

FLUJOS DE MATERIAL PARTICULADO Y FORMACIÓN DE UNA LÁMINA DE SEDIMENTOS EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA FRENTE AL CALLAO DURANTE EL NIÑO COSTERO 2017

PARTICULATE MATTER FLUXES AND FORMATION OF A SEDIMENT SHEET ON THE INNER CONTINENTAL SHELF OFF CALLAO DURING THE 2017 COASTAL EL NIÑO

Federico Velazco¹ Ursula Mendoza¹ Juana Solís¹ Ernesto Fernandez¹
 S Caquineau², Sifeddine A.² Michelle Graco¹ Ioanna Bouloubassi³
 Bruno Turcq² Bobby Leigh⁴ Mónica Sócola⁵ Wilson Carhuapoma¹
 Edgardo Carrasco¹ Dimitri Gutiérrez¹

<https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.346>

RESUMEN

VELAZCO F, MENDOZA U, SOLÍS J, FERNÁNDEZ 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*. *Bol Inst Mar Perú*. 36(2): 428-451.- Durante la ocurrencia de El Niño Costero 2017, en la bahía del Callao se instalaron dos trampas de sedimento (mecánica y automática) a 30 y 40 m de profundidad para obtener muestras e información de los flujos de material particulado en el subsistema bentónico. La trampa mecánica (30 m) registró acumulación equivalente a 6,46 cm/año; la automática, entre el 20 y 29 de marzo 2017, recolectó 8.777,9 mg.m⁻²día⁻¹, asociados a las máximas descargas del río Rímac. En el área somera, donde estuvieron las trampas, y en la plataforma continental adyacente (96 m de profundidad) testigos de sedimentos no perturbados (recolectados entre 2017 y 2018) se destinaron para determinar i) el contenido orgánico del primer centímetro superficial del sedimento durante y después de los máximos aportes fluviales del río a la bahía y, ii) los cambios en la estructura sedimentaria así como del contenido terrígeno en los sedimentos, empleando el nivel gris de las radiografías de los testigos de sedimentos. Estos testigos mostraron acumulación de hasta 4 cm de sedimento durante el 2017 y 2018 así como efectos de bioturbación y erosión por las corrientes. A 94 m de profundidad fue formada y preservada una lámina de 1 cm de espesor, color marrón oliva claro a marrón oliva con alta razón de carbono total y nitrógeno total (CT/NT) (12,19 en febrero, 10,26 en abril), que denotan el origen terrestre de la materia orgánica en contraste con la razón CT/NT de 4,88 encontrada en agosto. El alto contenido de partículas de origen terrígeno (que está asociado al color claro de esa lámina) se explica por el aporte de sedimentos acarreados por los extraordinarios caudales del río Rímac. La información obtenida de los *proxies* tales como el espesor de esta lámina formada durante El Niño Costero 2017 y sus características preservadas en la 'capa fangosa de la plataforma' o *Shelf mud layer*, influenciada por la Zona de Mínimo Oxígeno, puede ser aplicada para calibrar *proxies* de reconstrucción de pasados episodios de erosión fluvial causados por extremas precipitaciones en la cuenca del río Rímac.

PALABRAS CLAVE: sedimentos, transporte de sedimentos, flujos terrígenos, paleoceanografía, paleoclimatología, Callao, Perú

ABSTRACT

VELAZCO F, MENDOZA U, SOLÍS J, FERNÁNDEZ E, CAQUINEAU S, SIFEDDINE A, GRACO M, BOULOUBASSI I, TURCQ B, LEIGH B, SÓCOLA M, CARHUAPOMA W, CARRASCO E, GUTIÉRREZ D. 2021. *Particulate matter fluxes and formation of a sediment sheet on the inner continental shelf off Callao during the 2017 coastal El Niño*. *Bol Inst Mar Perú*. 36(2): 428-451.- Mechanical and automatic sediment traps were installed in Callao Bay, during the 2017 coastal El Niño (2017 CEN), at depths of 30 and 40 m, respectively, to obtain samples and information on the particulate matter fluxes in the benthic subsystem. The first one recorded accumulation equivalent to 6.46 cm/year. The latter collected 8.777,9 mg.m⁻²day⁻¹, between March 20 and 29, 2017, resulting from the maximum inputs of the Rímac River. In the shallow area, where the traps were located, and to 96 m deep, undisturbed sediment cores (collected between 2017 and 2018) were used to determine i) the organic content of the first centimeter of sediment during and after the maximum fluvial inputs from the river to the bay and, ii) changes in sediment structure as well as terrigenous content in the sediments, using the gray level of the sediment core radiographs. These sediment cores showed accumulation of up to 4 cm as well as bioturbation effects and erosion by currents. A 1 cm thick, light olive to olive-brown colored sheet with high total carbon to total nitrogen (TC/TN) ratio (12.19 in February, 10.26 in April) was formed and preserved at a depth of 94 m. This denotes the land origin of the organic matter in contrast to the TC/TN ratio of 4.88 found in August. The high content of

