



Caracterización de microplásticos en *Thaisella chocolata* de un puerto del sur peruano

Jaén-Rodríguez, C.¹; Luna-Pacompea, N.¹; Juárez-Laguna, F.¹; Alvariño, L.²; Iannacone, J.^{2*}

¹Grupo de Investigación Restauración ecológica y calidad ambiental (REC), Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Escuela de Ingeniería Ambiental. Universidad Científica del Sur, Panamericana Sur Km 19, Villa, Lima, Perú. ²Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA), Museo de Historia Natural de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Grupo de Investigación de Sostenibilidad Ambiental (GISA), Escuela Universitaria de Posgrado (EUPG), Universidad Nacional Federico Villarreal, Jr. Río Chepén 290, El Agustino, Lima, Perú. ✉ joseiannacone@gmail.com

Resumen

El litoral marino se ve afectado por las considerables cantidades de microplásticos (MPs), primarios y secundarios. En el Puerto Matarani, ubicado en el departamento de Arequipa, al sur de Perú, se realizan actividades como la pesca y la extracción de mariscos. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar los MPs en el caracol marino *Thaisella chocolata*. Se recolectaron 150 individuos de *T. chocolata* en dos zonas. La zona A se encuentra a 100 m de distancia del muelle del puerto de Matarani, en donde reposan las embarcaciones de pescadores artesanales y, la zona B, es una lobera ubicada aproximadamente a 2 km de distancia del muelle. Las recolecciones se realizaron en las temporadas de invierno y primavera de 2021. La digestión del tejido del caracol fue realizada con KOH 10%, se usó NaCl concentrado para la separación de los MPs, se filtró; y, finalmente, se determinaron y midieron los MPs hallados por microscopía, además de determinar la composición mediante microscopía de Raman. En el 100% de los caracoles colectados se registró MPs. Las formas más abundantes fueron filamentos > fibras > fragmentos. El color dominante fue el azul (53,94%) y el rango de tamaño más frecuente fue 0,0825 a 0,1609 mm (45,9%). En la temporada de invierno y los caracoles hembra de la zona B presentaron la mayor abundancia de MPs (5,74 y 2,74 MPs/ind., respectivamente). No se halló relación directa entre la longitud de la conchilla y el peso del tejido de *T. chocolata* en función a la cantidad de MP/ind. Mediante la microscopía de Raman se determinó la presencia de PPO (Óxido de poli(2,6-dimetil-1,4-fenileno)), PPSU (polifenolsulfona), PDMS (poli (dimetilsiloxano-co-metilfenilsiloxano)), PBT Poli (tereftalato de 1,4-butileno), PVBP (Poli (4-vinil bifenilo) y PS (Poliestireno). Se concluye que, en base al sexo y temporada de evaluación, el caracol *T. chocolata* puede ser empleado como un bioindicador de contaminación MPs, caracterizados por su forma, color, tamaño y composición química en el ecosistema marino costero peruano.

Palabras clave: basura marina, contaminación marina, gasterópodo.

Characterization of microplastics in *Thaisella chocolata* from a southern Peruvian port

Abstract. The marine coast is affected by significant amounts of primary and secondary microplastics (MPs). In the Port of Matarani, located in the department of Arequipa, southern Peru, activities such as fishing and shellfish harvesting are carried out. The objective of this study was to characterize the MPs in the marine snail *Thaisella chocolata*. A total of 150 *T. chocolata* individuals were collected from two zones. Zone A is located 100 meters from the pier at the Port of Matarani, where artisanal fishing boats are docked, and Zone B is a sea lion colony located approximately 2 kilometers from the pier. Collections were carried out during the winter and spring seasons of 2021. Snail tissue digestion was performed using 10% KOH, concentrated NaCl was used for MPs separation, and the samples were filtered. The MPs found were then identified and measured through microscopy, and their composition was determined by Raman microscopy.

MPs were recorded in 100% of the collected snails. The most abundant forms were filaments > fibers > fragments. The dominant color was blue (53.94%), and the most frequent size range was 0.0825 to 0.1609 mm (45.9%). The highest abundance of MPs was found in winter and in female snails from Zone B (5.74 and 2.74 MPs/ind., respectively). No direct relationship was found between shell length and tissue weight of *T. chocolata* in relation to the amount of MP/ind. Raman microscopy identified the presence of PPO (poly(2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide)), PPSU (polyphenylsulfone), PDMS (poly(dimethylsiloxane-co-methylphenylsiloxane)), PBT (poly(butylene terephthalate)), PVBP (poly(4-vinylbiphenyl)), and PS (polystyrene). It is concluded that based on sex and season, the snail *T. chocolata* can be used as a bioindicator of MPs pollution, characterized by their shape, color, size, and chemical composition in the Peruvian coastal marine ecosystem.

Key words: gastropod, marine pollution, marine litter.

