toxinas en muchas especies.

Palabras clave: Distribución, abundancia, microplástico, fibra, fragmento, pellet.

ABSTRACT

In this work entitled "Microplastic abundance, volume and types in *Balanus amphitrite* (Darwin, 1854) in the Galapagos archipelago" the spatial differences in abundance, volume, shape and size of microplastics (MP) in samples of *B. amphitrite* across seven islands of the Insular region of Ecuador were contrasted. More than 4,400 microplastics were counted. The results indicated that the islands with the highest abundance and volume of MP are located to the Northeast of the Archipelago, possibly due to the monitoring taking place during the warm season of the year (i.e., Feb 2021), when the Cromwell Current upwelling in the center of the archipelago and the convergence with the Panamanian Current from the Northeast, predominates over the Humboldt Current in the Southeast. The samples from islands of this region (i.e., Bartolome, Darwin, Wolf, Marchena, Roca Redonda) exhibited a relatively higher abundance and volume of MP compared to other islands in the South (i.e., Floreana, Española) where the marine currents are milder at this time of the year. Bartolome island presented the highest abundance and volume of MP ($n = 157.4$ particles/cm³, 2.79 um³/cm³). The most abundant form of MP was the pellets, with more than 2500 particles counted among samples; whereas the fibers, although they were less abundant, presented a greater volume range due to the differences in size. A direct relationship with seawater physicochemical parameters was not detected, but certain authors explain that MP horizontal and vertical distributions in water can be affected by temperature and salinity changes driven by current and upwelling processes, and even the distance from the coast can be important for spatial differences in MP densities and food availability for this crustacean. In Galapagos, the bioaccumulation of MP through the trophic web, due to its high bioavailability, is causing the introduction of toxins in many species and causing various effects in the ecosystem. Hence, it becomes necessary to implement actions that contribute to mitigate this problem.

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de plásticos fue de aproximadamente 1,5 millones de toneladas anuales en la década de 1950. En 2011 se estimaba en 250 millones de toneladas por año. En 2018 China fue responsable del 30% de la producción mundial de plásticos, cuando la producción de plásticos en el mundo alcanzó 359 millones de toneladas (Plastics, E, 2019). Gran parte de esta producción termina como residuos en el medio ambiente y su fragmentación conduce a la presencia de plásticos en ambientes terrestres, atmosféricos, dulceacuícolas y marinos (Brahney, Hallerud, Heim, Hahnenberger, & Sukumaran, 2020). Más de 8 millones de toneladas de plástico terminan en nuestros océanos cada año (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza informe anual, 2021).

Los fragmentos plásticos han sido encontrados en islas remotas del Océano Pacífico como Galápagos, un archipiélago de islas volcánicas aislado ubicado a unos 1000 km de la costa de Ecuador, en el Océano Pacífico Oriental. Constituido por 14 islas principales y más de 100 islotes pequeños, Galápagos es el hogar de una gran biodiversidad de flora y fauna. Con grandes poblaciones de mamíferos marinos, tortugas, peces cartilaginosos y peces óseos, así como cientos de especies de invertebrados y diversas comunidades de algas (Danulat & Edgar, 2002), es uno de los ecosistemas más emblemáticos y valorados del mundo (Van Sebille et al., 2019).

Las fuentes remotas de contaminación plástica en las Galápagos están bastante localizadas y limitadas a las regiones pesqueras cercanas y las costas de América del Sur y América Central, en particular el norte de Perú y el sur de Ecuador (Van Sebille et al., 2019). Contaminación plástica que, influenciada por la Corriente de Humboldt, termina en zonas costeras de las Galápagos, acumulándose principalmente en el este del archipiélago (Jones et al., 2021).

Los ecosistemas marinos de Galápagos están altamente influenciados por tres corrientes constantes: Corriente de Humboldt (Corriente Costera de Perú), Corriente de Panamá (Flujo de Panamá) y Corriente de Cromwell (Contracorriente Ecuatorial Sur). Las Corrientes de Humboldt y Cromwell son dos corrientes de afloramiento que proporcionan agua fría rica en nutrientes y plancton. Responsables de la alta biodiversidad, sin embargo, también influyen en la contaminación plástica en el archipiélago (Jones et al., 2021). Causando impacto a una gran diversidad de especies: reptiles, aves y mamíferos, así como organismos marinos más pequeños (Baird & Hooker, 2000; Orayeva, 2020).

Debido a sus propiedades flotantes y persistentes, los desechos plásticos tienen el potencial de dispersarse ampliamente en el medio marino a través de procesos hidrodinámicos (Claessens, De Meester, Van Landuyt, De Clerck, & Janssen, 2011) y transporte de pequeñas partículas por el viento (Sexton, 2022). Un hallazgo significativo es que los fragmentos diminutos de desechos plásticos (<5 mm y >1 µm de diámetro) (Arthur, Baker, & Bamford, 2008), denominados microplásticos (MP), se encuentran en los océanos de todo el mundo (Barnes, Galgani, Thompson, & Barlaz, 2009), incluso en la Antártida (Zarfl & Matthies, 2010).

Por medio de *Balanus amphitrite*, cirripedios comunes de la fauna bentónica de Galápagos, que forman poblaciones muy densas (Spivak & L'Hoste, 1976), además de ser conocidos bioindicadores de contaminación plástica y orgánica (Xu, Wong, Tam, Liu, & Cheung, 2020), se logró cuantificar el potencial riesgo de los MP ingeridos por estos animales en siete islas del archipiélago. El presente trabajo examinó los patrones espaciales de abundancia, volumen y tipo de MP en *Balanus amphitrite*, lo cual contribuirá a comprender cómo estos contaminantes se distribuyen e inciden en este ecosistema.

JUSTIFICACIÓN

La mayor parte del plástico ingresa al océano generalmente desde fuentes terrestres (Worm, Lotze, Jubinville, Wilcox, & Jambeck, 2017). Luego, influenciado por corrientes marinas, termina en las islas oceánicas, volviéndolas así, uno de los lugares más afectados por este tipo de contaminación. En el caso de las islas Galápagos, en donde existe un gran impacto de polución por plásticos influenciado por corrientes marinas, además de otras fuentes (Jones et al., 2021). Coello y Macías (2005) y Comisión Permanente del Pacífico Sur (2007) afirman que la contaminación por MP es un tema de especial preocupación en América del Sur y Ecuador. Sin embargo, para el Pacífico oriental central, la información sobre basura marina es limitada (Figueroa-Pico, Mero-Del Valle, Castillo-Ruperti, & Macías-Mayorga, 2016). Desafortunadamente, el estudio de información cuantitativa se ha limitado al entendimiento de patrones en la superficie del océano; pero falta información sobre la acción de factores físicos, químicos y biológicos que afectan la dinámica de los MP a lo largo de la columna de agua (Galgani, Hanke, & Maes, 2015).

Se ha demostrado que gran parte de la contaminación por MP en Galápagos está focalizada al sureste del archipiélago influenciada por la corriente fría de Humboldt (Jones et al., 2021), que trae consigo la contaminación de regiones pesqueras cercanas y asentamientos poblacionales de la costa Sudamericana; particularmente del norte peruano y del sur del Ecuador (Van Sebille et al., 2019). Sin embargo, esta información puede estar limitada a la época del año en que se dieron los muestreos (e.g. época seca, época lluviosa), así como diversos factores relacionados a la distribución espacial de microplásticos, como el transporte y trayectoria de MP inducido por acción mecánica de las olas (deriva de Stokes), el transporte atmosférico (Wichmann, Delandmeter, & Van Sebille, 2019), e incluso, las condiciones “ácidas” naturalmente por actividad volcánica en zonas submarinas específicas (Hurtado Domínguez & Bermúdez Monsalve, 2021).

Los percebes son comunes en el submareal de Galápagos, se alimentan de fitoplancton y zooplancton en la columna de agua (Witman, Brandt, & Smith, 2010). Los percebes, además, son presas de peces e invertebrados como *Bodianus diplotaenia*, *Bodianus eclancheri*, *Oplegnathus insignis*, *Hexaplex princeps* y *Eucidaris galapagensis*. Al ser presa principal de estas y otras especies, la transferencia trófica de MP por balanos tiene un efecto alto en los niveles tróficos superiores (Witman, Brandt, & Smith, 2010). Se ha demostrado que los percebes adultos de la especie *Amphibalanus amphitrite* pueden ingerir MP (Browne et al., 2008; Bhargava et al., 2018). Esto posiciona a los percebes como bioindicadores de polución plástica y orgánica (Xu, Wong, Tam, Liu, & Cheung, 2020).

Empleando a los percebes como bioindicadores de polución plástica, se determinó la abundancia, volumen y tipo de MP en muestras de *B. amphitrite* recolectados en Galápagos, y se analizó la posible incidencia de factores ambientales relacionados a la variación espacial de MP entre zonas geográficas específicas, incluyendo la abundancia local de MP en muestras de la columna de agua. Permitiendo así, ampliar el conocimiento sobre los potenciales impactos que produce aquel tipo de contaminación en los ecosistemas marinos de Galápagos.

OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las diferencias espaciales de abundancia y volumen de microplásticos (MP) en *Balanus amphitrite* del Archipiélago de Galápagos para contribuir al entendimiento de su incidencia en el medio.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Contrastar abundancias y volúmenes relativos de MP en muestras de la columna de agua y *B. amphitrite* entre las localidades muestreadas.
- Calcular la abundancia y volumen relativo de MP ingeridos en muestras de *B. amphitrite*, en base a la forma y color de las partículas plásticas.
- Explorar el potencial efecto de ciertos parámetros oceanográficos en los patrones espaciales encontrados.

1.3 HIPÓTESIS

H1: Las localidades más expuestas a confluencias de corrientes marinas presentan valores significativamente mayores de abundancia y volumen de microplásticos en *Balanus amphitrite* que las islas menos expuestas.

H0: Las localidades más expuestas a confluencias de corrientes marinas presentan valores significativamente menores de abundancia y volumen de microplásticos en *Balanus amphitrite* que las islas menos expuestas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El plástico

Los plásticos son productos sintéticos, provenientes de la polimerización de monómeros derivados del petróleo o de gas, generalmente se les incorpora diversos aditivos químicos que potencian sus propiedades: livianos y resistentes. El plástico está constituido por polietileno (PE) de alta y baja densidad, polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS) y polietileno tereftalato (PET). En conjunto estos materiales representan el 90% de la producción global de plástico (Andrady, 2011). La producción mundial de plásticos incrementa a ritmo de la demanda, va desde 1,5 millones de toneladas en la década de los cincuenta, 280 millones de toneladas en 2011 y 359 millones de toneladas en 2018, siendo China responsable del 30% de la producción mundial de plásticos (Plastics, E, 2019).

Los plásticos constituyen entre el 60 y 80% de la basura presente en el medio marino, alcanzando picos de 95% en ciertas zonas (Elías, 2015). La presencia de plásticos de gran tamaño significa una pérdida de valor estético y económico de los lugares turísticos en donde se presentan. También generan gran amenaza para industrias basadas en el mar o zonas costeras (navegación, pesca, acuicultura y producción de energía; Derraik, 2002). Los plásticos también son responsables de la muerte de aves marinas, mamíferos, peces y reptiles como resultado de enredos e ingestión (Lopez Lozano & Mouat, 2009).

2.2 Distribución del plástico en ecosistemas marinos

Los contaminantes plásticos en el mar están ampliamente distribuidos, van desde la línea de marea alta hasta las fosas abisales (Andrady, 2011). Debido a sus propiedades flotantes y persistentes, los desechos plásticos tienen el potencial de dispersarse ampliamente en el medio

marino a través de procesos hidrodinámicos (Claessens, De Meester, Van Landuyt, De Clerck, & Janssen, 2011) y transporte de pequeñas partículas por el viento (Sexton, 2022). Un hallazgo significativo es que los MP (<5 mm y >1 µm de diámetro) (Arthur, Baker, & Bamford, 2008), se encuentran en los océanos de todo el mundo (Barnes, Galgani, Thompson, & Barlaz, 2009), incluso en la Antártida (Zarfl & Matthies, 2010).

Los MP ingresan al medio marino de diferentes formas. Unos entran directamente a los sistemas de alcantarillado y ambientes costeros adyacentes en forma de pellets de PS provenientes de industrias cosméticas. Otros en forma de microfibras plásticas producto de la industria textil y máquinas lavarropa. Otros plásticos más grandes se someten a alguna forma de degradación y posterior fragmentación. La degradación es un proceso de cambio químico, que lleva a la parcial desintegración de las moléculas de polímeros, disminuyendo su peso molecular. Los polímeros más comunes (PE y PP) tienen pesos moleculares elevados y no son biodegradables (Andrady, 2011). Sin embargo, cuando estos llegan al medio acuático comienzan la degradación foto-oxidativa por radiación solar (UV) y degradación termal o química.

2.3 Bioacumulación de MP

Los MP, debido a su pequeño tamaño son considerados biodisponibles, lo que significa que son disponibles a la incorporación en las comunidades (Andrady, 2011). La bioacumulación de microplásticos causa la introducción de toxinas a la base de la cadena alimentaria (Rochman, 2015). Si un organismo consume a otro que tiene plástico, este se incorporará en el consumidor. Humanos pueden acumular MP de diferentes fuentes, por ejemplo, comida del mar y agua embotellada, e incluso puede ser absorbido por inhalación. A pesar de que existe cierto grado de captación celular, no se han encontrado signos de toxicidad celular significantes excepto a

concentraciones muy altas (Yong, Valiyaveettil, & Tang, 2020).

Se estima que estas pequeñas partículas plásticas pueden persistir entre 3 y 10 años, algunos pellets con aditivos especiales pueden perdurar entre 30 y 50 años (Gregory, 2009). Si estos fragmentos plásticos se hunden quedan en el fondo marino (Andrady, 2011). Tal es el caso de los fondos marinos en la bahía de Tokio, en donde los MP constituyen entre el 80 a 85% de su superficie, lo que inhibe el intercambio de gases entre las aguas sobrenadantes y los sedimentos causando hipoxia o anoxia en el bentos (Kanehiro, Tokai, & Matsuda, 1995).

