TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y BIOLÓGICAS

CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA MARINA

“Determinación del flujo de masa total en el material particulado de la Bahía del Callao”

Tesis para optar el título profesional de:

BIÓLOGA MARINA

Presentado por:

María del Pilar Cholan Zegarra (0000-0001-7488-9947)

Asesora:

Ursula María Neira Mendoza (0000-0003-4429-3178)

Co-asesora:

Patricia Mercedes Ayón Dejo (0000-0002-5997-741X)

Lima - Perú

2023

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 14 de diciembre de 2023.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús
Integrante: Blgo. Freddy Daniel Barona Narváez
Integrante: Mg. Catherine Mariela Coronado León

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: **Determinación del flujo de masa total en el material particulado de la Bahía del Callao**

Presentada por la tesista:

- María del Pilar Cholan Zegarra

Para optar el Título Profesional de Biólogo Marino

Asesorada por: Dra. Ursula María Neira Mendoza

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes en la sustentación, concluyen de manera unánime (x) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: María del Pilar Cholan Zegarra			Nota (escrito): quince
Aprobado (X)	Aprobado - Muy buena ( )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



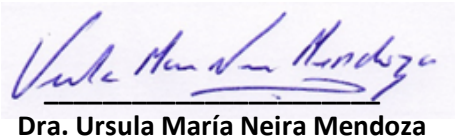
Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús
Presidente del jurado



Blgo. Freddy Daniel Barona Narváez
Miembro del jurado



Mg. Catherine Mariela Coronado León
Miembro del jurado



Dra. Ursula María Neira Mendoza
Asesora

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN[1]

Lima, 19 de febrero del 2024

Señor,
Dr. Carlos Zavalaga Reyes

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

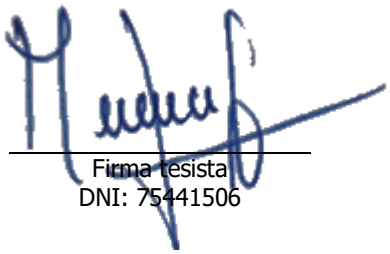
De nuestra consideración,

Yo: María de Pilar Cholan Zegarra, egresada de la carrera de Biología Marina de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con la asesora de tesis Dra. Ursula María Neira Mendoza, declaramos que este informe final de tesis titulado: Determinación del flujo de masa total en el material particulado de la Bahía del Callao, sustentado para obtener el título de Bióloga Marina es original.

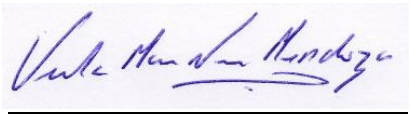
Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma tesista
DNI: 75441506



Firma del asesor de tesis
DNI: 06445352

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[2] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Determinación del flujo de masa total en el material particulado de la Bahía del Callao

Autores. Maria del Pilar Cholan Zegarra

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2301921059).

Resultado de la evaluación. 3%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



Determinación del flujo de masa total

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%	3%	2%	0%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
3	ceb.wikipedia.org Fuente de Internet	<1%
4	issuu.com Fuente de Internet	<1%
5	revistabiociencias.uan.mx Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Export of particulate matter from central Peru (Callao, 12° S) during the 2023 coastal El Niño

María Cholan[a], Ursula Mendoza[a,b,*], Bobby Leigh[c,d], Víctor Aramayo[b,d], Federico Velazco[b], Patricia Ayón[b], Ernesto Fernández[b], Luis Escudero[b], Salma García[f] & Michelle Graco[b]

[a]Carrera de Biología Marina, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Universidad Científica del Sur, Panamericana Sur, km 19, Lima, Peru

[b]Dirección General de Investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático, Instituto del Mar del Perú, Esquina Gamarra y General Valle S/N – 07021, 1 Callao, Peru

[c]Escuela Profesional de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Piura, Urb. Miraflores S/N, Castilla, 20002 Piura, Peru

[d]Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, P. O. BOX 1898, Lima 100, Peru

[e]Dirección General de Investigaciones en Hidroacústica Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca, Instituto del Mar del Perú, Esquina Gamarra y General Valle S/N – 07021,1 Callao, Peru

[f]Independent Scholar, Instituto del Mar del Perú, Esquina Gamarra y General Valle S/N – 0.7021,1 Callao, Peru

*Corresponding author

E-mail address: umendoza@imarpe.gob.pe (U. Mendoza)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Highlights

- In the presence of the Coastal El Niño event, a decrease in total mass flux is observed compared to normal oceanographic conditions.
- Fecal pellets have a low fish contribution, possibly associated with the occurrence of the Coastal El Niño event.
- Fish fecal pellets have a higher sinking rate than zooplankton fecal pellets.

Abstract

The total mass flux (TMF) of particulate organic material at the surface and its subsequent export to the seafloor is a crucial process for the metabolic functioning of marine ecosystems because it permanently provides organic compounds that support life both in the water column and on the bottom. The compounds come in two forms: particulate organic carbon and dissolved organic carbon. The objective of this work was to determine the TMF and the contribution of fecal pellets in Callao Bay (12° S, Peru) under coastal El Niño (EN) 2023 conditions. A mechanical sediment trap (at 32 m) and temperature sensors (at 5, 10 and 15 m), fixed on a mooring line during the austral summer until autumn 2023 (179 days), were installed for TMF quantification and its characterization in relation to fecal pellets at Callao Bay. The average TMF was 157 ± 20.53 mg $m^{-2}day^{-1}$; this low value would be associated with the oceanographic conditions of the 2023 coastal EN event. Fecal pellets of zooplankton and fish were identified. Zooplankton pellets presented two different shapes (cylindrical and ovoid) and their flux recorded a mean of 1.99 ± 0.40 mg $m^{-2}day^{-1}$, with a contribution of 1.26 ± 0.09% to the TMF. Fish pellets presented only one shape (cylindrical) and showed a flux of 9.68 mg $m^{-2}day^{-1}$, with a contribution of 6.77% to the TMF. There is a notable difference between the contributions of zooplankton pellet flux and fish pellet flux to the TMF. Size and volume

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

directly influence the sinking velocity of fecal pellets. Zooplankton pellets, being small (0.1 to 0.4 mm) and having smaller volumes, have a slow sinking velocity with a mean of 18.34 ± 16.25 m day^{-1}; whereas, fish pellets being larger (1 to 2 mm) with higher volumes, sediment faster with a mean of 668.53 ± 713.82 m day^{-1}. These findings show a decay of the TMF and the low production of zooplankton and fish fecal pellets, in addition to their rapid sinking, under the effects of 2023 coastal EN off the Peruvian coast.

Keywords: vertical flux, fecal pellets, sinking velocity, zooplankton, Callao Perú.

1. Introduction

The Southeast Pacific is considered one of the most productive regions in the world, extending along the Peruvian and Chilean coast (Pennington et al., 2006; Zuta & Guillén, 1970). In particular, the coastal upwelling off Peru is characterized by high productivity (3 and 4 g C $m^{-2}day^{-1}$) and a high concentrations of chlorophyll a (1.5 to 4.3 mg m^{-3}) in the 150 km wide coastal strip (Calienes et al., 1985; Chávez et al., 1989; Kämpf & Chapman, 2016). This high productivity coincides with an enormous availability of nutrients along forcing factors (trade winds) and the extension of the continental shelf (Zuta & Guillén, 1970). Also, being categorized as highly productive (>300 g C/m^2/year) (Kämpf & Chapman, 2016), the Peruvian coast is an important source of partial CO_2 year-round, reaching an annual flux of 5.7 mol $m^{-2}year^{-1}$ from the ocean to the atmosphere (Friederich et al., 2008), generating in turn high sedimentation rates of organic matter to the benthos and functioning as a carbon sink (Chen, 2004).

The production of particulate organic material (POM) from the surface and its subsequent export to the bottom is a crucial process for the metabolic functioning of marine ecosystems (Karl et al., 1988), because it represents a source of organic compounds for the water column (Alheit & Niquen, 2004). The POM sinks, transporting components

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

such as skeletons of planktonic organisms, feces, terrigenous minerals and potential contaminants (Fowler & Knauer, 1986; Silver & Gowing, 1991). However, knowledge of the contribution of particulate matter to the bottom is limited in this region (González et al., 2000). This is particularly important if considering that there is a wide range of spatio-temporal variation in the amount and composition of sediment material, depending on the overlying pelagic system (Legendre & Rassoulzadegan, 1996; Peinert et al., 1989), but also due to local and regional oceanographic conditions.

In pioneering studies of mass fluxes under normal conditions on the central Peruvian coast, carbon export rates varied annually between 300 to 1500 g C $m^{-2}year^{-1}$ in relation to depth and the oxygen minimum zone (Ryther, 1963). In Punta Santa Ana (15° S) reported that 17.4% of the particulate organic carbon was constituted by anchovy fecal material (Staresinic et al., 1983). Also, Rowe (1985) off coast Playa Huascarina - San Fernando (15° S) found a carbon export rate close to 370 g C $m^{-2}year^{-1}$, equivalent to 6% of organic carbon on the seafloor. These carbon flux values may vary depending on the areas where upwelling do not present the same intensity (Bretagnon et al., 2018); since they are strongly controlled by biological factors and in turn by the variability of the El Niño/Southern Oscillation (ENSO) event, either in warm phase (El Niño, EN) or cold phase (La Niña, LN) (Ledesma et al., 2021). This can be exemplified with the occurrence of extreme events such as the 2017 coastal EN in Callao (central Peru), where the total mass flux (TMF) reached up to 8777.9 mg $m^{-2}day^{-1}$, associated with the maximum discharges of the Rimac River (Velazco et al., 2021), harnessed by benthic components (Aramayo et al., 2021).

Permanent coastal upwelling cells such as those occurring in central Peru offer a remarkable opportunity to analyze sedimentary processes sustaining the vertical flux of POM and its contribution sources. In this context, the research aims to determine the TMF

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

and the contribution of both zooplankton and fish pellets. This study was carried out during particular oceanographic conditions influenced by the 2023 coastal EN, allowing us to include this variable as a potential factor affecting our estimates of TMF.

2. Material and Methods

2.1. Study area

In Callao Bay (CB) located on the central coast of Peru (12°03'S - 77°14'W), a mooring line was deployed at 32 m depth (Fig. 1) where the mean grain size sediment of seabed is fine silt (between 6 Phi to 7 Phi) in Wentworth scale (Velazco, 2011). This is a semi-enclosed bay flanked by the San Lorenzo and Frontón islands (Correa et al., 2008) which act as a natural barrier by counteracting the effects of waves and coastal winds parallel to the coast and the southeast trade winds, which are more intense in winter and less intense in summer (Delgado & Gomero, 1985). Callao exhibits an irregular and shallow bathymetry, with and a circulation patterns modulated by the Peruvian Coastal Current along with the southeast trade winds (Zuta & Guillén, 1970).

The productivity and the particulate content in the coastal area may be affected by the Rimac River plumes, which contribute to sediment discharges towards the interior of the bay (~915 tons per year in normal conditions and more than 2 million tons per year during EN conditions), a pattern better observed during the summer, when there are higher dischrges associated with the rainy season in the Andes (Guillén et al., 1985).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

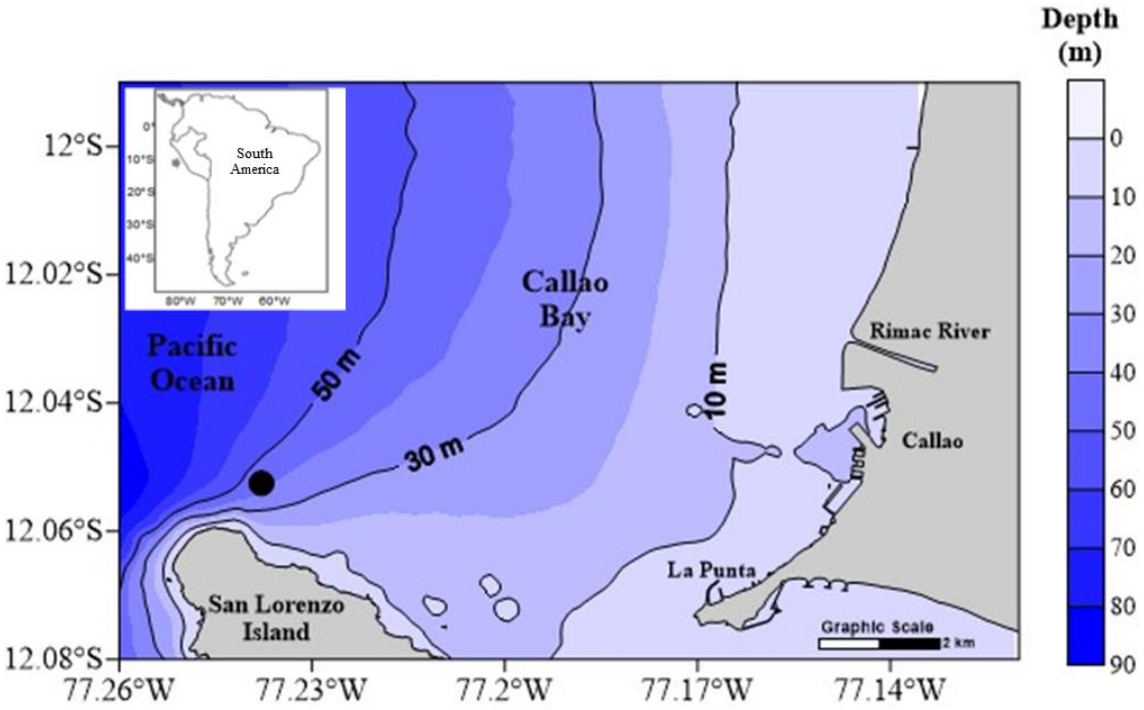


Fig. 1. Location of the mechanical sediment trap at a depth of 32 m in Callao.

2.2. Mooring line installation and sample collection

A mechanical sediment trap was attached to a mooring line at 32 m depth consisting of two 10 cm internal diameter PVC collecting tubes on a steel rotating structure, to the base of which two 150 ml polyethylene bottles (sample; 1 – replicate; 1') were attached. The trap was attached to a steel cable (1/4" inch) and was supported by a set of five 28 cm diameter buoys at 10 m from the surface. The mooring line was fixed with a 250 kg reinforced concrete ballast and in the surface had a marker buoy (15 cm diameter) for location purposes. Likewise, for daily recording of the temperature over the water column, 3 submersible ONSET temperature sensors (HOBO MX2203 TidbiT) were implemented at different depths: 5 m (upper sensor), 10 m (middle sensor), and 15 m (lower sensor). Prior to the installation of the mooring line, local seawater was collected at the level of the trap (32 m depth) for the preparation of the preserving solution of 5% v/v formaldehyde buffered with sodium tetraborate at pH 8 with the filtered seawater (0.2 µm cellulose acetate filter). The collection period is described in Table 1.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Table 1. Collection period of bottles in the mechanical sediment trap.

Number of bottles	Collection period		Collection days
	Start	Final	
1 1'	20/12/2022	16/06/2023	179

At the end of the collection period, autonomous divers proceeded to uncouple the collection bottles and immediately closed them, which were then kept and transferred to the laboratory. Before uncoupling of the bottles, it was observed that one of the collecting tubes presented a brief inclination, and the presence of biofouling in all the elements of the mooring line.

2.3. Sample splitting

The biofouling was manually removed from the bottles to avoid contaminating the samples and altering the results. The samples were split into four aliquots (1/4), one of these (aliquot A) being used for the present study. This aliquot was subdivided to obtain 1/8 subaliquots for the determination of the TMF (aliquot A.1) and fecal pellet flux (aliquot A.2). Both aliquots were stored in polyethylene bottles (70 ml). A Folsom splitter was used, which presented an effective coefficient of variation of 0.70% (Leigh et al., 2023; Mendoza et al., 2022).

2.3.1. Aliquot A.1

Removal of zooplankton

Aliquot A.1 was transferred to a glass Petri dish (14 cm) and zooplankton was removed with acupuncture needles using a Nikon-SMZ18 stereoscope (Mendoza et al., 2022). The removal of zooplankton avoids overestimation of flux, because it is not part of the passive TMF (Silverberg et al., 2006).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Filtration and weighing of particulate matter

The zooplankton-free aliquot was filtered using a pre-combusted (450 °C, 6 h) GF/F glass fiber filters (47 mm) and weighed on a Sartorius Entris 224I – 1S analytical balance (resolution 0.0001 g) to obtain the initial weight. Filtration was carried out at a pressure of 0.2 bar to avoid rupture and loss of material when filtering (Grasshoff et al., 1983). The filters were dried (75 °C, 1 h) on aluminum foil, being lifted every 10 min to prevent adhesion. After cooling the filters into a desiccator, they were weighed on the same analytical balance to obtain the final weight.

The weight of particulate matter was calculated, Eq. 1:

$$Weight\ (mg) = Final\ weight\ (mg) - Initial\ weight\ (mg) \quad (1)$$

The total mass flux was calculated (mg $m^{-2}day^{-1}$), Eq. 2:

$$TMF = F\ .\alpha\ /\ A\ .\gamma \quad (2)$$

Where F is the splitting factor, α is the weight of particulate matter, A is the area of the internal diameter of the trap mouth (0.00785 m^2), and γ is the number of days.

2.3.2. Aliquot A.2

Removal of pellets

Aliquot A.2 was placed in a glass Petri dish for analysis through a Nikon-SMZ18 stereoscope and extraction of pellets, using acupuncture needles and a fine brush. The pellets were stored according to their type in a polysulfone vial.

Characterization of pellets

The fecal pellets were grouped in a glass Petri dish, then observed using a Nikon DS-Fi2 camera coupled to a Nikon-SMZ18 stereoscope and photographs were taken for subsequent counting and characterization with the NIS-Elements program. For the

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

characterization and identification of the origin of the pellets, the suggestions of Wilson et al. (2008) was followed, who propose the observation of the shapes and colors of the fecal pellets, in addition to the variety of sizes. With the photographs previously captured with the program, the length and width of the fecal pellets were measured in order to obtain the range and average of their sizes.

The volume of fecal pellets was determined for cylindrical and ovoid shapes. In the case of cylindrical fecal pellets, Eq. 3:

$$Volume = \pi h r^2 \quad (3)$$

Where h is the height and r is the radius of the cylindrical pellets.

For ovoid fecal pellets, Eq. 4:

$$Volume = (4 / 3)\, \pi a r^2 \quad (4)$$

Where a is the length and r is the radius of the ovoid pellets.

To finish, the pellet count and volume were multiplied by the division factor in order to estimate the total volume contribution of the samples.

Filtration and weighing of fecal pellets

The same procedure as aliquot A.1 was used for filtration and weighing of fecal pellets (see item 2.3.1). We used Eq. 1 to calculate the dry weight of pellets and Eq. 2 to estimate the flux of fecal pellets.

Sinking rate of fecal pellets

To see the sedimentation behavior of fecal pellets to the seabed, their sinking velocity was estimated from Komar et al. (1981). Based on the previously taken measurements of the pellets, the shape measurement (E) was calculated, defined by Janke (1966), Eq. 5:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

$$E = D_s\ (D_{s^2} + D_{i^2} + D_{1^2})^{-1/2} \quad (5)$$

Where D_s, D_i and D_1 are the minor, intermediate and long axial diameters of the ovoid fecal pellets. In the case of cylindrical fecal pellets, $D_1 = L$ and $D_s = D_i$ = cylinder diameter.