INTRODUCCIÓN

Los microplásticos (MPs) son un problema a nivel mundial, pues se han registrado en distintos componentes de la biota de los ecosistemas, ocasionado afectando negativamente en la supervivencia, y en funciones fisiológicas y de crecimiento (Li et al. 2018, Naji et al. 2018, Kutralam-Muniasamy et al. 2020, Expósito et al. 2022). El litoral marino se ve afectado por una considerable cantidad de MPs, los que se encuentran en diversas formas tales como a) primarios: fabricados intencionalmente para aplicaciones particulares como productos cosméticos y de limpieza, y b) secundarios: que se generan por la fragmentación y/o degradación de plásticos de mayor tamaño expuestos al ambiente, como botellas o bolsas plásticas (Castro-García et al. 2021, Karkanorachaki et al. 2021). Algunos factores que contribuyen en su generación son las corrientes marinas, la velocidad del viento, la fluctuación en el nivel del mar y las oscilaciones de las precipitaciones; así como por la radiación solar (Hale et al. 2020).

Algunos estudios han evidenciado la ingesta indirecta de MPs por el hombre, sugiriendo que el consumo de productos marinos es una de las principales fuentes (Schwabl et al. 2019, Godoy-Balcarcel et al. 2021). El consumo de productos alimenticios hidrobiológicos en Perú es uno de los más elevados a nivel de América Latina (FAOSTAT 2021). Las ciudades con un deficiente manejo de residuos sólidos podrían contribuir a la presencia en mayor cantidad de MPs, impactando la fauna marina (De-la-Torre et al. 2019). Se han realizado investigaciones sobre MPs en ecosistemas marinos peruanos, determinando la presencia de los mismos en suelo del litoral y en diversas especies de la biota animal como caracoles marinos *Thaisella chocolata* y mamíferos como la nutria marina *Lontra felina* (Hale et al. 2020, Kutralam-Muniasamy et al. 2020, Santillán et al. 2020, Iannacone et al. 2021, 2022, Torres-Zevallos et al. 2023).

El Puerto Matarani juega un rol importante y determinante en el departamento de Arequipa y en la Macrorregión Sur del Perú, donde se convierte en el principal centro logístico, desplazando a otros puertos importantes no solo dentro del Perú sino de países vecinos. Además, brinda facilidades para realizar actividades de pesca y la extracción de moluscos (Fernández 2013). El caracol marino *T. chocolata*, es uno de los principales recursos de importancia ecológica de la macrofauna bentónica y económica al ser un molusco de interés alimenticio. Se halla distribuido desde el extremo norte al extremo sur del territorio peruano, y se localiza entre 5 a 15

m de profundidad (Ganoza et al. 2021). Bajo este contexto, los objetivos del presente estudio fueron (1) determinar el tamaño y color de los MPs extraídos de *T. chocolata*, (2) estimar la cantidad de los MPs según sexo del caracol, zona en base a la distancia al muelle y temporada de recolección y (3) determinar bajo microscopía de Raman la composición química de MPs.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de recolecta: Se realizaron dos muestreos con criterio estacional-espacial. Con relación al criterio estacional, se obtuvieron muestras en las estaciones invierno y primavera del 2021. Para el criterio espacial, los caracoles procedieron del “El Faro, Puerto Marítimo de Matarani, Islay, Arequipa, Perú en dos zonas (A y B). La Figura 1 muestra las zonas de muestreo. La zona A (A) se encuentra cerca al muelle, que presenta dos plantas de Tratamiento de Aguas residuales Domésticas (100 m de distancia), y en donde reposan las embarcaciones de pescadores artesanales (17°0'53,92”S 72°6'31,89” LO), y la zona B (B) es una lobera de las Islas Albizuri, ubicada a 2 km aproximadamente de distancia al muelle (17°0'55,52” S y 72°6'52,61” O) (Luna-Pacompea et al. 2022).

Las muestras se recolectaron en bancos naturales de fondo duros mediante buceo semiautónomo con compresoras desde embarcaciones (Hooka) (Buonfiglio y Lovatelli, 2023), y estableciéndose como unidad de muestreo un tiempo de 30 minutos de buceo efectivo, por cada zona evaluada a profundidades entre 8 a 25 m, por integrantes de la Asociación de Buzos y Tripulantes Extractores de Mariscos de Matarani. Se recolectaron 50 individuos de *T. chocolata* en la temporada de invierno ($n_{\text{zonaB}} = 50$), y en la primavera se obtuvieron 100 individuos ($n_{\text{zonaA}} = 50$; $n_{\text{zonaB}} = 50$). No se recolectaron caracoles marinos en la zona A en invierno durante la evaluación realizada.