2.4 Los giros oceánicos y el transporte del plástico

Los contaminantes plásticos de fuentes terrestres y otras fuentes se unen a corrientes marinas causadas por la circulación del viento entre corrientes y posteriormente a los llamados giros oceánicos (Arévalo, 2012). Los cinco principales giros oceánicos en el mundo son el giro del Atlántico Norte, giro del Atlántico Sur, giro del Océano Índico, giro del Pacífico Norte y el giro del Pacífico Sur. Actualmente en el giro del Pacífico Norte se registró una concentración máxima de 32.7 partículas y un peso de 250 mg/cm³ (Goldstein, Titmus, & Ford, 2013). El área contiene cerca de 100 millones de toneladas de desechos y, aunque el tamaño de la zona afectada se desconoce, se estima que va desde los 700000 km² hasta más de 15 millones de km² (Andrady, 2011).

En el giro del Pacífico Sur, también existe una elevada concentración de plásticos pelágicos y otros desechos (Montanari, 2017). Desechos que influenciados principalmente por la corriente de Humboldt terminan en zonas costeras de la costa de las Américas e islas oceánicas. Tal es el caso de isla Henderson en el Pacífico Sur, en donde se han reportado hasta 38 millones de ítems y >4 mil millones de nano plásticos para una playa de la isla, convirtiéndola en la isla más

contaminada con plástico de la Tierra (Nichols, Lavers, Archer-Rand, & Bond, 2021), o incluso las Islas Galápagos, en donde ocurre un significativo caso de contaminación plástica influenciado en gran parte por la corriente de Humboldt (Zambrano-Monserrate & Ruano, 2020).

2.5 Polución plástica en las Galápagos

La contaminación plástica en las Galápagos está localizada y limitada a las regiones pesqueras cercanas, asentamientos poblacionales y la costa de América del Sur, en particular el norte de Perú y el sur de Ecuador (Van Sebille et al., 2019), acumulándose principalmente en el este del archipiélago (Jones et al., 2021). Las partículas plásticas provenientes de las pesquerías alrededor de las Galápagos que terminan en las Galápagos es muy pequeña. Sin embargo, en una simulación de escenario se encontraron probabilidades de 5% en los lugares de pesca al norte y este de Galápagos (Van Sebille et al., 2019).

Resultados de estudios sobre la ingestión de MP por organismos en Galápagos (Alfaro-Núñez et al., 2021) mostraron que había MP en un 100% de las muestras de agua y que 166 de las 240 muestras de organismos tenían MP en su tracto digestivo. De 16 especies de organismos el 77% de carnívoros presentaron MP, seguido de planctívoras (63%) y detritívoras (20%). En otro estudio se colectaron 123 muestras de organismos invertebrados alrededor de la isla San Cristóbal y había MP en las 7 especies muestreadas. La incidencia media de ingestión fue del 52% en todos los individuos. De 7 organismos de *Lepas anatifera*, 4 presentaron MP. Y de 6 organismos de *Megabalanus peninsularis*, 5 presentaron MP. Con una media por individuo de 0.71 ± 0.29 y 1.17 ± 0.31 partículas por individuo respectivamente (Jones, 2021).

Mindiola (2016), en su estudio de distribución y abundancia de MP en fondos marinos arenosos de tres islas pobladas de Galápagos, registró la mayor abundancia de MP en San Cristóbal

(N = 34275; 4284 ± 3178 partículas), seguido de Santa Cruz (N = 14595; 2160 ± 1874 partículas) e Isabela (N = 13590; 1510 ± 810 partículas). En cuanto a volumen (mm^3), mayores valores se encontraron en Santa Cruz (N = 308706.65; 30870 ± 96230), seguido de Isabela (N= 33061; 3673 ± 9614) y luego San Cristóbal (N =10465.61; 1308 ± 1736).

2.6 *B. amphitrite* como bioindicador de polución plástica en las Galápagos

En Galápagos la contaminación por MP es un problema emergente en el medio ambiente marino y la evaluación de la presencia y abundancia de MP en organismos silvestres es esencial para la evaluación de riesgos (Xu, Wong, Tam, Liu, & Cheung, 2020). En vista de la distribución ubicua y los amplios efectos de los MP en organismos marinos y la salud humana, es urgente desarrollar programas de monitoreo a largo plazo para los MP en diferentes componentes como el agua, los sedimentos y la biota (Gallo et al., 2020).

Balanus amphitrite en este estudio, se consideró como potencial bioindicador de MP por su abundancia, forma de vida sésil, amplio rango de distribución, facilidad de muestreo, tolerancia a una amplia gama de condiciones ambientales y porque obtienen MP de las aguas circundantes, lo que hace que la fuente de MP sea identificable (Powell & White, 1990). Ocurren en grandes cantidades en sustratos duros, por lo que son fáciles de muestrear. Sin embargo, solo han existido pocos estudios sobre la ingestión de microplásticos en percebes (Xu, Wong, Tam, Liu, & Cheung, 2020).

3. METODOLOGÍA

3.1 Sitios de muestreo

Este estudio se realizó en el archipiélago de Galápagos ubicado en el Pacífico Tropical Oriental, a 1000 km del Ecuador continental. Galápagos no tiene un clima húmedo y caliente igual al de otras regiones ecuatoriales debido a que está en una zona seca del Pacífico, donde las temperaturas se mantienen bajas por influencia de la corriente fría de Humboldt, que viene desde el Antártico. Este fenómeno de enfriamiento del aire, junto a los vientos Alisios del sureste y en ocasiones la influencia del Niño, producen dos estaciones climáticas a lo largo del año (Caicedo): la garúa-seca (julio-diciembre) y la época cálida-lluviosa (enero-junio), con mayores temperaturas. Galápagos está conformado por islas volcánicas geológicamente jóvenes. Trece islas grandes con una superficie mayor a 10 km², seis islas medianas con una superficie de 1 km² a 10 km² y otros 215 islotes de tamaño pequeño, además de promontorios rocosos de pocos metros cuadrados, distribuidos alrededor de la línea del ecuador terrestre (Galápagos, 2014).

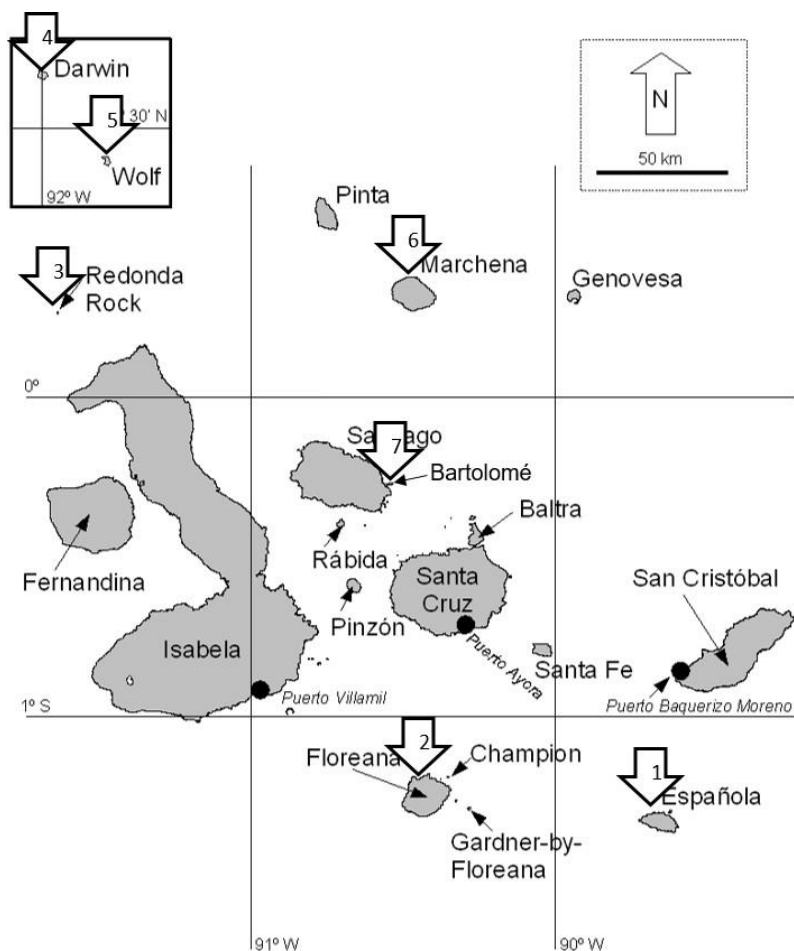
Las localidades o estaciones de muestreo en estudio fueron 7: Xarifa en isla Española, Corona del Diablo (Devil's Crown) en isla Floreana, Roca Redonda en isla Isabela, Bahía Tiburón (Shark Bay) en isla Wolf, Corales en isla Darwin, Punta Espejo en isla Marchena e isla Bartolomé frente a la costa de Santiago (Fig. 1; Tabla 1). En cada una de las localidades se obtuvieron muestras *de B. amphitrite* y de agua marina para la cuantificación de MP, muestreo que se complementó con la medición de parámetros físico-químicos en la columna de agua (i.e., temperatura, salinidad, fluorescencia).

Esta investigación fue una iniciativa entre el programa de Exploración de Investigación Marina de Galápagos - GMaRE de la Escuela Superior Politécnica del Litoral – ESPOL y la Fundación

Charles Darwin en Galápagos, Ecuador. Así mismo, se contó con una autorización para el análisis de datos y producción de resultados de investigación mediante una “Carta De Intención Para La Colaboración Académica” dirigida a la “Universidad Estatal Península de Santa Elena” (Véase en anexos). Finalmente, es importante mencionar que el trabajo de laboratorio fue supervisado por el promotor del proyecto Dr. Rafael Bermudez, asociado al programa GMaRE. Y el análisis de datos y escritura de la tesis, fueron supervisados por el doctorante José Fernando Pontón Cevallos, M.Sc. asociado a la Universidad de Gante en Bélgica y asociado al programa GMaRE en conjunto con el tutor proponente de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Jodie Darquea Arteaga, M.Sc. en Biodiversidad Marina y Conservación.

Figura 1

Mapa de las islas Galápagos, Ecuador, con los sitios de muestreo de microplásticos: 1. Española; 2. Floreana; 3. Roca Redonda; 4. Darwin; 5. Wolf; 6. Marchena y 7. Bartolomé. Las islas Darwin y Wolf son remotas y se muestran en el recuadro en la parte superior izquierda.



Fuente. Versión adaptada de David Wiedenfeld (2006)

Tabla 1*Fecha de muestreos y ubicación geográfica de los sitios (coordenadas)*

Fecha	Isla	Localidad	Latitud	Longitud
Feb 07 2021	Española	Xarifa	-1.357969	-89.644329
Feb 08 2021	Floreana	Corona del Diablo	-1.216185	-90.423075
Feb 13 2021	Isabela	Roca Redonda	0.270109	-91.624016
Feb 15 2021	Wolf	Shark Bay	1.387439	-91.816199
Feb 15 2021	Darwin	Corales	1.68069	-91.999814
Feb 18 2021	Marchena	Punta Espejo	0.306796	-90.405715
Feb 21 2021	Bartolomé	Bartolomé	-0.278961	-90.546929

3.2 Métodos de campo

Los muestreos se dieron en el transcurso de 14 días de navegación alrededor del archipiélago, tuvieron lugar generalmente en el lado este de cada una de las islas a pocos metros de estas. Se colectaron 52 muestras de *B. amphitrite* y 6 muestras de agua. Las muestras de agua fueron colectadas con una botella Niskin, directamente de la superficie. Se colectó una muestra de agua por localidad, a excepción de la localidad Roca Redonda de la isla Isabela, de donde no se tiene muestra de agua alguna. Las muestras de *B. amphitrite* se colectaron a diferentes profundidades. Los parámetros físico-químicos en la columna de agua se midieron con un Perfilador CTD Seabird SBE 19+ (Tabla 5). Las muestras de *B. amphitrite* y agua fueron trasladadas al laboratorio y se almacenaron en frío para su posterior procesamiento.

3.2.1 Cálculo de volumen de muestras de *Balanus amphitrite*

Para el cálculo del volumen de los organismos (muestras de *B. amphitrite*) se tomaron datos morfo métricos de cada una de las muestras (i.e., diámetro de base, altura, diámetro de opérculo). Se empleó una fórmula de volumen de cono truncado, conocida también como fórmula de tronco de cono. Esta fórmula fue empleada por su similitud con la morfología de los organismos. Este, posee dos bases paralelas de diferente radio unidas por una superficie curva. Para determinar el volumen V de las muestras en base a la geometría del cono truncado, la fórmula se expresa de la siguiente manera:

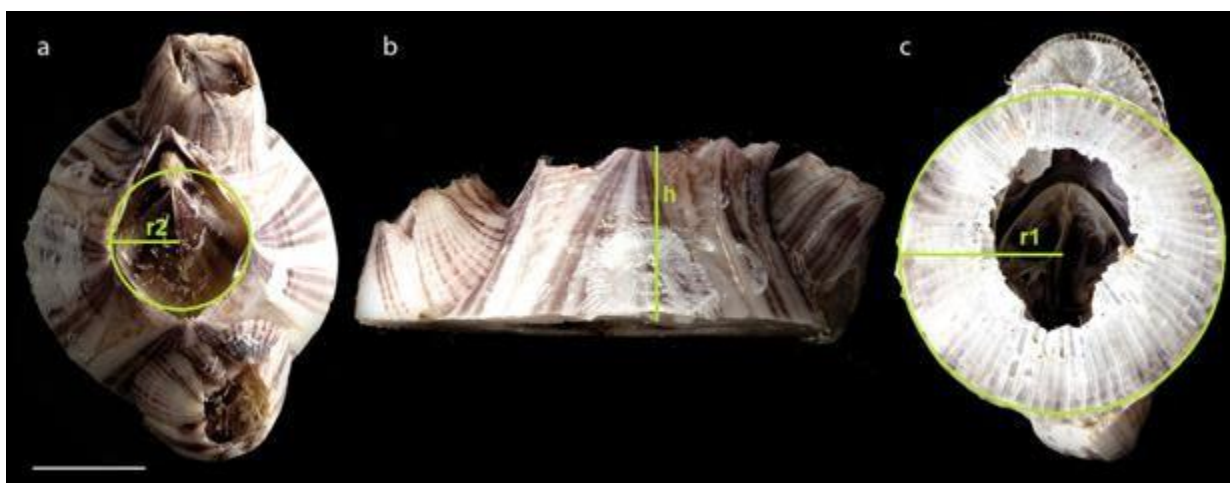
$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2)$$

Fuente. calculo.cc (2012)

en donde h es la altura y r_1 y r_2 son los radios mayores y menores de las bases, respectivamente (Fig. 2). Estas medidas morfométricas fueron tomadas con un calibrador vernier

Figura 2

Balanus amphitrite a. vista de orificio, en donde r_2 es igual a radio menor; b. vista lateral derecha, en donde h es igual a altura; c. vista basal, en donde r_1 es igual a radio mayor.
Barra de escala: 4 mm (a – c).