The sinking velocity of fecal pellets, Eq. 6:

$$ws = 1/8 * 1/\mu\ (\rho_s - \rho) g D_{n^2} E^{0.380} \quad (6)$$

Where ws is the sedimentation rate of fecal pellets, μ is the viscosity of water (0.001139 Ns.m^{-2}), ρ_s is the particle density (1.19 g.cm^{-3}) (Dillon, 1964; Urban et al., 1993), ρ is the density of water (1.025051 g.cm^{-3}), g is the acceleration of gravity, D_n is the nominal diameter of the particle, and E is the shape measurement. The recording of water densities was carried out *in situ* in a surface profile 32 m deep.

2.4. Rimac River and satellite images

The influence of the Rimac River anomalous discharge during the study was considered using data from November 2022 to June 2023 recorded at the Chosica Station by the Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (Fig. 2a). Two images from the PeruSat1 satellite from February 24th and March 19th of 2023 were used to identify the dispersion of the Rímac River plume in Callao during the study period (Fig. 2b, c), whose spectral and spatial characteristics are shown in Table 2. The image is distributed by Peruvian the Space Agency (CONIDA) through the COF application (Customer Office) (Ramirez et al., 2019).

Table 2. Spectral and special characteristics of the PeruSat1 satellite image.

Spectral Band	Range (µm)	Spatial resolution (m)	Radiometric resolution
B1 (blue)	0.454 – 0.525	2.8	
B2 (green)	0.533 – 0.598	2.8	

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

B3 (red)	0.633 – 0.702	2.8	12 bits
B4 (NIR)	0.764 – 0.884	2.8	
PAN (panchromatic)	0.451 – 0.745	0.7	

3. Results

3.1. Influence of the 2023 coastal El Niño in Callao Bay

At the beginning of the collection period, the discharge of the Rimac River remained constant (20 to 21 m^3/s), but from January 2023 it had a considerable increase, registering a higher discharge in February of 67.77 m^3/s and in March of 87.18 m^3/s. Subsequently, in the last collection period, the discharge decreased and remained at its initial value of 20 m^3/s (Fig. 2a). Satellite images of the period of greatest discharge showed the impact of the plume of the Rimac River heading north of Callao (Fig. 2b, c).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

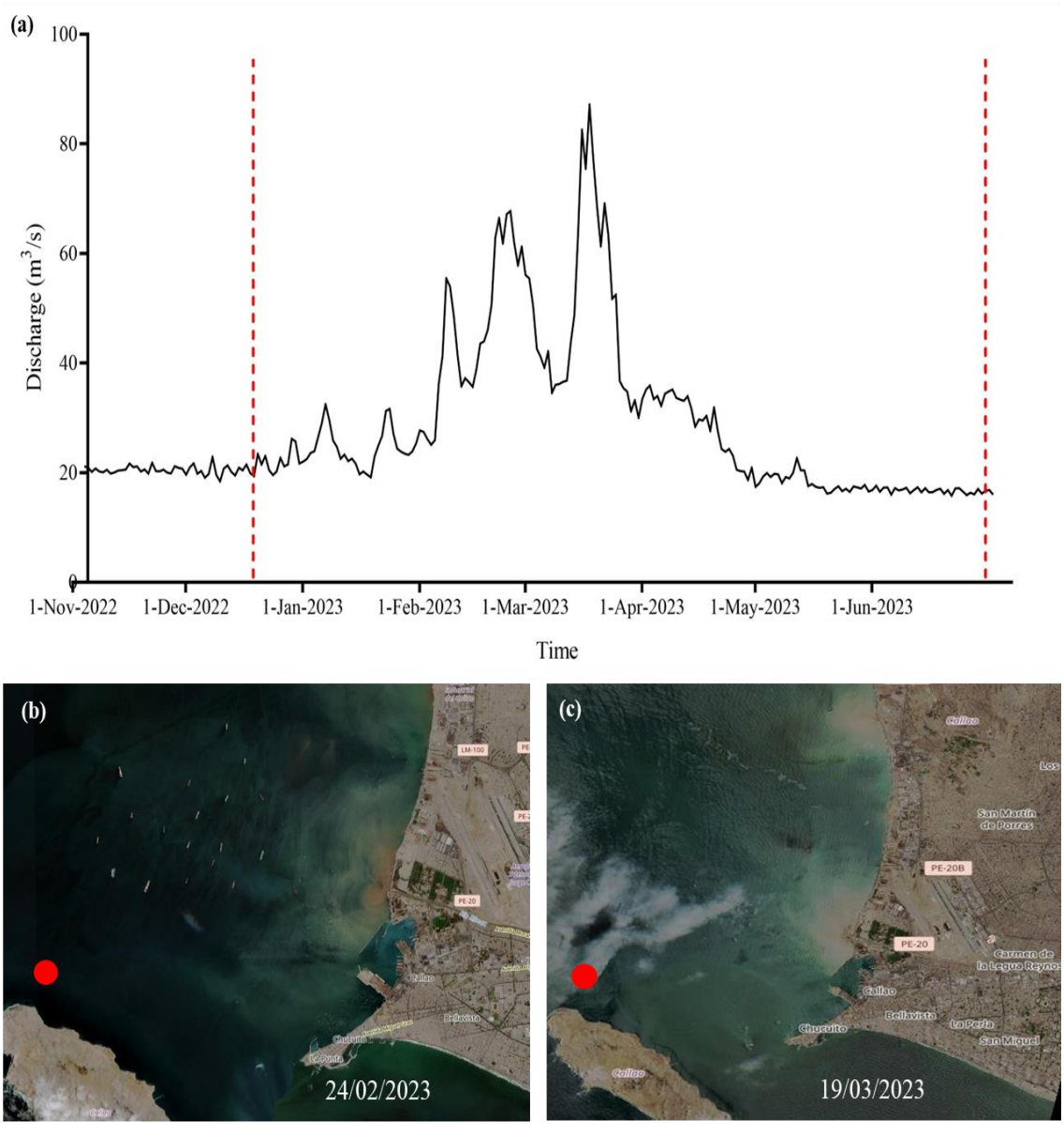


Fig. 2. (a) Discharge levels of the Rimac River from November 2022 to June 2023 at Chosica Station, available from SENAMHI. The red lines mark the collection period. (b and c) PeruSat1 satellite images from February and March 2023 showing the dispersion plume of the Rimac River in Callao. Red point marks the location of the mooring line.

The temperature record over the water column was very similar at the three depths (5, 10 and 15 m) (Fig. 3). At the beginning of the collection period, the temperature remained relatively constant (13 to 14 °C); however, from 15 February 2023 there was an abrupt increase, reaching a peak of 19 °C on February 28. Between the month of March and the

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

fortnight of April 2023, the temperature had a consistent increase to a maximum of 21°C on April 13, oscillating in the last collection period between 18°C and 20°C.

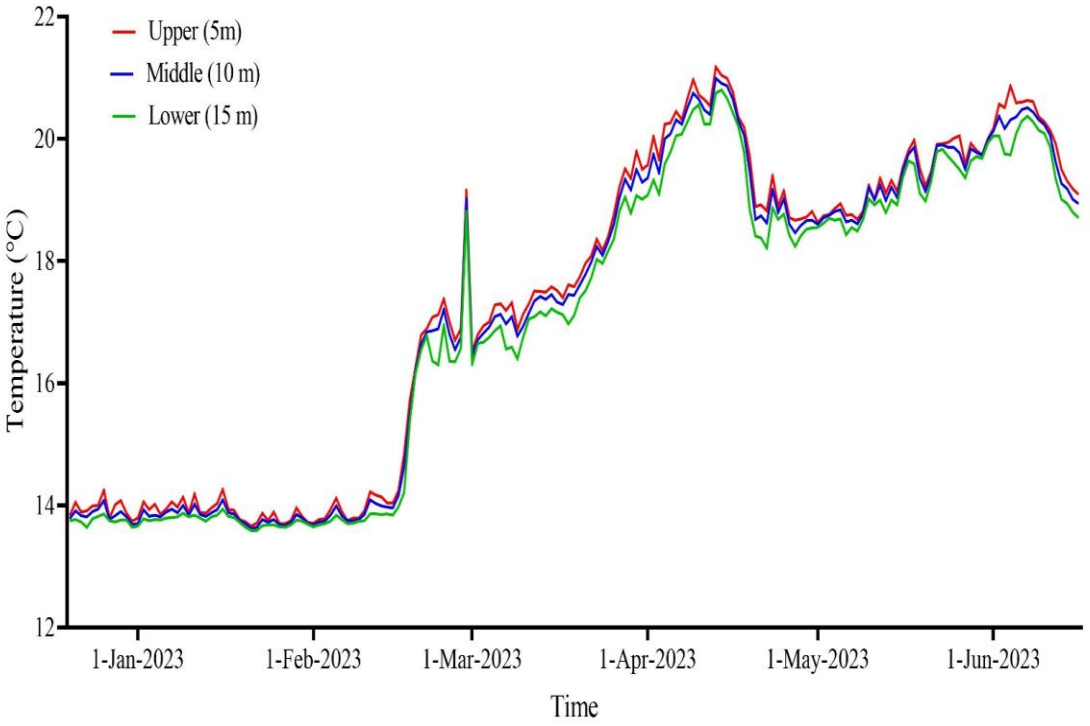


Fig. 3. Daily recording of the temperature sensors fixed on the mooring line in Callao Bay.

3.2. Particulates matter fluxes

The TMF resulted in an average of 157.42 ± 20.53 mg $m^{-2}day^{-1}$ (Table A1), with a maximum of 171.94 mg $m^{-2}day^{-1}$ (Fig. 4a). Two types of fecal pellets were identified: zooplankton and fish. The zooplankton pellet flux (ZPF) had a mean of 1.99 ± 0.40 mg $m^{-2}day^{-1}$, contributing 1.26 ± 0.09 % to the TMF; as the fish pellet flux (FPF) was 9.68 mg $m^{-2}day^{-1}$ and contributed with 6.77% to the TMF (Table A2; Fig. 4b). In sample 1' no fish pellets were found.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

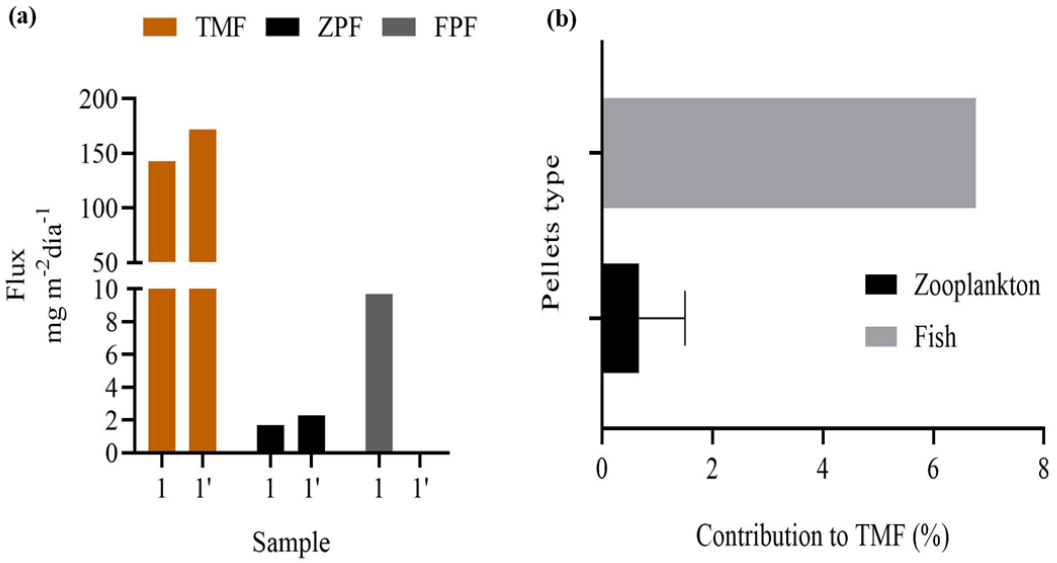
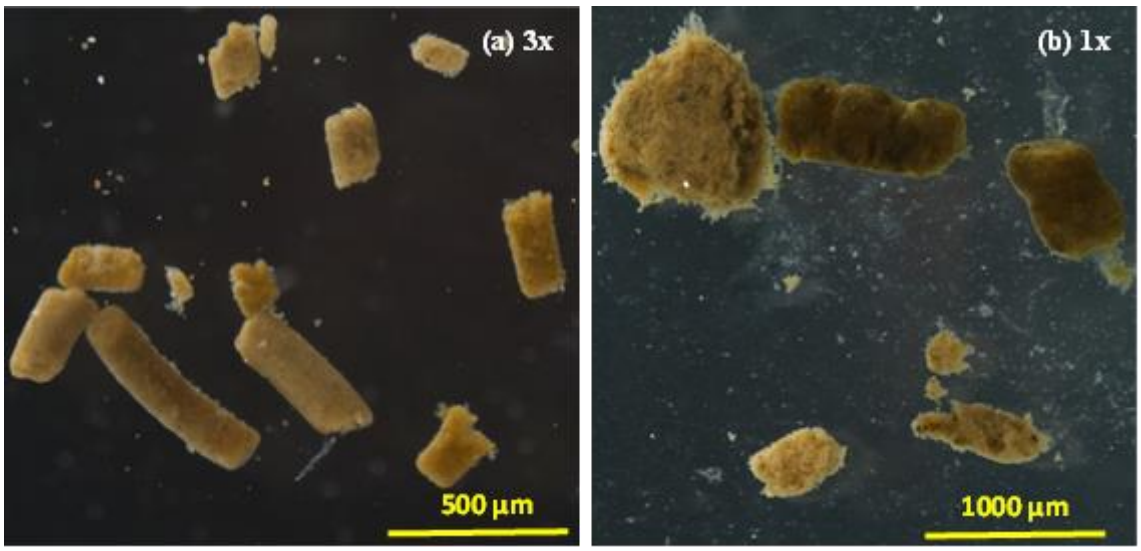


Fig. 4. (a) Ranges of total mass flux (TMF), zooplankton pellet flux (ZPF), and fish pellet flux (FPF). (b) Percentage contribution of zooplankton (mean) and fish fecal pellets to the TMF.

3.3. Counting and characterization of fecal pellets

The fecal pellets count was 400 fecal pellets (Table 3), where 90% were composed of zooplankton pellets (360 pellets) with a cylindrical and ovoid shape, presenting brown and light brown colors (Fig. 5a); while the fish pellets made up 10% (40 pellets), recording a 100% cylindrical shape with brown and olive-green colors (Fig. 5b).



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Fig. 5. (a) Zooplankton fecal pellets in 3x focus with a cylindrical and ovoid shape. (b) Fish pellets with 1x focus (cylindrical shape).

A total volume of fecal pellets of 195.61 mm^3 was recorded (Table 3), whereas the zooplankton fecal pellets recorded a volume of 3.63 mm^3, presenting a greater volume in sample 1' (3.55 mm^3). Fish pellets were only identified in sample 1, representing a volume of 191.98 mm^3.

Table 3. Total volume by type of pellets in each sample

Parameter	Sample		Pellets subtotal	Pellets composition (%)	Type of pellets
	1	1'			
Count	120	240	360	90	Zooplankton
Cylindrical shape (%)	80	90			
Ovoid shape (%)	20	10			
Volume (mm^3)	0.08	3.55	3.63		
Count	40	-	40	10	Fish
Cylindrical shape (%)	100	-			
Volume (mm^3)	191.98	-	191.98		
Total count	160	240	400		
Volume (mm^3)	192.06	3.55	195.61		

The fecal pellets presented a high variability of sizes about length and width (Table A3). The zooplankton pellets presented an average size in width and length varying between 0.1 to 0.4 mm, respectively (Fig. 6a, b). The sizes of the fish pellets were larger with a variation between 1 and 2 mm in width and length, respectively (Fig. 6c, d).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

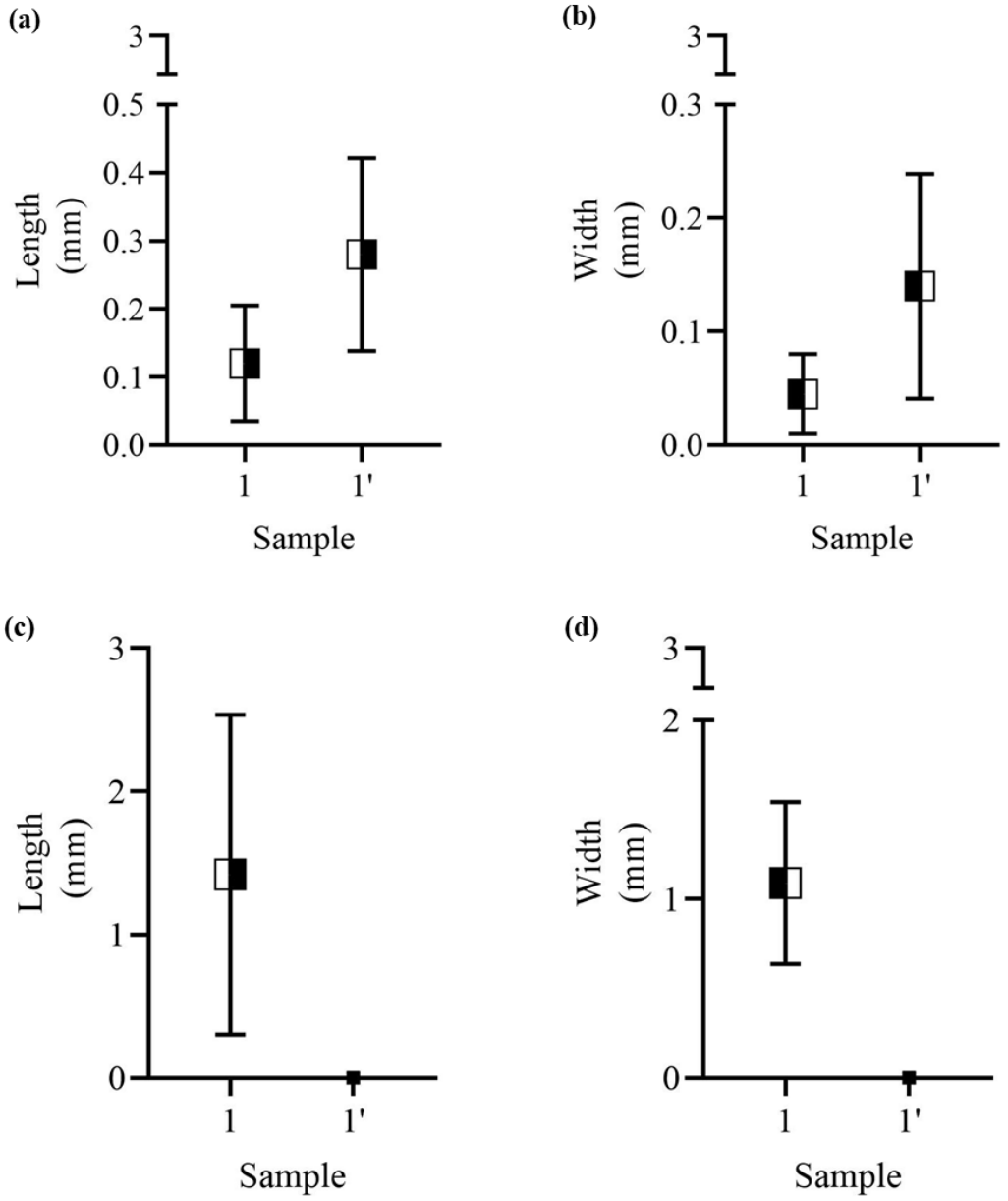


Fig. 6. Variety of length and width sizes of zooplankton fecal pellets (a, b) and fish fecal pellets (c, d).