Se adaptó la metodología sugerida por Lusher y Hernandez-Milian (2018), con el propósito de aislar los MPs presentes en el tejido blando, incluyendo el tracto digestivo de *T. chocolata*. Los individuos colectados y rotulados se trasladaron al Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA), Facultad de Ciencias Naturales y Matemática (FCCNM), Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV) ubicado en Lima, Perú, para ello se empleó “coolers”, conteniendo geles refrigerantes envueltos en papel aluminio, para evitar la contaminación

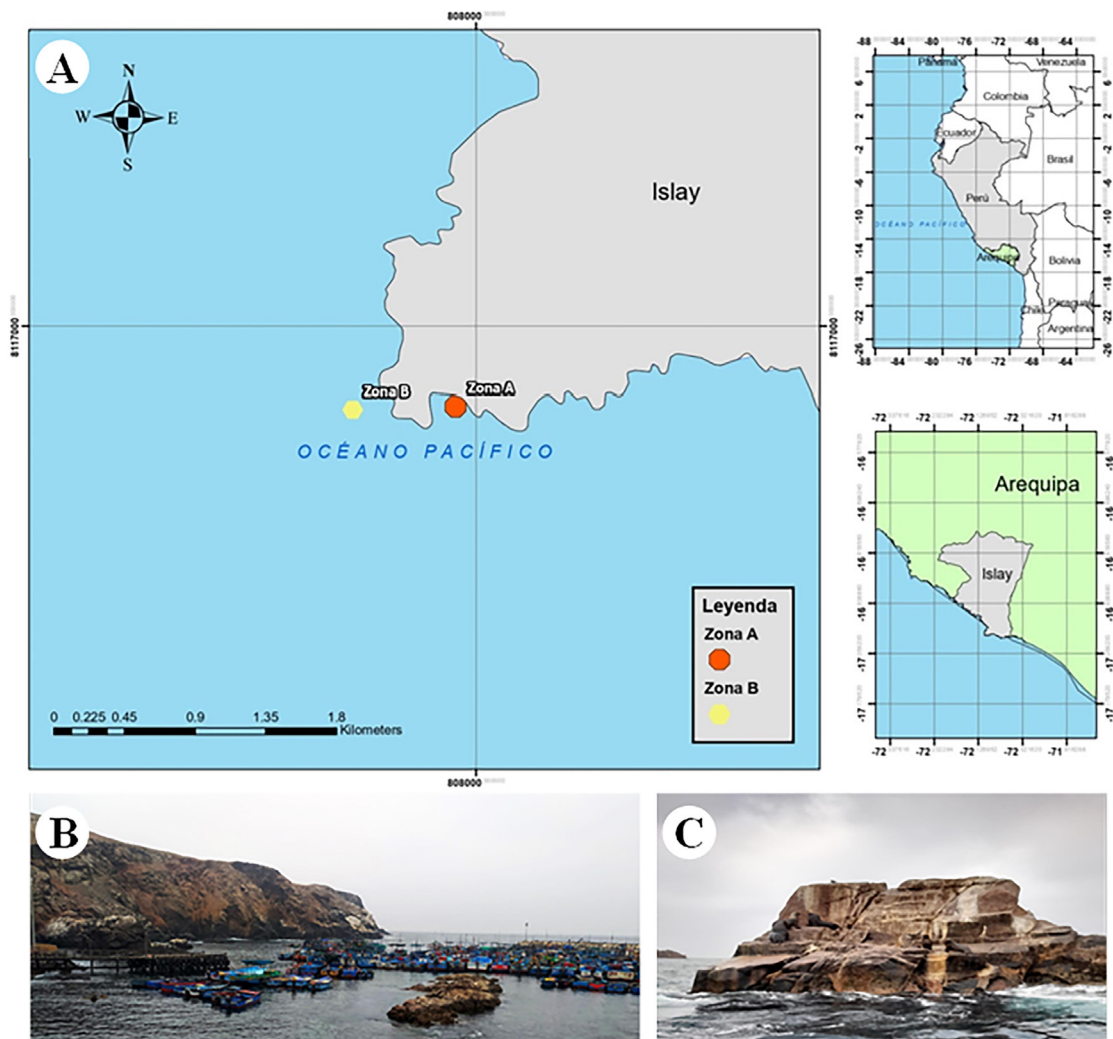


Figura 1. A. Mapa de ubicación de las zonas de estudio en Matarani, distrito de Islay, Provincia de Arequipa, Perú. **B** y **C.** Panorama de las zonas de colecta de *Thaisella chocolata*. Zona A (●) y Zona B (●) en Matarani, distrito de Islay.

cruzada. Se midieron las siguientes variables en cada caracol: longitud de la concha (mm), peso del tejido (g) y sexo (hembra y macho).

Criterios de calidad del ambiente de evaluación.

Se desinfectó con alcohol etílico al 70% el ambiente de evaluación. Asimismo, para la evaluación de los moluscos marinos se utilizaron guantes de nitrilo. Debido a la naturaleza de la investigación, no se emplearon instrumentos de laboratorio que presentaran plástico en su composición. Además, el agua usada en el procedimiento del laboratorio se filtró previamente, con el fin de evitar contaminación de los MPs propios de la muestra (Iannacone et al. 2022).