Fuente. Imagen adaptada de Pitriana (2020)

3.2.2 Procesamiento de muestras de *Balanus amphitrite* y de agua

Entre muestras de *B. amphitrite*, residuos de muestras, muestras de agua y blancos del laboratorio se procesaron un total de 62 filtros para conteo de MP. Mediante disección, se separó el tejido blando que se encuentra en el interior del organismo, mismo que se ubicó en tubos de centrifuga Falcon. Se añadieron de 3-5 gotas de proteasa para facilitar la descomposición catalítica de las proteínas del tejido blando del organismo en polipéptidos más pequeños. Se procesaron 46 muestras de *B. amphitrite* y se incubaron en una mufla en tubos Falcon por 24 horas a una temperatura de 68 a 70°C, lo que facilitó la acción enzimática para disolver el tejido. Luego las

muestras fueron enrasadas y diluidas en una solución salina al 50% durante cinco minutos en vasos de precipitación de 40ml. La solución salina separa el MP de menor densidad en la superficie, dejando asentar residuos y MP más denso. Se filtró el volumen superficial o sobrenadante de las muestras de *B. amphitrite* (30ml y N = 46), muestras de agua de cada localidad (50ml, N=6) y MP del volumen residual asentado de una muestra de cada localidad (10ml y N = 7) en filtros Whatman GF/F de 25 mm de diámetro y un tamaño de poro nominal de 0.7 μm (Tabla 2). Se aplicó tinción fluorescente con rojo de Nilo sobre los filtros para facilitar la identificación de MP al estereoscopio. Esto, a que el polietileno y poliestireno, dos de los MP más comunes en el océano, son fluorescentes bajo la luz ultravioleta (Ahmed, 1983; Nurmukhametov et al., 2006). Además, se tomó en cuenta la contaminación de MP ambiental en el laboratorio cuantificando filtros vacíos como controles en que se filtró únicamente solución salina (40ml y N = 3).

Tabla 2

Muestras procesadas de B. amphitrite, residuos de muestras y muestras de agua por localidad

Isla	N	Muestras de balano	Residuo	Muestras de agua
Española	7	ESP1, ESP2, ESP3, ESP4, ESP5	ESP1	SPNL
Floreana	9	FLO3, FLO5, FLO6, FLO7, FLO8, FLO9, FLO10	FLO10	FLRN
Isabela	8	RR1, RR2, RR3, RR4, RR5, RR7, RR11	RR2	NA
Wolf	9	WOLF2, WOLF3, WOLF4, WOLF5, WOLF6, WOLF7, WOLF8	WOLF2	WLF
Darwin	9	DRWN1, DRWN2, DRWN3, DRWN5, DRWN6, DRWN7, DRWN8	DRWN11	DRWN
Marchena	9	MCH1, MCH2, MCH3, MCH4, MCH5, MCH7, MCH11	MCH2	MRCHN
Bartolomé	8	B3, B4, B5, B6, B7, B8	B11	BRTL

Nota. También se procesaron tres filtros vacíos como control para cálculo de MP ambiental. NA significa ausencia de muestra de agua en la localidad Roca Redonda.

3.2.3 Cálculo de abundancia y volumen de microplástico, y análisis estadísticos

Se utilizó R Core Team (2021) en su implementación RStudio 2021.09.0 para Windows para todos los análisis estadísticos. Los datos de abundancia y volumen total de MP y por tipo de MP se analizaron con métodos paramétricos univariados y multivariados y no paramétricos.

La abundancia relativa de MP se obtuvo contando individualmente el número de partículas plásticas presentes en muestras de *B. amphitrite* (partículas/cm³). Para el cálculo de volumen de MP (μm³/cm³), se clasificó cada ítem o partícula según su forma en 4 tipos: pellets (redondas y pequeñas), fibras (elongadas y angostas), fragmentos (rectangulares opacas) y films (rectangulares translúcidas), y se midieron las dimensiones de los mismos en base a fórmulas geométricas básicas utilizando una retícula graduada en un estereoscopio OLYMPUS modelo SZX9 (4x a 16x). Estas fórmulas han sido empleadas en otros estudios (e.g., Rottt, 1981 y Mindiola, 2016) en el cálculo de volumen de fitoplancton y adaptadas para el cálculo de volumen de MP. Se empleó la fórmula de forma rectangular en el cálculo de volumen de fragmentos y films, la fórmula de forma esférica en el cálculo de volumen de pellets, y, la fórmula de forma cilíndrica en el cálculo de volumen de fibras (Fig. 3). Además, fueron tomados en cuenta datos cualitativos como el color de las partículas.

Se aplicaron dos factores de corrección para hacer una estimación más aproximada de abundancia y volumen de MP en las muestras de *B. amphitrite*, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$A_c =$$

$$A +$$

$$A_S -$$

$$A_B$$

$$V_c =$$

$$V +$$

$$V_S -$$

$$V_B$$

donde, A_C y V_C son abundancia y volumen corregido, A es igual al promedio de abundancia de MP y V es igual al volumen de MP encontrados en las muestras. A_S corresponde al promedio de abundancia de MP residual de la muestra y A_B es igual al promedio de abundancia de MP en el blanco de laboratorio. Por otro lado, V_S corresponde al promedio de volumen de MP residual y V_B es igual al promedio del volumen de MP en los blancos de laboratorio.



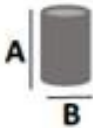
En cuanto al sobrenadante, se aplicaron los siguientes factores de corrección para abundancia: pellet - 19 partículas/cm³, fragmento - 6 partículas/cm³, fibra - 39 partículas/cm³, y film - 0. En cuanto a volumen: pellet - 0.006 μm³/cm³, fragmento - 0.042 μm³/cm³, fibras - 3.022 μm³/cm³, y film - 0. Por otro lado, para los blancos, se usaron los siguientes promedios obtenidos de conteos en filtros vacíos, para abundancia: pellet - 15 partículas/cm³, fragmento - 2 partículas/cm³, fibra - 12 partículas/cm³, y film - 0; y para volumen: pellet - 0.002 μm³/cm³, fragmento - 0, fibras - 0.009 μm³/cm³, y film - 0.

Los datos procesados de abundancia y volumen de MP en muestras de *B. amphitrite* y muestras de agua se reportan en una tabla de resumen junto con los parámetros físico-químicos de los sitios de muestreo (Tabla 5). Los coeficientes de correlación se calcularon mediante métodos paramétricos y no paramétricos. Con un test no paramétrico de Wilcoxon se comparó el rango medio de volumen de MP en las muestras de *B. amphitrite* versus las muestras de agua de los sitios de muestreo (Fig. 10).

Luego, para los promedios de abundancia y volumen de MP en *B. amphitrite* por isla, se establecieron comparaciones por medio de diagramas de cajas (Fig. 11 y Fig. 12), y por tipo y color de MP (Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 y Fig. 7). Creamos un modelo lineal para explicar las diferencias de abundancia y volumen de MP total entre islas. Sin embargo, la prueba de Shapiro- Wilk nos indica que las distribuciones de frecuencias de abundancia (p-value = 0.003077) y volumen total (p-value = 0.004197) no es normal. Por ello, se realizó una transformación logarítmica (i.e., $\log_{10}(X + 1)$) y cúbica (X^3), respectivamente, para cumplir con las condiciones de homocedasticidad y linealidad de los modelos. Luego, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para demostrar si existen diferencias significativas entre islas (Tabla 3). Para complementar el análisis, se utilizó una prueba post-hoc (TukeyHSD) para encontrar diferencias significativas entre parejas de localidades (Tablas de anexos 6 y 7). Finalmente, para el análisis de diferencias espaciales de composición de tipos de MP, tanto para abundancia como para volumen, se utilizó un Análisis de Componentes Principales (PCA), el cual es altamente utilizado en ecología (Kroonenberg, 1989) para reducir la multi-dimensionalidad de variables dependientes a pocos ejes (“componentes principales”) no correlacionados que representen la mayor parte de la variabilidad de los datos (Fig. 8 y Fig. 9).

Figura 3

Fórmulas geométricas para el cálculo de volumen de microplásticos. En la fórmula rectangular y cilíndrica, A es igual al lado más largo y B es igual al lado más corto, mientras que el valor de C es constante (0.01 micrómetros). En la fórmula esférica, A es igual a diámetro

Forma	Diagrama	Fórmula
Rectangular		$BC(A - B + \frac{\pi}{4} B)$
Esférica		$\pi A^3 / 6$
Cilíndrica		$\pi AB^2 / 4$

Fuente. Tabla recuperada de Rott (1981) y adaptada por Mindiola (2016).

4. RESULTADOS

4.1 Análisis e interpretación de resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la experimentación con 46 muestras de *B. amphitrite*, 6 muestras de agua en el cálculo de frecuencia y volumen de MP entre 7 islas del archipiélago de Galápagos. Se encontró que el 100% de muestras de presentaron MP, en una totalidad de 4449 partículas contadas en *B. amphitrite* y 232 partículas en la columna de agua. Las partículas de MP se agruparon por isla, forma, tamaño y los colores en base a su frecuencia de onda, ya que en el mar los colores similares tienden a verse igual (Merino, 2022).

4.1.1 Abundancia y volumen relativo de MP ingeridos en muestra de *B. amphitrite*

Según el tipo o forma de MP (fibra, film, fragmento y pellet), en Bartolomé las partículas más abundantes fueron los pellets (85 partículas/cm³) seguido de las fibras (55.67 partículas/cm³). Mientras que en Española, la media de fibras fue mayor (7 partículas/cm³) que la media de pellets (2.2 partículas/cm³) (Fig. 4). Finalmente, la media del volumen de MP en fibras en Bartolomé fue 5.99394 $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ y 0.62208 $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ en pellets. Mientras que en Española, la media de fibras de MP fue de 1.19738 $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$, la media en film de 0.00467 $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ y la media en fragmentos de MP de 0.00607 $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ (Fig. 5).

Figura 4

Composición de abundancias promedio de microplásticos (partículas/cm³) en muestras de B. amphitrite por forma o tipo entre islas

