



NOTA / NOTE

## Caracterización de microplásticos en agua y sedimentos en los humedales Pantanos De Villa, Chorrillos, Lima, Perú

### Characterization of microplastics in water and sediments in the wetlands Pantanos De Villa, Chorrillos, Lima, Peru

Ángel Giuseppe Losno-Prado<sup>1</sup> y José Iannacone<sup>1,2,\*</sup>

0000-0003-3829-3497

0000-0003-3699-4732

1. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Carrera de Ciencias Ambientales. Coastal Ecosystems of Peru Research Group. Universidad Científica del Sur, Lima, Perú. giuseppelp.eco@gmail.com
2. Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental (GISA), Escuela Universitaria de Posgrado (EUPG), Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA). Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad Nacional Federico Villarreal, Jr. Río Chepén 290, El Agustino, Lima, Perú. joseiannaconeoliver@gmail.com\*

\* Autor de correspondencia / Corresponding author:

#### RESUMEN

Los humedales Pantanos de Villa (HPV), Chorrillos, Lima, Perú son un sitio RAMSAR de gran importancia internacional por ser un lugar de descanso en las migraciones de aves. El objetivo fue caracterizar los microplásticos (MP) en agua y sedimentos en la Laguna Mayor de los HPV durante septiembre del 2019. Se recolectaron muestras de agua por arrastre vertical con una red Spenet de 25  $\mu\text{m}$  y de sedimentos de fondo con una draga Van Veen con área de muestreo de 0,025  $\text{m}^2$  en tres sectores de la Laguna Mayor del HPV. Se cuantificaron los MP en base al color, forma y tamaño. Se encontraron en el agua 0,94 partículas  $\cdot\text{L}^{-1}$ , y en los sedimentos 64 partículas  $\cdot\text{kg}^{-1}$ . En los MP en agua y sedimento el color blanco y celeste/turquesa, la forma fragmento y película, y el tamaño de 401 a 500  $\mu\text{m}$  fueron los dominantes. Las actividades antrópicas urbanas e industriales, el destino ilegal de desmontes, botaderos y arrojado de basura, tráfico vehicular y peatonal colindante a la Laguna Mayor, y el transporte de MP por viento podrían ser factores que expliquen las diferencias de los MP entre los sectores del HPV.

**PALABRAS CLAVE:** agua, humedales, microplástico, Perú, sedimento.

#### ABSTRACT

Los Pantanos de Villa wetland (PVW), Chorrillos, Lima, Peru; It is a RAMSAR site of great international importance for being a resting place for bird migrations. The objective was to characterize microplastics (MP) in water and sediments in the Laguna Mayor of PVW during September 2019. Water samples were collected by vertical dragging with a 25  $\mu\text{m}$  Spenet and bottom sediments with a Van Veen dredge with a sampling area of 0.025  $\text{m}^2$  in three sectors of the Laguna Mayor del PVW. MPs were quantified based on color, shape, and size. 0.94 particles  $\cdot\text{L}^{-1}$  were found in the water, and 64 particles  $\cdot\text{kg}^{-1}$  in the sediments. In the MP in water and sediment, the white and light blue/turquoise color, the fragment and film shape, and the size of 401 to 500  $\mu\text{m}$  were the dominant ones. The urban and industrial anthropic activities, the illegal destination of clearings, dumps and dumping of garbage, vehicular and pedestrian traffic adjacent to the Laguna Mayor, and the transport of MP by wind could be factors that explain the differences in MP between the sectors of the PVW.

**KEYWORDS:** microplastic, Peru, sediment, water, wetlands.

Los microplásticos (MP), elementos sintéticos producidos directa o indirectamente por el hombre, presentan tamaños hasta de 5 mm (Iannacone *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2020). Actualmente se desarrollan más investigaciones sobre los MP en los ecosistemas marinos en comparación con los ecosistemas marino costeros, y menos aún en los humedales costeros (Ayala *et al.*, 2021). Por ello, es de gran importancia caracterizar e identificar los impactos ambientales generados por los MP en los humedales (Reynolds y Ryan, 2018; Faria *et al.*, 2021).

En los últimos años se está evidenciando la presencia de MP en áreas naturales protegidas en varios países iberoamericanos (Mazariegos-Ortiz *et al.*, 2021). Los Humedales de Pantanos de Villa o conocido localmente como Los Pantanos de Villa (HPV), es un área natural protegida por el estado peruano y sitio RAMSAR internacional (Pulido-Capurro, 2018; Edo *et al.*, 2020). Los humedales pueden convertirse en sumideros de MP, preservarse y acumularse continuamente durante mucho tiempo, debido a las variaciones en su color, forma y tamaño que pueden ser ingeridos por error por la biota acuática (Carlin *et al.*, 2020; Valencia *et al.*, 2020). La presencia de basura plástica en los HPV, podría ser el primer indicativo en la generación de MP, con impacto en las aves residentes y migratorias que utilizan los plásticos para construir sus nidos (Blettler *et al.*, 2020).

Los humedales RAMSAR tienen una gran importancia global por albergar una gran diversidad de vida, dependientes de ecosistemas marino costeros (Sruthy y Ramasamy, 2017). Debido al impacto en la biota acuática, es importante caracterizar los MP depositados en el sedimento y en el agua de los HPV. Por ende, el objetivo de la presente investigación fue caracterizar los MP en agua y sedimentos en los HPV.

Los HPV se localizan en el distrito de Chorrillos, provincia de Lima, Perú, visible en la Figura 1 (Pulido-Capurro, 2018). Sus aguas corresponden a afloraciones subterráneas, tiene una extensión aproximada de 263 ha y se encuentran a 5 msnm (Pulido-Capurro, 2018). La Laguna Mayor es el objeto de estudio por ser el cuerpo de agua más grande dentro del HPV. Esta laguna tiene una extensión de 50 000 m<sup>2</sup>. Esta laguna tiene colindancias con áreas industriales, urbanas y pistas asfaltadas (Alarcón e Iannacone, 2014).