Procedimiento en laboratorio. Se extrajo el tejido blando de la concha del caracol marino, para su posterior uso como muestra. Luego, se introdujo el tejido de cada individuo en frascos de vidrio de 150 mL junto con KOH al 10% en proporción 3:1, posteriormente fueron colocados en una estufa a 60 °C por 24 h (Lusher y Hernandez-Milian 2018, Wang y Wang 2018, Iannacone et al. 2022). Una vez enfriadas las muestras se añadieron a embudos de decantación con NaCl en una proporción de 3:1 por 24 h de exposición. La disolución bifásica se filtró al vacío en Buchner en un filtro de papel de porosidad de 12 µm (Yang et al. 2023).

Caracterización visual. Se categorizaron y clasificaron las muestras, a partir de lo sugerido por Lusher y Hernandez-Milian (2018). Se empleó un microscopio Trinocular, Marca: NIKON, Modelo: SMZ745T con el fin de visualizar los MPs en los filtros, los que fueron registrados según forma (filamento, fragmento, pellets, espuma y fibras), tamaño (de 0,004 a 0,6325 mm) y color (azul, fucsia, transparente, celeste, morado, negro, amarillo y blanco).

Caracterización química. Fueron identificados en cinco MPs representativas de los MPs (filamentos azul, fucsia, negro, morado y transparente), los compuestos químicos presentes por medio de la microscopía de Raman, y se utilizaron objetivos de 50x y 100x, dependiendo del tamaño del MP. Se utilizaron diferentes longitudes de onda de excitación, i.e. 514 nm, 785 nm y 633 nm, correspondientes a un láser de Argón, Diodo de AsGa y láser de Helio-Neón, respectivamente, con el fin de identificar las mejores condiciones para obtener la señal Raman. La longitud de onda de excitación que mostró la mejor relación señal-ruido para estos materiales fue la de 785 nm (Wirnkorn et al. 2019).

Análisis estadístico. Se contabilizó el número de los MP con base a los tipos, colores y tamaños cada tejido blando de cada individuo de *T. chocolata*. Asimismo,

previo análisis de normalidad (Prueba Shapiro-Wilk) y de homogeneidad de varianzas, se empleó la prueba T de student, con el objetivo estadístico de comparar en número de los MP/ind. según la temporada, zona, y sexo (hembra y macho) del caracol. Se realizó la prueba de correlación Pearson (r_p) entre las variables, peso del tejido sin concha (g) y longitud de concha del caracol (mm), con el número de MP/ind. de *T. chocolata*. El análisis estadístico se efectuó con SPSS Statistics, versión 29.0 con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Aspectos éticos. La presente investigación fue aprobada por el Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA)

con Constancias N°051-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2021 y N°002-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2022.

RESULTADOS

Caracterización de MPs. Se encontraron MPs en todas las muestras de caracoles marinos colectadas (150), haciendo un total de 597 MPs. Predominaron los MPs de color azul (53,94%) en ambas zonas, muelle (A) y lobera (B), y en ambas temporadas de primavera e invierno 2021. Los filamentos fueron el tipo de MP con mayor abundancia (59,63%). Con relación al tamaño, primaron los MPs de 0,0825 a 0,1609 mm de longitud ($n=274$), seguidos del rango de longitud 0,004 a 0,0824 mm ($n=227$) (Tabla 1).

Tabla 1. Características de los MPs (MP/ind.) según zona y temporada de muestreo por color, tipo y tamaño de MPs, Matarani, Arequipa, Perú.

Parámetro del MP	Características	Temporada		Zona		Total
		Primavera	Invierno	A	B	
Color	Azul	173	149	119	203	322
	Fucsia	9	29	5	33	38
	Transparente	43	53	11	85	96
	Celeste	29	12	16	25	41
	Morado	10	44	10	44	54
	Negro	14	0	1	13	14
	Amarillo	15	0	15	0	15
	Blanco	17	0	4	13	17
Tipo	Fragmento	25	2	15	12	27
	Fibras	63	151	50	164	214
Tamaño (mm)	Filamentos	222	134	116	240	356
	0,004 – 0,0824	134	93	78	149	227
	0,0825 – 0,1609	116	158	69	205	274
	0,161 – 0,2394	46	22	28	40	68
	0,2395 – 0,3179	4	6	3	7	10
	0,318 – 0,3964	3	4	3	4	7
	0,3965 – 0,4749	0	4	0	4	4
	0,475 – 0,5534	5	0	0	5	5
0,5535 – 0,6325	2	0	0	2	2	
Total		310	287	181	416	597

Tabla 2. Comparación del número de MPs/ind. *Thaisella chocolata* según sexo, zona de muestreo y temporada en Matarani, Arequipa, Perú.

Variables	Dimensiones de las variables	MPs/ind.	Rango del N° MPs	t	Sig.
Sexo	Hembra (n=81)	4,30 ± 3,91	1 a 25	1,28	0,20
	Macho (n=69)	3,59 ± 2,67	1 a 13		
Temporada	Invierno (n=50)*	5,74 ± 4,63	1 a 25	4,79	<0,001
	Primavera (n=100)	3,10 ± 2,12	1 a 9		
Zona de muestreo	Zona A (n=50)*	3,62 ± 2,33	1 a 9	0,91	0,36
	Zona B (n=100)	4,16 ± 3,82	1 a 25		

*Solo se incluyeron 50 individuos debido a que no se recolectaron caracoles marinos en la zona A en invierno durante la evaluación realizada.