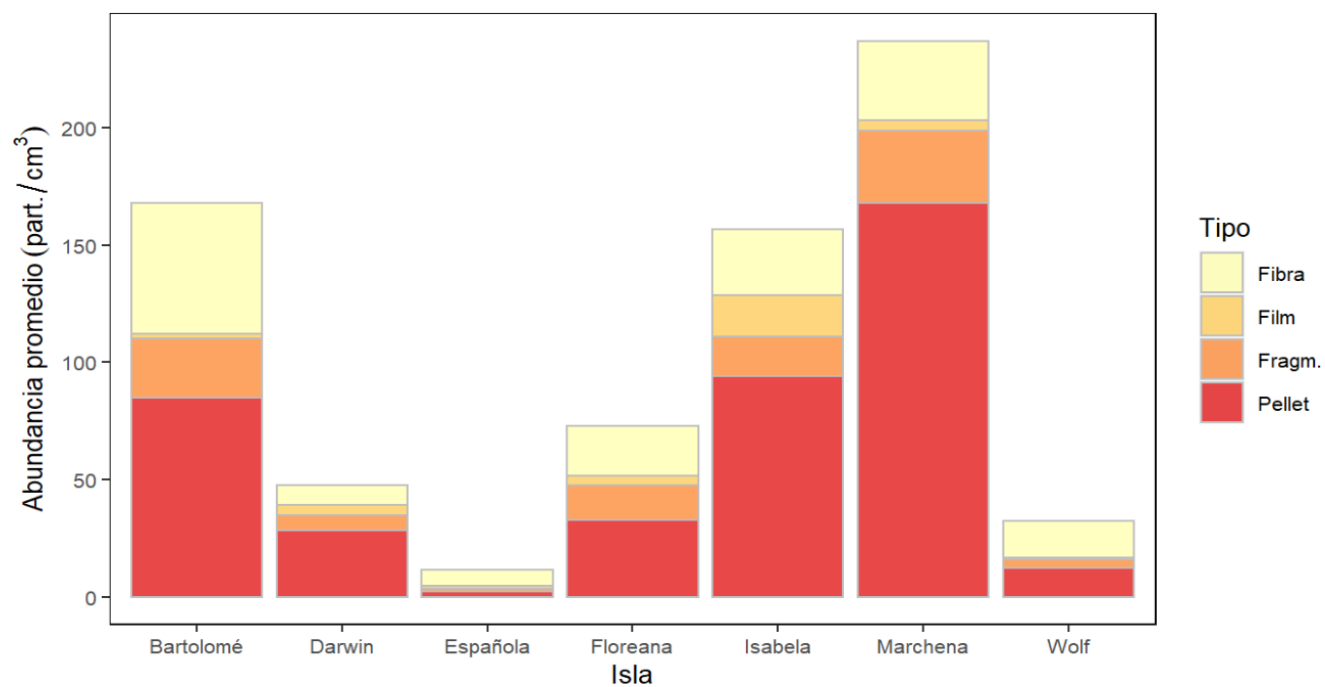
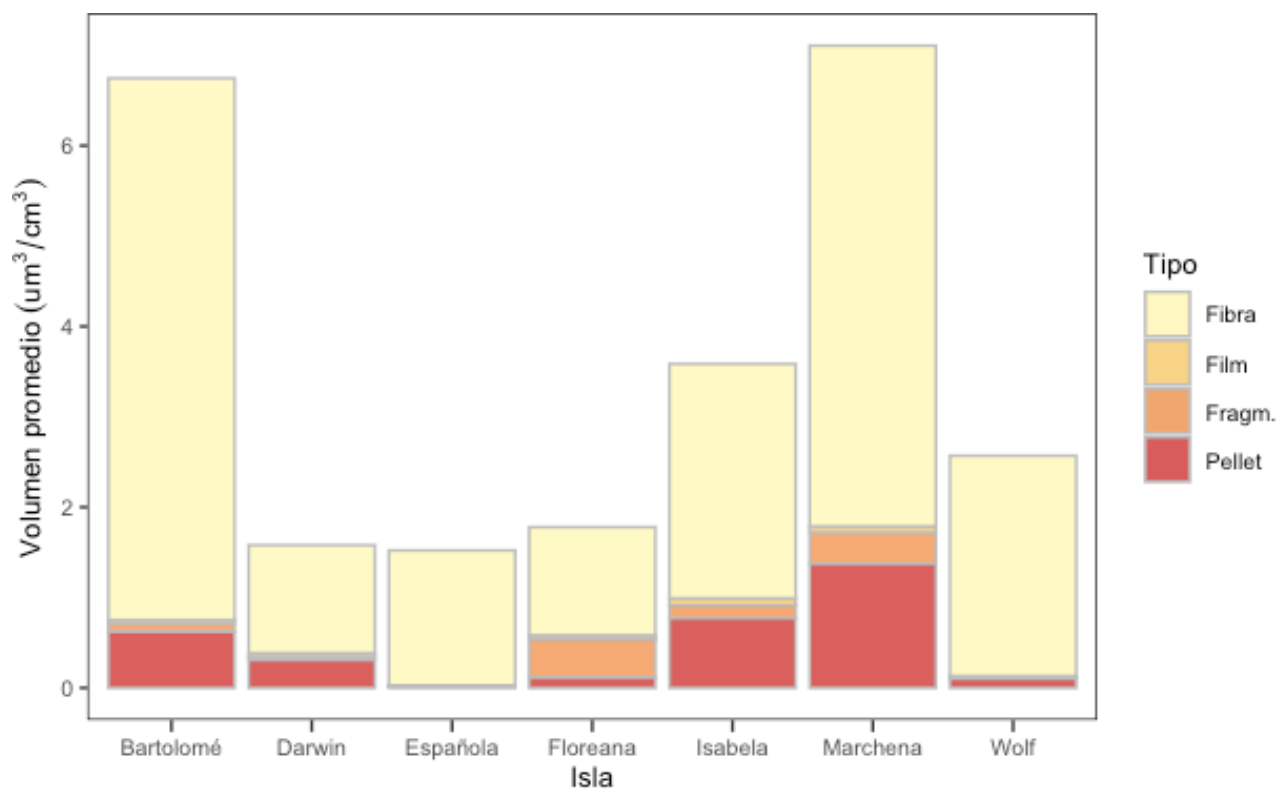


Figura 5

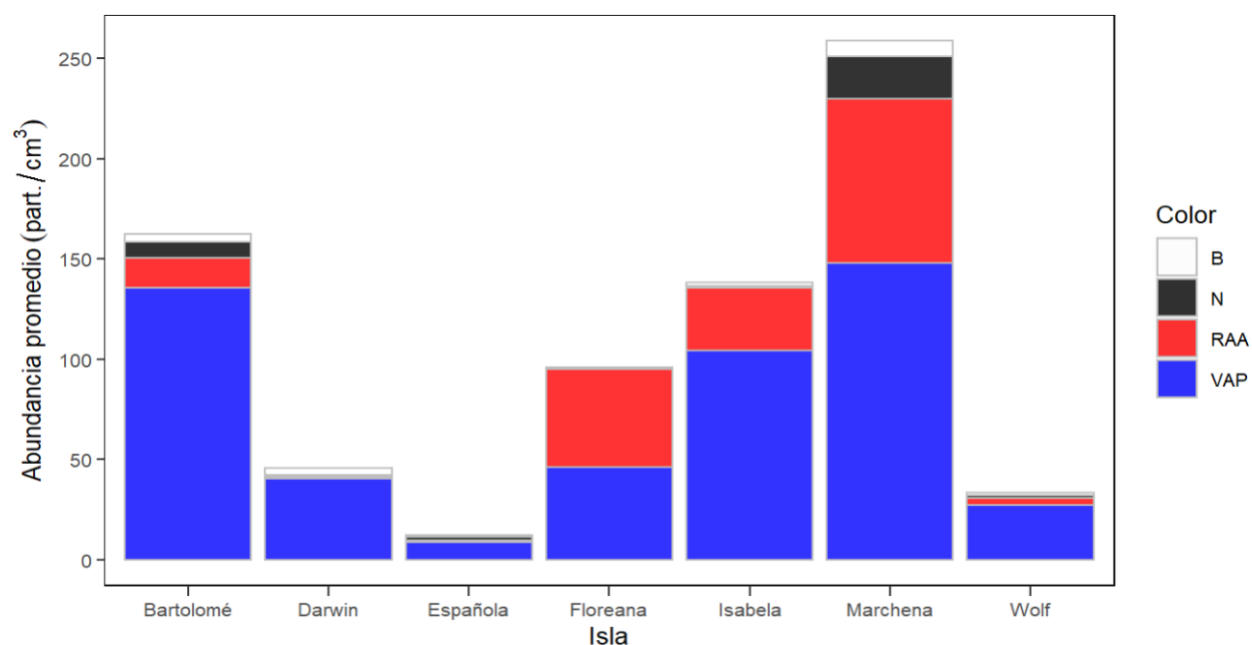
Composición de volumen promedio de microplásticos (partículas/cm³) en muestras de B.amphitrite por forma o tipo entre islas.



Los MP fueron agrupados según el color en cuatro categorías: N (negro), B (blanco y transparente), RAA (rojo, amarillo y anaranjado) y VAP (verde, azul y púrpura), esta última categoría fue la más frecuente respecto a los otros colores. La abundancia media en partículas de categoría de color VAP fue máxima en Bartolomé (135.67 partículas/cm³) y Marchena (148.14 partículas/cm³), y mínima en Española (8.8 partículas/cm³) y en Darwin (40.43 partículas/cm³) (Fig. 6).

Figura 6

Composición de abundancias promedio de microplásticos (partículas/cm³) en muestras de B. amphitrite por color entre islas.

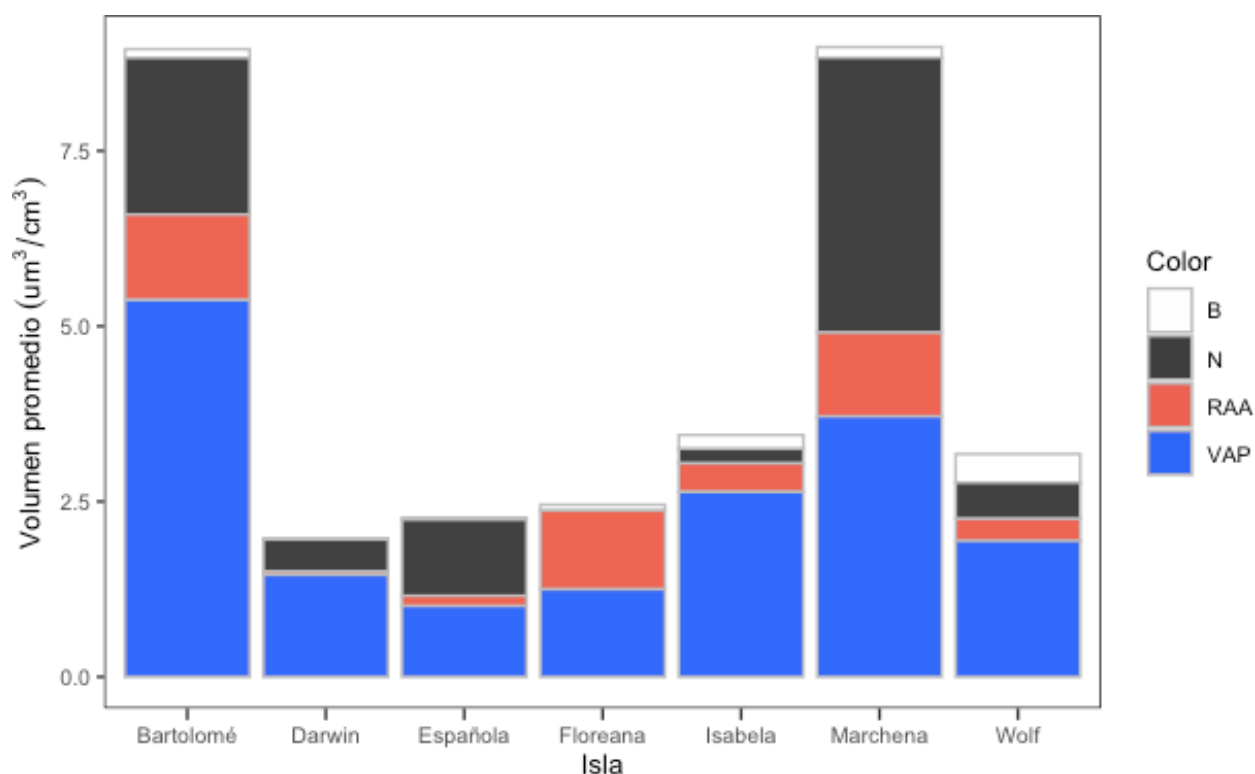


Nota. N (negro), VAP (verde, azul y púrpura) RAA (rojo, naranja, amarillo) y B (blanco y transparente)

Respecto al volumen o densidad de MP según el color, en Bartolomé en la categoría VAP, que son los colores de MP más abundantes, se registró una media de $5.37 \mu\text{m}^3/\text{cm}^3$. Por otra parte, aunque Española presentó la menor concentración de MP de colores VAP ($1.011 \mu\text{m}^3/\text{cm}^3$), también fue la tercer isla con mayor concentración de plástico de color negro ($1.0861 \mu\text{m}^3/\text{cm}^3$) (Fig. 7). Esto a que, según el color, los MP de categoría N presentaron un mayor volumen respecto a las otras partículas de MP (Fig. 13 y 14). Además, las fibras presentaron mayor volumen respecto de los pellets, fragmentos y film.

Figura 7

Composición de volúmenes de microplásticos ($\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$) en B. amphitrite por color entre islas.

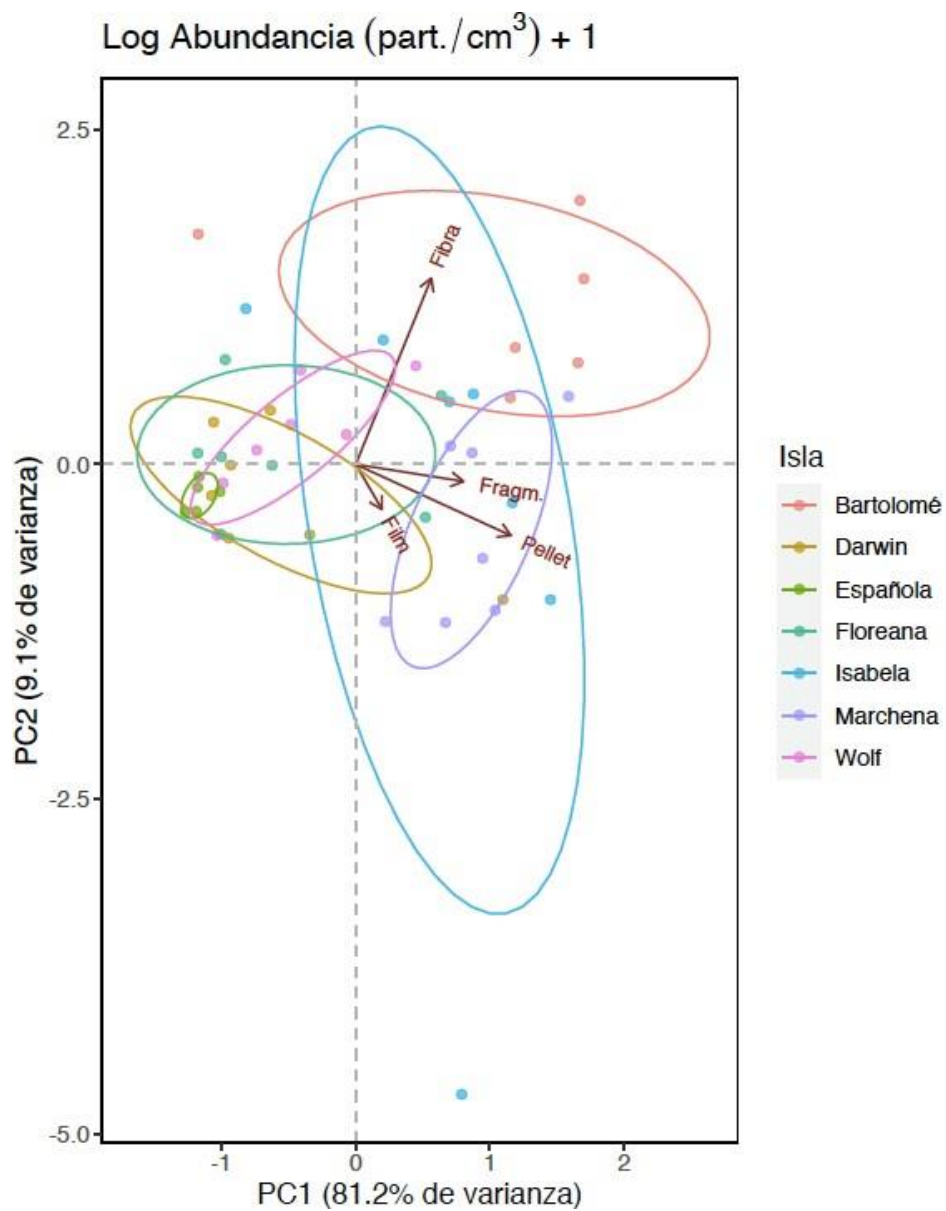


Nota. N (negro), VAP (verde, azul y púrpura) RAA (rojo, naranja, amarillo) y B (blanco y transparente).