**Muestreo:** Se realizó en septiembre de 2019 durante la época de invierno, de 6:30 hasta las 18:45 empleando un bote para cuatro personas de (1,5 x 4,2 m). Se usó un GPS Garmin 64s (The Environment Management's CEO, Kansas,

Microplastics (MP) are synthetic elements produced directly or indirectly by man, with sizes up of to 5 mm (Iannacone *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2020). There is currently more research on MP in marine ecosystems compared to coastal marine ecosystems, and even less in coastal wetlands (Ayala *et al.*, 2021). Therefore, it is of great importance to characterize and identify the environmental impacts generated by MP in wetlands (Reynolds and Ryan, 2018; Faria *et al.*, 2021).

In recent years, the presence of MP in protected natural areas in several Ibero-American countries is being evidenced (Mazariegos-Ortiz *et al.*, 2021). The Pantanos de Villa Wetlands (PVW), known locally as Los Pantanos de Villa, is a natural area protected by the Peruvian state and is an international RAMSAR site (Pulido-Capurro, 2018; Edo *et al.*, 2020). Wetlands can become MP sinks, which are preserved and accumulated continuously over a long period of time. Variations in the color, shape and size of MP can lead to their being mistakenly ingested by aquatic biota (Carlin *et al.*, 2020; Valencia *et al.*, 2020). The presence of plastic garbage in PVW could be the first indication of MP generation, with an impact on resident and migratory birds that use plastics to build their nests (Blettler *et al.*, 2020).

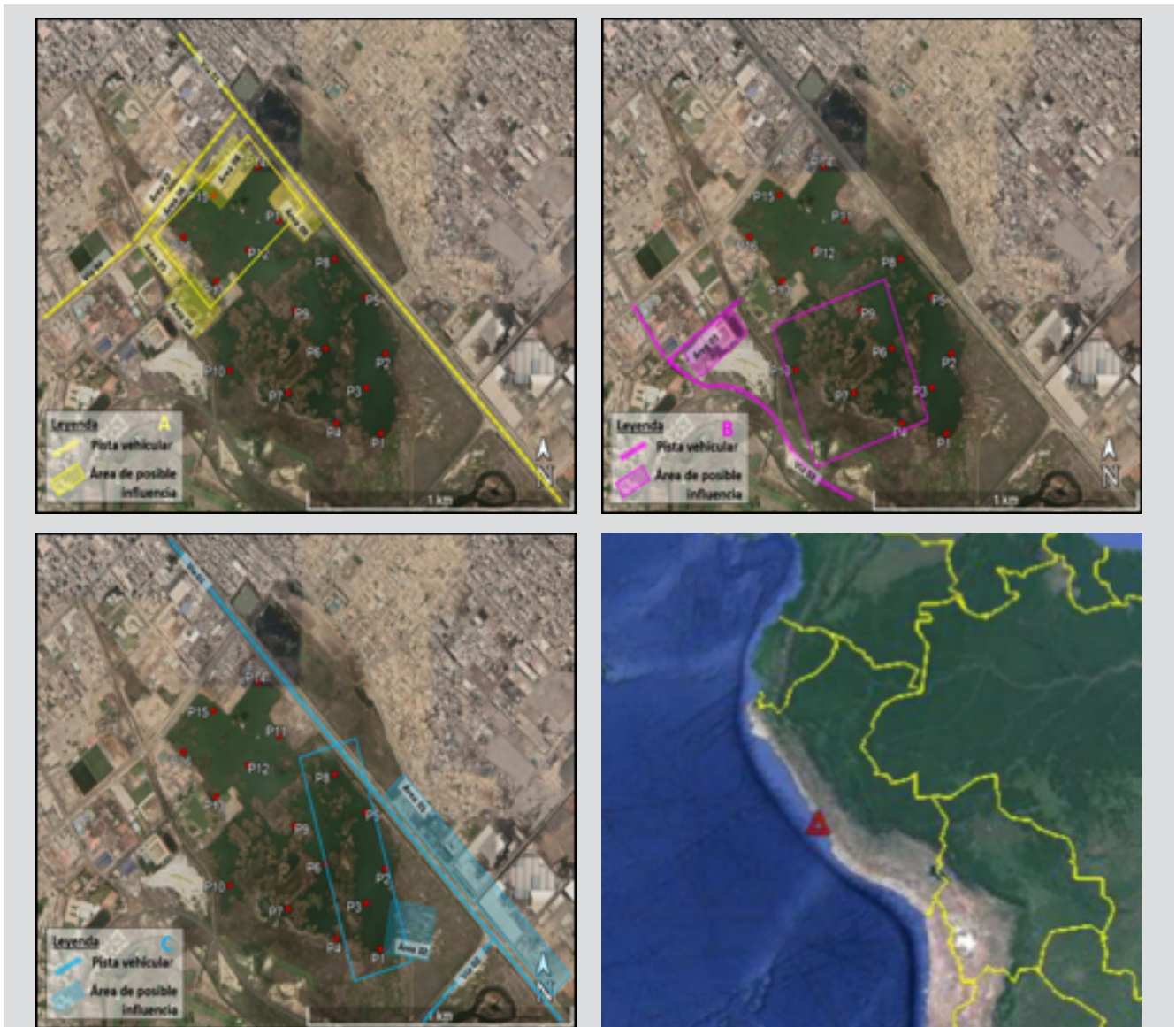
RAMSAR wetlands are of great global importance for hosting a great diversity of life that is dependent on coastal marine ecosystems (Sruthy and Ramasamy, 2017). It is important to characterize MP deposited in sediment and water of the PVW due to the impact on aquatic biota. Therefore, the objective of the present investigation was to characterize the MP in water and sediment of the PVW.