La cantidad de MP/ind. en *T. chocolata* no presenta diferencias significativas según el sexo, y zona de muestreo de recolección (Tabla 2). En cambio, para la temporada de

recolecta de invierno se observó una mayor abundancia de MP/ind. en comparación con la primavera (Tabla 2).

La Figura 2 muestra imágenes observadas por microscopio de diferentes MPs hallados en *T. chocolata*.

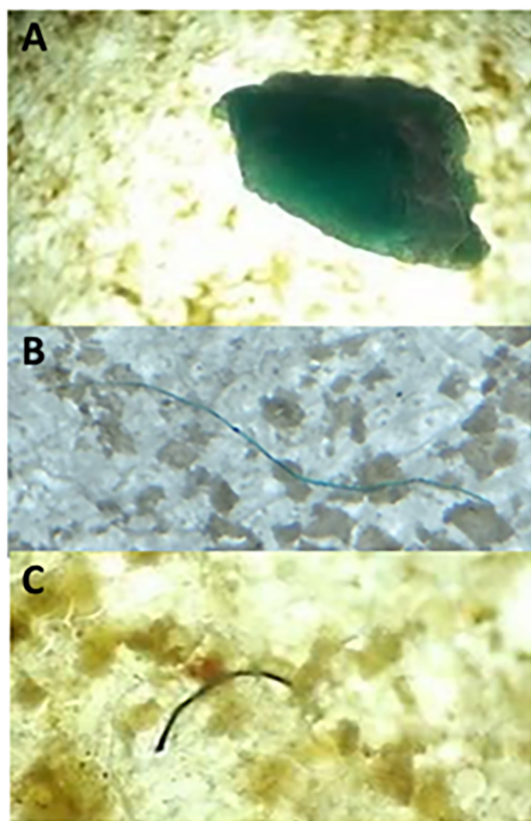


Figura 2. Imágenes observadas por microscopio de diferentes MPs ingeridos por *Thaisella chocolata*: A. Fragmento. B. Filamento. C. Fibra. Capturas de imágenes tomadas a 40 X.

Tabla 3. Correlación de Pearson (r_p) entre la cantidad (MPs/ind.) y las características biometría del caracol marino *Thaisella chocolata* (peso del tejido y longitud de concha) Matarani, Arequipa, Perú.

Asociaciones	r_p	Sig.
Longitud de concha vs. MPs por individuo de caracol marino (MP/ind.)	0,08	0,13
Peso del tejido de vs. MPs por individuo de caracol marino (MP/ind.)	0,04	0,60

La correlación de Pearson nos indica ausencia de relación entre la longitud de la concha y el peso del tejido de *T. chocolata*, en función de la cantidad de MP/individuo (Tabla 3).

En cuanto a la microscopía de Raman, se determinó la presencia de: (1) PPO (Óxido de poli(2,6-dimetil-1,4-fenileno)) (CAS: 25134-01-4); (2) PPSU (polifenilsulfona) (CAS: 25135-51-7); (3) PDMS (poli (dimetilsiloxano-co-metilfenilsiloxano)) (CAS: 63148-52-7); (4) PBT Poli (tereftalato de 1,4-butileno) (CAS = 26062-94-2), (5) PVBP (Poli (4-vinil bifenilo) (CAS = 25232-08-0) y (6) PS (Poliestireno) (CAS 9003-53-6).

DISCUSIÓN

Los resultados muestran una mayor incidencia de MPs azules (53,94%) y en menor proporción MPs negros

(2,35%) en *T. chocolata*. Los colores de los MPs podrían ser importantes para organismos marinos con alimentación selectiva al confundirlos con su alimento (De-la-Torre et al. 2019). Asimismo, se podría relacionar los colores de los MPs con la absorción de otros contaminantes o aditivos, los que podría generar bioacumulación (Weis 2020, Iannacone et al. 2021, 2022).

Se ha encontrado MPs de tipo filamentos (59,6%), fibras (35,8%) y fragmentos (4,5%). En otras especies de moluscos como los bivalvos *Amiantis umbonella*, *A. purpuratus*, y *Pinctada radiata*, y el caracol *Cerithidea cingulata* (Gastropoda: Potamididae), los de mayor abundancia son los MPs de tipos fibra y fragmento (Naji et al. 2018); sin embargo, en esta investigación los de tipo filamento fueron los más abundantes, seguidos del tipo fibra. Los resultados sugieren que los MPs tipo filamento y fibra podrían ser su origen las redes de pesca y las prendas de fibras sintéticas durante el lavado (Godoy-Balcarcel et al. 2021). Por otro lado, los fragmentos podrían provenir de plásticos de un solo uso y de restos de pinturas de las embarcaciones (Cisneros et al. 2021, Canchari y Iannacone 2022).