En el análisis de componentes principales (PCA), para abundancia de MP, el primer (PC1 = 81.2%, SD = 2.095) y segundo componente principal (PC2 = 9.4%, SD = 0.703) logran explicar casi toda la variación de MP entre localidades (Fig. 8). El PC1 explica las diferencias de abundancia total de MP entre islas, en donde valores con tendencia positiva indican las islas con mayor abundancia de MP (e.g., Bartolomé, Isabela, Marchena), al contrario, valores con tendencia negativa indican una abundancia de MP menor en comparación al resto de localidades. Por otra parte, el PC2 relaciona la abundancia de MP según el tipo, lo que indica que, los valores con tendencia positiva son menos abundantes en fibras, y valores con tendencia negativa son mucho más abundantes como en pellets. (e.g., Fig. 8). Las islas con menor abundancia total (e.g., Darwin, Española, Wolf) presentan una distribución de MP más simétrica; por un lado la isla Wolf presenta una mayor abundancia de fibras a diferencia de isla Española y Darwin en donde abundan más los pellets. Bartolomé presenta mayor abundancia de fibras, pero menor proporción de pellets a diferencia de Marchena o Isabela, en donde las partículas son muy variadas, pero no tan abundantes (e.g., Fig. 8). Una característica sobre el ángulo de los vectores, es que cuando son cercanos están muy relacionados entre sí (pellet, film y fragmento), y su dirección y tamaño se relaciona directamente con la abundancia total entre islas.

Figura 8

Análisis de componentes principales (PCA) sobre composición de abundancias de formas de microplásticos en B. amphitrite entre islas.

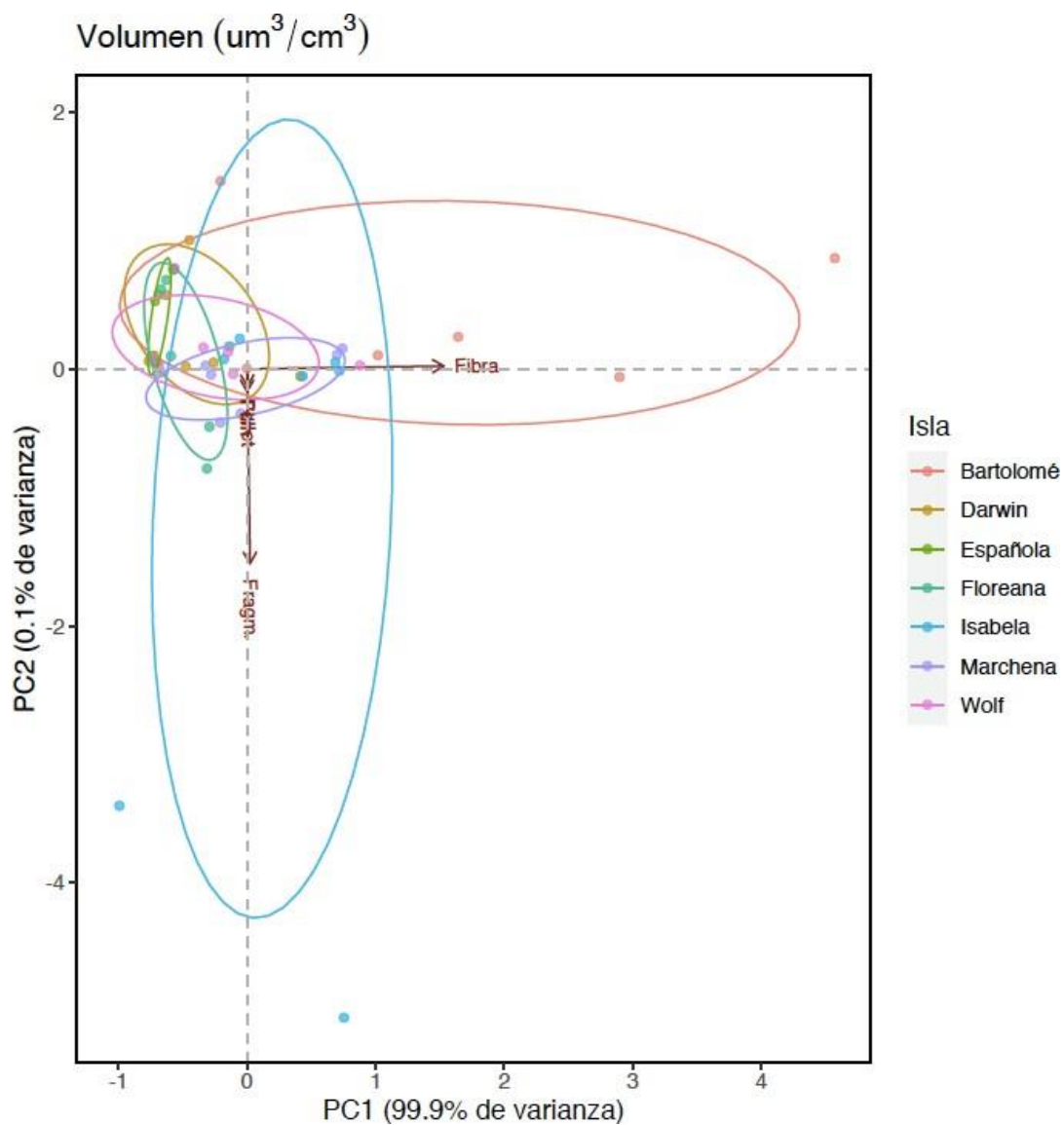


Nota. Primer y segundo componente (PC1 y PC2) explican el 98.2% de la varianza

Mientras que, en el PCA para el análisis de volumen de MP (Fig. 9), el primer componente (PC1= 99.9%, SD = 1.177) logra explicar la mayor parte de la variación de volumen de MP entre localidades, el segundo componente explica el porcentaje restante de la variación (PC2 = 0.1%). En el primer componente, se explica el volumen total de MP entre localidades. Los valores con tendencia positiva indican las islas que presentan el volumen total más alto de MP entre islas (e.g., Bartolomé, Isabela, Marchena). En el segundo componente, valores con tendencia positiva indican mayor volumen de MP por tipo de partícula, los valores con tendencia negativa indican menor volumen de MP por tipo de partícula. Tenemos así, que islas como Darwin, Española y Floreana que tienen menor volumen total de MP, presentan partículas con mayor rango de volumen, lo que se traduce en pellet, fragmento y film que ocupa un espacio tridimensional mayor que en islas como Bartolomé o Marchena, en donde el volumen de MP total depende en gran medida de la abundancia de partículas total (Fig. 9).

Figura 9

Análisis de componentes principales sobre composición de volúmenes de formas de microplásticos en B. amphitrite entre islas



Nota. Primer y segundo componentes (PC1) explica el 100 % de la varianza.

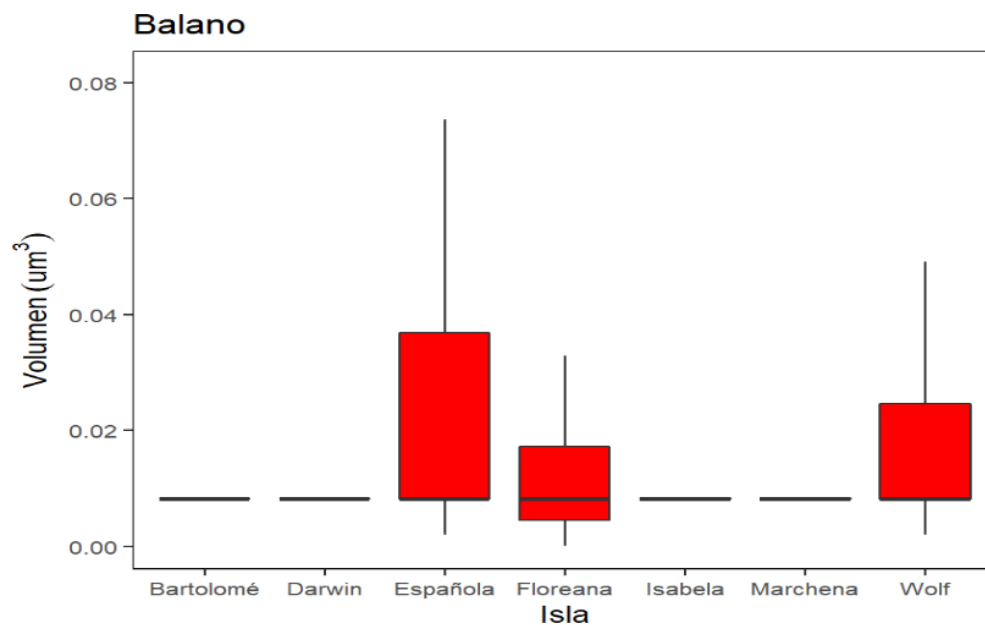
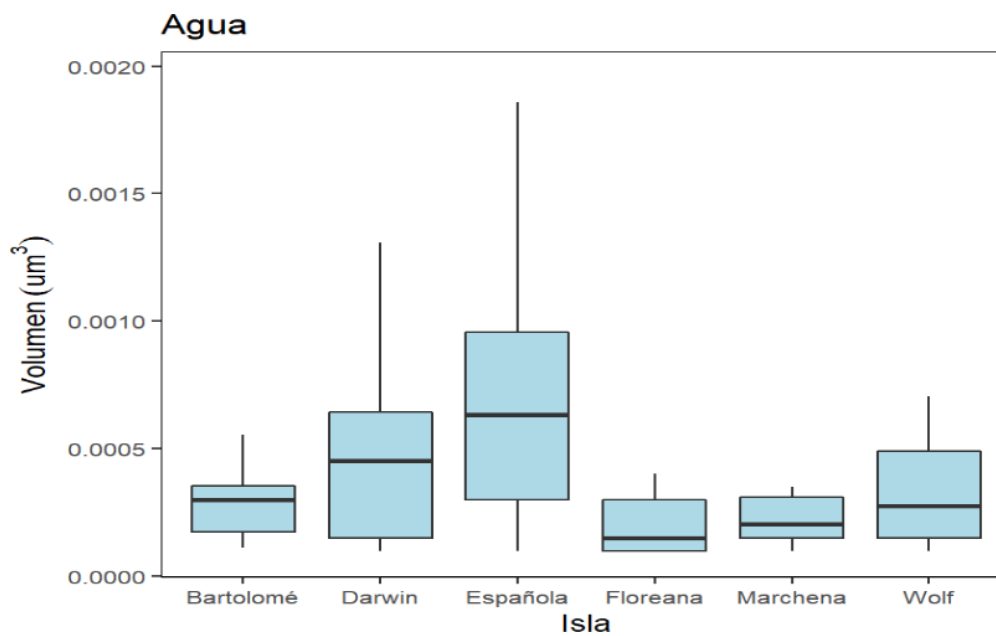
4.1.2 Contrastar abundancias y volúmenes relativos de MP en muestras de la columna de agua y *B. amphitrite* entre localidades

La prueba no paramétrica de suma de rangos de Wilcoxon ($W = 1962799$, $p\text{-value} < 2.2e-16$) indica que los MP en *B. amphitrite* tienen un rango de volumen más grande que en las muestras de agua. En muestras de *B. amphitrite* las localidades que presentan las partículas de MP de mayor rango de volumen es isla Española ($0.01 \mu\text{m}^3$) seguido de isla Wolf ($0.02 \mu\text{m}^3$). A diferencia de las muestras de agua, en donde los valores de rango de volumen no variaron mucho entre localidad ($0.00 \mu\text{m}^3$ a $0.01 \mu\text{m}^3$ generalmente; Fig. 10).

En muestras de agua, el rango de volumen es similar entre localidades ($0 \mu\text{m}^3$ a $0.002 \mu\text{m}^3$) y la abundancia media de MP es $140 \text{ partículas}/\text{cm}^3$. Los MP de mayor tamaño ($0.002 \mu\text{m}^3$ a $0.008 \mu\text{m}^3$) presentan una abundancia menor a $20 \text{ partículas}/\text{cm}^3$. Las fibras presentan un valor medio de volumen mayor ($0.06136 \mu\text{m}^3$) a diferencia del volumen de partículas film ($0.00362 \mu\text{m}^3$), fragmentos ($0.00321 \mu\text{m}^3$) y pellets ($0.00818 \mu\text{m}^3$) que presentan valores más pequeños (Fig. 10)

Figura 10

Comparación de rango de tamaño de partículas de microplástico (μm^3) en muestras de balanos (B. amphitrite) y de agua entre islas

A**B**

En muestras de *B. amphitrite*, Bartolomé presentó una abundancia media de MP de 157.4 partículas/cm³ y un volumen con un valor medio de 2.79 μm³/cm³, y, en segundo lugar, Isabela con una abundancia media de 76.6 partículas/cm³ y un volumen de 1.714 μm³/cm³. En cambio, Española, con abundancia media de 4.8 partículas/cm³ y volumen medio de 0.350 μm³/cm³, seguido de Darwin, con una abundancia de 8.03 partículas/cm³ y un volumen con un valor medio de 0.623 μm³/cm³, son las islas que presentaron los menores valores entre las localidades de muestreo (Fig. 11 y 12).