PVW is located in the district of Chorrillos, in the Province of Lima, Peru (Figure 1) (Pulido-Capurro, 2018). Its waters correspond to underground outcrops, covering an approximate area of 263 ha located at 5 m above sea level (Pulido-Capurro, 2018). The Laguna Mayor is the object of study because it is the largest body of water within the PVW. This lagoon has an area of 50,000 m<sup>2</sup> and is adjacent to industrial and urban areas and paved roads (Alarcón and Iannacone, 2014).

**Sampling:** Sampling was carried out from 6:30 a.m. to 6:45 p.m. during the winter season in September 2019 using a boat for four people (1.5 x 4.2 m). A Garmin 64s GPS (The Environment Management's CEO, Kansas, USA) was used to locate the sampling points. At each point, a water sample and a sediment sample were collected. Between one point and another there was an approximate distance

EE. UU) para localizar los puntos de muestreo. En cada punto se recolectó una muestra de agua y una de sedimento. Entre punto y punto se presentó una distancia aproximada de 125 m. Se establecieron un total de 16 puntos de muestreo a modo de cuadrantes en la Laguna Mayor con base en las recomendaciones y método usados por Yuan *et al.* (2019). El junco (*Schoenoplectus americanus* Pers.) y la totora (*Typha domingensis* Pers.) cubrieron y produjeron islotes que aparentan cercar algunas zonas de la laguna evaluada. Los 16 puntos (P) de muestreo de agua y sedimentos se dividieron en tres sectores (A: P11-16, B: P4, 6-7, 9-10 y C: P1-3,5,8) (Figura 1).

of 125 m. A total of 16 sampling points were established in the Laguna Mayor according to quadrants based on the recommendations and method used by Yuan *et al.* (2019). Chairmaker's bulrush (*Schoenoplectus americanus* Pers.) and southern cattails (*Typha domingensis* Pers.) covered and produced islets that appear to surround some areas of the lagoon evaluated. The 16 water and sediment sampling points (P) were divided into three sectors (A: P11-16, B: P4, 6-7, 9-10 and C: P1-3,5,8) (Figure 1).



**Figura 1.** Imagen satelital de la Laguna Mayor con los sectores y áreas de posible influencia directa de microplásticos o residuos sólidos en la Laguna Mayor (HPV). A. (P11-16). B. (P4, 6-7, 9-10). C. (P1-3,5,8). P = puntos de muestreo.

**Figure 1.** Satellite image of the Laguna Mayor of PVW with the sectors and areas of possible direct influence of MP or solid waste. A. (P11-16). B. (P4, 6-7, 9-10). C. (P1-3,5,8). P = sampling points.

*Sector A* delimitado por seis áreas (áreas 4, 5, 6, 7, 8 y 9) y dos vías vehiculares (vía 1 y 4). Área 4 y 5 son de mayor predominancia áreas urbanas residenciales y poseen cimientos por desmonte y afirmado. Área 6 y 7 son terrenos baldíos con alta carga de desmonte y basura. Área 8 y 9 son áreas semi-industriales, con mayor predominancia de empresas de buses de transporte urbano (donde se realiza el mantenimiento y guardianía de los buses). Vía 01 es la vía más transitada y evidencia mayor cantidad de arrojo de basura durante todo el año. En cambio, la vía 4 es una vía auxiliar de menor tránsito, no obstante, es una ruta para llegar a las áreas 6 y 7 que se usan como botadero.

*Sector B* tiene solamente un área de posible influencia, el área 3 contiene un colegio, una fábrica de cerveza y una iglesia. Además, este sector tiene la vía 3, una ruta auxiliar de poco tránsito.

*Sector C* presenta un área como posible influencia de contaminación de MP hacia el margen derecho, a no más de 100 m con grandes almacenes industriales y fábricas. Se incluyó dentro del humedal el área 2, puesto que se encontraron envoltorios de comida en el mirador de la laguna y laterales. Se tiene la misma vía 1 de alto tránsito y una ruta auxiliar de mediano tránsito como vía 2.

Se tomaron las muestras de agua partiendo del fondo hasta la superficie y para los sedimentos un mínimo de 250 g. Las muestras de agua se colectaron mediante una red Sparennet (The Environment Management's CEO, Lima, Perú) de 25  $\mu\text{m}$  de 17 cm de diámetro y con un vaso colector de vidrio de 250 mL. El volumen promedio filtrado por la red Sparennet en cada arrastre vertical fue 40 L (Su *et al.*, 2019). Mientras que las muestras de sedimentos se colectaron con la Draga Van Veen (The Environment Management's CEO, Lima, Perú) con una superficie de muestreo de 0,025  $\text{m}^2$  y un vaso colector de 600 mL (Di y Wang, 2018). Durante la recolección de las muestras de agua y sedimento no se presentó una profundidad uniforme en la laguna evaluada, y se tuvo un promedio de  $1,77 \pm 0,47$  m, siendo 1,33 m el punto de menor profundidad.

**Extracción de MP en agua:** Las muestras fueron reposadas con 150 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30 % durante dos días debido a la gran cantidad de materia vegetal suspendida en las muestras de agua (Sruthy y Ramasamy, 2017; Edo *et al.*, 2020).

**Extracción de MP en sedimento:** Las muestras fueron procesadas aplicando el método de Nuelle *et al.* (2014) con algunas modificaciones. Para incrementar la densidad del agua y separar los MP por densidad se agregó 300 mL de una solución saturada de NaCl preparada con 380  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  (método

Sector A was delimited by six areas (areas 4, 5, 6, 7, 8 and 9) and two vehicular routes (via 1 and 4). Areas 4 and 5 are predominantly urban residential areas and have foundations by clearing and affirmation. Areas 6 and 7 are vacant lots with a high load of clearing and garbage. Areas 8 and 9 are semi-industrial areas, with a greater predominance of urban transport bus companies (where buses are maintained and kept). Via 01 is the busiest route and shows the greatest amount of dumped garbage throughout the year. On the other hand, route 4 is an auxiliary road with less traffic; however, it is a route used to reach areas 6 and 7 that are used as a dump.