3.4. Sinking velocity of fecal pellets

The sinking velocities of the fecal pellets were directly proportional to their volume (Fig. 7). Zooplankton pellets showed a slow sinking velocity, ranging from 0.54 to 62.32 m day^{-1} and an average of 18.34 ± 16.25 m day^{-1}, while fish pellets presented a higher value with a range 155.93 to 1918.32 m day^{-1} and an average of 668.53 ± 713.82 m day^{-1}.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

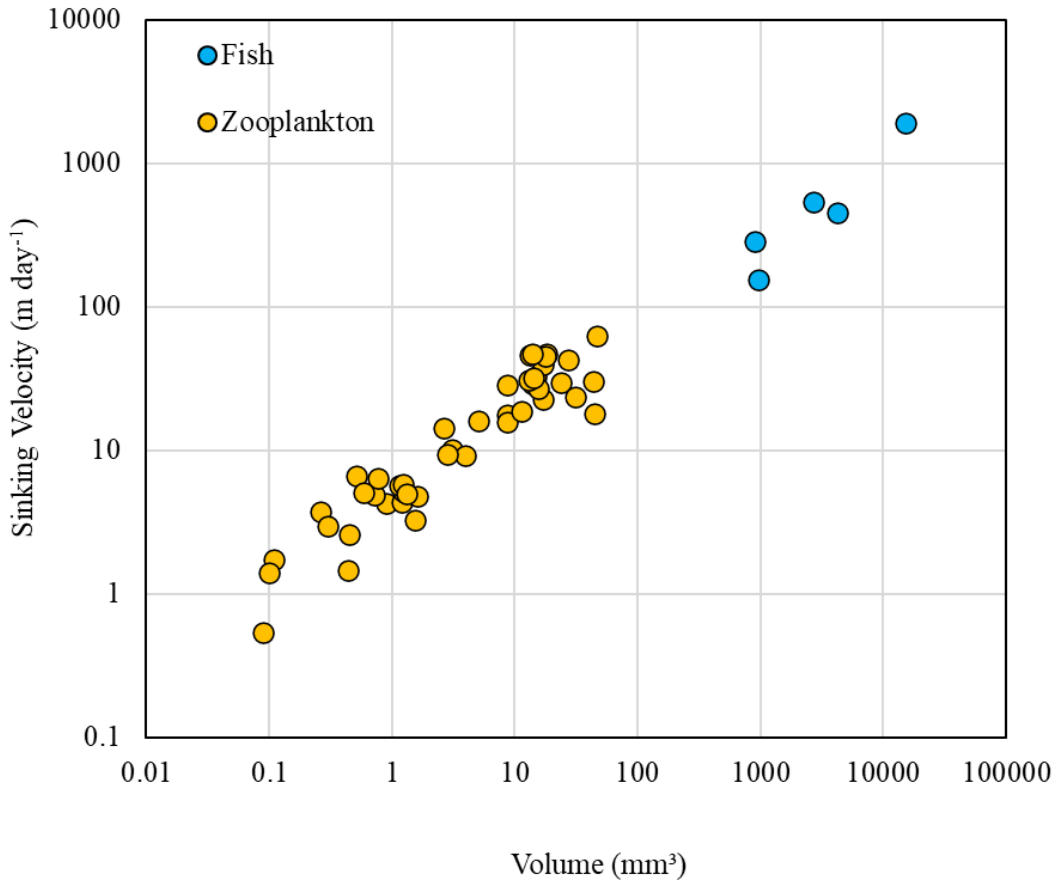


Fig. 7. Sinking velocity concerning the volume of fish and zooplankton fecal pellets in Callao Bay. Axes in logarithmic scale.

4. Discussion

4.1. Temperature in Callao Bay

The increase in temperature in CB from February 2023 was in accordance with the report of the Peruvian multisector committee in charge of the "National Study of El Niño Phenomenon" (ENFEN) 2023 (Fig. 3), which was accompanied by rains of moderate intensity, causing the alert of a possible El Niño event, which was confirmed in mid-March 2023 (IMARPE, 2023). This event was declared as a "Coastal El Niño" with a moderate magnitude, since positive anomalies in sea surface temperature (SST) were observed mainly on the northern and central coast of the Peruvian sea (+0.4 °C to +1.0

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

°C above normal), while normal conditions were recorded in the Central Pacific Ocean (ENFEN, 2023).

In addition to the high oceanographic variability, El Niño events do not occur with the same magnitudes and/or characteristics (Espinoza-Morriberón et al., 2021). Comparing 2017 coastal EN and 2023 coastal EN, SST anomalies in 2017 were ~2 times higher (+4.0 °C to +6.0 °C) (Ledesma et al., 2021) than the anomalies recorded in 2023 (+0.5 °C to +4.1°C) (SENAMHI, 2023) for the same study period, it in important consider at the beginning of 2023 the influence of the arrival of Cyclone Yaku to the coast of Peru (OCHA, 2023), and then the development of the 2023 coastal EN. In general the origin of coastal EN is still under discussion (Espinoza-Morriberón et al., 2021).

4.2. Total mass flux under coastal EN event conditions vs. Normal conditions

The low TMF recorded in Callao during the austral summer-autumn (Table 4, Fig. 4a) is consistent with the environmental conditions of the 2023 coastal EN, since the Humboldt Current system presents a decrease in terms of upwelling under these conditions (Tam et al., 2008), due to the weakening of the trade winds, compared to normal oceanographic conditions (Echevin et al., 2008).

Although during the EN events a decrease in coastal upwelling has been observed, when comparing the TMF findings with the 2017 coastal EN (recollected with an automatic sediment trap) at an extraordinary magnitude in the same study area, the estimated flux was ~20 times higher than the value calculated in this study (Table 4).This suggests that the Rimac River is possibly an important factor influencing TMF estimates in Callao, because its discharge recorded in March 2017 was ~2 times greater compared to the maximum discharge recorded for March 2023 (Fig. 2a), generating a greater impact of the dispersion plume for that year (Velazco et al., 2021). The satellite images of CB

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

showed the low impact of the entry of terrigenous material for March 2023 in Callao and a transport of the plume of the Rímac River to the north (Fig. 2b, c), which can possibly be attributed to changes in atmospheric circulation (Espinoza-Morriberón et al., 2017) due to arrival of Cyclone Yaku (the first cyclone to be recorded in the region in the last 40 years) (Aponte & Torrejón-Magallanes, 2023) as a result of the detachment of the Intertropical Convergence Zone and the weakening of winds near the coast (Echevin et al., 2018).

The records of particulate matter on the Peruvian coast under normal conditions presented high variability (Table 4). On the central coast, an average value of 601.9 mg m^2day^{-1} (Leigh et al., 2023) and 986 mg m^2day^{-1} (Bretagnon et al., 2018) was recorded and on the south coast, the TMF ranged from 821 to 4109.5 mg m^2day^{-1} by Ryther (1963) and a flux close to 1013.6 mg m^2day^{-1} by Rowe (1985). In this sense, comparing normal conditions and coastal EN in on the central coast, the 2023 coastal EN presenting a decay of 3 to 6 times less than the TMF in normal conditions, could be associated by a collapse of the upwelling, similar as occurred during the 2017 coastal EN where a significant reduction of the productive area off the coast up to 49% was registered (Ledesma et al., 2021).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Table 4. Study reports of TMF and contribution of fecal pellets.

Study area	Sampling date	Total Mass Flux ($mg\ m^{-2}day^{-1}$)	Fecal pellets (%)	Depth (m)	El Niño Event	Study
Callao Bay	December 2022 – June 2023	157.4	1.20 – 6.77	30	El Niño Costero 2023	This study
Callao Bay	March – December 2020	601.9	0.03 – 26.95	30		Leigh et al., 2023
Callao Bay	January – April 2017	3130,5		30	El Niño Costero 2017	Velazco et al., 2021
~50 km, Lima	January – March 2013	986		34		Bretagnon et al., 2018
Punta Santa Ana	1978		0 - 17	50		Staresinic et al., 1983
15°S, Pisco	1976 - 1978	1013.6		30		Rowe, 1985
15°S, Pisco	1962	821 – 4109.5		30		Ryther, 1963

Table 5. Sinking velocity reports worldwide.

Study area	Sinking velocity ($m\ day^{-1}$)	Size of pellets (mm)	Depth (m)	Study
Callao Bay	18.34 – 668.53	0.09 – 2.98	32	This study
Callao Bay	4.63 – 432.27	0.07 – 6.07	30	Leigh et al., 2023
Callao Bay	> 10	0.13 – 2.05	50 - 230	Karthäuser et al., 2021
Callao Bay	12.8 – 34.2	0.04 – 1	19	Baumann et al., 2022
Kerguelen Plataeu	13 - 260	1 – 12	20 - 30	Laurenceau et al., 2015
Santa Bárbara	787	1 – 6	50	Saba & Steinberg, 2012
Antarctic Peninsula	10 - 150	0.07 – 6	25 - 100	McDonnell & Buesseler, 2010
Islas Orcas, Washington.	120	0.8 – 1.9	21	Hansen et al., 1996
San Pedro Basin, California	74 ± 39	2.4 – 75	10 - 25	Alldredge & Gotschalk, 1988
Punta Santa Ana	1100	1	50	Staresinic et al., 1983

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

4.3. Contribution of fecal pellets to the TMF

The oceanographic conditions of the Peruvian sea are highly variable, as they influence the distribution and abundance of fish, which is reflected in the migration of anchovy (*Engraulis ringes*) (Gutiérrez et al., 1998) and the vertical migration of zooplankton (Turner, 2014). The effect of the gradual migration of schools of anchovy towards the south of Peru produces a reduction in their population levels on the Peruvian coast (Bouchon et al., 2015), generating a decrease in the contribution and production of fecal pellets. During the 2023 coastal EN on the central coast of Peru, the contribution of fecal pellets from 1.20 – 6.77% to the TMF (Table 4, Fig. 4b) is relatively lower compared to the records in normal conditions that range between 0.03 a 26.95% (Leigh et al., 2023); likewise, on the south coast, the contribution of fecal pellets is 0 to 17% (Staresinic et al., 1983).

For the contribution of fecal pellets from the central coast, in normal oceanographic conditions it was observed that the contributions to the TMF are up to 4 times less than the contributions of fecal pellets under 2023 coastal EN conditions. The low contribution of fecal pellets to the TMF is possibly a product of nutrient scarcity (Ledesma et al., 2021), generating an impact on primary productivity and the growth of fish and zooplankton. This suggests that several factors can influence the contribution of fecal pellets, such as location, seasonality of sampling, among others (Karl & Knauer, 1984).

4.4. Morphological characteristics and sinking velocity of fecal pellets

In the present study, identical fecal pellet shapes were found (Fig. 5) to the report by Leigh et al. (2023); however, the colors presented a certain difference because olive green fish pellets were observed (Fig. 5b), possibly due to the producer's diet. According to Hansen et al. (1996), green pellets may indicate that the producer feeds on phytoplankton,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

which can be attributed to the anchovy since it feeds on primary producers (Rojas et al., 1969). As for the producers of zooplankton pellets (Fig. 5a), they can originate from groups of copepods and larvae (Appendicularias), since these groups are frequently found in CB, mainly the species *Acartia* sp. (Aronés, 2022), which coincides with the species observed in the samples (*Acartia*, *Paracalanus* and *Oikopleura*).

The count and volume of fecal pellets reported in this study are lower (Table 3) than the findings of Leigh et al. (2023) with a count of 6356 pellets and a volume of 4114.9 mm^3 (same study area) and Staresinic et al. (1983) with a maximum value of 2569 fecal pellets (southern coast of Peru). These reports suggest that the number and distribution of pellets may vary depending on the dynamics of local productivity and temporality, for example, the intervention of some type of biofouling that influences the production and volume of these pellets.

The size of the fecal pellets (Fig. 6) is inversely related to the rate of sinking, because small pellets descend more slowly, while larger pellets tend to sink quickly (Saba & Steinberg, 2012), which agrees with the behavior of the fecal pellets in the present study, in which the sinking velocity of zooplankton pellets was slow compared to fish pellets (Fig. 7). The sinking velocity of fecal pellets in this research was higher compared to other reports from the same study area (Table 5), being four times higher for zooplankton pellets and ~2 times higher for fish pellets, compared to the study by Leigh et al. (2023). However, in the analysis by Staresinic et al., (1983) in southern Peru, the sinking velocity was ~2 times greater than the value of our findings.

The velocities estimated in this study were relatively higher (~2 to 9 times larger) if they are compared with reports from other sites, such as Alldredge & Gotschalk (1988); Hansen et al. (1996); Laurenceau-Cornec et al. (2015) and McDonnell & Buesseler,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

(2010) (Table 5); however, in the report by Saba & Steinberg (2012), its estimated velocity (787 m day^{-1}) was higher and was associated with fecal pellets from schools of engraulids. The high sinking velocity of pellets can occur depending on many factors, for example, the properties of the pellets, geographical location and their circulation patterns, among others (McDonnell & Buesseler, 2010).

The results of this study contribute to the understanding of the export dynamics and characterization of fecal pellets, providing valuable information about their function in the carbon cycle.

5. Conclusions

The study conducted in the BC during the 2023 coastal EN event provides a detailed insight into the particulate fluxes and the contribution of fecal pellets in warm-phase oceanographic conditions. During this event, a significant decrease in TMF was observed, attributed mainly due to cyclone Yaku arrival, and the possible productivity reduction associated with the weakening of the trade winds normal resulting in a decrease in terms of upwelling. In addition, the TMF was not impacted by the influence of the Rimac River discharge because its dispersion plume heading northward. In this scenario, a low contribution of fecal pellets to TMF was identified, suggesting a possible scarcity of nutrients and its impact on primary productivity. Morphological characterization and determination of sinking velocity of fecal pellets provided relevant information on the composition and behavior of these materials in the marine environment. Differences in shape and color of fecal pellets were observed, indicating possible variations in the diet of producing organisms. Also, it was found that zooplankton fecal pellets had a slower sinking velocity compared to those of fish, suggesting differences in their sedimentation dynamics.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

These findings emphasize the importance of considering oceanographic conditions when assessing particulate matter fluxes and the contribution of fecal pellets in marine ecosystems. Additionally, they provide a basis for future research on nutrient dynamics and productivity in the context of climate events such as EN. Likewise, more data and *ad hoc* sampling are needed to better define the variability of POM production and export under coastal EN conditions, as it is an atypical event still being studied from several approaches.

Declaration of competing interests: The authors declare that they have no conflict of interest.

Data availability: The datasets generated and analyzed in this study will be available upon request from the corresponding author.

Author Contributions

Conceptualization, María Cholan and Ursula Mendoza; **Data curation,** María Cholan, Víctor Aramayo and Ursula Mendoza; **Formal analysis,** María Cholan, Bobby Leigh and Ursula Mendoza; **Acquisition of financing,** Ursula Mendoza and Michelle Graco; **Research,** María Cholan and Ursula Mendoza; **Methodology,** María Cholan, Bobby Leigh, Ursula Mendoza, Víctor Aramayo, Federico Velazco, Patricia Ayón, Ernesto Fernández and Luis Escudero; **Project Management,** Ursula Mendoza and Michelle Graco**; Resources,** Ursula Mendoza, Michelle Graco and Patricia Ayón; **Software,** Maria Cholan, Bobby Leigh and Victor Aramayo; **Supervision,** Ursula Mendoza and Patricia Ayón; **Validation,** Ursula Mendoza and Víctor Aramayo; **Visualization,** María Cholan and Ursula Mendoza; **Writing: original draft,** Maria Cholan and Ursula Mendoza; **Writing: proofreading and editing,** María Cholan, Ursula Mendoza, Víctor Aramayo, Bobby Leigh, Federico Velazco, Ernesto Fernández, Luis Escudero, Michelle Graco,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Patricia Ayón and Salma García. All authors have read and accepted the published version of the manuscript.

Acknowledgements

We would like to thank Mr. Luis Vásquez, head of the General Directorate of Research in Oceanography and Climate Change of the Instituto del Mar del Perú (IMARPE), and the scientists of the Marine Geology Laboratory, Marine Hydrochemistry Laboratory, especially Wilson Carhuapoma, Jesús Ledesma, Miriam Montes and Kevin Díaz for their operational support in the field and laboratory activities. This work is a contribution in the framework of the general agreement between Universidad Científica del Sur and IMARPE, through the Project "Observatorio marino costero con sensores inteligentes y de bajo costo para la Investigación de estresores multiples a largo plazo y alta frecuencia". This study is a contribution of the national project "Integrated study of the physical, chemical, and biological processes of the coastal ecosystems" of IMARPE, PPR 137.

Funding: This work was funder´s by the "Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología" [grant number 045,2021-FONDECYT] through its executing unit "Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados" (Prociencia) and the "Programa Nacional de Becas y Créditos Educativos" [N° 3551,2018 – PRONABEC].

Appendix A

Table A1. Mean and standard deviation (SD) of total mass flux (TMF), zooplankton pellet flux (ZPF), and fish pellet flux (FPF).

Sample	Type of flux	Total flux (mg $m^{-2}day^{-1}$)	Mean	SD
1	TMF	142.90	157.42	20.53
1'		171.94		
1	ZPF	1.71	1.99	0.40
1'		2.28		

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

1	FPF	9.68	-	-

Table A2. Fecal pellet flux and its contribution to the total mass flux (TMF).

Sample	Source	Pellets mass flux (mg $m^{-2}day^{-1}$)	Contribution to TMF (%)
1	Zooplankton	1.71	1.20
	Fish	9.68	6.77
1'	Zooplankton	2.28	1.33

Table A3. Range and means (length and width) of fecal pellet sizes.

Sample	Range of length (mm)	Mean length (mm)	Range of width (mm)	Mean width (mm)	Type of pellets
1	0.087 - 0.307	0.18 ± 0.06	0.029 - 0.099	0.07 ± 0.02	Zooplankton
1'	0.184 - 1.007	0.38 ± 0.18	0.075 - 0.349	0.21 ± 0.07	
1	1.372 - 2.981	2.21 ± 0.63	0.762 - 2.708	1.41 ± 0.77	Fish
1'	-	-	-	-	

References

Alheit, J., & Niquen, M. 2004. Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem. Progress in Oceanography, 60(2), 201-222. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2004.02.006

Alldredge, A.L., & Gotschalk, C. 1988. In situ settling behavior of marine snow1. Limnology and Oceanography, 33(3), 339-351. https://doi.org/10.4319/lo.1988.33.3.0339

Aponte, H., & Torrejón-Magallanes, J. 2023. Lluvias, inundaciones y su impacto en la población peruana: ¿hemos aprendido la lección? South Sustainability, 4(1), e075-e075. https://doi.org/10.21142/SS-0401-2023-e075.