Figura 11

Distribución de abundancias promedio de microplástico (partículas/cm³) en muestras de B.amphitrite entre islas, por medio de diagramas de cajas.

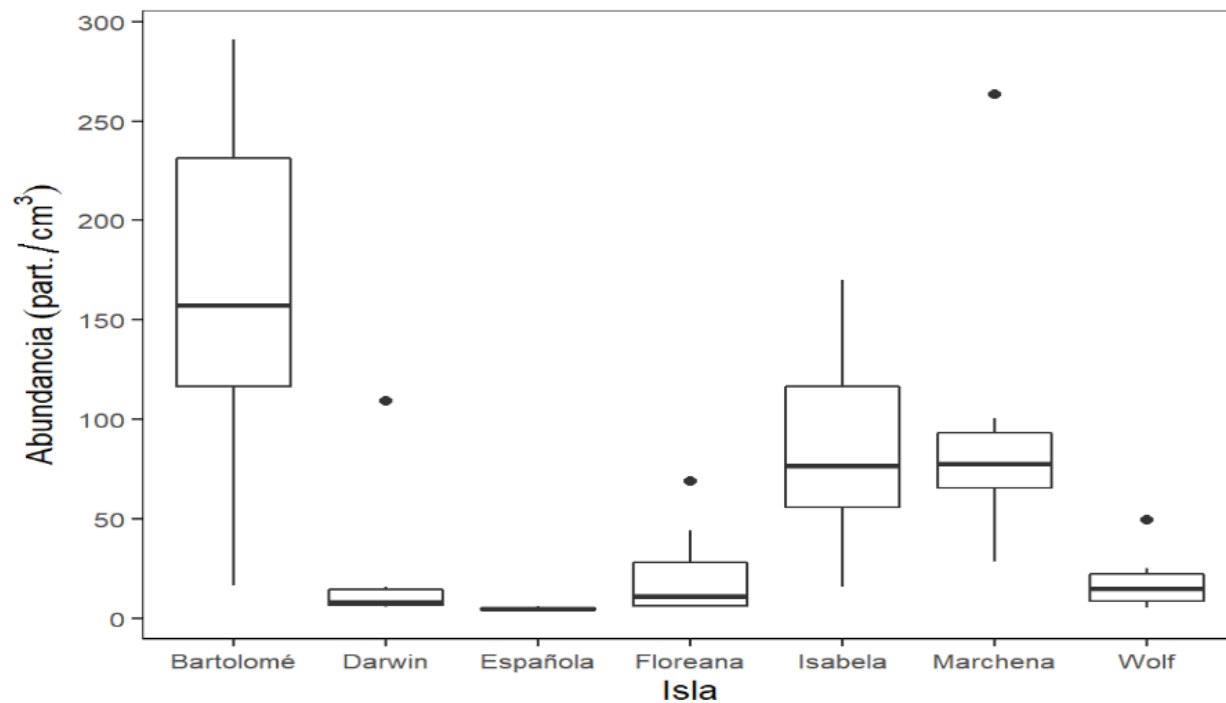
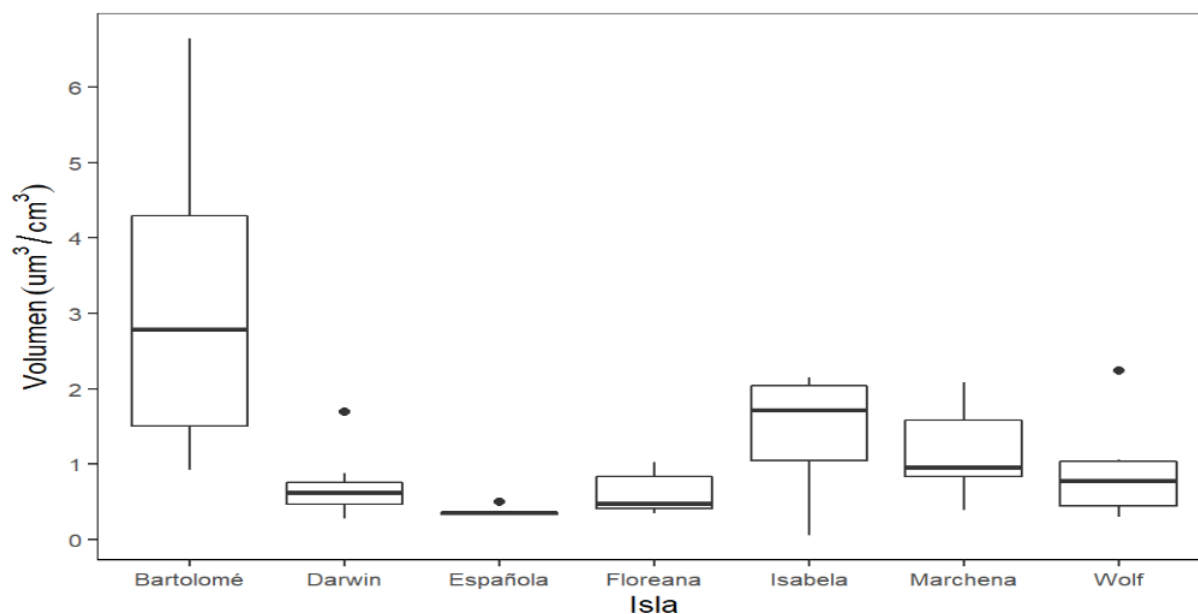


Figura 12

Distribución de volumen promedio de microplástico ($\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$) en muestras de B. amphitrite entre islas, por medio de diagramas de cajas. Bartolomé presenta los valores más altos, seguido de Isabela y Marchena



El análisis ANOVA para los datos de abundancia ($F = 1.231\text{e-}07$ y $p = 0.05$) y de volumen ($F = 6.085\text{e-}08$ y $p = 0.05$) de MP transformados a $\log_{10}(x+1)$ y raíz cuadrada, respectivamente, nos indica que existen diferencias significativas entre islas (Tabla 3). La prueba de TukeyHSD explica que las diferencias responsables de la variabilidad de los datos de abundancia y volumen de MP, se encuentra principalmente entre Española con Marchena, Isabela y Bartolomé; Darwin con Marchena, Isabela y Bartolomé; Floreana con Marchena, Isabela y Bartolomé; y, Wolf con Marchena, Isabela y Bartolomé (Tablas 6 y 7).

Tabla 3

Resultados de ANOVA con relación a diferencias de abundancia (partícula/cm³; log (x+1)) de microplásticos en B. amphitrite y de volumen (μm³/cm³; raíz cúbica) entre islas.

Abundancia	gl	SS	MSS	F	p
Isla	6	9.116	1.5193	12.1	1.23e-07
Residuos	39	4.898	0.1256		
Volumen	gl	SS	MSS	F	p
Isla	6	0.6527	0.10878	12.82	6.09e-08
Residuos	39	0.3310	0.00849		

Nota: SS: suma de los cuadrados, MSS: media de suma de los cuadrados

4.1.3 Potencial efecto de ciertos parámetros oceanográficos en los patrones espaciales encontrados

Respecto al efecto de los parámetros físico químicos del agua durante la colección de las muestras y su relación con la abundancia (partícula/cm³) y el volumen de MP (μm³/cm³) encontrado en las mismas, no existieron diferencias estadísticas. Sin embargo, se contrastaron los datos de abundancia y volumen de microplásticos por cm³ en muestras de agua (Tabla 4). Así como, promedios (y desviación estándar) de temperatura, salinidad y fluorescencia en la columna de agua de las siete localidades de muestreo en Galápagos (Tabla 5). Según la profundidad en que fueron tomadas las muestras de *B. amphitrite*, se encontraron diferencias en la composición de formas de MP, en lugares más profundos hay más pellets y menos fibras, al contrario de los lugares menos profundos en donde las fibras son más abundantes. Además, en las localidades en donde la temperatura es más alta y la salinidad más baja, hubo mayor abundancia y volumen de MP. En la localidad Roca Redonda, particularmente hay mayor fluorescencia (1.42 μg/L) debido a los movimientos ascendentes de masas de agua por actividad volcánica submarina (Hurtado Domínguez & Bermúdez Monsalve, 2021).

Tabla 4

Tabla resumen de abundancia y volumen de microplásticos por cm³ en muestras de agua.

Isla	Abundancia (partículas/cm³)	Volumen (μm³/cm³)
Bartolomé	1.02	0.00035
Darwin	0.94	0.00042
Española	2.66	0.00203
Floreana	1.1	0.00016
Isabela	NA	NA
Marchena	1.24	0.00035
Wolf	2.4	0.00067

Nota. NA significa ausencia de datos de la abundancia y volumen de microplásticos en la isla Isabela.

Tabla 5

Promedios (y desviación estándar) de temperatura, salinidad y fluorescencia en la columna de agua de siete localidades de muestreo en Galápagos en el rango de profundidad especificado en paréntesis. Se reportan también las profundidades en que se colectaron las muestras de B. amphitrite en cada localidad.

Isla	Temperatura (°C)	Salinidad (‰)	Fluorescencia (µg/L)	Rango de profundidad (m)	Profundidad colección <i>B. amphitrite</i> (m)
Española	22.04 (1.29)	34.50 (0.17)	0.49 (0.07)	1.4 - 11.4	3
Floreana	24.42 (0.46)	34.18 (0.06)	0.34 (0.09)	0.4 – 14.6	14
Isabela	23.42 (3.41)	34.04 (0.92)	1.42 (0.21)	0.1 – 28.2	17
Wolf	26.03 (0.65)	33.31 (0.33)	0.51 (0.07)	0.4 – 29.1	10
Darwin	23.63 (1.76)	34.07 (0.69)	0.72 (0.31)	0.5 – 37.4	10
Marchena	27.54 (0.17)	32.71 (0.20)	0.13 (0.16)	0.1 – 10.2	10
Bartolomé	26.46 (0.10)	33.19 (0.05)	0.73 (0.06)	0.1 – 10.3	5

4.2 Discusión

Es claro que la distribución espacial de MP en las Galápagos no está solamente influenciada por el transporte de las corrientes marinas y la variabilidad de los parámetros físicoquímico del agua asociados a esta, ya que efectos adicionales, como la deriva de MP inducido por olas, también influyen en la trayectoria de las partículas asociadas con un transporte neto de agua (Choy et al., 2019). El transporte atmosférico y otros factores pueden influir en las distribuciones de abundancia y volumen de MP en la columna de agua (Wichmann, Delandmeter, & Van Sebille, 2019). Sin embargo, en la época del año en que se llevó a cabo el estudio (febrero), hubo una marcada influencia de la corriente cálida de Panamá desde el noreste y el afloramiento de la corriente de Cromwell en la zona oeste y central del archipiélago (Hurtado Domínguez & Bermúdez Monsalve, 2021). En comparación a la corriente de Humboldt proveniente del sureste (Hernández Rodríguez, 2017). Esto explica, en gran medida, la distribución del MP entre las localidades, y concuerda con la hipótesis alternativa planteada que, las islas más expuestas a corrientes oceanográficas (e.g., Bartolomé, Punta Espejo, Roca Redonda), y, por tanto, con mayor temperatura en esa época del año, presentan una abundancia y volumen de MP mayor que las localidades en que el impacto de corrientes es más leve (e.g., Corona del Diablo, Xarifa).

Aunque los datos de salinidad y fluorescencia no se relacionaron estadísticamente con los de abundancia y volumen de MP, estudios de variación estacional oceánica en las Galápagos (Burgos & Palacios, 2002) indican que, en periodos normales sin anomalías de temperatura por el Niño/Niña, los afloramientos que se suscitan al oeste del archipiélago se dan de forma cuasi permanente, siendo de mayor intensidad en periodos fríos (La Niña) para la época seca que están relacionados con la Corriente de Cromwell. Generalmente las salinidades más bajas en la columna de agua se encuentran en los primeros 100 m de profundidad, donde las aguas son más cálidas,

mientras que en lugares en donde emergen aguas frías desde la profundidad la salinidad es más alta, oscilando entre los 35.1 a 35.4 UPS (Burgos & Palacios, 2002). Esto concuerda con los datos de temperatura y salinidad recogidos en campo durante la colecta de muestras (Tabla 2), en donde las concentraciones más altas de MP, fueron encontradas en los sitios (e.g., Bartolomé, Marchena) con temperaturas relativamente más altas y salinidades más bajas.

Particularmente en la localidad Roca Redonda, existe una abundancia y volumen de MP más alto que en el resto de las localidades, a excepción de Bartolomé. Estas partículas plásticas son generalmente pellets, lo que causa preocupación, debido a que el MP diminuto es más ubicuo (Lowen, 2021). Debido al aporte constante de carbonatos durante todo el año por la actividad volcánica submarina en este islote, esta zona permanece acidificada de forma natural. Estas condiciones “ácidas” naturalmente, diferencian el ecosistema con especies que están probablemente adaptadas a las condiciones del lugar (Hurtado Domínguez & Bermúdez Monsalve, 2021). Los valores de fluorescencia en esta localidad registrados por Hurtado-Domínguez (2021) son más bajos ($0.56 \mu\text{g/L}$) respecto de los valores registrados en este estudio ($1.42 \mu\text{g/L}$; $\text{SD} = 0.21$). Y, los valores de corriente pueden alcanzar grandes magnitudes, superiores a 1 m/s (Hurtado-Domínguez, 2021). Es posible que las altas concentraciones de pellets en los balanos se deban a los procesos de afloramiento de corrientes ocasionados por la actividad volcánica de este lugar.