Los tamaños de MPs en *T. chocolata* más frecuentes fueron en los rangos de 0,0825 a 0,1609 mm (45,9%). Expósito et al. (2022) encontraron MPs en caracoles marinos dentro del rango previamente mencionado, pero en un menor porcentaje (10%).

Con relación al sexo, los caracoles hembras y machos presentaron similares abundancias de MPs/ind. en concordancia al análisis estadístico efectuado. En cambio, Torres-Zevallos et al. (2023) mencionan que las hembras de *T. chocolata* presentaron MPs en una frecuencia de 73,21%, siendo las hembras más propensas a acumular MPs en comparación a los machos.

En cuanto a la zona, pese a que se esperaría encontrar mayor cantidad de MPs en la zona A, por su interacción directa con la actividad humana; sin embargo, la zona B presentó similar abundancia. Es posible que esto ocurra debido a que la zona de lobera (B) es un ambiente rocoso, donde las corrientes marinas podrían concentrar los MPs en forma similar que la zona A (Browne et al. 2010). Estos resultados concuerdan con lo evidenciado por Cisneros et al. (2021), quienes reportan la presencia de fibras y fragmentos en *Modiolus capax*, especie que habita los sustratos rocosos en Punta Sal en Perú.

La época de muestreo se caracterizó por ser muy fría para el litoral peruano por influencia de los cambios climáticos como fenómeno de La Niña, afectando especialmente en la zona sur del Perú. Los niveles de vientos y temperatura superficial de mar fueron ligeramente más bajos para la temporada de invierno en comparación con la temporada de primavera. Se sabe que valores ligeramente altos de la temperatura en la primavera-2021 pudieran acelerar la degradación del plástico, lo que provocaría una mayor fragmentación y liberación de partículas MPs. Otros factores como los cambios en las corrientes oceánicas, los patrones de circulación y el viento, pueden afectar el transporte y la dispersión de los MPs en el ambiente marino (Haque y Fan 2023). Todos estos factores podrían influenciar en la variación de MPs presentes en ambas temporadas (Torres-Zevallos et al. 2023). Sin embargo, opuestamente a lo esperado, la temporada de invierno-2021

presentó más abundancia de MPs/individuo de *T. chocolata* que la primavera-2021.

No se halló correlación entre la longitud de la concha de *T. chocolata* y el peso del tejido, con la cantidad de MP/individuo. Esto puede deberse a la posible tolerancia a la ingesta de materiales no digeribles como los MPs, por lo que, no es evidente el efecto negativo de los MPs sobre el crecimiento de *T. chocolata* (Weber et al. 2020).

Entre las principales fuentes de MPs en el mar, se identifica a las actividades económicas, como el turismo costero, pesca industrial y artesanal, actividades que se llevan a cabo en el puerto de el Faro en Matarani; asimismo, la deficiente gestión de residuos sólidos se sugiere como principal fuente de MPs. Hasta el 2017, Islay es la cuarta provincia con mayor población en el departamento de Arequipa (3,76%), de igual manera, es la cuarta provincia en Arequipa con mayor generación municipal per cápita de residuos sólidos (0,74 kg por habitantes día⁻¹), siendo la primera Camaná (0,8 kg por habitantes día⁻¹); aun así, no cuentan con una infraestructura adecuada para la disposición final, ni disponen en rellenos sanitarios, lo cual determinaría la presencia de MPs en sus costas marinas (SINIA 2020).

Por otro lado, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), son importantes aportantes de MPs al ambiente marino (Castro-García et al. 2021).

El análisis de microscopía de Raman realizado en seis MPs, determinó picos significativos en tres de ellos, siendo identificado químicamente como PPO, que es un poliéter termoplástico amorfo que se ha utilizado ampliamente como membrana en pilas de combustible de electrolitos poliméricos; PPSU que se utiliza en aplicaciones que incluyen fusibles de automóviles, biseles de faros, accesorios de plomería, electrodomésticos, utensilios de cocina antiadherentes, platos de avión, impulsores de bombas, membranas de filtro y visores de alta temperatura; el PDMS es usado en sistemas de microfluidos, dispositivos biomédicos, componentes electrónicos, membranas para filtrado y pervaporación, sensores y recubrimientos; el PBT que es un polímero termoplástico de ingeniería que se utiliza como aislante en las industrias eléctrica y electrónica; el PVBP que se usa en dispositivos optoelectrónicos orgánicos y como componente en varios tipos de materiales electrónicos orgánicos, y finalmente el PS (Xu et al. 2008, Ariati et al. 2021). La presencia de estos polímeros podría indicar que los MPs hallados tienen mayormente procedencia industrial, que podría provenir del Terminal Portuario de Matarani, ya que en ella se embarca concentrados de minerales a granel (cobre, plomo y plata), cátodos de cobre, harina de pescado, cemento y mercancía en general que va en contenedores.