Aramayo, V., Romero, D., Quipúzcoa, L., Graco, M., Marquina, R., Solís, J., & Velazco, F. 2021. Respuestas del bentos marino frente a el Niño costero 2017 en la plataforma continental de Perú central (Callao, 12°S). Boletin Instituto del Mar del Perú, 36(2), 476-509. https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.349

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Aronés, K. 2022. Variabilidad temporal del zooplancton en la Estación Fija frente a Carpayo, Callao entre 2014 y 2019. Instituto del Mar del Perú. https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/4878

Baumann, M., Paul, A.J., Taucher, J., Bach, L.T., Goldenberg, S., Stange, P., Minutolo, F., & Riebesell, U. 2023. Drivers of particle sinking velocities in the Peruvian upwelling system. Biogeosciences, 20(13), 2595-2612. https://doi.org/10.5194/bg-20-2595-2023

Bouchon, M., Peña, C., & Salcedo, J. 2015. El evento El Niño 2014 y su impacto en la pesquería de anchoveta en el mar peruano. Instituto del Mar del Perú, 1(1-4). https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/2958

Bretagnon, M., Paulmier, A., Garçon, V., Dewitte, B., Illig, S., Leblond, N., Coppola, L., Campos, F., Velazco, F., Panagiotopoulos, C., Oschlies, A., Hernandez-Ayon, J. M., Maske, H., Vergara, O., Montes, I., Martinez, P., Carrasco, E., Grelet, J., Desprez-De-Gesincourt, O., Maes, C., & Scouarnec, L. 2018. Modulation of the vertical particle transfer efficiency in the oxygen minimum zone off Peru. Biogeosciences, 15(16), 5093-5111. https://doi.org/10.5194/bg-15-5093-2018

Calienes, R., Guillén, O., & Lostaunau, N. 1985. Variabilidad espacio-temporal de clorofila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Instituto del Mar del Perú - IMARPE, 10(1), 1-44.

Chávez, F.P., Barber, R.T., & Sanderson, M.P. 1989. The potential Primary Production of the Peruvian Upwelling System. Instituto del Mar del Perú.

Chen, C.T.A. 2004. Exchanges of carbon in the coastal seas. In Field, C., Raupach, M. (Eds.), The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate, and the Natural World, Island Press., Unites States, vol. 62, pp. 341.

Correa, D., Tam, J., Pasapera, J., Saavedra, M., & Ingunza, A. 2008. Modelado de la circulación marina y descargas hipotéticas en la bahía del Callao, Perú. Instituto del Mar del Perú, 35(3).

Delgado, C., & Gomero, R. 1985. Algunas observaciones sobre las características de los Sedimentos del Área: Isla de San Lorenzo-La Punta. [Inf. Interno Chucuito-Callao]. Instituto del Mar del Perú.

Dillon, W.P. 1964. Flotation Technique for Separating Fecal Pellets and Small Marine Organisms from Sand1. Limnology and Oceanography, 9(4), 601-602. https://doi.org/10.4319/lo.1964.9.4.0601

Echevin, V., Aumont, O., Ledesma, J., & Flores, G. 2008. The seasonal cycle of surface chlorophyll in the Peruvian upwelling system: A modelling study. Progress in Oceanography, 79(2), 167-176. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.026

Echevin, V., Colas, F., Espinoza-Morriberon, D., Vasquez, L., Anculle, T., & Gutierrez, D. 2018. Forcings and Evolution of the 2017 Coastal El Niño Off Northern Peru

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

and Ecuador. Frontiers in Marine Science, 5. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2018.00367

ENFEN. 2023. Comunicado Oficial ENFEN N°3—2023. Repositorio Institucional - SENAMHI. http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/2695

Espinoza-Morriberón, D., Ledesma Rivera, J., Colas, F., Echevin, V., Anculle, T., & Tam Málaga, J. 2017. Productividad en el sistema de afloramiento peruano durante El Niño 2015-2016. Instituto del Mar del Perú. https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3227

Espinoza-Morriberón, D., Echevin, V., Colas, F., Díaz, E., Tam, J., Anculle, T., Ledesma, J., & Gutiérrez, D. 2021. Diferencias entre los impactos en la costa peruana de los eventos ENOS cálidos y El Niño Costero 2017: Vientos, afloramiento, productividad y anchoveta. Instituto del Mar del Perú. https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.341

Fowler, S.W., & Knauer, G.A. 1986. Role of large particles in the transport of elements and organic compounds through the oceanic water column. Progress in Oceanography, 16(3), 147-194. https://doi.org/10.1016/0079-6611(86)90032-7

Friederich, G.E., Ledesma, J., Ulloa, O., & Chavez, F.P. 2008. Air–sea carbon dioxide fluxes in the coastal southeastern tropical Pacific. Progress in Oceanography, 79(2), 156-166. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.001

González, H.E., Ortiz, V.C., & Sobarzo, M. 2000. The role of faecal material in the particulate organic carbon flux in the northern Humboldt Current, Chile (23°S), before and during the 1997–1998 El Niño. Journal of Plankton Research, 22(3), 499-529.

Grasshoff, K., Kremling, K., & Ehrhardt, M. 1983. Methods of Seawater Analysis (2.ª ed.). Verlag Chemie Weinhein.

Guillén, O., Delgado, C., & Poma, R. 1985. Distribución de cobre, plomo, zinc y cadmio en los sedimentos del Puerto del Callao. Instituto del Mar del Perú. https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3052

Gutiérrez, M., Herrera, N., & Marín, D. 1998. Distribución y abundancia de anchoveta y otras especies pelágicas entre los eventos El Niño 1982-83 y 1997-98. Instituto del Mar del Perú. https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/985

Hansen, J., Kiørboe, T., & Alldredge, A. 1996. Marine snow derived from abandoned larvacean houses: Sinking rates, particle content and mechanisms of aggregate formation. Marine Ecology Progress Series, 141, 205-215. https://doi.org/10.3354/meps141205

IMARPE. 2023. Comunicado oficial del ENFEN N.º 03-2023. «Estado del sistema alerta: Alerta de El Niño costero. Instituto de Mar del Perú.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

https://www.gob.pe/institucion/imarpe/informes-publicaciones/4007135-comunicado_of_enfen-n-03-2023

Janke, N.C. 1966. Effect of shape upon the settling vellocity of regular convex geometric particles. Journal of Sedimentary Research, 36(2), 370-376. https://doi.org/10.1306/74D714C4-2B21-11D7-8648000102C1865D

Kämpf, J., & Chapman, P. 2016. Upwelling Systems of the World. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42524-5

Karl, D.M., & Knauer, G.A. 1984. Vertical distribution, transport, and exchange of carbon in the northeast Pacific Ocean: Evidence for multiple zones of biological activity. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 31(3), 221-243. https://doi.org/10.1016/0198-0149(84)90103-1

Karl, D.M., Knauer, G.A., & Martin, J.H. 1988. Downward flux of particulate organic matter in the ocean: A particle decomposition paradox. Nature, 332(6163). https://doi.org/10.1038/332438a0

Karthäuser, C., Ahmerkamp, S., Marchant, H.K., Bristow, L.A., Hauss, H., Iversen, M. H., Kiko, R., Maerz, J., Lavik, G., & Kuypers, M.M.M. 2021. Small sinking particles control anammox rates in the Peruvian oxygen minimum zone. Nature Communications, 12(1). https://doi.org/10.1038/s41467-021-23340-4

Komar, P.D., Morse, A.P., Small, L.F., & Fowler, S.W. 1981. An analysis of sinking rates of natural copepod and euphausiid fecal pellets1. Limnology and Oceanography, 26(1), 172-180. https://doi.org/10.4319/lo.1981.26.1.0172

Laurenceau-Cornec, E.C., Trull, T.W., Davies, D.M., Rocha, C.L.D.L., & Blain, S. 2015. Phytoplankton morphology controls on marine snow sinking velocity. Marine Ecology Progress Series, 520, 35-56. https://doi.org/10.3354/meps11116

Ledesma, J., Graco, M., Tam, J., Díaz, K., Anculle, T., García, W., Bernales, A., Quispe, D., Espinoza, D., Carhuapoma, W., & Gutiérrez, D. 2021. Efectos de El Niño Costero 2017 sobre la oxigenación, fertilidad y productividad del mar frente a las costas del Perú. Instituto del Mar del Perú, 36(2), 409-427. https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.345

Legendre, L., & Rassoulzadegan, F. 1996. Food-web mediated export of biogenic carbon in oceans: Hydrodynamic control. Marine Ecology Progress Series, 145, 179-193. https://doi.org/10.3354/meps145179

Leigh, B., Aramayo, V., Mendoza, U., Velazco, F., Kiko, R., Ayón, P., Fernández, E., & Graco, M. 2023. Total Mass Flux in the Northern Humboldt Current System: Rates and Contribution Sources from Central Peru (12° S). Hydrobiology, 2(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/hydrobiology2040035

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

McDonnell, A.M.P., & Buesseler, K.O. 2010. Variability in the average sinking velocity of marine particles. Limnology and Oceanography, 55(5), 2085-2096. https://doi.org/10.4319/lo.2010.55.5.2085

Mendoza, U., Ayón, P., Leigh, B., Oyola, W., Bach, L., Caquineau, S., Bouloubassi, I., Velazco, F., Turcq, B., Sifeddine, A., Chang, F., Quesquén, R., & Graco, M. 2022. Procedimiento para división y retirada de nadadores- pellets fecales de muestras de trampa de sedimento colectadas en el sistema de afloramiento del norte de la Corriente de Humboldt. Repositorio Digital Instituto del Mar del Perú, 49(2), 8.

OCHA. 2023. Perú: Lluvias e inundaciones, Reporte de Situación No. 01 (27 de marzo de 2023) - Peru | ReliefWeb. https://reliefweb.int/report/peru/peru-lluvias-e-inundaciones-reporte-de-situacion-no-01-27-de-marzo-de-2023

Peinert, R., Bodungen, B.V, & Smetacek, V. 1989. Food web structure and loss rate.

Pennington, J.T., Mahoney, K.L., Kuwahara, V.S., Kolber, D. D., Calienes, R., & Chavez, F.P. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. Progress in Oceanography, 69(2), 285-317. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.012

Ramirez, A., Pacheco, A., & Telles, J. 2019. Mapping vegetation, water bodies and urban areas in PeruSAT-1 satellite imagery. 2019 XXII Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision (STSIVA), 1-4. https://doi.org/10.1109/STSIVA.2019.8730269

Rojas de Mendiola, B., Ochoa López, N., Calienes, R., & Gómez Caballero, O. 1969. Contenido estomacal de la anchoveta en cuatro áreas de la costa peruana. Instituto del Mar del Perú. https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/255

Rowe, G.T. 1985. Benthic production and processes off Baja California, Northwest Africa and Peru: A classification of benthic subsystems in upwelling ecosystems. Instituto de Investigaciones Pesqueras, 2, 598-612.

Ryther, J.H. 1963. Geographic variations in productivity. In Hill, M.N. (Ed.), The sea. Vol. II, Wiley-Interscience., New York, pp. 347-380.

Saba, G.K., & Steinberg, D.K. 2012. Abundance, Composition and Sinking Rates of Fish Fecal Pellets in the Santa Barbara Channel. Scientific Reports, 2(1). https://doi.org/10.1038/srep00716

SENAMHI. 2023. Monitoreo de las temperaturas del aire en la costa peruana (01 al 10 de junio 2023). Repositorio Institucional - SENAMHI. http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/2816

Silver, M.W., & Gowing, M.M. 1991. The “particle” flux: Origins and biological components. Progress in Oceanography, 26(1), 75-113. https://doi.org/10.1016/0079-6611(91)90007-9

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Silverberg, N., Aguirre, F., Aguíñiga, S., & Romero, N. 2006. Vertical flux of particulate matter in Alfonso Basin, La Paz Bay, during 2002. Ciencias Marinas, 32(1). https://doi.org/10.7773/cm.v32i1.63

Staresinic, N., Farrington, J., Gagosian, R.B., Clifford, C.H., & Hulburt, E.M. 1983. Downward Transport of Particulate Matter in the Peru Coastal Upwelling: Role of the Anchoveta, Engraulis Ringens. In E. Suess & J. Thiede (Eds.), Coastal Upwelling Its Sediment Record, 26, 225-240. Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6651-9_12

Tam, J., Taylor, M.H., Blaskovic, V., Espinoza, P., Ballón, R.M, Díaz, E., Wosnitza-Mendo, C., Argüelles, J., Purca, S., Ayón, P., Quipuzcoa, L., Gutiérrez, D., Goya, E., Ochoa, N., & Wolff, M. 2008. Trophic modeling of the Northern Humboldt Current Ecosystem, Part I: Comparing trophic linkages under La Niña and El Niño conditions. Progress in Oceanography, 79(2), 352-365. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.007

Turner, J.T. 2014. Zooplankton fecal pellets, marine snow, phytodetritus and the ocean's biological pump. Progress in Oceanography, 130, 205-248. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.08.005

Urban, J.L., Deibel, D., & Schwinghamer, P. 1993. Seasonal variations in the densities of fecal pellets produced by *Oikopleura vanhoeffeni* (C. Larvacea) and *Calanus finmarchicus* (C. Copepoda). Marine Biology, 117(4), 607-613. https://doi.org/10.1007/BF00349772

Velazco, F. 2011. Sedimentos marinos superficiales en la bahía del Callao, Perú. 1997. Boletin Instituto del Mar del Perú, 26(1-2),75-82. https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/113

Velazco, F., Mendoza, U., Solís, J., Fernandez, E., Caquineau, S., Sifeddine, A., Graco, M., Bouloubassi, I., Turcq, B., Leigh, B., Sócola, M., Carhuapoma, W., Carrasco, E., & Gutiérrez, D. 2021. Flujos de material particulado y formación de una lámina de sedimentos en la plataforma continental interna frente al Callao durante El Niño Costero 2017. Boletin Instituto del Mar del Perú, 36(2), 428-451. https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.346

Wilson, S.E., Steinberg, D.K., & Buesseler, K.O. 2008. Changes in fecal pellet characteristics with depth as indicators of zooplankton repackaging of particles in the mesopelagic zone of the subtropical and subarctic North Pacific Ocean. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 55(14), 1636-1647. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.04.019

Zuta, S., & Guillén, O. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Boletin Instituto del Mar del Perú, 2(5), 157-324. https://hdl.handle.net/20.500.12958/949

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Exportación de material particulado desde el centro de Perú (Callao, 12° S) durante El Niño Costero 2023

María Cholan[a], Ursula Mendoza[a,b,*], Bobby Leigh[c,d], Víctor Aramayo[b,d], Federico Velazco[b], Patricia Ayón[b], Ernesto Fernández[b], Luis Escudero[c], Salma García[f] & Michelle Graco[b]

[a]Carrera de Biología Marina, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Universidad Científica del Sur, Panamericana Sur, km 19, Lima, Perú.

[b]Dirección General de Investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático, Instituto del Mar del Perú, Esquina Gamarra y General Valle S/N – 07021, 1 Callao, Perú.

[c]Escuela Profesional de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Piura, Urb. Miraflores S/N, Castilla, 20002 Piura, Perú.

[d]Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, P. O. BOX 1898, Lima 100, Perú.

[e]Dirección General de Investigaciones en Hidroacústica Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca, Instituto del Mar del Perú, Esquina Gamarra y General Valle S/N – 07021,1 Callao, Perú.

[f]Investigador Independiente, Instituto del Mar del Perú, Esquina Gamarra y General Valle S/N – 0.7021,1 Callao, Perú

*Autor correspondiente

Dirección de correo electrónico: umendoza@imarpe.gob.pe (U. Mendoza)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Highlights

- En presencia del evento El Niño Costero se observa una disminución del flujo masa total en comparación de condiciones oceanográficas normales.
- Los pellets fecales presentan un bajo aporte de peces, posiblemente asociado a la ocurrencia del evento El Niño Costero.
- Los pellets fecales de peces presentan una velocidad de hundimiento mayor a los pellets fecales de zooplancton.

Resumen

El flujo de masa total (FMT) del material orgánico particulado en la superficie y su posterior exportación al fondo marino es un punto crucial para el funcionamiento metabólico de los ecosistemas marinos debido a que permanentemente proporcionan compuestos orgánicos que sustentan la vida tanto en la columna de agua como en el fondo. Estos compuestos se presentan de dos formas: carbono orgánico particulado y carbono orgánico disuelto. El objetivo de este trabajo fue determinar el FMT y la contribución de pellets fecales en la bahía del Callao (12° S, Perú) bajo condiciones El Niño (EN) costero 2023. Se instaló una trampa de sedimento mecánica (32 m) y sensores de temperatura (5, 10 y 15 m), fijados en una línea de anclaje durante el verano austral hasta otoño del 2023 (179 días), para la cuantificación del FMT y su caracterización en relación a los pellets fecales en la bahía del Callao. El promedio de FMT fue de 157.42 ± 20.53 mg $m^{-2}día^{-1}$, este bajo valor estaría asociado a las condiciones oceanográficas del evento EN costero 2023. Se identificaron pellets fecales de zooplancton y peces. Los pellets de zooplancton presentaron dos formas distintas (cilíndrica y ovoide) y su flujo registró una media de 1.99 ± 0.40 mg $m^{-2}día^{-1}$, con una contribución promedio de 1.26 ± 0.09 % al FMT. Los pellets de peces presentaron una sola forma (cilíndrica) y mostró un

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

flujo de 9.68 mg $m^{-2}día^{-1}$, con un aporte del 6.77% al FMT. Hay una notable diferencia entre las contribuciones del flujo de pellets de zooplancton y el flujo de pellets de peces al FMT. El tamaño y volumen influyen directamente en la velocidad de hundimiento de los pellets fecales. Los pellets de zooplancton, al ser pequeños (0.1 a 0.4 mm) y tener volúmenes más pequeños, poseen una velocidad de hundimiento lenta con una media de 18.34 ± 16.25 m $día^{-1}$; mientras que los pellets de peces, al ser más grandes (1 a 2 mm) con volúmenes más altos, sedimentan más rápidamente con una media de 668.53 ± 713.82 m $día^{-1}$. Estos hallazgos muestran una disminución del FMT y la baja producción de pellets fecales de zooplancton y peces, además de su rápido hundimiento, bajo los efectos del evento EN costero 2023 frente a la costa peruana.

Palabras clave: Flujo vertical, Pellets fecales, Velocidad de hundimiento, Zooplancton, Callao Perú.

1. Introducción

El Pacífico Suroriental es considerado una de las regiones más productivas del mundo, extendiéndose a lo largo de la costa peruana y chilena (Pennington et al., 2006; Zuta & Guillén, 1970). En particular, el afloramiento costero frente a Perú se caracteriza por su alta productividad (3 y 4 g C $m^{-2}día^{-1}$) y una concentración elevada de clorofila a (1.5 a 4.3 mg m^{-3}) en la franja costera de 150 km de ancho (Calienes et al., 1985; Chávez et al., 1989). Esta alta productividad coincide con la gran disponibilidad de nutrientes junto con factores forzantes (vientos alisios) y la extensión de la plataforma continental (Zuta & Guillén, 1970). Asimismo, al ser categorizado como altamente productivo (>300 g C/m^2/año) (Kämpf & Chapman, 2016), la costa peruana es una importante fuente de CO_2 parcial durante todo el año, alcanzando un flujo anual de 5.7 mol $m^{-2}año^{-1}$ desde el océano hacia la atmósfera (Friederich et al., 2008), generando a su vez altas tasas de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

sedimentación de materia orgánica en el bentos y funcionando como un sumidero de carbono (Chen, 2004).

La producción del material orgánico particulado (MOP) a partir de la superficie y su posterior exportación al fondo marino es un proceso crucial para el funcionamiento metabólico de los ecosistemas marinos (Karl et al., 1988), debido a que representan una fuente de compuestos orgánicos para la columna de agua (Alheit & Niquen, 2004). El MOP se hunde transportando componentes como esqueletos de organismos planctónicos, heces, minerales terrígenos y posibles contaminantes (Fowler & Knauer, 1986; Silver & Gowing, 1991). No obstante, el conocimiento sobre la contribución del material particulado hacia el fondo es limitado en esta región (González et al., 2000). Esto es particularmente importante si consideramos que existe un amplio rango de variación espacial-temporal en la cantidad y composición del material sedimentado, en función del sistema pelágico suprayacente (Legendre & Rassoulzadegan, 1996; Peinert et al., 1989), pero también debido a las condiciones oceanográficas locales y regionales.