La distribución del tamaño de los plásticos difiere entre los sedimentos de la playa y las aguas superficiales abiertas por diferencias en el grado de degradación en los polímeros (Nichols, Lavers, Archer-Rand, & Bond, 2021). Es por esto, que el rango de volumen de MP encontrados en las muestras, así como las estimaciones de abundancia y volumen total de MP en *B. amphitrite*, pueden estar relacionadas directamente con la distancia de la costa y la profundidad en que fueron tomadas

las muestras. Por ejemplo, las islas como Española, Wolf y Bartolomé que presentan el rango de volumen de partícula más grande, tienen en común que sus muestras fueron tomadas a menor profundidad (entre 3 y 10 m). Por el contrario, islas como Darwin, Isabela y Marchena, en donde las muestras fueron tomadas a una mayor profundidad (entre 10 y 17 m), presentan los menores rangos de volumen de MP. Así, los resultados indican que la profundidad podría ser factor que considerar en cuanto a la distribución espacial del MP (Alfaro-Núñez et al., 2021). Es así como, las partículas de mayor rango de volumen se distribuyen generalmente en zonas superficiales de la columna de agua, y las de menor rango de volumen son más abundantes a mayor profundidad. De acuerdo con otros estudios, los MP de mayor volumen (e.g., fibras, fragmentos, film, espuma) tienden a distribuirse en la superficie de la columna de agua y los pellets tienden a asentarse en los fondos (Choy et al., 2019).

Tomando como ejemplo el estudio de distribución vertical de microplásticos en la columna de agua y sedimentos superficiales desde la cuenca del río Milwaukee hasta el lago Michigan en los Estados Unidos (Lenaker et al., 2019), se puede comprender como influye una corriente en la distribución espacial del plástico. El tipo de partícula más abundante en las muestras de la superficie del agua fue espuma (41 %), seguida de fibras/líneas (34 %), fragmentos (20 %), películas (3 %) y gránulos/perlas (3 %), mientras que en muestras de aguas profundas (rango), se observó el patrón contrario. Las concentraciones medias de espumas y fibras/líneas en las muestras de la superficie del agua fueron de 1.03 y 1.54 part.m⁻³, respectivamente, significativamente más altas que las de los otros tres tipos de partículas.

El rango de volúmenes de MP encontrados en muestras de *B. amphitrite* fue mayor al rango de las muestras de agua, tomando en cuenta que los MP encontrados en las muestras de balanos eran de mayor tamaño que los MP de las muestras de agua. Las islas con menor abundancia de MP (e.g.,

Española, Wolf) presentan partículas de mayor rango de volumen que las islas que tienen mayor abundancia (e.g., Bartolomé, Isabela). No se tiene certeza de que la ingestión de MP de colores específicos por parte de los balanos esté relacionada con preferencias alimenticias, puesto que el color que registra mayor frecuencia es azul, se puede sugerir que probablemente la ingestión de MP de este color se debe a su similitud con el plancton. Lo ideal sería comprobar esta ingestión por medio de experimentación con plástico seleccionado artificialmente y simulando el ambiente de los percebes en confinamiento (Lowen, 2021).

A pesar de que se encontraron diferencias espaciales, con mayor concentración de MP en zonas céntricas del archipiélago, es importante mencionar que los cálculos de abundancias y volúmenes pueden estar influenciados por factores como la contaminación en laboratorio (aunque en los blancos se encontraron pocos MPs), además de la técnica de extracción y conteo, en las cuales se considera más relevantes a los MP del sobrenadante y no los del fondo de la muestra. Sin embargo, los factores de corrección empleados nos permitieron ajustar los valores y obtener estimaciones más reales, y podrían ser utilizados en otros estudios en el futuro, para que los resultados sean comparables con los del presente.

Un estudio de la tasa de ingestión de MP en estos organismos, y en otros, como corales (Lowen, 2021), empleando métodos de detección como espectroscopía Raman, puede reducir el tiempo de trabajo y producir resultados más ajustados a la realidad, además de permitir la identificación de polímeros para conocer su origen (Anglada, 2020). El monitoreo frecuente empleando cirrípedos tolerantes a diversas condiciones ambientales como bioindicadores, ampliaría el conocimiento sobre impactos que produce este tipo de contaminación en los ecosistemas marinos de Galápagos, permitiendo combatir el problema de polución que compromete la vida de todos.

CONCLUSIÓN GENERAL

Por medio de este estudio, hemos demostrado que la bioacumulación de MP en organismos filtradores como los cirrípedos es considerablemente alta, y podría representar un problema por su propagación a través de la red trófica, causando efectos colaterales en otras especies y en el funcionamiento del ecosistema. Además, de que los patrones espaciales en abundancia y volumen de MP en estos organismos puede ser explicado principalmente por los efectos de las corrientes marinas y otros procesos oceánico-costeros en la distribución de este contaminante. Por tanto, es necesario seguir implementando acciones que contribuyan a mitigar este problema a nivel tanto local como global, incluyendo nuevos estudios sobre el riesgo de este contaminante en otros organismos bioacumuladores y su efecto en el ecosistema.

REFERENCIAS

- Alfaro-Núñez, A., Astorga, D., Cáceres-Farías, L., Bastidas, L., Soto Villegas, C., Macay, K., & Christensen, J. H. (2021). Microplastic pollution in seawater and marine organisms across the Tropical Eastern Pacific and Galápagos. *Scientific reports*, *11*(1), 6424.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, *62*(8), 1596-1605.
- Anglada, S. C. (2020). Detección y caracterización por tamaños de micro y nanoplasticos en muestras de interés ambiental.
- Arévalo, E. (31 de Mayo de 2012). *Los giros oceánicos y los desechos plásticos*. Obtenido de NRDC: <https://www.nrdc.org/es/experts/evelyn-arevalo/giros-oceanicos-desechos-plasticos>
- Arthur, C., Baker, J. E., & Bamford, H. A. (2008). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris. *University of Washington Tacoma*.
- Baird, R. W., & Hooker, S. K. (2000). Ingestion of plastic and unusual prey by a juvenile harbour porpoise. *Can. J. Fish. Aquat. Sci* , *51*(20).
- Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, *364*(1526), 1985-1998.
- Brahney, J., Hallerud, M., Heim, E., Hahnenberger, M., & Sukumaran, S. (2020). Plastic rain in protected areas of the United States. *Science*, *368*(6496), 1257-1260.
- Browne, M., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D., & Thompson, R. (2008). El plástico microscópico ingerido se traslada al sistema circulatorio del mejillón, *Mytilus edulis* (L.).

Ciencia y tecnología ambiental, 42(13), 5026-5031.

Burgos, L., & Palacios, C. (2002). Variación estacional de las características químicas de las aguas ecuatoriales subsuperficiales al oeste de las Islas Galápagos en el área de ocurrencia de la corriente de Cromwell (1988-2002).

calculo.cc. (2012). Obtenido de

https://calculo.cc/temas/temas_geometria/ar_vol_cuer_geo/teoria/cono_trunc.html

Choy, C. A., Robison, B. H., Gagne, T. O., Erwin, B., Firl, E., Halden, R. U., . . . Van Houtan, K. (2019). The vertical distribution and biological transport of marine microplastics across the epipelagic and mesopelagic water column. *Scientific reports*, 9(1), 7843.

Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K., & Janssen, C. R. (2011).

Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine pollution bulletin*, 62(10), 2199-2204.

Coello, S., & Macías, R. (2005). Situación de la basura marina en Ecuador . *Plan de acción para la protección del medio marino y áreas costeras del Pacífico Sudeste. Comisión Permanente del Pacífico Sur*, 63.

Comisión Permanente del Pacífico Sur. (2007). *Programa Regional para la conservación de las tortugas marinas en el pacífico sudeste*. CPPS.

Danulat, E., & Edgar, G. J. (2002). *Reserva marina de Galápagos: Línea base de la biodiversidad*. Parque Nacional Galápagos.

Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine pollution bulletin*, 44(9), 842-852.

Elías, R. (2015). *Mar del plástico: una revisión del plástico en el mar*.

Figueroa-Pico, J., Mero-Del Valle, D., Castillo-Ruperti, R., & Macías-Mayorga, D. (2016).

- Marine debris: Implications for conservation of rocky reefs in Manabi, Ecuador (Se Pacific Coast). *Marine pollution bulletin*, 109(1), 7-13.
- Galápagos, D. d. (2014). *Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir*. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador: Imprenta Mariscal.
- Galgani, F., Hanke, G., & Maes, T. (2015). Global distribution, composition and abundance of marine litter. *Marine anthropogenic litter*, 29-56.
- Gallo, F., Fossi, C., Weber, R., Santillo, D., Sousa, J., Ingram, I., & Romano, D. (2020). Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures. *Analysis of Nanoplastics and Microplastics in Food*.
- Goldstein, M. C., Titmus, A. J., & Ford, M. (2013). Scales of spatial heterogeneity of plastic marine debris in the northeast Pacific Ocean. *PloS one*, 8(11).
- Gregory, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2013-2025.
- Hernández Rodríguez, M. A. (2017). Movimientos de sub-adultos de tiburón martillo, *Sphyrna lewini*, en las Islas Galápagos.
- Hurtado Domínguez, M., & Bermúdez Monsalve, J. R. (2021). Estructura termo-halina y patrones de circulación estacional en la fuente volcánica submarina de CO₂ localizada en Roca Redonda (Galápagos).
- Hurtado-Domínguez, M. (2021). Estructura termo-halina y patrones de circulación estacional en la fuente volcánica submarina de CO₂ localizada en Roca Redonda (Galápagos). *Proyecto de Graduación IV Cohorte de Maestría de Cambio Climático. ESPOL*.

Proyecto GMaRe.

- Jones, J. S., Porter, A., Muñoz-Pérez, J. P., Alarcón-Ruales, D., Galloway, T. S., Godley, B. J., . . . Lewis, C. (2021). Plastic contamination of a Galapagos Island (Ecuador) and the relative risks to native marine species. . *Science of The Total Environment*, 789.
- Kanehiro, H., Tokai, T., & Matsuda, K. (1995). Marine litter composition and distribution on the sea-bed of Tokyo Bay. *Journal of Fisheries Engineering*, 31(3), 195-199.
- Kroonenberg, P. M. (1989). The analysis of multiple tables in factorial ecology. III.-Three-mode principal component analysis:'Analyse triadique complète. *Acta oecologica. Oecologia generalis*, 10, 245-256.
- Lenaker, P. L., Baldwin, A. K., Corsi, S. R., Mason, S. A., Reneau, P. C., & Scott, J. W. (2019). Vertical distribution of microplastics in the water column and surficial sediment from the Milwaukee River Basin to Lake Michigan. *Environmental science & technology*, 53(21).
- Lopez Lozano, R., & Mouat, J. (2009). Marine litter in the Northeast Atlantic Region: assessment and priorities for response.
- Lowen, N. T. (2021). Microplastic attachment and ingestion on the corals *Psammocora stellata* and *Pocillopora damicornis* in the Galapagos Islands.
- Merino. (2022). Proyecto de cebadero de cerdo ibérico en intensivo con 750 plazas en Cuéllar (Segovia).
- Mindiola, K., Ponton, J. F., Bermúdez, J. R., & Dominguez, L. E. (2016). Distribución y abundancia de microplástico en fondos marinos arenosos de tres islas pobladas de Galápagos .
- Montanari, S. (2017). *Plastic garbage patch bigger than mexico found in pacific*. National Geographic.

- Nichols, E. C., Lavers, J. L., Archer-Rand, S., & Bond, A. L. (2021). Assessing plastic size distribution and quantity on a remote island in the South Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 167, 112366.
- Nurmukhametov, R. N., Volkova, L. V., & Kabanov, S. P. (2006). Fluorescence and absorption of polystyrene exposed to UV laser radiation. *Journal of Applied Spectroscopy*, 73(1), 55-60.
- Orayeva, J. (27 de Abril de 2020). *Conservación de la vida submarina: Técnicas nucleares para ayudar a América Latina y el Caribe a cumplir el Objetivo de Desarrollo Sostenible 14*. Obtenido de IAEA: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/conservacion-de-la-vida-submarina-tecnicas-nucleares-para-ayudar-a-america-latina-y-el-caribe-a-cumplir-el-objetivo-de-desarrollo-sostenible-14>
- Plastics, E. (2019). *Plásticos – Situación en 2019*. Obtenido de https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/Plastics_the_facts-Mar2019-esp.pdf
- Powell, M. I., & White, K. N. (1990). Heavy metal accumulation by barnacles and its implications for their use as biological monitors. *Marine environmental research*, 30(2), 91-118.
- Rochman, C. M. (2015). The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment. *Marine anthropogenic litter*, 117-140.
- Sexton, C. (7 de Diciembre de 2022). *Scientists cannot fully explain the behavior of water*. Obtenido de earth.com: <https://www.earth.com/video/scientists-cannot-fully-explain-the-behavior-of-water/>
- Spivak, E. D., & L'Hoste, S. G. (1976). *Presencia de cuatro especies de Balanus en la costa de la Provincia de Buenos Aires. Distribución y aspectos ecológicos*. Mar del Plata.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza informe anual. (2021). *UICN*.

Obtenido de <https://www.iucn.org/es/resources/annual-reports/uicn-2021-union-internacional-para-la-conservacion-de-la-naturaleza>

Van Sebille, E., Delandmeter, P., Schofield, J., Hardesty, B. D., Jones, J., & Donnelly, A. (2019).

Basin-scale sources and pathways of microplastic that ends up in the Galápagos Archipelago. *Ocean Science*, *15*(5), 1341-1349.

Wichmann, D., Delandmeter, P., & Van Sebille, E. (2019). Influence of near-surface currents on the global dispersal of marine microplastic. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *124*(8), 6086-6096.

Witman, J. D., Brandt, M., & Smith, F. (2010). Coupling between subtidal prey and consumers along a mesoscale upwelling gradient in the Galapagos Islands. *Ecological Monographs*, *80*(1), 153-177.