Debido al interés gastronómico de esta especie, se podría sugerir la ingesta indirecta humana de MPs a través del consumo de *T. chocolata*. En los moluscos comestibles *Bullacta exarata*, *Cyclina sinensis* y *Macra veneriformis* se han presentado efectos de los MPs en las enzimas digestivas, y neurotoxicidad (Torres-Zeballos et al. 2023, Wang et al. 2023). Sin embargo, aún se requiere de mayor información sobre el daño significativo de MPs a la salud humana (De-la-Torre et al. 2019).

Los resultados evidencian la necesidad de realizar más estudios focalizados para determinar el impacto de los MPs

en los ecosistemas marinos, especialmente los recursos hidrobiológicos, como *T. chocolata*, que es importante a nivel comercial en Arequipa y a nivel nacional, lo que contribuirá a implementar políticas y acciones para la protección del mar peruano.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se registró la presencia de MPs en todos los individuos colectados de *T. chocolata* en Matarani, Arequipa, Perú. El color del MPs con mayor dominancia fue el azul. El tipo de MPs de mayor abundancia fue el filamento. El rango de tamaño con mayor incidencia fue de 0,0825 a 0,1609 mm. Para la temporada de recolecta que fue en invierno-2021, se observó mayor abundancia de MPs en comparación con la primavera-2021. No se halló asociación entre la longitud de la concha y el peso del tejido sin concha con los MPs. Se determinó químicamente mediante la microscopía de Raman, la presencia de PPO, PPSU, PDMS, PBT, PVBP y PS. Finalmente, en base al sexo y temporada de evaluación, el caracol *T. chocolata* puede ser empleado como un bioindicador de contaminación MPs, caracterizados por su forma, color, tamaño y composición química en el ecosistema marino costero peruano.

Agradecimientos. Al apoyo económico de la Universidad Científica del Sur, Lima, Perú, Fondo Semilla 2021 (030-2021PRO99); al Laboratorio de Ecología y Biología Animal (LEBA), de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), a la Asociación de Buzos y Tripulantes Extractores de Mariscos de Matarani, Arequipa, Perú.

ORCID

Jaén-Rodríguez, C.  <https://orcid.org/0000-0003-1790-9918>

Luna-Pacompea, N.  <https://orcid.org/0000-0003-2821-1179>

Juárez-Laguna, F.  <https://orcid.org/0000-0003-0585-7145>

Alvaríño, L.  <https://orcid.org/0000-0003-1544-511X>

Iannacone, J.  <https://orcid.org/0000-0003-3699-4732>

REFERENCIAS

1. Ariati R, Sales F, Souza A, Lima RA, Ribeiro J. Polydimethylsiloxane composites characterization and its applications: a review. *Polymers*. 2021; 13: 4258.
2. Buonfiglio G, Lovatelli A. Guía práctica del buceo seguro con hookah - Buceo para pepino de mar y otros organismos marinos. Roma, FAO. 2023.
3. Browne M, Galloway T, Thompson R. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environ. Sci. Technol.* 2010; 44: 3404-3409.
4. Canchari F, Iannacone J. Microplásticos en sedimentos de canales de riego en el centro poblado de Madeán, Distrito de Madeán, Provincia de Yauyos, región Lima, Perú. *Biologist (Lima)*. 2022; 20: 85-92.