En estudios pioneros de flujos masivos en condiciones normales en la costa centro del Perú, las tasas de exportación de carbono variaron anualmente entre 300 a 1500 g C m^{-2}año^{-1} en relación con la profundidad y la zona de mínimo oxígeno (Ryther, 1963). En Punta Santa Ana (15° S), se reportó que el 17.4% del carbono orgánico particulado estuvo constituido por el material fecal de la anchoveta (Staresinic et al., 1983). También, Rowe (1985) frente a la costa de Playa Huascarina – San Fernando (15°S) encontró un tasa de exportación de carbono cercana a 370 g C m^{-2}año^{-1} equivalente al 6% de carbono orgánico en el fondo marino. Estos valores de flujo de carbono pueden variar dependiendo de las áreas donde el afloramiento no presenta una misma intensidad (Bretagnon et al., 2018); puesto que son fuertemente controlados por factores biológicos y a su vez por la variabilidad del evento El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), ya sea en fase caliente (El

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Niño, EN) o fase fría (La Niña, LN) (Ledesma et al., 2021). Esto puede ejemplificarse con la ocurrencia de eventos extremos como EN costero 2017 en el Callao (Perú central), donde el flujo de masa total (FMT) alcanzó hasta 8777,9 mg $m^{-2}día^{-1}$, asociados a las máximas descargas del río Rímac (Velazco et al., 2021), aprovechados por componentes bentónicos (Aramayo et al., 2021).

Las celdas costeras permanentes de afloramiento como las que ocurren en el centro de Perú, ofrecen una oportunidad notable para analizar los procesos sedimentarios que sostienen el flujo vertical de MOP y sus fuentes de contribución. En este contexto, la investigación tiene como objetivo determinar el FMT y la contribución de pellets fecales de zooplancton y de peces. Este estudio se llevó a cabo durante condiciones oceanográficas particulares influenciados por EN costero 2023, permitiéndonos incluir esta variable como un factor potencial que afecta nuestras estimaciones de FMT.

2. Material y Métodos

2.1. Área de estudio

En la Bahía del Callao (BC) localizada en la costa central del Perú (12°03’S - 77°14’O), se instaló una línea de anclaje a 32 m de profundidad (Fig. 1) donde la granulometría media del sedimento del fondo marino es de limo fino (entre 6 Phi a 7 Phi) en escala Wentworth (Velazco, 2011). Es una bahía semicerrada flanqueada por las islas San Lorenzo y el Frontón (Correa et al., 2008) que actúan como una barrera natural contrarrestando los efectos del oleaje y de los vientos costeros paralelos a la costa y los alisios del sureste, que son más intensos en invierno y menos intensos en verano (Delgado & Gomero, 1985). El Callao presenta una batimetría irregular y somera, con patrones de circulación modulados por la Corriente Costera Peruana y los vientos alisios del sureste (Zuta & Guillén, 1970).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

La productividad y el contenido de partículas en la zona costera pueden verse afectados por la pluma del río Rímac, que contribuyen con las descargas de sedimentos hacia el interior de la bahía (~915 toneladas por año en condiciones normales y mayor de 2 millones de toneladas por año en condiciones EN), un patrón mejor observado durante el verano, cuando hay mayores descargas asociadas con la asociados a la estación lluviosa en los Andes (Guillén et al., 1985).

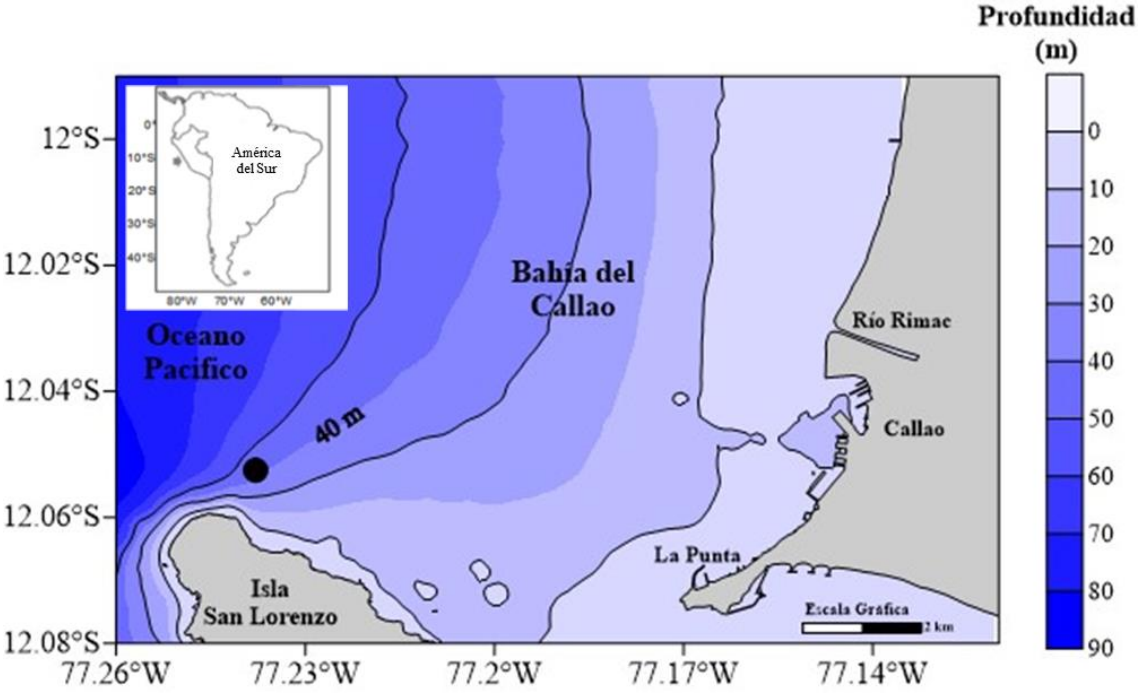


Fig. 1. Localización de la trampa de sedimento mecánica a una profundidad de 32 m en el Callao.

2.2. Instalación de la línea de anclaje y colecta de muestras

En la línea de anclaje se fijó una trampa de sedimento mecánica a 32 m de profundidad constituida por dos tubos colectores de PVC de 10 cm de diámetro interno en una estructura giratoria de acero, en cuya base se acoplaron dos botellas de polietileno de 150 ml (muestra; 1 – réplica; 1'). La trampa se fijó a un cable de acero (1/4" pulgadas) y era sustentada por un conjunto de cinco boyas de flotación de 28 cm de diámetro (10 m de profundidad). La línea de anclaje fue fijada con un lastre de concreto armado de 250 kg y contaba con una boya de marcación (15 cm de diámetro) para fines de localización.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Asimismo, para el registro diario la temperatura sobre la columna de agua, se implementó 3 sensores de temperatura ONSET sumergibles (HOBO MX2203 TidbiT) a diferentes profundidades: 5 m (sensor superior), 10 m (sensor medio) y 15 m (sensor de fondo). Previo a la instalación de la línea de anclaje se colectó agua de mar local al nivel de la trampa (32 m de profundidad) para la preparación de la solución preservante de formaldehído al 5% v/v tamponado con tetraborato de sodio a pH 8 con el agua de mar filtrada (filtro de acetato de celulosa 0.2 µm). El periodo de la colecta se describe en la Tabla 2.

Tabla 2. Periodo de colecta de las botellas en la trampa de sedimento mecánica.

Número de botellas	Periodo de colecta		Días de colecta
	Inicio	Final	
1 1'	20/12/2022	16/06/2023	179

Finalizado el periodo de colecta, los buzos autónomos procedieron al desacoplamiento de las botellas colectoras e inmediato cerrado, las mismas que fueron conservadas y trasladadas al laboratorio. Antes del desacoplamiento de las botellas, se observó que uno de los tubos colectores presentaba una breve inclinación, y la presencia de bioincrustación en todos los elementos de la línea de anclaje.

2.3. Fraccionamiento de muestras

Se retiró manualmente la bioincrustación de las botellas para no contaminar las muestras y evitar la alteración de los resultados. Las muestras se fraccionaron en cuatro alícuotas (1/4), siendo una de estas (alícuota A) utilizada para el presente estudio. Esta alícuota se subdividió hasta obtener sub-alícuotas de 1/8 destinadas para la determinación del FMT (alícuota A.1) y el flujo de pellets fecales (alícuota A.2). Ambas alícuotas se almacenaron

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

en frascos de polietileno (70 ml). Se utilizó un divisor Folsom, el mismo que presentó un coeficiente de variación efectivo de 0.70% (Leigh et al., 2023; Mendoza et al., 2022).

2.3.1. Alícuota A.1

Retiro de zooplancton

Se transfirió la alícuota A.1 a una placa Petri de vidrio (14 cm) y se retiró el zooplancton con agujas de acupuntura utilizando un estereoscopio Nikon-SMZ18 (Mendoza et al., 2022). La retirada del zooplancton evita la sobreestimación del flujo, debido a que no forma parte del FMT pasivo (Silverberg et al., 2006).

Filtración y pesaje del material particulado

La alícuota libre de zooplancton se filtró utilizando filtros de fibra de vidrio GF/F (47 mm) pre calcinados en una mufla (450 °C, 6 h) y pesados en una balanza analítica Sartorius Entris 224I – 1S (resolución 0.0001 g) para obtener el peso inicial. La filtración se realizó a una presión de 0.2 bar para evitar la ruptura y pérdida del material al filtrar (Grasshoff et al., 1983). Los filtros se secaron (75 °C, 1 h) sobre papel aluminio, siendo levantados a cada 10 min para evitar su adherencia. Luego de enfriar los filtros, se pesaron en la misma balanza analítica para obtener el peso final.

Se calculó el peso del material particulado, Eq. 1:

$$Peso\ (mg) = Peso\ final\ (mg) - Peso\ incial\ (mg) \quad (1)$$

Se calculó el flujo de masa total (mg m^{-2}día^{-1}), Eq. 2:

$$TMF = F\ .\alpha\ /\ A\ .\gamma \quad (2)$$

Donde F es el factor de fraccionamiento, α es el peso del material particulado, A es el área del diámetro interno de la boca de la trampa (0.00785 m^2), y γ es el número de días.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

2.3.2. Alícuota A.2

Retirada de pellets

La alícuota A.2 se colocó en una placa Petri de vidrio para analizar a través de un estereoscopio Nikon-SMZ18 y extraer los pellets, utilizando agujas de acupuntura y pincel fino. Los pellets se almacenaron de acuerdo con su tipo en frasco de polisulfona.

Caracterización de pellets

Los pellets fecales se agruparon en una placa Petri de vidrio, luego se observaron mediante una cámara Nikon DS-Fi2 acoplada a un estereoscopio Nikon-SMZ18 y se tomaron fotografías para su posterior conteo y caracterización con el programa NIS-Elements. Para la caracterización e identificación del origen de los pellets, se siguió las sugerencias de Wilson et al., (2008), quienes proponen la observación de las formas y colores de los pellets fecales, además de la variedad de tamaños. Con las fotografías previamente capturas con el programa, se procedió a medir el largo y ancho de los pellets fecales para poder obtener el rango y promedio de sus tamaños.

El volumen de los pellets fecales se determinó para las formas cilíndricas y ovoides. En el caso de los pellets fecales cilíndricos, Eq. 3:

$$Volume = \pi hr^2 \quad (3)$$

Dónde h es la altura y r es el radio de los pellets cilíndricos.

Para los pellets fecales ovoides, Eq. 4:

$$Volume = (4 / 3)\, \pi ar^2 \quad (4)$$

Donde a es la longitud y r es el radio de los pellets ovoides.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Al finalizar, el conteo y el volumen de los pellets se multiplicaron por el factor de división para poder estimar la contribución del volumen total de las muestras.

Filtración y pesaje de pellets fecales

La filtración y el pesaje de pellets fecales se empleó el mismo procedimiento de la alícuota A.1 (ver ítem 2.3.1). Se utilizó la Eq. 1 para calcular el peso seco de pellets y la Eq. 2 para estimar el flujo de pellets fecales.

Velocidad de hundimiento de los pellets fecales

Para ver el comportamiento de sedimentación de los pellets fecales al fondo marino, se estimó su velocidad de hundimientos de Komar et al. (1981). Sobre la base de las medidas tomadas anteriormente de los pellets, se calculó la medida de forma (E), definida por Janke (1966), Eq. 5:

$$E = D_s \, (D_{s^2} + D_{i^2} + D_{1^2})^{-1/2} \quad (5)$$

Donde D_s, D_i y D_1 son los diámetros axiales menor, intermedios y largos de los pellets fecales ovoides. En el caso de los pellets fecales cilíndricos, $D_1 = L$ y $D_s = D_i$ = diámetro del cilindro.

La velocidad de hundimiento de los pellets fecales, Eq. 6:

$$ws = 1/8 * 1/\mu \, (\rho_s - \rho) g D_{n^2} E^{0.380} \quad (6)$$

Donde ws es la tasa de sedimentación de pellets fecales, μ es la viscosidad del agua (0.001139 $Ns.m^{-2}$) , ρ_s es la densidad de partículas (1.19 $g.cm^{-3}$) (Dillon, 1964; Urban et al., 1993), ρ es la densidad del agua (1.025051 $g.cm^{-3}$), g es la aceleración de la gravedad (981 $cm.s^{-2}$), D_n es el diámetro nominal de la partícula, E es la medida de forma. El registro de las densidades de agua se realizó *in situ* en un perfil superficial de 32 m de profundidad.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

2.4. Río Rímac e imágenes satelitales

La influencia de la descarga anómala del río Rímac durante el estudio, fue considerado y se utilizó datos de noviembre de 2022 a junio de 2023 registrados en la Estación Chosica por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (Fig. 2a). Se utilizaron dos imágenes del satélite PerúSat1 del 24 de febrero y 19 de marzo del año 2023 para identificar la dispersión de la pluma río Rímac en el Callao durante el período de estudio (Fig. 2c, d), cuyas características espectrales y espaciales se muestran en la Tabla 2. La imagen es distribuida por Agencia Espacial Peruana (CONIDA) a través de la aplicación COF (Customer office) (Ramirez et al., 2019).

Tabla 2. Características espectrales y especiales de la imagen del satélite PerúSat1

Banda Espectral	Rango (µm)	Resolución espacial (m)	Resolución radiométrica
B1 (azul)	0.454 – 0.525	2.8	12 bits
B2 (verde)	0.533 – 0.598	2.8	
B3 (rojo)	0.633 – 0.702	2.8	
B4 (NIR)	0.764 – 0.884	2.8	
PAN (pancromático)	0.451 – 0.745	0.7	

3. Resultados

3.1. Influencia del Niño Costero 2023 en la bahía del Callao

A inicios del periodo de colecta, la descarga del río Rímac se mantuvo constante (20 a 21 m^3/s), pero a partir de enero 2023 tuvo un incremento considerable, registrando mayor descarga en febrero (67.77 m^3/s) y marzo (87.18 m^3/s). Posteriormente, en el último periodo de colecta, la descarga disminuyó y se mantuvo en su valor inicial (20 m^3/s) (Fig. 2a). Las imágenes satelitales del periodo de mayor descarga evidenciaron el impacto de la pluma del río Rímac dirigiéndose hacia el norte del Callao (Fig. 2b, c).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

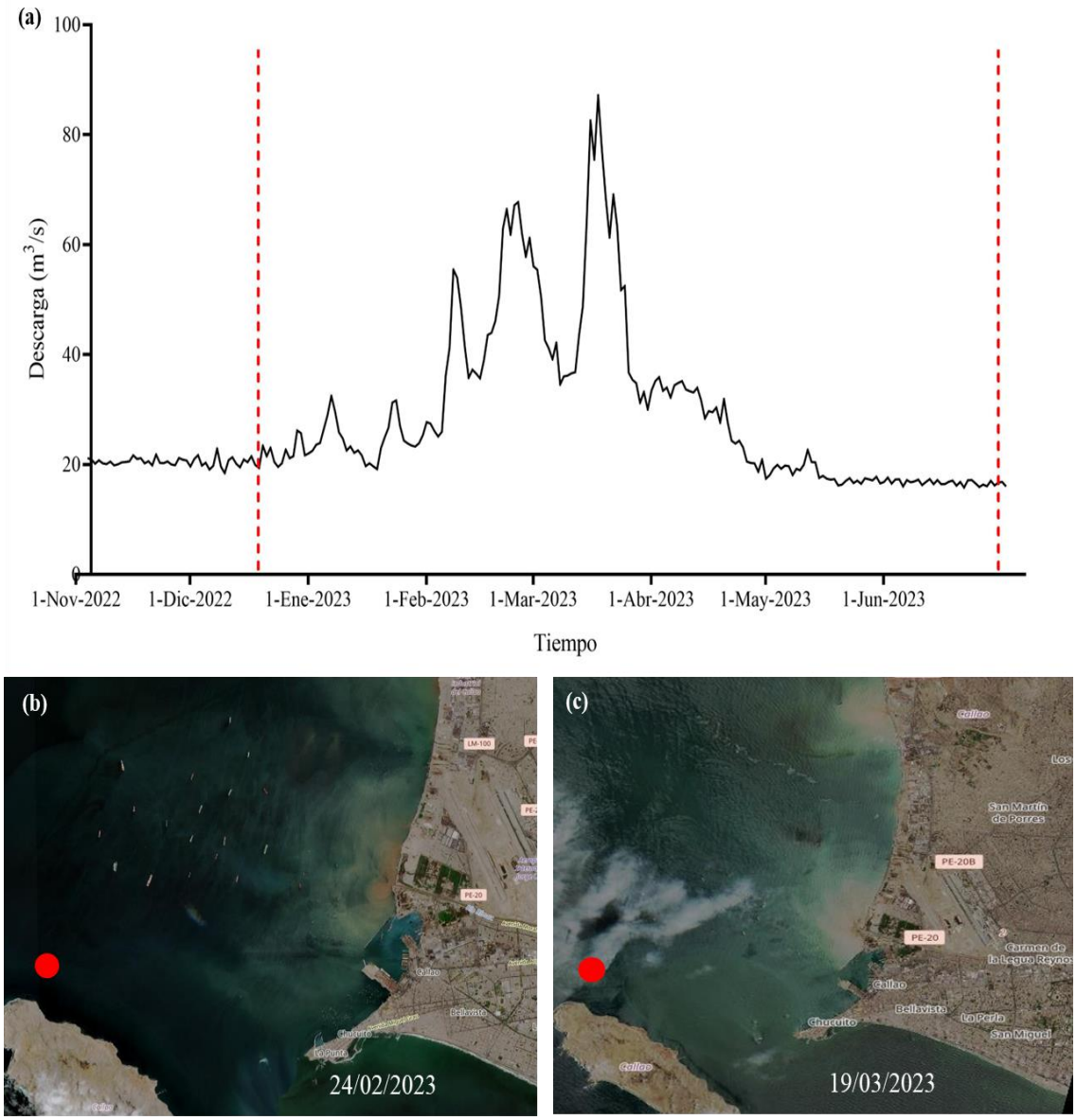


Fig. 2. (a) Niveles de la descarga del río Rímac desde noviembre de 2022 hasta junio de 2023 en la estación Chosica, disponible en SENAMHI. Las líneas rojas marcan el periodo de colecta. (b y c) Imágenes del satélite PeruSat1 de febrero y marzo de 2023 que muestra la pluma de dispersión del río Rímac en el Callao. Punto rojo marca la ubicación de la línea de anclaje.