Sector B has only one area of possible influence, which is area 3 containing a school, a brewery and a church. In addition, this sector has track 3; an auxiliary route with little traffic.

Sector C is an area with possible influence of MP contamination towards the right bank, just 100 m from large industrial warehouses and factories. We included area 2 within the wetland since food wrappers were found at the viewpoint of the lagoon and on the sides. This area has route 1 with the same high-traffic and medium-traffic auxiliary route as route 2.

The water samples were taken starting from the bottom to the surface and for the sediment a minimum of 250 g was collected. The water samples were collected using a 25  $\mu\text{m}$  Red Sparennet (The Environment Management's CEO, Lima, Peru) with a diameter of 17 cm and a 250 mL glass collection vessel. The average volume filtered by the Sparennet net in each vertical trawl was 40 L (Su *et al.*, 2019). The sediment samples were collected with a Van Veen Dredge (The Environment Management's CEO, Lima, Peru) with a sampling surface of 0.025  $\text{m}^2$  and a 600 mL collection vessel (Di and Wang, 2018). During the collection of the water and sediment samples, there was no uniform depth in the area evaluated in the lagoon, and an average of  $1.77 \pm 0.47$  m was obtained, with 1.33 m being the point of least depth.

**MP extraction in water:** The samples were placed in 150 mL 30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$  for two days due to the large amount of suspended plant matter in the water samples (Sruthy and Ramasamy, 2017; Edo *et al.*, 2020).

**Extraction of MP in sediment:** The samples were processed using the method of Nuelle *et al.* (2014) with some modifications. To increase the density of the water and separate the MP by density, 300 mL of a saturated solution of NaCl prepared with 380  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  (Willis method) was added and

de Willis) y se procedió a la separación manual de 100 mL superficiales con los sólidos en suspensión (Edo *et al.*, 2020).

Los MP fueron fijados en el papel filtro de 20-25  $\mu\text{m}$  y colocados dentro de placas Petri de 60 mm de diámetro, luego se procedió a analizar por color, forma y tamaño. Los colores fueron separados en ocho categorías: azul, rojo, transparente, blanco, negro, verde, celeste/turquesa y otros colores (fucsia, rosado, gris, marrón y anaranjado). Las formas se separaron en cinco categorías: fragmento, fibra, película, espuma y pellet. Los tamaños se clasificaron en cinco niveles: 50-100  $\mu\text{m}$ , 101-200  $\mu\text{m}$ , 201-300  $\mu\text{m}$ , 301-400  $\mu\text{m}$  y 401-500  $\mu\text{m}$  (Zhang *et al.*, 2017; Iannacone *et al.*, 2019; Faria *et al.*, 2021). Las unidades se expresaron para MP en agua en partículas $\cdot\text{L}^{-1}$  y para MP en sedimentos en partículas $\cdot\text{kg}^{-1}$  (Su *et al.*, 2016; Di y Wang, 2018; Edo *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2020).

La comparación de medias de los valores de MP en agua y sedimentos entre los sectores de la laguna mayor de HPV fue realizada con el ANOVA y comparación *a posteriori* con la prueba de Tukey. Se realizó una correlación de Pearson entre la cantidad de MP en agua y sedimentos en base los puntos de muestreo. Para todos los cálculos estadísticos descriptivos se usó el paquete estadístico de SPSS Statistics. Para la forma, color y tamaño de MP en agua y sedimentos se usaron tablas en base a su frecuencia. El nivel de significancia fue a un alfa de 0,05.

La abundancia total de los MP en las 16 muestras de agua fue de 607 partículas de MP. El promedio fue  $37,93 \pm 16,87$  partículas de MP $\cdot\text{muestra}^{-1}$  y  $0,94$  partículas $\cdot\text{L}^{-1}$ . La sumatoria total de los MP en las 16 muestras de sedimento fue de 162 MP. El promedio fue de  $10,13 \pm 3,68$  partículas de MP $\cdot\text{muestra}^{-1}$  y  $64$  partículas $\cdot\text{kg}^{-1}$ . La caracterización de los MP en agua y sedimento en base al color y a la forma se detalla en la Tabla 1 y el tamaño en la Tabla 2.

100 mL from the surface, solids in suspension were manually separated (Edo *et al.*, 2020).

The MPs were fixed on 20-25  $\mu\text{m}$  filter paper and placed inside Petri dishes of 60 mm in diameter, for analyzing the color, shape and size. The colors were separated into eight categories: blue, red, transparent, white, black, green, light blue/turquoise, and other colors (fuchsia, pink, gray, brown, and orange). The forms were separated into five categories: fragment, fiber, film, foam and pellet, while the sizes were classified into five levels: 50-100  $\mu\text{m}$ , 101-200  $\mu\text{m}$ , 201-300  $\mu\text{m}$ , 301-400  $\mu\text{m}$  and 401-500  $\mu\text{m}$  (Zhang *et al.*, 2017; Iannacone *et al.*, 2019; Faria *et al.*, 2021). Units for MP in particulate water were expressed in  $\text{L}^{-1}$  and in  $\text{kg}^{-1}$  for MP in particulate sediment (Su *et al.*, 2016; Di and Wang, 2018; Edo *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2020).

The comparison of means of the MP values in water and sediment among the sectors of the largest PVW lagoon was carried out with ANOVA and posteriori comparison with the Tukey test. Pearson correlation was performed between the amount of MP in water and sediment based on the sampling points. For all descriptive statistical calculations, the SPSS Statistics statistical package was used. For the shape, color and size of MP in water and sediment, tables based on their frequency were used. The level of significance was at an alpha of 0.05.

The total abundance of MP in the 16 water samples was 607 MP particles with a mean of  $37.93 \pm 16.87$  MP particles $\cdot\text{sample}^{-1}$  and  $0.94$  particles $\cdot\text{L}^{-1}$ . The total sum of MP in the 16 sediment samples was 162 MP with a mean  $10.13 \pm 3.68$  MP particles $\cdot\text{sample}^{-1}$  and  $64$  particles $\cdot\text{kg}^{-1}$ . The characterization of MP in water and sediment based on color and shape is described in Table 1 and the size is shown in Table 2.