5. Castro-García S, Barrera-Leiva AM, González-Evaristo AM, Pinot-Gómez AL, Vargas-Chan JR, Sierra-Lemus I, Huchin-Mian JP. Contaminación por microplásticos en ecosistemas acuáticos. *Ciencia (Méx.)*. 2021; 10: 28-35.
6. Cisneros P, Montero P, Guevara M. Registro de fragmentos y fibras de plástico en sedimentos marinos, Tumbes, Perú. *Inf. Inst. Mar Perú* 2021; 48: 478-483.
7. De-la-Torre GE, Mendoza-Castilla LL, Laura RP. Microplastic contamination in market bivalve *Argopecten purpuratus* from Lima, Peru. *Manglar* 2019; 16: 85-89.
8. Expósito N, Rovira J, Sierra J, Gimenez G, Domingo JL, Schuhmacher M. Levels of microplastics and their characteristics in molluscs from North-West Mediterranean sea: Human intake. *Mar. Pollut. Bull.* 2022; 181: 113843.
9. FAO. *Consumo de comida marina (kg/percápita/año) en Perú desde 1993 hasta 2013*. 2021. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/CL/visualize> Último acceso 15 de enero del 2024.
10. Fernández EJ. Nuevos retos y perspectivas del puerto de Matarani en el contexto regional en el marco de la globalización. *Espacio y Desarrollo*. 2013; 25: 157-171.
11. Ganoza F, Ramirez A, Gonzales R, Barreto J. Evaluación de *Thaisella chocolata* "caracol negro" y *Cheilodactylus variegatus* "pintadilla" en las islas del grupo Huaura, Región Lima, diciembre 2018. *Inf. Inst. Mar Perú*. 2021; 48: 146-165.
12. Godoy-Balcarcel B, Ponciano-Nuñez M, Alpuche-Palma A, Vera-Quiñones F, Mendiola-Campuzano J. Identificación de microplástico en el contenido gastrointestinal de peces comerciales. Caso: Lago Petén Itzá, Guatemala. *RelbCi* 2021; 8: 124-134.
13. Hale RC, Seeley ME, La Guardia MJ, Mai L, Zeng EY. A global perspective on microplastics. *J. Geophys. Res. (Oceans)* 2020; 125: e2018JC014719.
14. Haque F, Fan C. Fate of microplastics under the influence of climate change. *iScience*. 2023; 26: 107649.
15. Iannacone J, Principe F, Minaya D, Panduro G, Carhuapoma M, Alvarino L. Microplásticos en peces marinos de importancia económica en Lima, Perú. *Rev. investig. vet. Perú* 2021; 32: 1-15.
16. Iannacone J, Principe F, Alvarino L, Minaya D, Panduro G, Ayala Y. Microplásticos en el <<cangrejo peludo>> *Romaleon setosum* (Molina, 1782) (Cancridae) del Perú. *Rev. investig. vet. Perú* 2022; 33: e22161.
17. Karkanorachaki K, Syranidou E, Kalogerakis N. Sinking characteristics of microplastics in the marine environment. *Sci. Total Environ.* 2021; 793: 148526.
18. Kutralam-Muniasamy G, Pérez-Guevara F, Elizalde-Martínez I, Shruti VC. Review of current trends, advances and analytical challenges for microplastics contamination in Latin America. *Environ. Pollut.* 2020; 267: 115463.
19. Li J, Zhang K, Zhang H. Adsorption of antibiotics on microplastics. *Environ. Pollut.* 2018; 237: 460-467.
20. Luna-Pacompea N, Juarez-Laguna F, Jaen-Rodríguez C, Alvarino L, Iannacone J. Metales pesados e imposex en *Thaisella chocolata* (Gasteropoda: Muricidae) en Matarani, Arequipa, Perú. *Rev. investig. vet. Perú*. 2022; 33: e23793.
21. Lusher A, Hernandez-Milian G. Microplastic extraction from marine vertebrate digestive tracts, regurgitates and scats: A protocol for researchers from all experience levels. *Bio-Protoc.* 2018; 8: 1-12.
22. Naji A, Nuri M, Vethaak AD. Microplastics contamination in molluscs from the northern part of the Persian Gulf. *Environ. Pollut.* 2018; 235: 113-120.
23. Santillán L, Saldaña-Serrano M, De-la-Torre G. First record of microplastics in the endangered marine otter (*Lontra felina*). *Mastozool. Neotrop.* 2020; 27: 211-215.
24. Schwabl P, Köppel S, Königshofer P, Bucsics T, Tauner M, Reiberger T, Liebmann B. Detection of various microplastics in human stool. *Ann. Intern. Med.* 2019; 171: 453-457.
25. SINIA. *Gestión integral de los residuos sólidos en Arequipa*. 2020. Disponible en: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/dossier_arequipa_jun20.pdf. Último acceso 22 de enero de 2024.
26. Torres-Zevallos U, Arenas-Valeriano AD, Alvarino L, Iannacone J. Microplásticos e imposex en el caracol marino *Thaisella chocolata* procedente de la costa central marina del Perú. *Rev. Vet.* 2023; 34: 25-32.
27. Wang W, Wang J. 2018. Investigation of microplastics in aquatic environments: An overview of the methods used, from field sampling to laboratory analysis. *Trends Anal. Chem.* 2018; 108: 195-202.
28. Wang S, Zheng L, Shen M, Zhang L, Wu Y, Li G, Guo C, Hu C, Zhang M, Sui Y, Dong XLL. Habitual feeding patterns impact polystyrene microplastic abundance and potential toxicity in edible benthic mollusks. *Sci. Total Environ.* 2023; 866: 161341.
29. Weber A, von Randow M, Voigt AL, Au M, von der Fischer E, Meermann B, Wagner M. Ingestion and toxicity of microplastics in the freshwater gastropod *Lymnaea stagnalis*: No microplastic-induced effects alone or in combination with copper. *Chemosphere* 2020; 263: 128040.
30. Weis JS. Aquatic microplastic research A critique and suggestions for the future. *Water* 2020; 12: 1475.
31. Wirnkorn VA, Eber EC, Ngozi VE. Microplastics, an emerging concern: A review of analytical techniques for detecting and quantifying microplastics. *Anal. Methods Environ. Chem. J.* 2019; 2: 13-30.
32. Yang J, Monnot M, Sun Y, Asia L, Wong-Wah-Chung P, Doumenq P, Mouli P. Microplastics in different water samples (seawater, freshwater, and wastewater): Removal efficiency of membrane treatment processes. *Water Res.* 2023; 232: 119673.
33. Xu T, Wu D, Wu L. Poly(2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide) (PPO)—A versatile starting polymer for proton conductive membranes (PCMs). *Prog. Polym. Sci.* 2008; 33: 894-915.