El registro de la temperatura sobre la columna de agua fue muy similar en las tres profundidades (5, 10 y 15 m) (Fig. 2). A inicios del periodo de colecta, la temperatura se mantuvo relativamente constante (13 a 14 °C); sin embargo, a partir del 15 de febrero de 2023 se registró un incremento abrupto alcanzando un pico a los 19 °C el 28 de febrero.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Entre el mes de marzo hasta la quincena de abril de 2023, la temperatura tuvo un aumento consistente hasta un máximo de 21°C el 13 de abril, oscilando en el último periodo de colecta entre los 18°C a 20°C.

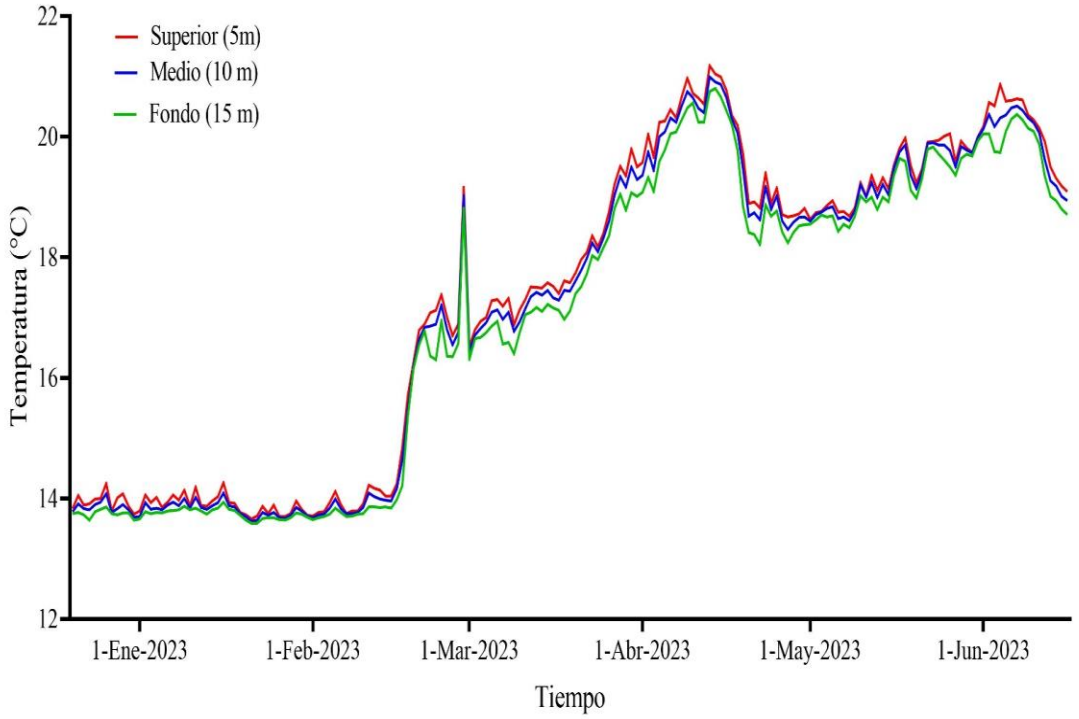


Fig. 3. Registro diario de los sensores de temperatura fijados en la línea de anclaje de la bahía del Callao.

3.2. Flujos de material particulado

El FMT resultó en un promedio de 157.42 ± 20.53 mg $m^{-2}día^{-1}$ (Tabla A1), con un máximo de 171.94 mg $m^{-2}día^{-1}$ (Fig. 4a). Se identificaron dos tipos de pellets fecales: zooplancton y peces. El flujo de pellets de zooplancton (FPZ) tuvo una media de 1.99 ± 0.40 mg $m^{-2}día^{-1}$, contribuyendo con un promedio de 1.26 ± 0.09 % al FMT; en cuanto el

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

flujo de pellets de peces (FPP) fue 9.68 mg $m^{-2}día^{-1}$ y contribuyó con 6.77% al FMT (Tabla A2; Fig. 4b). En la muestra 1' no se encontraron pellets de peces.

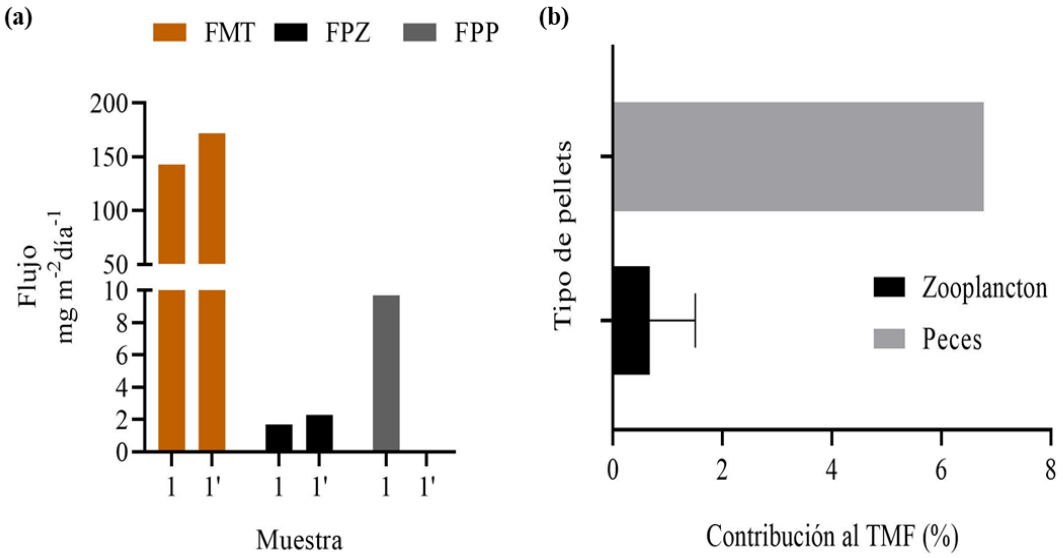


Fig. 4. (a) Rangos de flujo de masa total (FMT), flujo de pellets de zooplancton (FPZ) y flujo de pellets de peces (FPP). (b) Contribución de los pellets fecales de zooplancton (promedio) y peces al FMT.

3.3. Conteo y caracterización de pellets fecales

El conteo de pellets fecales fue de 400 pellets fecales (Tabla 3), donde el 90% estuvo compuesto por pellets de zooplancton (360 pellets) con forma cilíndrica y ovoide presentando colores marrones y marrones claros (Fig. 5a); en cuanto los pellets de peces compusieron el 10% (40 pellets), registrando forma cilíndrica al 100% con colores marrones y verde olivo (Fig. 5b).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

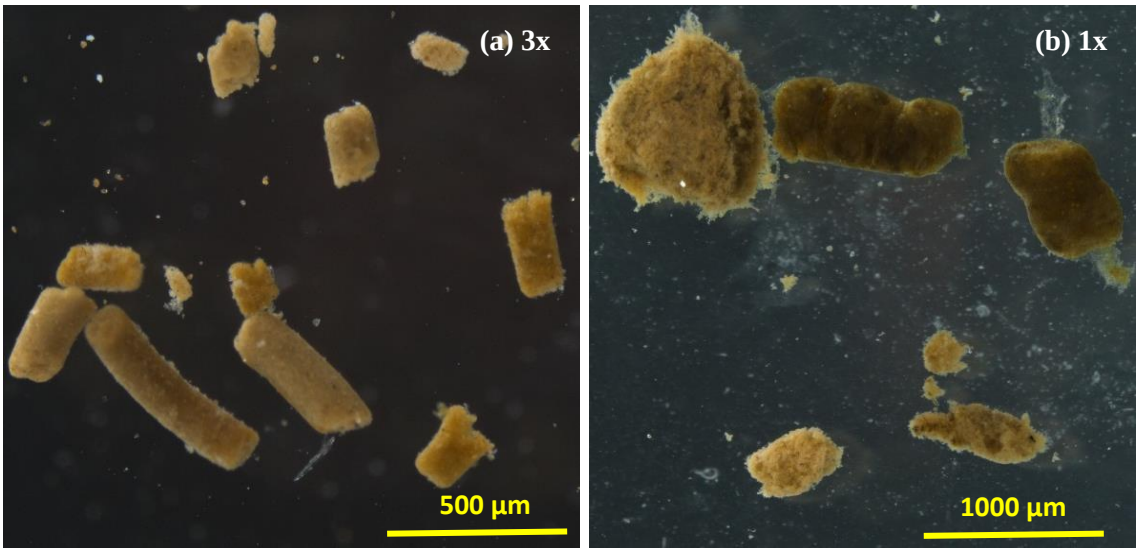


Fig. 5. (a) Pellets fecales de zooplancton en un enfoque de 3x con forma cilíndrica y ovoide. b) Pellets de peces con enfoque de 1x (forma cilíndrica).

Se registró un volumen total de pellets fecales de 195.61 mm^3 (Tabla 3), donde los pellets fecales de zooplancton registraron un volumen de 3.63 mm^3 presentando mayor volumen en la muestra 1' (3.55 mm^3). Los pellets de peces solo se identificaron en la muestra 1 representando un volumen de 191.98 mm^3.

Tabla 3. Volumen total por tipo de pellets en cada muestra

Parámetros	Muestra		Subtotal de pellets	Composición de pellets (%)	Tipo de pellets
	1	1'			
Conteo	120	240	360	90	Zooplancton
Forma cilíndrica (%)	80	90			
Forma ovoide (%)	20	10			
Volumen (mm^3)	0.08	3.55	3.63		
Conteo	40	-	40	10	Peces
Forma cilíndrica (%)	100	-			
Volumen (mm^3)	191.98	-	191.98		
Conteo total	160	240	400		
Volumen (mm^3)	192.06	3.55	195.61		

Los pellets fecales presentaron una alta variabilidad de tamaños en relación con el largo y ancho (Tabla A3). Los pellets de zooplancton presentaron un promedio del tamaño de ancho y largo variando entre 0.1 a 0.4 mm, respectivamente (Fig. 6a, b). Los tamaños de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

los pellets de peces fueron mayores con una variación entre 1 a 2 mm de ancho y largo, respectivamente (Fig. 6c, d).

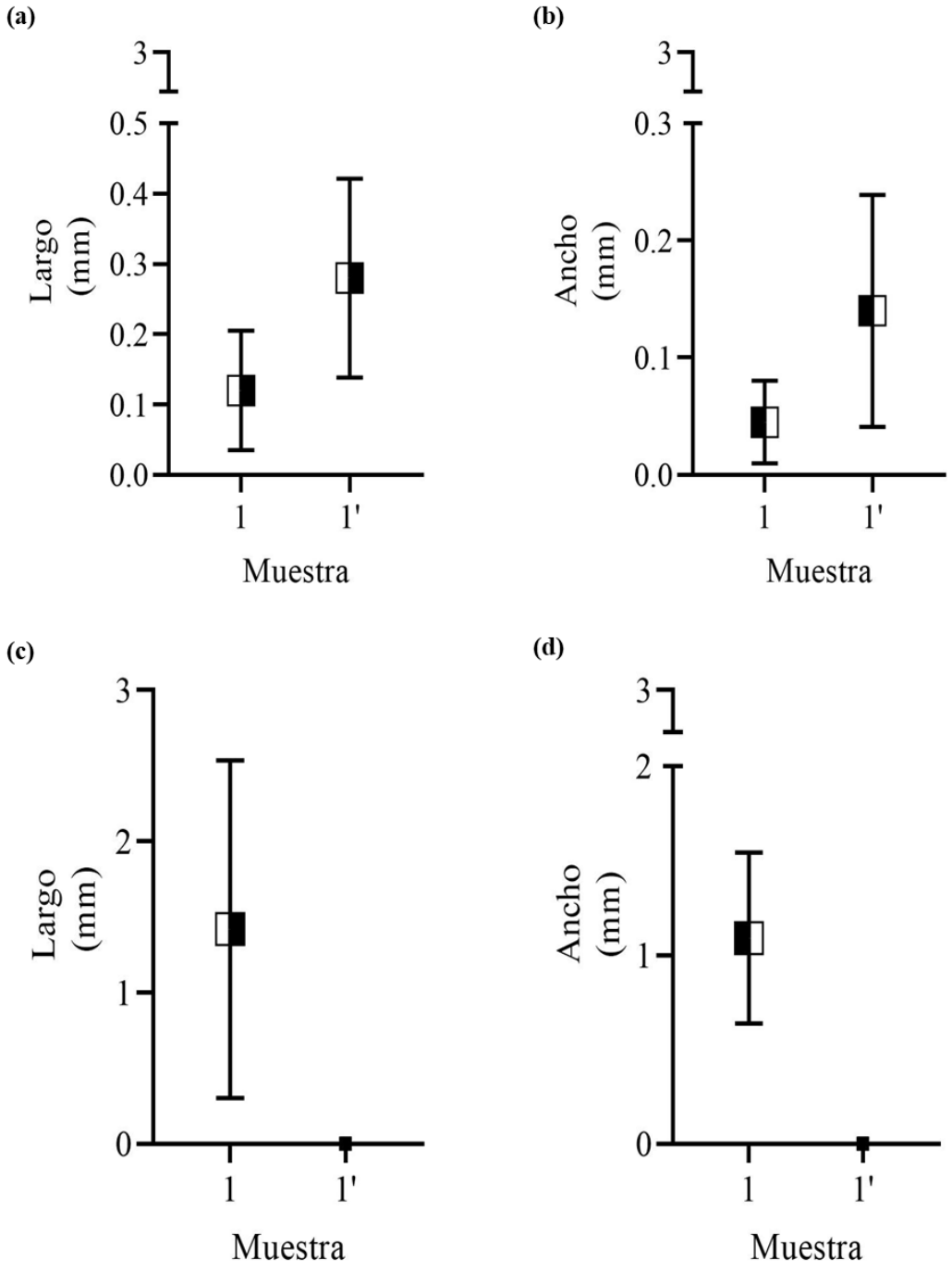


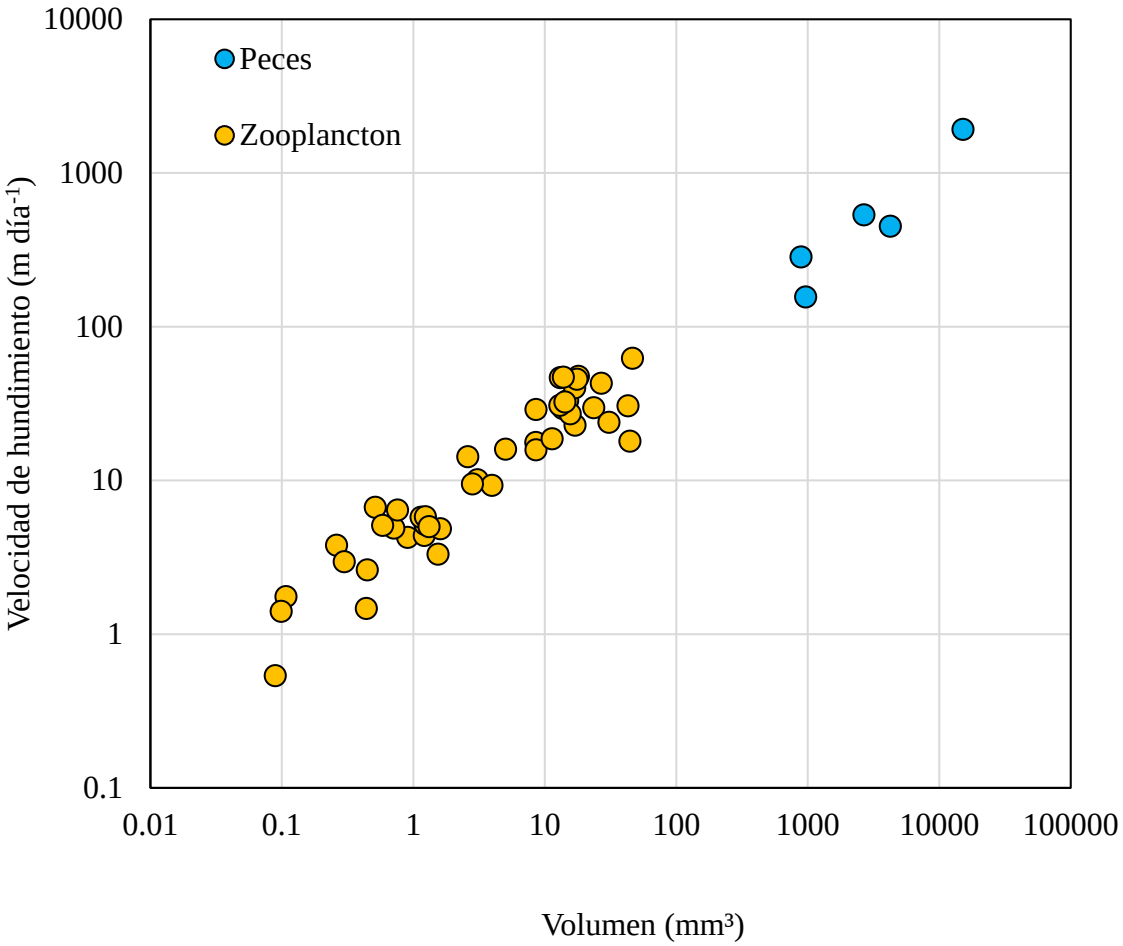
Fig. 5. Variedad de tamaños de largo y ancho de los pellets fecales de zooplancton (a, b) y pellets fecales de peces (c, d).

3.4. Velocidad de hundimiento de los pellets fecales

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Las velocidades de hundimiento de los pellets fecales fueron directamente proporcionales con su volumen (Fig. 7). Los pellets de zooplancton mostraron una velocidad de



hundimiento lenta, con un rango de 0.54 a 62.32 m día^{-1} y una media de 18.34 ± 16.25 m día^{-1}, mientras que los pellets de peces presentaron un mayor valor con rango 155.93 a 1918.32 m día^{-1} y una media de 668.53 ± 713.82 m día^{-1}.

Fig. 7. Velocidad de hundimiento en relación al volumen de los pellets fecales de peces y zooplancton en la bahía del Callao. Ejes en escala logarítmica.

4. Discusión

4.1. Temperatura en la bahía del Callao

El incremento de la temperatura en la BC a partir de febrero de 2023 es acorde con el informe del comité multisectorial peruano encargado del "Estudio Nacional del

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Fenómeno El Niño" (ENFEN) 2023 (Fig. 3), lo cual estuvo acompañado por lluvias de intensidad moderada, causando la alerta de un posible evento El Niño, que fue confirmado a mediados de marzo 2023 (IMARPE, 2023). Este evento fue declarado como un "Niño Costero" con una magnitud moderada, debido a que se observaron anomalías positivas en la temperatura superficial del mar (TSM) principalmente en la costa norte y central del mar peruano (+0.4 °C a +1.0 °C por encima de lo normal), mientras que las condiciones normales se registraron en el Océano Pacífico Central (ENFEN, 2023).

Sumado a la alta variabilidad oceanográfica, los eventos El Niño no ocurren con las mismas magnitudes y/o características (Espinoza-Morriberón et al., 2021). Comparando entre EN costero 2017 y el EN costero 2023, las anomalías de la TSM en el 2017 fueron ~2 veces más altas (+4.0 °C a +6.0 °C) (Ledesma et al., 2021) que la anomalías registradas en el 2023 (+0.5 °C a +4.1°C) (SENAMHI, 2023) para el mismo periodo de estudio, es importante considerar a inicios del 2023 la influencia de la llegada del ciclón Yaku a las costas del Perú (OCHA, 2023), y luego el desarrollo de EN costero 2023. En general, el origen del EN costero todavía se encuentra en discusión (Espinoza-Morriberón et al., 2021).