Worm, B., Lotze, H. K., Jubinville, I., Wilcox, C., & Jambeck, J. (2017). Plastic as a persistent marine pollutant. *Annual Review of Environment and Resources*, *42*, 1-26.

Xu, X. Y., Wong, C. Y., Tam, N. F., Liu, H. M., & Cheung, S. G. (2020). Barnacles as potential bioindicator of microplastic pollution in Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, *154*, 111081.

Yong, C. Q., Valiyaveetil, S., & Tang, B. L. (2020). Toxicity of microplastics and nanoplastics in mammalian systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(5), 1509.

Zambrano-Monserrate, M. A., & Ruano, M. A. (2020). Estimating the damage cost of plastic waste in Galapagos Islands: A contingent valuation approach. *Marine Policy*, *117*, 103933.

Zarfl, C., & Matthies, M. (2010). Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic? *Marine Pollution Bulletin*, 60(10), 1810-1814.

ANEXOS

Tabla 6

Post-hoc (TukeyHSD) del ANOVA de abundancia de microplásticos en B. amphitrite entre islas en donde se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$)

Fuente	Diferencia	Inferior	Superior	p ajustado
Marchena-Española	1.15063779	0.50586374	1.7954118	0.0000431
Isabela-Española	1.09340038	0.44862633	1.7381744	0.0001025
Bartolome-Española	1.32896845	0.66218215	1.9957547	0.0000056
Marchena-Darwin	0.77274140	0.18414591	1.3613369	0.0037459
Isabela-Darwin	0.71550399	0.12690851	1.3040995	0.0087860
Bartolome-Darwin	0.95107206	0.33844245	1.5637017	0.0004073
Marchena-Floreana	0.73527129	0.14667581	1.3238668	0.0065712
Isabela-Floreana	0.67803389	0.08943840	1.2666294	0.0150410
Bartolome-Floreana	0.91360196	0.30097235	1.5262316	0.0007267
Marchena-Wolf	0.71625842	0.12766294	1.3048539	0.0086898
Isabela-Wolf	0.65902102	0.07042553	1.2476165	0.0196183
Bartolome-Wolf	0.89458908	0.28195948	1.5072187	0.0009721

Tabla 7

Post-hoc (TukeyHSD) del ANOVA de volumen de microplásticos en B. amphitrite entre islas en donde se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$)

Fuente	Diferencia	Inferior	Superior	p ajustado
Marchena-Española	0.326381418	0.15877198	0.4939909	0.0000087
Isabela-Española	0.312183001	0.14457356	0.4797924	0.0000201
Bartolome-Española	0.359928390	0.18659686	0.5332599	0.0000024
Marchena-Darwin	0.205746606	0.05274082	0.3587524	0.0028135
Isabela-Darwin	0.191548189	0.03854241	0.3445540	0.0064180
Bartolome-Darwin	0.239293577	0.08004011	0.3985470	0.0006533
Marchena-Floreana	0.194375799	0.04137002	0.3473816	0.0054589
Isabela-Floreana	0.180177382	0.02717160	0.3331832	0.0121393
Bartolome-Floreana	0.227922771	0.06866930	0.3871762	0.0012739
Marchena-Wolf	0.184490798	0.03148502	0.3374966	0.0095579
Isabela-Wolf	0.170292381	0.01728660	0.3232982	0.0207114
Bartolome-Wolf	0.218037770	0.05878430	0.3772912	0.0022542

Figura 13

Distribución de volumen promedio de microplásticos (partículas/cm³) en muestras de B. amphitrite según el tipo o forma de microplásticos, por medio de diagramas de cajas. Las fibras presentan los valores más altos.

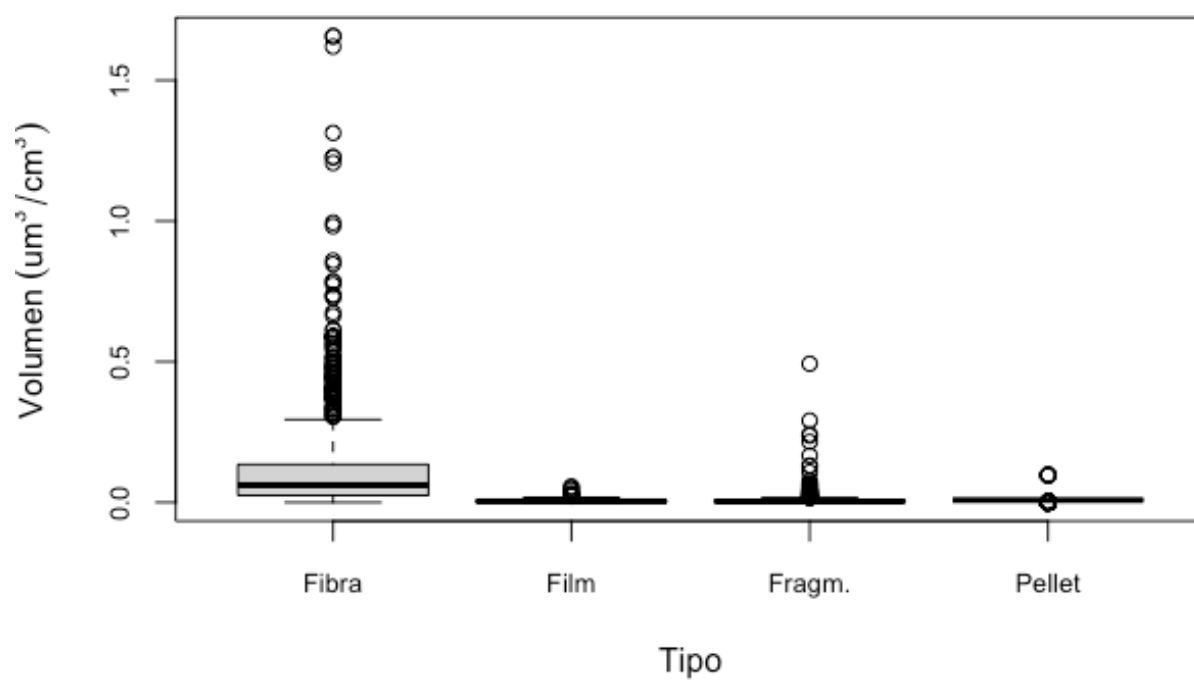
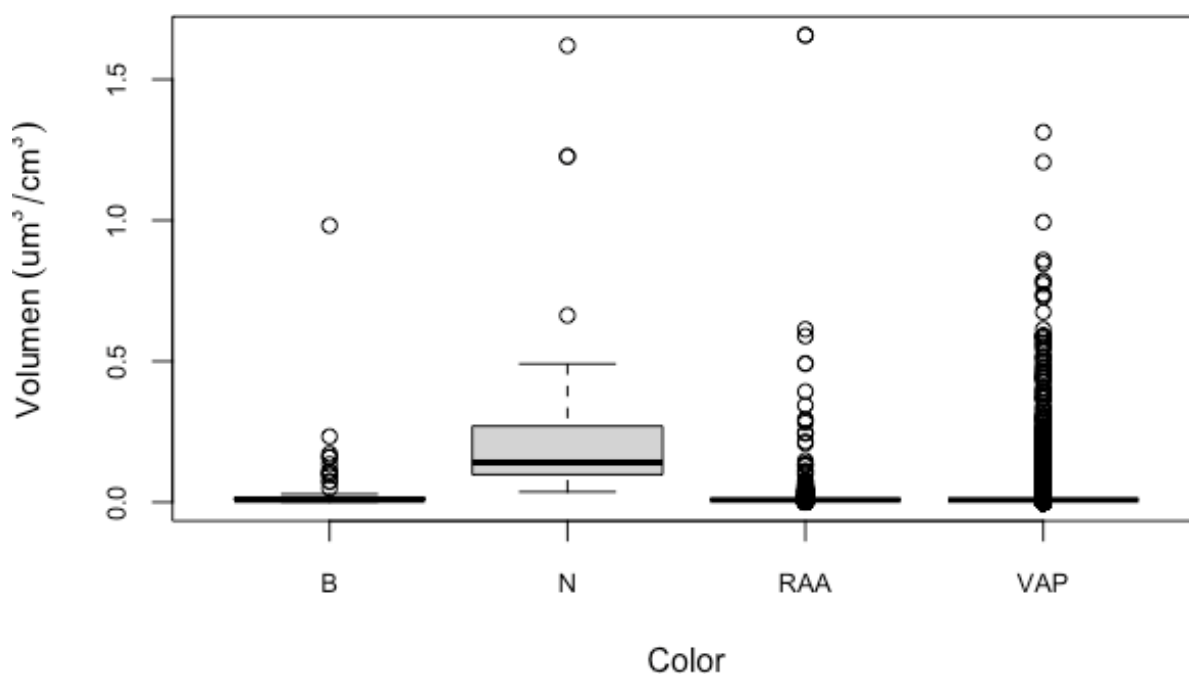


Figura 14

*Distribución de volumen promedio de microplástico ($\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$) en muestras de *B. amphitrite* según el color de partículas, por medio de diagramas de cajas. Las fibras de microplástico de color negro (N) presentan lo valores más altos. B: blanco, RAA: rojo, anaranjado, amarillo, VAP: verde, azul, púrpura*



Puerto Ayora, 27 de octubre 2021

Ing. Jimmy Agustín Villón Moreno, M.Sc.
Director de Carrera – Biología
Universidad Estatal Península de Santa Elena

CARTA DE INTENCIÓN PARA LA COOPERACIÓN ACADÉMICA

El **Programa de Exploración e Investigación Marina de Galápagos-GMaRE**, es una iniciativa conjunta de la **Escuela Superior Politécnica del Litoral-ESPOL** y la **Fundación Charles Darwin-FCD** en Galápagos. El programa se dedica a desarrollar investigación de excelencia, básica y aplicada, en todas las áreas que permitan la conservación de los ecosistemas marinos de Galápagos. Como parte de su portafolio de proyectos, está el “**Plan de Monitoreo de Acidificación Oceánica en la Reserva Marina de Galápagos**”, el mismo que es ejecutado en conjunto con la Dirección del Parque Nacional Galápagos en el archipiélago.

Por medio de la presente, certifico que el estudiante **Samuel Eduardo Cevallos Moncayo**, portador de **CI. 1350060073**, participó en el procesamiento de muestras de *Balanus amphitrite* (Cirripedia) colectadas en Galápagos y su análisis de microplásticos en tejido, durante el periodo comprendido entre el **27/02/2021** a **31/05/2021**. Los muestreos de esta especie y de otras bioindicadoras en ecosistemas marinos (e.g., corales, erizos de mar), así como la medición de parámetros ambientales, se realizaron durante una campaña de monitoreo a bordo del **SY ACADIA y NORTADA** en febrero 2021. Dichas actividades están contempladas en el **permiso de investigación de la Dirección del Parque Nacional Galápagos No. PC-70-20**. Gracias al gran esfuerzo e iniciativa del estudiante durante su estadía en Galápagos, fue posible la obtención de una larga base de datos cuantitativa, misma que autorizo utilizar para el análisis de datos y producción de resultados de investigación para su trabajo de tesis, denominado “**Abundancia, volumen y tipo de microplásticos en *Balanus amphitrite* (Darwin, 1854) en el archipiélago de Galápagos**”. Finalmente, es importante mencionar que tanto el trabajo de laboratorio, como el análisis de datos y escritura de la tesis, han sido y serán supervisados por el doctorante José Fernando Pontón Cevallos, M.Sc., asociado a la Universidad de Gante en Bélgica, y al Programa GMaRE de la ESPOL y FCD.

Sirva la presente para los fines que al interesado convengan.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a final flourish.

Isabel Timpe Vera
Gerente administrativa GMaRE/Técnica Docente Facultad de Ingeniería Marítima y
Ciencias del Mar - ESPOL
Galápagos,
Ecuador
mtimpe@espol.edu.ec
[pol.edu.ec](mailto:mtimpe@espol.edu.ec)
+593-99911878



Facultad de
Ciencias del Mar
Biología Marina

JDA -014-2023

1 de marzo del 2023

Ingeniero

Jimmy Villón Moreno M.Sc

Director de Carrera de la Escuela de Biología

En su despacho. -

De mis consideraciones:

Por medio de la presente envío a Ud. un cordial y sincero saludo, deseándole los mejores éxitos en el ejercicio de sus importantes funciones.

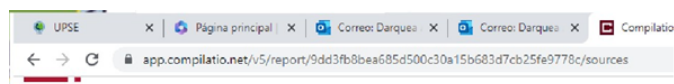
La suscrita Blga. Jodie Darquea Arteaga, M.Sc, tutora de la tesis del estudiante de la carrera de Biología Marina, **CEVALLOS MONCAYO SAMUEL EDUARDO** con el tema "*Abundancia, volumen y tipo de microplásticos en Balanus amphitrite (Darwin, 1854) en el archipiélago de Galápagos*"; CERTIFICÓ que ha cumplido con las tutorías del trabajo de titulación y adjunto una certificación Compilatio con 2 % de similaridad.

En base a lo especificado, se ha cumplido con las correcciones emitidas por los revisores y extendiendo mi aprobación y aval necesario para la continuación de los trámites respectivos.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Blga. Jodie J. Darquea Arteaga M.Sc

Docente - Investigador UPSE



← Tesis Samuel Cevallos analisis COPILATIO #d2ef94

2%

Ubicación de las similitudes en el documento :



= Fuentes

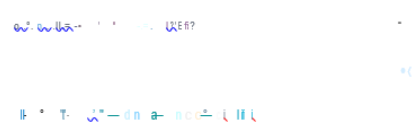
Puntos de interés

CON FIGU RAC UN d [la.s fuer.taE](#)

^ Fuentes principales detectadas

Descripciones

Datos adicionales



^ Fuentes con similitudes fortuitas