**Tabla 1.** Forma y color de microplásticos (MP) en agua y sedimento en el total de muestras de la Laguna Mayor (HPV).

**Table 1.** Shape and color of microplastics (MP) in water and sediment in the total samples from Laguna Mayor (PVW).

Forma-color / Shape-colour	Azul / Blue	Rojo / Red	Transparente / Transparent	Blanco / White	Negro / Black	Verde / Green	Celeste-Turquesa / Light blue- Turquoise	Otros colores / Other colors	Total formas / Total forms	Porcentaje / Percentage
<b>Agua / Water</b>										
<b>Fragmento / Fragment</b>	56	29	17	44	57	32	65	29	329	54.20
<b>Fibra / Fiber</b>	15	2	3	0	15	0	48	8	91	14.99
<b>Película / Film</b>	26	0	17	93	0	0	16	0	152	25.04
<b>Espuma / Foam</b>	0	0	0	0	0	0	0	31	31	5.10
<b>Pellet</b>	0	0	0	0	0	0	3	1	4	0.67
<b>Total colores / Total colors</b>	97	31	37	137	72	32	132	69	607	
<b>Porcentaje / Percentage</b>	15.99	5.10	6.10	22.57	11.87	5.27	21.74	11.36		
<b>Sedimento / Sediment</b>										
<b>Fragmento / Fragment</b>	11	0	17	17	22	0	17	0	84	51.85
<b>Fibra / Fiber</b>	3	0	7	0	7	0	20	0	37	22.84
<b>Película / Film</b>	4	0	4	25	0	0	8	0	41	25.31
<b>Espuma / Foam</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Pellet</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total colores / Total colors</b>	18	0	28	42	29	0	45	0	162	
<b>Porcentaje / Percentage</b>	11.11	0	17.28	25.93	17.90	0	27.78	0		

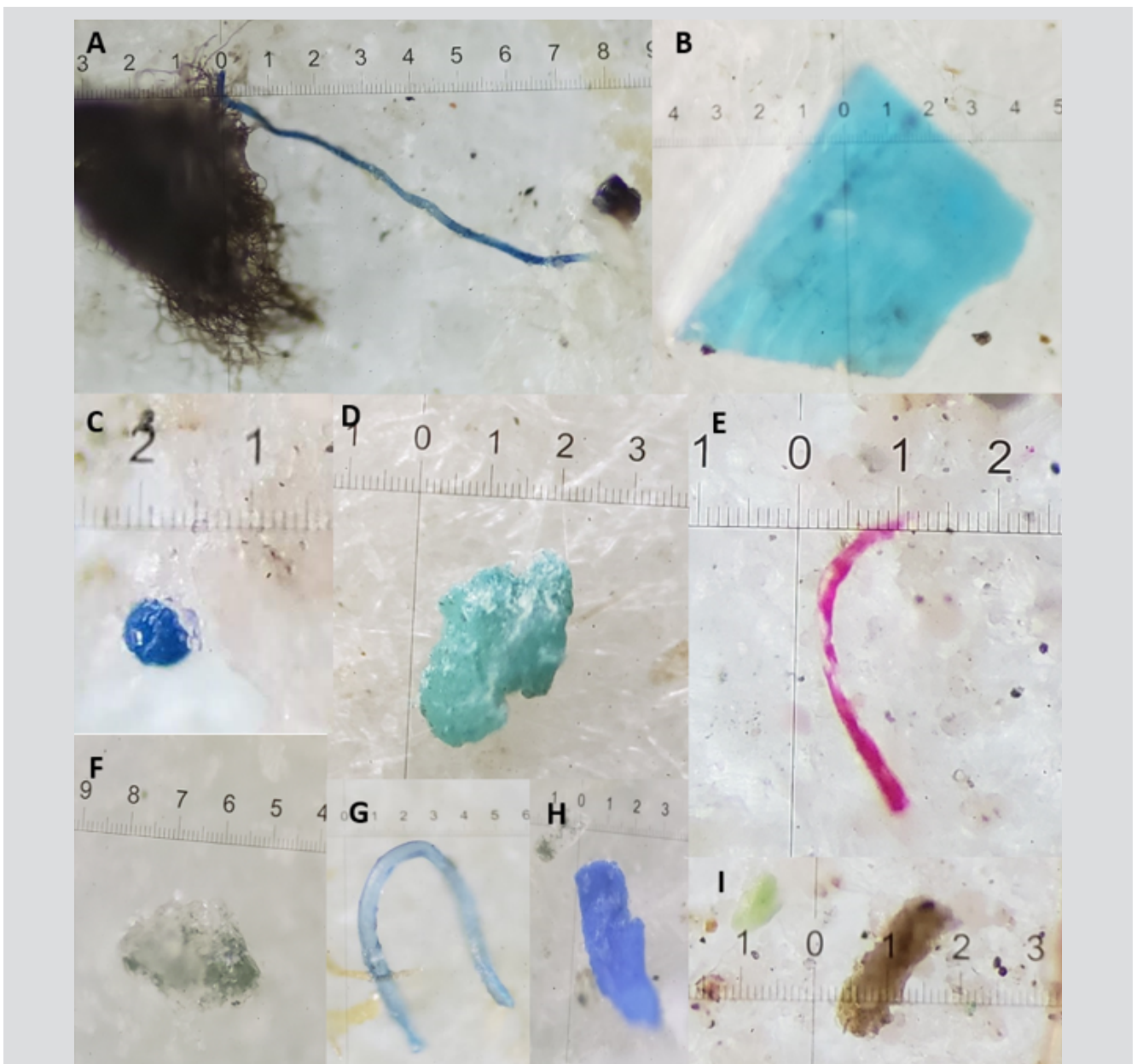
**Tabla 2.** Rangos de tamaño de microplásticos (MP) en agua y sedimentos en el total de muestras de la Laguna Mayor (HPV).