4.2. Flujo de masa total bajo condiciones del evento EN costero vs. Condiciones normales

El bajo FMT registrado en la BC durante el verano - otoño austral (Tabla 4, Fig. 3a) es coherente con las condiciones ambientales del evento EN costero 2023, ya que el sistema de la Corriente Humboldt presenta una disminución en términos de afloramiento bajo estas condiciones (Tam et al., 2008), debido al debilitamiento de los vientos alisios, comparado con las condiciones oceanográficas normales (Echevin et al., 2008).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Aunque durante los eventos de EN se ha observado una disminución del afloramiento costero, al comparar los hallazgos del FMT con EN costero 2017 (colectado con una trampa automática de sedimentos) a una magnitud extraordinario en la misma área estudio, el flujo estimado fue ~20 veces mayor que el valor calculado en el estudio (Tabla 4). Esto sugiere que el río Rímac es posiblemente un factor importante que influye en las estimaciones del FMT en el Callao, debido a que la descarga registrada en marzo de 2017 fue ~2 veces mayor en comparación con la descarga máxima registrado para marzo 2023 (Fig. 2a), generando mayor impacto de la pluma de dispersión para ese año (Velazco et al., 2021). Las imágenes satelitales de la BC mostraron el bajo impacto del ingreso de material terrígeno para marzo 2023 en el Callao y un transporte de la pluma del río Rímac hacia el norte (Fig. 2c, d), lo cual posiblemente puede atribuirse a los cambios en la circulación atmosférica (Espinoza-Morriberón et al., 2017) debido a la llegada del ciclón Yaku (el primer ciclón en registrarse en la región en los últimos 40 años) (Aponte & Torrejón-Magallanes, 2023) como resultado del desprendimiento de la Zona de Convergencia Intertropical y el debilitamiento de los vientos cerca de la costa (Echevin et al., 2018)

Los registros del material particulado en la costa peruana en condiciones normales presentaron alta variabilidad (Tabla 4). En la costa central, se registró un valor promedio de 601.9 mg $m^{-2}día^{-1}$ (Leigh et al., 2023) y 986 mg $m^{-2}día^{-1}$ (Bretagnon et al., 2018) y en la costa sur, el FMT varió de 821 a 4109.5 mg $m^{-2}día^{-1}$ por Ryther (1963) y un flujo cercano a 1013.6 mg $m^{-2}día^{-1}$ por Rowe (1985). En este sentido, comparando condiciones normales y EN costero en la costa central, el EN costero 2023 presentó un decaimiento de 3 a 6 veces menor que los FMT en condiciones normales, podría estar asociado por un colapso del afloramiento, similar a lo ocurrido durante EN costero 2017 donde se

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

registró una reducción significativa del área productiva frente a la costa de hasta 49% (Ledesma et al., 2021).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 4. Reportes de estudios de FMT y contribución de pellets fecales.

Área de estudio	Fecha de muestreo	Flujo de Masa Total (mg m^{-2}día^{-1})	Pellets fecales (%)	Profundidad (m)	Evento El Niño	Estudio
Bahía del Callao	Diciembre 2022 – Junio 2023	157.4	1.20 – 6.77	30	El Niño Costero 2023	Este estudio
Bahía del Callao	Marzo – Diciembre 2020	601.9	0.03 – 26.95	30		Leigh et al., 2023
Bahía del Callao	Enero – Abril 2017	3130,5		30	El Niño Costero 2017	Velazco et al., 2021
~50 km, Lima	Enero – Marzo 2013	986		34		Bretagnon et al., 2018
Punta Santa Ana	1978		0 - 17	50		Staresinic et al., 1983
15°S, Pisco	1976 - 1978	1013.6		30		Rowe, 1985
15°S, Pisco	1962	821 – 4109.5		30		Ryther, 1963

Tabla 5. Reportes de velocidad de hundimiento a nivel mundial.

Área de estudio	Velocidad de hundimiento (m día^{-1})	Tamaño de pellets (mm)	Profundidad (m)	Estudio
Bahía del Callao	18.34 – 668.53	0.09 – 2.98	32	Este estudio
Bahía del Callao	4.63 – 432.27	0.07 – 6.07	30	Leigh et al., 2023
Bahía del Callao	> 10	0.13 – 2.05	50 - 230	Karthäuser et al., 2021
Bahía del Callao	12.8 – 34.2	0.04 – 1	19	Baumann et al., 2022
Kerguelen Plataeu	13 - 260	1 – 12	20 - 30	Laurenceau et al., 2015
Santa Bárbara	787	1 – 6	50	Saba & Steinberg, 2012
Península Antártica	10 - 150	0.07 – 6	25 - 100	McDonnell & Buesseler, 2010
Islas Orcas, Washington.	120	0.8 – 1.9	21	Hansen et al., 1996
San Pedro Basin, California	74 ± 39	2.4 – 75	10 - 25	Alldredge & Gotschalk, 1988
Punta Santa Ana	1100	1	50	Staresinic et al., 1983

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

4.3. Contribución de pellets fecales al FMT

Las condiciones oceanográficas del mar peruano son muy variables, debido a que influyen en la distribución y abundancia de los peces, lo cual se ve reflejado en la migración de la anchoveta (*Engraulis ringes*) (Gutiérrez et al., 1998) y la migración vertical del zooplancton (Turner, 2014). El efecto de la migración paulatina de cardúmenes de anchoveta hacia el sur del Perú produce una reducción de sus niveles poblacionales en la costa peruana (Bouchon et al., 2015), generando una diminución en la contribución y producción de los pellets fecales. Durante EN costero 2023 en la costa centro del Perú, la contribución de pellets fecales de 1.20 a 6.77% al FMT (Tabla 4, Fig. 3b) es relativamente menor en comparación con los registros en condiciones normales que oscilan entre 0.03 a 26.95% (Leigh et al., 2023); asimismo, en la costa sur, la contribución de pellets fecales es 0 al 17% (Staresinic et al., 1983).

Para la contribución de los pellets fecales de la costa central, en condiciones oceanográficas normales se observó que las contribuciones al FMT es hasta 4 veces menos a las contribuciones de pellets fecales en las condiciones oceanográficas de EN costero 2023. La baja contribución de pellets fecales al FMT es posiblemente producto de la escasez de nutrientes (Ledesma et al., 2021), generando un impacto en la productividad primaria y en el crecimiento de los peces y del zooplancton. Esto sugiere que diversos factores pueden influir en la contribución de los pellets fecales, tales como ubicación, la estacionalidad del muestreo, entre otros (Karl & Knauer, 1984).

4.4. Características morfológicas y velocidad de hundimiento de los pellets fecales

En el presente estudio, se encontraron formas de pellets fecales idénticas (Fig. 5) al reporte de Leigh et al. (2023); sin embargo, los colores presentaron cierta diferencia ya que se observaron pellets de peces de color verde olivo (Fig. 5b), posiblemente debido a

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

la dieta del productor. Según Hansen et al. (1996), los pellets verdes pueden indicar que el productor se alimenta de fitoplancton, lo cual puede atribuirse a la anchoveta ya que se alimenta de los productores primarios (Rojas et al., 1969). En cuanto a los productores de pellets de zooplancton (Fig. 5a), pueden originarse por grupos de copépodos y larvas (Apendicularias), puesto que estos grupos se encuentran frecuentemente en la BC, principalmente la especie *Acartia* sp. (Aronés, 2022), lo cual concuerda con las especies observadas en las muestras (*Acartia*, *Paracalanus* y *Oikopleura*).

El recuento y el volumen de pellets fecales reportado en este estudio son inferiores (Tabla 3) a los hallazgos de Leigh et al. (2023) con un recuentro de 6356 pellets y un volumen de 4114.9 mm^3 (misma área de estudio), y Staresinic et al. (1983), con un valor máximo de 2569 pellets fecales (costa sur del Perú). Estos reportes sugieren que el número y la distribución de pellets pueden variar dependiendo de la dinámica de la productividad local y la temporalidad, por ejemplo, la intervención de algún tipo de bioincrustación que influya en la producción y el volumen de estos pellets.

El tamaño de los pellets fecales (Fig. 6) está inversamente relacionado con la velocidad de hundimiento, debido a que los pellets pequeños descienden más lentamente, mientras que los pellets más grandes tienden a hundirse rápidamente (Saba & Steinberg, 2012), lo cual concuerda con el comportamiento de los pellets fecales en el presente estudio, en el que la velocidad de hundimiento de los pellets de zooplancton fue lenta en comparación a los pellets de peces (Fig. 7). La velocidad de hundimiento de los pellets fecales en esta investigación fue mayor en comparación con otros reportes de la misma área de estudio (Tabla 5), siendo cuatro veces mayor para pellets de zooplancton y ~2 veces mayor para pellets de peces, en comparación con el estudio de Leigh et al. (2023). Sin embargo, en el análisis de Staresinic et al. (1983) en el sur de Perú, la velocidad de hundimiento fue ~2 veces mayor al valor de nuestros hallazgos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Las velocidades estimadas en este estudio fueron relativamente mayores (~2 a 9 veces mayores) si se comparan con los reportes de otros locales, como Alldredge & Gotschalk (1988); Hansen et al. (1996); Laurenceau-Cornec et al. (2015) y McDonnell & Buesseler (2010) (Tabla 5); sin embargo, en el reporte de Saba & Steinberg (2012), la velocidad estimada (787 m día^{-1}) fue mayor y estuvo asociada con pellets fecales de cardúmenes de engráulidos. La alta velocidad de hundimiento de los pellets puede ocurrir dependiendo de muchos factores, por ejemplo, propiedades de los pellets, ubicación geográfica y sus patrones de circulación, entre otros (McDonnell & Buesseler, 2010).

Los resultados de este estudio contribuyen en la comprensión de la dinámica de exportación y caracterización de los pellets fecales, proporcionando información valiosa sobre su función en el ciclo de carbono.

5. Conclusiones

El estudio realizado en la BC durante el evento EN costero 2023 proporciona una visión detallada de los flujos de partículas y de la contribución de los pellets fecales en condiciones oceanográficas de fase cálida. Durante este evento, se observó una disminución significativa de la FMT, atribuida principalmente a la llegada del ciclón Yaku, y la posible reducción de la productividad asociada con el debilitamiento de los vientos alisios normales que resulta en una disminución en términos de afloramiento. Además, el FMT no fue impactada por la influencia de la descarga del río Rímac debido a que su pluma de dispersión se dirigió hacia el norte. En este escenario, se identificó una baja contribución de pellets fecales al FMT, sugiriendo una posible escasez de nutrientes y su impacto en la productividad primaria. La caracterización morfológica y la determinación de la velocidad de hundimiento de los pellets fecales proporcionaron información relevante sobre la composición y el comportamiento de estos materiales en el medio marino. Se observaron diferencias en la forma y el color de los pellets fecales,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

lo que indica posibles variaciones en la dieta de los organismos productores. Asimismo, se observó que los pellets fecales de zooplancton presentaban una velocidad de hundimiento más lenta que los de peces, lo que sugiere diferencias en su dinámica de sedimentación.

Estos resultados enfatizan la importancia de considerar las condiciones oceanográficas cuando se evalúan los flujos de material particulado y la contribución de los pellets fecales en los ecosistemas marinos. Además, proporcionan una base para futuras investigaciones sobre la dinámica de los nutrientes y la productividad en el contexto de eventos climáticos como EN. Asimismo, se necesitan más datos y nuestros ad hoc para definir mejor la variabilidad de la producción y exportación de MOP bajo condiciones de EN costero, ya que se trata de un evento atípico que aún está siendo estudiado desde diversos enfoques.

Declaración de intereses en competencia: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Disponibilidad de datos: Los conjuntos de datos generados y analizados en el presente estudio estarán disponibles previa solicitud al autor correspondiente.

Contribuciones de autor

Conceptualización, María Cholan y Ursula Mendoza; **Curación de datos,** María Cholan, Víctor Aramayo y Ursula Mendoza; **Análisis formal**, María Cholan, Bobby Leigh y Ursula Mendoza; **Adquisición de financiación**, Ursula Mendoza y Michelle Graco; **Investigación,** María Cholan y Ursula Mendoza; **Metodología,** María Cholan, Bobby Leigh, Ursula Mendoza, Víctor Aramayo, Federico Velazco, Patricia Ayón, Ernesto Fernández y Luis Escudero; **Administración de proyectos**, Ursula Mendoza y Michelle Graco; **Recursos**, Ursula Mendoza, Michelle Graco y Patricia Ayón; **Software,** María Cholan, Bobby Leigh y Víctor Aramayo; **Supervisión,** Ursula Mendoza y Patricia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Ayón; **Validación,** Ursula Mendoza y Víctor Aramayo; **Visualización,** María Cholan y Ursula Mendoza; **Escritura: borrador original**, María Cholan y Ursula Mendoza; **Redacción: revisión y edición**, María Cholan, Ursula Mendoza, Víctor Aramyo, Bobby Leigh, Federico Velazco, Ernesto Fernández, Luis Escudero, Michelle Graco, Patricia Ayón and Salma García. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Agradecimientos

Agradecemos al Ing. Luis Vásquez, jefe de la Dirección General de Investigación en Oceanográfica y Cambio Climático del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), y a los científicos del Laboratorio de Geología Marina, Laboratorio de Hidroquímica Marina, especialmente a Wilson Carhuapoma, Jesús Ledesma, Miriam Montes y Kevin Díaz por el apoyo operativo en las actividades de campo y laboratorio. Este trabajo es una contribución en el marco del convenio general entre la Universidad Científica del Sur y el IMARPE, a través del Proyecto "Observatorio marino costero con sensores inteligentes y de bajo costo para la Investigación de estresores múltiples a largo plazo y alta frecuencia". Este trabajo es una contribución del proyecto nacional "Estudio integrado de los procesos físicos, químicos y biológicos de los ecosistemas costeros" del IMARPE, PPR 137.

Financiamiento: Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [subvención número 045,2021-FONDECYT] a través de su unidad ejecutora "Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados" (Prociencia) y el Programa Nacional de Becas y Créditos Educativos [N° 3551,2018 – PRONABEC].

Apéndice A.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla A1. Media y desviación estándar (DE) del flujo de masa total (FMT), flujo de pellets de zooplancton (FPZ) y flujo de pellets de peces (FPP).

Muestra	Tipo de flujo	Flujo total (mg m^{-2}día^{-1})	Media	DE
1	FMT	142.90	157.42	20.53
1'		171.94		
1	FPZ	1.71	1.99	0.40
1'		2.28		
1	FPP	9.68	-	-

Tabla A2. Flujo de pellets fecales y su contribución al flujo de masa total (FMT).

Muestra	Fuente	Flujo de pellets fecales (mg m^{-2} day^{-1})	Contribución al TMF (%)
1	Zooplancton	1.71	1.20
	Peces	9.68	6.77
1'	Zooplancton	2.28	1.33

Tabla A3. Rango y medias (largo y ancho) de los tamaños de pellets fecales.

Muestra	Rango del largo (mm)	Media del largo (mm)	Rango del ancho (mm)	Media del ancho (mm)	Tipo de pellets
1	0.087 - 0.307	0.18 ± 0.06	0.029 - 0.099	0.07 ± 0.02	Zooplancton
1'	0.184 - 1.007	0.38 ± 0.18	0.075 - 0.349	0.21 ± 0.07	
1	1.372 - 2.981	2.21 ± 0.63	0.762 - 2.708	1.41 ± 0.77	Peces
1'	-	-	-	-	

Referencias

Alheit, J., & Niquen, M. (2004). Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem. Progress in Oceanography, 60(2), 201-222. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2004.02.006

Alldredge, A. L., & Gotschalk, C. (1988). In situ settling behavior of marine snow1. Limnology and Oceanography, 33(3), 339-351. https://doi.org/10.4319/lo.1988.33.3.0339

Aponte, H., & Torrejón-Magallanes, J. (2023). Lluvias, inundaciones y su impacto en la población peruana: ¿hemos aprendido la lección? South Sustainability, 4(1), e075-e075. https://doi.org/10.21142/SS-0401-2023-e075.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Aramayo, V., Romero, D., Quipúzcoa, L., Graco, M., Marquina, R., Solís, J., & Velazco, F. (2021). Respuestas del bentos marino frente a el Niño costero 2017 en la plataforma continental de Perú central (Callao, 12°S). Boletin Instituto del Mar del Perú, 36(2), 476-509. https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.349

Aronés, K. (2022). Variabilidad temporal del zooplancton en la Estación Fija frente a Carpayo, Callao entre 2014 y 2019. Instituto del Mar del Perú. https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/4878

Baumann, M., Paul, A. J., Taucher, J., Bach, L. T., Goldenberg, S., Stange, P., Minutolo, F., & Riebesell, U. (2023). Drivers of particle sinking velocities in the Peruvian upwelling system. Biogeosciences, 20(13), 2595-2612. https://doi.org/10.5194/bg-20-2595-2023

Bouchon, M., Peña, C., & Salcedo, J. (2015). El evento El Niño 2014 y su impacto en la pesquería de anchoveta en el mar peruano. Instituto del Mar del Perú, 1(1-4). https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/2958

Bretagnon, M., Paulmier, A., Garçon, V., Dewitte, B., Illig, S., Leblond, N., Coppola, L., Campos, F., Velazco, F., Panagiotopoulos, C., Oschlies, A., Hernandez-Ayon, J. M., Maske, H., Vergara, O., Montes, I., Martinez, P., Carrasco, E., Grelet, J., Desprez-De-Gesincourt, O., Maes, C., & Scouarnec, L. (2018). Modulation of the vertical particle transfer efficiency in the oxygen minimum zone off Peru. Biogeosciences, 15(16), 5093-5111. https://doi.org/10.5194/bg-15-5093-2018

Calienes, R., Guillén, O., & Lostaunau, N. (1985). Variabilidad espacio-temporal de clorofila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Instituto del Mar del Perú - IMARPE, 10(1), 1-44.

Chávez, F. P., Barber, R. T., & Sanderson, M. P. (1989). The potential Primary Production of the Peruvian Upwelling System. Instituto del Mar del Perú.

Chen, C.-T. A. (2004). Exchanges of carbon in the coastal seas. In Field, C., & Raupach M (eds.), The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate, and the Natural World, 62, 341. Island Press, Unites States.

Correa, D., Tam, J., Pasapera, J., Saavedra, M., & Ingunza, A. (2008). Modelado de la circulación marina y descargas hipotéticas en la bahía del Callao, Perú. Instituto del Mar del Perú, 35(3).

Delgado, C., & Gomero, R. (1985). Algunas observaciones sobre las características de los Sedimentos del Área: Isla de San Lorenzo-La Punta. [Inf. Interno Chucuito-Callao]. Instituto del Mar del Perú.

Dillon, W. P. (1964). Flotation Technique for Separating Fecal Pellets and Small Marine Organisms from Sand1. Limnology and Oceanography, 9(4), 601-602. https://doi.org/10.4319/lo.1964.9.4.0601

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Echevin, V., Aumont, O., Ledesma, J., & Flores, G. (2008). The seasonal cycle of surface chlorophyll in the Peruvian upwelling system: A modelling study. Progress in Oceanography, 79(2), 167-176. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.026

Echevin, V., Colas, F., Espinoza-Morriberon, D., Vasquez, L., Anculle, T., & Gutierrez, D. (2018). Forcings and Evolution of the 2017 Coastal El Niño Off Northern Peru and Ecuador. Frontiers in Marine Science, 5. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2018.00367

ENFEN. (2023). Comunicado Oficial ENFEN N°3—2023. Repositorio Institucional - SENAMHI. http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/2695

Espinoza-Morriberón, D., Ledesma Rivera, J., Colas, F., Echevin, V., Anculle, T., & Tam Málaga, J. (2017). Productividad en el sistema de afloramiento peruano durante El Niño 2015-2016. Instituto del Mar del Perú. https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3227

Espinoza-Morriberón, D., Echevin, V., Colas, F., Díaz, E., Tam, J., Anculle, T., Ledesma, J., & Gutiérrez, D. (2021). Diferencias entre los impactos en la costa peruana de los eventos ENOS cálidos y El Niño Costero 2017: Vientos, afloramiento, productividad y anchoveta. Instituto del Mar del Perú. https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.341

Fowler, S. W., & Knauer, G. A. (1986). Role of large particles in the transport of elements and organic compounds through the oceanic water column. Progress in Oceanography, 16(3), 147-194. https://doi.org/10.1016/0079-6611(86)90032-7

Friederich, G. E., Ledesma, J., Ulloa, O., & Chavez, F. P. (2008). Air–sea carbon dioxide fluxes in the coastal southeastern tropical Pacific. Progress in Oceanography, 79(2), 156-166. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.001

González, H. E., Ortiz, V. C., & Sobarzo, M. (2000). The role of faecal material in the particulate organic carbon flux in the northern Humboldt Current, Chile (23°S), before and during the 1997–1998 El Niño. Journal of Plankton Research, 22(3), 499-529.

Grasshoff, K., Kremling, K., & Ehrhardt, M. (1983). Methods of Seawater Analysis (2.ª ed.). Verlag Chemie Weinhein.

Guillén, O., Delgado, C., & Poma, R. (1985). Distribución de cobre, plomo, zinc y cadmio en los sedimentos del Puerto del Callao. Instituto del Mar del Perú. https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3052

Gutiérrez, M., Herrera, N., & Marín, D. (1998). Distribución y abundancia de anchoveta y otras especies pelágicas entre los eventos El Niño 1982-83 y 1997-98. Instituto del Mar del Perú. https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/985

Hansen, J., Kiørboe, T., & Alldredge, A. (1996). Marine snow derived from abandoned larvacean houses: Sinking rates, particle content and mechanisms of aggregate

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

formation. Marine Ecology Progress Series, 141, 205-215. https://doi.org/10.3354/meps141205

IMARPE. (2023). Comunicado oficial del ENFEN N.º 03-2023. «Estado del sistema alerta: Alerta de El Niño costero. Instituto de Mar del Perú. https://www.gob.pe/institucion/imarpe/informes-publicaciones/4007135-comunicado_of_enfen-n-03-2023

Janke, N. C. (1966). Effect of shape upon the settling vellocity of regular convex geometric particles. Journal of Sedimentary Research, 36(2), 370-376. https://doi.org/10.1306/74D714C4-2B21-11D7-8648000102C1865D

Kämpf, J., & Chapman, P. (2016). Upwelling Systems of the World. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42524-5

Karl, D. M., & Knauer, G. A. (1984). Vertical distribution, transport, and exchange of carbon in the northeast Pacific Ocean: Evidence for multiple zones of biological activity. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 31(3), 221-243. https://doi.org/10.1016/0198-0149(84)90103-1

Karl, D. M., Knauer, G. A., & Martin, J. H. (1988). Downward flux of particulate organic matter in the ocean: A particle decomposition paradox. Nature, 332(6163). https://doi.org/10.1038/332438a0

Karthäuser, C., Ahmerkamp, S., Marchant, H. K., Bristow, L. A., Hauss, H., Iversen, M. H., Kiko, R., Maerz, J., Lavik, G., & Kuypers, M. M. M. (2021). Small sinking particles control anammox rates in the Peruvian oxygen minimum zone. Nature Communications, 12(1). https://doi.org/10.1038/s41467-021-23340-4

Komar, P. D., Morse, A. P., Small, L. F., & Fowler, S. W. (1981). An analysis of sinking rates of natural copepod and euphausiid fecal pellets1. Limnology and Oceanography, 26(1), 172-180. https://doi.org/10.4319/lo.1981.26.1.0172

Laurenceau-Cornec, E. C., Trull, T. W., Davies, D. M., Rocha, C. L. D. L., & Blain, S. (2015). Phytoplankton morphology controls on marine snow sinking velocity. Marine Ecology Progress Series, 520, 35-56. https://doi.org/10.3354/meps11116

Ledesma, J., Graco, M., Tam, J., Díaz, K., Anculle, T., García, W., Bernales, A., Quispe, D., Espinoza, D., Carhuapoma, W., & Gutiérrez, D. (2021). Efectos de El Niño Costero 2017 sobre la oxigenación, fertilidad y productividad del mar frente a las costas del Perú. Instituto del Mar del Perú, 36(2), 409-427. https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.345

Legendre, L., & Rassoulzadegan, F. (1996). Food-web mediated export of biogenic carbon in oceans: Hydrodynamic control. Marine Ecology Progress Series, 145, 179-193. https://doi.org/10.3354/meps145179

Leigh, B., Aramayo, V., Mendoza, U., Velazco, F., Kiko, R., Ayón, P., Fernández, E., & Graco, M. (2023). Total Mass Flux in the Northern Humboldt Current System:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Rates and Contribution Sources from Central Peru (12° S). Hydrobiology, 2(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/hydrobiology2040035

McDonnell, A. M. P., & Buesseler, K. O. (2010). Variability in the average sinking velocity of marine particles. Limnology and Oceanography, 55(5), 2085-2096. https://doi.org/10.4319/lo.2010.55.5.2085

Mendoza, U., Ayón, P., Leigh, B., Oyola, W., Bach, L., Caquineau, S., Bouloubassi, I., Velazco, F., Turcq, B., Sifeddine, A., Chang, F., Quesquén, R., & Graco, M. (2022). Procedimiento para división y retirada de nadadores- pellets fecales de muestras de trampa de sedimento colectadas en el sistema de afloramiento del norte de la Corriente de Humboldt. Repositorio Digital Instituto del Mar del Perú, 49(2), 8.

OCHA. (2023). Perú: Lluvias e inundaciones, Reporte de Situación No. 01 (27 de marzo de 2023) - Peru | ReliefWeb. https://reliefweb.int/report/peru/peru-lluvias-e-inundaciones-reporte-de-situacion-no-01-27-de-marzo-de-2023

Peinert, R., Bodungen, B. von, & Smetacek, V. (1989). Food web structure and loss rate.

Pennington, J. T., Mahoney, K. L., Kuwahara, V. S., Kolber, D. D., Calienes, R., & Chavez, F. P. (2006). Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. Progress in Oceanography, 69(2), 285-317. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.012

Ramirez, A., Pacheco, A., & Telles, J. (2019). Mapping vegetation, water bodies and urban areas in PeruSAT-1 satellite imagery. 2019 XXII Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision (STSIVA), 1-4. https://doi.org/10.1109/STSIVA.2019.8730269

Rojas de Mendiola, B., Ochoa López, N., Calienes, R., & Gómez Caballero, O. (1969). Contenido estomacal de la anchoveta en cuatro áreas de la costa peruana. Instituto del Mar del Perú. https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/255

Rowe, G. T. (1985). Benthic production and processes off Baja California, Northwest Africa and Peru: A classification of benthic subsystems in upwelling ecosystems. Instituto de Investigaciones Pesqueras, 2, 598-612.

Ryther, J. H. (1963). Geographic variations in productivity. In Hill. M. N. (ed.), The sea. Vol. II, Wiley-Interscience, New York, 347-380.

Saba, G. K., & Steinberg, D. K. (2012). Abundance, Composition and Sinking Rates of Fish Fecal Pellets in the Santa Barbara Channel. Scientific Reports, 2(1). https://doi.org/10.1038/srep00716

SENAMHI. (2023). Monitoreo de las temperaturas del aire en la costa peruana (01 al 10 de junio 2023). Repositorio Institucional - SENAMHI. http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/2816

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Silver, M. W., & Gowing, M. M. (1991). The "particle" flux: Origins and biological components. Progress in Oceanography, 26(1), 75-113. https://doi.org/10.1016/0079-6611(91)90007-9

Silverberg, N., Aguirre, F., Aguíñiga, S., & Romero, N. (2006). Vertical flux of particulate matter in Alfonso Basin, La Paz Bay, during 2002. Ciencias Marinas, 32(1). https://doi.org/10.7773/cm.v32i1.63

Staresinic, N., Farrington, J., Gagosian, R. B., Clifford, C. H., & Hulburt, E. M. (1983). Downward Transport of Particulate Matter in the Peru Coastal Upwelling: Role of the Anchoveta, Engraulis Ringens. In E. Suess & J. Thiede (Eds.), Coastal Upwelling Its Sediment Record, 26, 225-240. Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6651-9_12

Tam, J., Taylor, M. H., Blaskovic, V., Espinoza, P., Michael Ballón, R., Díaz, E., Wosnitza-Mendo, C., Argüelles, J., Purca, S., Ayón, P., Quipuzcoa, L., Gutiérrez, D., Goya, E., Ochoa, N., & Wolff, M. (2008). Trophic modeling of the Northern Humboldt Current Ecosystem, Part I: Comparing trophic linkages under La Niña and El Niño conditions. Progress in Oceanography, 79(2), 352-365. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.007

Turner, J. T. (2014). Zooplankton fecal pellets, marine snow, phytodetritus and the ocean's biological pump. Progress in Oceanography, 130, 205-248. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.08.005

Urban, J. L., Deibel, D., & Schwinghamer, P. (1993). Seasonal variations in the densities of fecal pellets produced by *Oikopleura vanhoeffeni* (C. Larvacea) and *Calanus finmarchicus* (C. Copepoda). Marine Biology, 117(4), 607-613. https://doi.org/10.1007/BF00349772

Velazco, F. (2011). Sedimentos marinos superficiales en la bahía del Callao, Perú. 1997. Boletin Instituto del Mar del Perú, 26(1-2),75-82. https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/113

Velazco, F., Mendoza, U., Solís, J., Fernandez, E., Caquineau, S., Sifeddine, A., Graco, M., Bouloubassi, I., Turcq, B., Leigh, B., Sócola, M., Carhuapoma, W., Carrasco, E., & Gutiérrez, D. (2021). Flujos de material particulado y formación de una lámina de sedimentos en la plataforma continental interna frente al Callao durante El Niño Costero 2017. Boletin Instituto del Mar del Perú, 36(2), 428-451. https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.346

Wilson, S. E., Steinberg, D. K., & Buesseler, K. O. (2008). Changes in fecal pellet characteristics with depth as indicators of zooplankton repackaging of particles in the mesopelagic zone of the subtropical and subarctic North Pacific Ocean. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 55(14), 1636-1647. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.04.019

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Zuta, S., & Guillén, O. (1970). Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Boletin Instituto del Mar del Perú, 2(5), 157-324. https://hdl.handle.net/20.500.12958/949

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Gmail María del Pilar Cholan Zegarra <mariadelpilar.ucsur@gmail.com>

Confirm co-authorship of submission to Journal of Marine Systems

1 mensaje

Journal of Marine Systems <em@editorialmanager.com> 18 de febrero de 2024, 3:45 p.m.
Responder a: Journal of Marine Systems <support@elsevier.com>
Para: María Cholan <mariadelpilar.ucsur@gmail.com>

This is an automated message.

Journal: Journal of Marine Systems
Title: Export of particulate matter from central Peru (Callao, 12° S) during the 2023 coastal El Niño
Corresponding Author: Prof. Dr. ursula Neira Mendoza
Co-Authors: María Cholan, Bsc; Bobby Leigh, BSc; Víctor Aramayo, Bsc; Federico Velazco, Bsc; Patricia Ayón, Bsc; Ernesto Fernández, Msc; Luis Escudero, Bsc; Salma García, Msc; Michelle Graco, PhD
Manuscript Number: **MARSYS-D-24-00041**

Dear María Cholan,

The corresponding author Prof. Dr. ursula Neira Mendoza has listed you as a contributing author of the following submission via Elsevier's online submission system for Journal of Marine Systems.

Submission Title: Export of particulate matter from central Peru (Callao, 12° S) during the 2023 coastal El Niño

Elsevier asks all authors to verify their co-authorship by confirming agreement to publish this article if it is accepted for publication.

Please read the following statement and confirm your agreement by clicking on this link: Yes, I am affiliated.

I irrevocably authorize and grant my full consent to the corresponding author of the manuscript to: (1) enter into an exclusive publishing agreement with Elsevier on my behalf (or, if the article is to be published under a CC BY license, a non-exclusive publishing agreement), in the relevant form set out at www.elsevier.com/copyright ; and (2) unless I am a US government employee, to transfer my copyright or grant an exclusive license of rights (or for CC BY articles a non-exclusive license of rights) to Elsevier as part of that publishing agreement , effective on acceptance of the article for publication. If the article is a work made for hire, I am authorized to confirm this on behalf of my employer. I agree that the copyright status selected by the corresponding author for the article if it is accepted for publication shall apply and that this agreement is subject to the governing law of the country in which the journal owner is located.

If you did not co-author this submission, please contact the corresponding author directly at umendoza@imarpe.gob.pe.

Thank you,
Journal of Marine Systems

More information and support
FAQ: What is copyright co-author verification?
https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28460/supporthub/publishing/
FAQ: How can I reset a forgotten password?
https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/
For further assistance, please visit our customer service site: https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/
Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Remove my information/details). Please contact the publication office if you have any questions.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Journal of Marine Systems

Export of particulate matter from central Peru (Callao, 12° S) during the 2023 coastal El Niño

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Research Paper
Keywords:	vertical flux; fecal pellets; sinking velocity; zooplankton; Callao Perú
Corresponding Author:	ursula Neira Mendoza, PhD Instituto del Mar del Perú Callao, Lima PERU
First Author:	María Cholan, Bsc
Order of Authors:	María Cholan, Bsc
	Ursula Mendoza, PhD
	Bobby Leigh, BSc
	Víctor Aramayo, Bsc
	Federico Velazco, Bsc
	Patricia Ayón, Bsc
	Ernesto Fernández, Msc
	Luis Escudero, Bsc
	Salma García, Msc
	Michelle Graco, PhD
Abstract:	The total mass flux (TMF) of particulate organic material at the surface and its subsequent export to the seafloor is a crucial process for the metabolic functioning of marine ecosystems because it permanently provides organic compounds that support life both in the water column and on the bottom. The compounds come in two forms: particulate organic carbon and dissolved organic carbon. The objective of this work was to determine the TMF and the contribution of fecal pellets in Callao Bay (12° S, Peru) under coastal El Niño (EN) 2023 conditions. A mechanical sediment trap (at 32 m) and temperature sensors (at 5, 10 and 15 m), fixed on a mooring line during the austral summer until autumn 2023 (179 days), were installed for TMF quantification and its characterization in relation to fecal pellets at Callao Bay. The average TMF was 157 ± 20.53 mg m-2day-1; this low value would be associated with the oceanographic conditions of the 2023 coastal EN event. Fecal pellets of zooplankton and fish were identified. Zooplankton pellets presented two different shapes (cylindrical and ovoid) and their flux recorded a mean of 1.99 ± 0.40 mg m-2day-1, with a contribution of 1.26 ± 0.09% to the TMF. Fish pellets presented only one shape (cylindrical) and showed a flux of 9.68 mg m-2day-1, with a contribution of 6.77% to the TMF. There is a notable difference between the contributions of zooplankton pellet flux and fish pellet flux to the TMF. Size and volume directly influence the sinking velocity of fecal pellets. Zooplankton pellets, being small (0.1 to 0.4 mm) and having smaller volumes, have a slow sinking velocity with a mean of 18.34 ± 16.25 m day-1; whereas, fish pellets being larger (1 to 2 mm) with higher volumes, sediment faster with a mean of 668.53 ± 713.82 m day-1. These findings show a decay of the TMF and the low production of zooplankton and fish fecal pellets, in addition to their rapid sinking, under the effects of 2023 coastal EN off the Peruvian coast.
Suggested Reviewers:	Humberto Gonzales, Dr. Professor, Universidad Austral de Chile hgonzale@uach.cl Biological oceanographer has experience in carbon flows through the classical and microbial pelagic food webs from the upwelling systems from the northern, central and southern Humboldt Current System off Chile.

Powered by Editorial Manager® and ProduXion Manager® from Aries Systems Corporation

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 001-DACBM-DAFCVB-U. CIENTÍFICA-2023

Lima, 09 de enero del 2023

Visto los proyectos de tesis presentados por los estudiantes de la Carrera de Biología Marina, se expide la presente Resolución:

CONSIDERANDO:

- Que, para optar el título profesional en Biología Marina, de la Carrera de Biología Marina de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas de la Universidad Científica del Sur, es necesario la realización y sustentación de una tesis.
- Que, el Reglamento de Tesis pertinente, dispone que el Proyecto de Tesis debe ser presentado a la Carrera de acuerdo con el perfil aprobado, el cual debe ser dictaminado por el Comité de Investigación.
- Que, los estudiantes has cumplido con presentar su proyecto de tesis, bajo la asesoría de sus asesores.
- Que la Comisión de Grados y Títulos de la Dirección ha emitido una evaluación favorable y recomienda la inscripción del proyecto citado.

Se expide la resolución:

ESTUDIANTE:	**Juan Augusto Randu Tarrillo Vargas**
TÍTULO:	Evaluación de parámetros de crecimiento de Zea mays L. emplenado diferentes concentraciones de biofertilizantes a base de macroalgas "
ASESOR:	Paul Martín Baltazar Guerrero
N° REGISTRO:	PRE-5-2022-00136
N° CONSTANCIA ÉTICA:	001-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2023

ESTUDIANTE:	**María del Pilar Cholan Zegarra**
TÍTULO:	Determinación del flujo de masa total en el material particulado de la bahía del Callao
ASESOR:	Ursula María Neira Mendoza
CO ASESOR:	Patricia Mercedes Ayón Dejo
N° REGISTRO:	PRE-5-2022-00369
N° CONSTANCIA ÉTICA:	006-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2023

ESTUDIANTE:	**Jhoanna Irma Coaguila Dávila**
TÍTULO:	Eficacia de tres vacunas inactivadas en juveniles de gamitana (Colossoma macropomum) experimentalmente infectadas con Aeromonas hydrophila"
ASESOR:	Jefferson Yunis Aguinaga
N° REGISTRO:	PRE-5-2022-00128
N° CONSTANCIA ÉTICA:	007-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2023

Estando a lo dispuesto por el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Científica del Sur, el Reglamento de Tesis de la Carrera y a las normas vigentes, en uso de las atribuciones conferidas a la Carrera,

SE RESUELVE:

1º **APROBAR** los mencionados Proyectos de Tesis para optar el título profesional en Biología Marina.

2° Declarar a los estudiantes expeditos para la realización de los Proyectos de Tesis aprobados.

3° Nombrar a los docentes mencionados como Asesores y Co-Asesores, respectivamente, de los Proyectos de Tesis, que realizaran los estudiantes citados.

4º Disponer la inscripción de los proyectos de tesis aprobados en el Registro de Tesis para optar el Título Profesional de la Carrera de Biología Marina de la CIENTÍFICA.

Regístrese, comuníquese y archívese.



MG. NATHALY MARINA VARGAS LOPEZ
DIRECTORA ACADÉMICA
CARRERA BIOLOGÍA MARINA