**Table 2.** Ranges in size of the microplastics (MP) found in water and sediment samples from the Laguna Mayor (PVW).

Tamaño / Size (µm)	Agua / Water		Sedimento / Sediment	
	Cantidad / Quantity	Porcentaje / Percentage (%)	Cantidad / Quantity	Porcentaje / Percentage (%)
50 a 100	91	15	26	16
101 a 200	90	15	24	15
201 a 300	134	22	31	19
301 a 400	129	21	34	21
401 a 500	163	27	47	29
	607	100	162	100

El 100 % de los puntos de muestreo de agua y sedimento presentaron MP (Figura 2). Se observaron diferencias entre los MP (partículas/muestra) en agua para los sectores A ( $49,66 \pm 15,57b$ ), B ( $20,2 \pm 4,81a$ ) y C ( $41,61 \pm 1,19b$ ) ( $F = 8,86$ ,  $P = 0,003$ ). Se vieron diferencias significativas del sector B que está muy por debajo de las medias de los otros dos sectores. Se notaron diferencias entre los MP en sedimento (partículas/muestra) para los sectores A ( $13 \pm 2,75b$ ), B ( $6,4 \pm 2,40a$ ) y C ( $10,4 \pm 2,40ab$ ) ( $F = 9,19$ ,  $P = 0,003$ ).

All the water and sediment sampling points presented MP (Figure 2). Differences were observed between MP (particles/sample) in water for sectors A ( $49.66 \pm 15.57b$ ), B ( $20.2 \pm 4.81a$ ) and C ( $41.61 \pm 1.19b$ ) ( $F = 8.86$ ,  $P = 0.003$ ). There were significant differences in sector B, which were well below the means of the other two sectors. Differences were noted between MP in sediment (particles/sample) for sectors A ( $13 \pm 2.75b$ ), B ( $6.4 \pm 2.40a$ ) and C ( $10.4 \pm 2.40ab$ ) ( $P = 0.18$ ,  $F = 9.19$ ,  $P = 0.003$ ).



**Figura 2.** Diversas formas y colores de microplásticos (MP) encontrados en agua y sedimento de la Laguna Mayor (HPV). (A) MP fibra azul, (B) MP película celeste, (C) MP fragmento azul, (D) fragmento turquesa, (E) fibra rosada, (F) película transparente, (G) fibra azul, (H) fragmento azul, (I) espuma amarilla.

**Figure 2.** Various shapes and colors of microplastics (MP) found in water and sediment from the Laguna Mayor (PVW). (A) MP blue fiber, (B) MP light blue film, (C) MP blue fragment, (D) turquoise fragment, (E) pink fiber, (F) transparent film, (G) blue fiber, (H) blue fragment, (I) yellow foam.

La Laguna Mayor está sujeta a diversas fuentes de contaminación, incluidas las actividades antrópicas urbanas e industriales, destino ilegal de desmontes, botaderos y arrojado de basura; así como tráfico vehicular y peatonal colindante (Su *et al.*, 2016; Di y Wang, 2018; Yuan *et al.*, 2019). La principal causa de acumulación de basura, hojas secas, plumas y otros materiales ligeros en el borde oriental de la Laguna Mayor es posiblemente por el arrastre de la dirección del viento; por cierto, es donde se encuentran los puntos de muestreo con mayor cantidad de MP (P2, P5, P8, P11, P14 y P15) (Zhang *et al.*, 2017).

Es posible señalar como la primera posible fuente de contaminación al arrojado directo de basura de las personas hacia la laguna o perímetros de los HPV, el segundo posible es el transporte aéreo por viento de las basuras plásticas con menor masa como tecnopor, bolsas o films, una tercera posibilidad es el transporte de basuras plásticas ingeridas por aves u otra especie representante de los HPV y excretadas en zonas de descanso como son los HPV, una cuarta posibilidad es el traslado de basura plástica por aves para construir nidos y finalmente una quinta posibilidad es descomposición de cuerpos animales que ingirieron plásticos como peces, aves, roedores o mamíferos menores (Reynolds y Ryan, 2018; Blettler *et al.*, 2020).

En los HPV una de las posibles fuentes de contaminación de la basura plástica que puede generar los MP se ha encontrado en las actividades antrópicas colindantes como son talleres mecánicos, almacenes industriales, terrenos con desmonte de construcción, y botaderos de basura, entre otros (Cepeda *et al.*, 2019). El MP color blanco (23 %) se presentó en mayor abundancia. Las investigaciones advierten que el MP color blanco crea una predisposición a ser ingeridas por las comunidades zooplantónicas por tener semejanza con sus presas (Iannacone y Alvariano, 2007; Cepeda *et al.*, 2019). Otras investigaciones advierten que los colores celestes/turquesa y azul de los MP poseen una mayor amenaza para la biota acuática (Yuan *et al.*, 2019).

En relación al tamaño de los MP el rango predominante en el agua y sedimento fue de 401 a 500  $\mu\text{m}$ . Los MP inferiores a 500  $\mu\text{m}$  tiene un mayor tiempo de retención en el ambiente acuático, y ocasionan una mayor acumulación en los peces (Yuan *et al.*, 2019). El sector B presentó menor contaminación por MP en el agua que el sector A y el C. El sector B está mucho más aislado por la vegetación, que ha actuado como corta viento formando áreas de aislamiento e impidiendo el depósito de MP transportados por el viento (Reynolds y Ryan, 2018; Carlin *et al.*, 2020).

The Laguna Mayor is subject to various sources of pollution, including urban and industrial anthropogenic activities, illegal destination of clearing, dumps and garbage disposal, as well as neighboring vehicular and pedestrian traffic (Su *et al.*, 2016; Di and Wang, 2018; Yuan *et al.*, 2019). The main cause of the accumulation of garbage, dry leaves, feathers and other light materials on the eastern edge of the Laguna Mayor is possibly due to drag by the direction of the wind. Indeed, sampling points from this side of the lagoon showed the highest amount of MP (P2, P5, P8, P11, P14 and P15) (Zhang *et al.*, 2017).

The first possible source of contamination is likely direct dumping of garbage by people into the lagoon or PVW perimeters, while the second possible source is air transport by the wind of plastic garbage with less mass such as styrofoam, bags or films. A third possible source is the transport of plastic waste ingested by birds or other representative PVW species and excreted in resting areas such as PVW, while the fourth possible source of contamination is the transport of plastic waste by birds to build nests. Finally, a likely fifth source is decomposition of the bodies of animals, such as fish, birds, rodents or small mammals, that had ingested plastics (Reynolds and Ryan, 2018; Blettler *et al.*, 2020).

In PVW, one of the possible sources of contamination of plastic garbage that can generate MP has been related to adjacent human activities, such as mechanical workshops, industrial warehouses, land with construction clearing, and garbage dumps, among others (Cepeda *et al.*, 2019). White MP (23 %) appeared in greater abundance. Several studies have demonstrated that zooplankton communities have a predisposition to ingest white MP because it resembles their prey (Iannacone and Alvariano, 2007; Cepeda *et al.*, 2019), while other studies have shown that the light blue/turquoise and blue colors of MP pose a greater threat to aquatic biota (Yuan *et al.*, 2019).

MP from water and sediment samples predominantly ranged from 401 to 500  $\mu\text{m}$  in size. MP less than 500  $\mu\text{m}$  in size have a longer retention time in the aquatic environment leading to greater accumulation in fish (Yuan *et al.*, 2019). Sector B of water samples presented less MP contamination than sectors A and C. Sector B was much more isolated by vegetation, which acted as a windbreaker, forming isolation areas and preventing the deposition of MP transported by the wind (Reynolds and Ryan, 2018; Carlin *et al.*, 2020).

In relation to sediment samples, sector B presented less contamination by MP (particles/sample) than sector A,



El sector B presentó menor contaminación por MP (partículas/muestra) en el sedimento que el sector A, pero similar al C. El transporte de MP por el aire y las colindancias a las actividades antropogénicas podrían ser factores que expliquen las diferencias observadas entre sectores (Su *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2020).

En otras investigaciones de MP en aguas continentales se ha encontrado una mayor cantidad de MP en los sedimentos. Esto puede deberse a tres factores, el primero es una mayor cantidad de MP muy densos, el segundo factor es la capacidad de adhesión que tienen los MP para juntarse con otras partículas o formar biofilm; provocando su descenso, y finalmente el tercer factor son las condiciones ambientales como temperatura, viento, tormentas y olas internas (Di and Wang, 2018; Yuan *et al.*, 2019).

Los MP tipo fragmentos fueron los dominantes en el agua (54,20 %) y en el sedimento (51,85 %). Estos fragmentos están asociados a afeitados, gotas o costuras de la fabricación de los plásticos, especialmente como material plástico para el envasado de alimentos y otros productos, así como bolsas de plástico (Bayo *et al.*, 2019).

En relación a la caracterización de MP en agua y sedimentos en los HPV, Chorrillos, Lima, Perú, se concluye que en el agua fue  $37,93 \pm 16,87$  partículas de MP · muestra<sup>-1</sup> y  $0,94$  partículas · L<sup>-1</sup>, y en el caso de los sedimentos fue  $10,13 \pm 3,68$  partículas de MP · muestra<sup>-1</sup> y  $64$  partículas · kg<sup>-1</sup>. En los MP en agua y sedimento el color blanco y celeste/turquesa, las formas fragmento y película, y el rango fue de 401 a 500 µm fueron los dominantes. Al comparar los MP entre los tres sectores del HPV se observaron diferencias entre los MP en agua y sedimento. Se observó una correlación entre la abundancia de MP del agua y del sedimento. Las actividades antrópicas urbanas e industriales, el destino ilegal de desmontes, botaderos y arrojado de basura; así como tráfico vehicular y peatonal colindante a la Laguna Mayor del HPV, y el transporte de MP por viento podrían ser factores que expliquen las diferencias de los MP en agua y sedimento entre los sectores del humedal. Finalmente, es de gran importancia incentivar futuras investigaciones para evaluar los plásticos y MP ingeridos por aves u otras especies de este humedal.

but was similar to sector C. The transport of MP by air and the proximity to anthropogenic activities could be factors that explain the differences observed between sectors (Su *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2020).

In other studies of MP in continental waters, a greater amount of MP has been found in sediment. This may be due to three factors: the first is a greater amount of very dense MP, the second is the adhesion capacity of MP to join with other particles or form biofilm, causing its decline, and finally the third factor is environmental conditions such as temperature, wind, storms and internal waves (Di and Wang, 2018; Yuan *et al.*, 2019).

Fragment-type MPs predominated in both water (54.20 %) and sediment (51.85 %). These fragments are associated with shavings, drops or seams from the manufacture of plastics, especially as plastic material for packaging food and other products, as well as plastic bags (Bayo *et al.*, 2019).

In relation to the characterization of MP in water and sediment in the PVW in Chorrillos, in water there were  $37.93 \pm 16.87$  particles of MP · sample<sup>-1</sup> and  $0.94$  particles · L<sup>-1</sup>, and in sediment there were  $10.13 \pm 3.68$  MP particles · sample<sup>-1</sup> and  $64$  particles · kg<sup>-1</sup>. The predominant MP in water and sediment were white and light blue/turquoise color, with fragment and film forms, ranging from 401 to 500 µm in size. There were differences between the MP in water and sediment when comparing the MP among the three PVW sectors. A correlation was observed between the abundance of MP in the water and sediment samples. Urban and industrial anthropic activities, illegal destination of clearings, dumps and garbage disposal, as well as vehicular and pedestrian traffic adjacent to the Laguna Mayor PVW, and the transport of MP by wind could be factors that explain the differences in MP in water and sediment from the different wetland sectors. Finally, further research is essential to evaluate the plastics and MP ingested by birds or other species in this wetland.

## BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Alarcón, G. y J. Iannacone. 2014. Artropofauna terrestre asociada a formaciones vegetales en el refugio de vida silvestre Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Biologist (Lima)*, 12: 253-274. <http://dx.doi.org/10.24039/rb2014122354>
- Ayala, F., M. Cardeña y S. Cárdenas-Alayza. 2021. Registro preliminar de microplásticos en fecas del león marino sudamericano (*Otaria byronia* De Blainville, 1820) recolectadas en Punta San Juan, Perú. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 37: 273-279. <https://doi.org/10.20937/RICA.53745>
- Bayo, J., D. Rojo and S. Olmos. 2019. Abundance, morphology and chemical composition of microplastics in sand and sediments from a protected coastal area: The Mar Menor lagoon (SE Spain). *Environ. Pollut.*, 252: 1357-1366. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.024>
- Blettler, M.C.M., L. Gauna, A. Andréault, E. Abrial, R.E. Lorenzón, L.A. Espinola, and K.M. Wantzen. 2020. The use of anthropogenic debris as nesting material by the greater thornbird, an inland-wetland-associated bird of South America. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27: 41647-41655. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10124-4>
- Carlin, J., C. Craig, S. Little, M. Donnelly, D. Fox, L. Zhai and L. Walters. 2020. Microplastic accumulation in the gastrointestinal tracts in birds of prey in central Florida, USA. *Environ. Pollut.*, 264, 114633. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114633>
- Cepeda, C., J. Iannacone y L. Alvaríño. 2019. Conexión trófica entre las comunidades planctónicas y la avifauna silvestre en Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Biotempo*, 15: 175-195. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v15i2.2057>
- Dì, M. and J. Wang. 2018. Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China. *Sci. Total Environ.*, 616: 1620-1627. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.150>
- Edo, C., M. González-Pleiter, M. Tamayo-Belda, F.E. Ortega-Ojeda, F. Leganés, F. Fernández-Piñas and R. Rosal. 2020. Microplastics in sediments of artificially recharged lagoons: Case study in a Biosphere Reserve. *Sci. Total Environ.*, 729: 138824. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138824>
- Faria, E.D., P. Girard, C. Nardes, A. Moreschi, S. Christo, Jr.A.L. Ferreira and M. Costa. 2021. Microplastics pollution in the South American Pantanal. *CSCEE.*, 3: 100088. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100088>
- Huang, J.S., J.B. Koongolla, H.X. Li, L. Lin, Y.F. Pan, S. Liu, W.H. He, D. Maharana and X.R. Xu. 2020. Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China. *Sci. Total Environ.*, 708: 134839. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134839>
- Iannacone, J., y L. Alvaríño. 2007. Diversidad y abundancia de comunidades zooplanctónicas litorales del humedal pantanos de villa, Lima, Perú. *Gayana*, 71: 49-65. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382007000100006>
- Iannacone, J., A. Huyhua, L. Alvaríño, F. Valencia, F. Príncipe, D. Minaya, J. Ortega, G. Argota y L. Castañeda. 2019. Microplásticos en la zona de marea alta y supralitoral de una playa arenosa del litoral costero del Perú. *Biologist (Lima)*, 17: 335-346. <http://dx.doi.org/10.24039/rb2019172369>
- Mazariegos-Ortiz, C., M. Xajil-Sabán, E. Blanda, and D. Delvalle-Borrero. 2021. Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala. *Ecosistemas*, 30: 2188. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2188>
- Nuelle, M.T., J.H. Dekiff, D. Remy and E. Fries. 2014. A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environ. Pollut.*, 184: 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.033>
- Pulido-Capurro, V.M. 2018. Estado actual de la conservación de los hábitats de los Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Arnaldoa*, 25: 679-702. <http://dx.doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25219>
- Reynolds, C., and P.G. Ryan. 2018. Micro-plastic ingestion by waterbirds from contaminated wetlands in South Africa. *Mar. Pollut. Bull.*, 126: 330-333. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.021>
- Reynolds, C. and P.G. Ryan. 2018. Micro-plastic ingestion by waterbirds from contaminated wetlands in South Africa. *Mar. Pollut. Bull.*, 126: 330-333. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.038>
- Sruthy, S. and E.V. Ramasamy. 2017. Microplastic pollution in Vembanad Lake, Kerala, India: The first report of microplastics in lake and estuarine sediments in India. *Environ. Pollut.*, 222: 315-322. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.038>
- Su, L., B. Nan, K.L. Hassell, N.J. Craig and V. Pettigrove. 2019. Microplastics biomonitoring in Australian urban wetlands using a common noxious fish (*Gambusia holbrooki*). *Chemosphere*, 228: 65-74 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.114>
- Valencia, F., A. Guabloche-Zúñiga, L. Alvaríño y J. Iannacone. 2020. Estandarización de un protocolo para evaluar microplásticos en bivalvos marinos en el departamento de Lima, Perú. *Biologist (Lima)*, 18: 119-134. <http://dx.doi.org/10.24039/rb2020181478>
- Yuan, W., X. Liu, W. Wang, M. Di and J. Wang. 2019. Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 170: 180-187. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.126>
- Zhang, W., J. Zhang, S. Wang, J. Wang, P. Mu, Wang, X. Lin and D. Ma. 2017. Microplastic pollution in the surface waters of the Bohai Sea, China. *Environ. Pollut.*, 231: 541-548. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.058>
- Zhou, Q., C. Tu, C. Fu, Y. Li, H. Zhang, K. Xiong, X. Zhao, L. Li, J.J. Waniek and Y. Luo. 2020. Characteristics and distribution of microplastics in the coastal mangrove sediments of China. *Sci. Total Environ.*, 703: 134807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134807>