1 Instituto del Mar del Perú, Dirección General de Investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático. Esquina Gamarra y General Valle s/n Chucuito, Callao. fvelazco@imarpe.gob.pe

2 Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentations et Approches Numériques. Institut de Recherche pour le Développement, France

3 Laboratoire de Physique et Chimie Marines. Université Pierre et Marie Curie y Paris, France

4 Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Piura, Perú

5 Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú

terrigenous particles (which is associated with the light color of this sheet) is explained by the contribution of sediments carried by the extraordinary flows of the Rímac River. We can apply the information obtained from proxies such as the thickness of this lamina formed during 2017 CEN and its characteristics preserved in the shelf mud layer, influenced by the Oxygen Minimum Zone, to calibrate proxies for the reconstruction of historical fluvial erosion events caused by heavy rainfall in the Rímac River basin.

KEYWORDS: sediment trap, terrigenous fluxes, sediment transport, proxies, Paleoceanography, Paleoclimatology, Callao, Peru

1. INTRODUCCIÓN

Los sedimentos laminados proporcionan información de alta resolución para la reconstrucción de la variabilidad océano climática pasada (BULL & KEMP, 1995). Una lámina de sedimento se define como el nivel megascópico más pequeño de una secuencia sedimentaria que está limitada, tanto por encima como por debajo, por superficies de laminación. Según KEMP (1996), los dos requisitos fundamentales para el desarrollo de una secuencia de sedimentos laminados son: i) variación en el aporte, condiciones químicas o actividad biológica que dará como resultado cambios en la composición del sedimento y, ii) condiciones ambientales que preserven la fabricación de los sedimentos laminados de la bioturbación. Los ambientes anóxicos de sedimentación en áreas de la plataforma continental y del talud superior del margen continental peruano son propicios para conservar registros paleoambientales hasta una resolución interanual (GUTIÉRREZ *et al.*, 2006; REIN *et al.*, 2005; REIN, 2007; SIFEDDINE *et al.*, 2008; GUTIÉRREZ *et al.*, 2009; SALVATTECI *et al.*, 2014) y en algunos casos cubriendo una escala de tiempo hasta todo el Holoceno (SALVATTECI *et al.*, 2019). Con frecuencia los sedimentos de los ambientes de deposición estudiados por los autores mencionados anteriormente, además de láminas poseen también niveles de espesor mayor a 1 cm, denominados bandas; las cuales según el AGI (1984), corresponden a sustratos o láminas que se destacan porque difieren en color o litología de las capas adyacentes

Entre otras aplicaciones, en los sedimentos laminados del margen continental peruano, entender e identificar la señal del aporte fluvial de sedimentos de origen terrígeno al océano y de su preservación, es clave para estudios paleoclimáticos asociados a El Niño o para reconstrucción del aporte fluvial a otras escalas de tiempo. KEMP (1990) estudió la composición y estructura de las láminas de los sedimentos del margen continental, basándose en secuencias depositadas en el último periodo interglaciar (estadio isotópico 5, ca. 120,000 años BP), definiendo los tipos de láminas según su origen, composición, espesor, regularidad y frecuencia de ocurrencia. Asimismo, BRODIE & KEMP (1994) estudiaron la formación de láminas y la variación de flujos detríticos, encontrando láminas de origen terrígeno de diferente estilo (submilimétrica, irregularmente espaciadas o aisladas), cuya composición es principalmente arcilla y limo, con diatomeas

1. INTRODUCTION

Laminated sediments provide high-resolution information for the reconstruction of historical ocean-climate variability (BULL & KEMP, 1995). We can define a sediment sheet as the smallest megascopic level of a sedimentary sequence that is bounded both above and below by lamination surfaces. According to KEMP (1996), there are two key requirements for the development of a laminated sediment sequence: i) variation in input, chemical conditions, or biological activity that will result in changes in sediment composition and, ii) environmental conditions that preserve the fabrication of laminated sediments from bioturbation. Anoxic sedimentation environments in the continental shelf and upper slope of the Peruvian continental margin are conducive to preserving paleoenvironmental records up to an interannual resolution (GUTIÉRREZ *et al.*, 2006; REIN *et al.*, 2005; REIN, 2007; SIFEDDINE *et al.*, 2008; GUTIÉRREZ *et al.*, 2009; SALVATTECI *et al.*, 2014) and in some cases, covering a time scale up to the entire Holocene (SALVATTECI *et al.*, 2019). The sediments of the depositional environments studied by the authors mentioned above, in addition to laminae, often have levels of thickness greater than 1 cm, called bands, which according to the AGI (1984), correspond to substrates or laminae that are noticeable because they differ in color or lithology from the adjacent layers.

The laminated sediments of the Peruvian continental margin serve to understand and identify the fluvial input of terrigenous sediments into the ocean and their preservation. This is key for paleoclimatic studies associated with El Niño or for reconstruction of fluvial input at other timescales. KEMP (1990) studied the composition and structure of laminated sediments of the continental margin, based on sequences deposited in the last interglacial period (isotopic stage 5, ca. 120,000 years BP), defining the types of laminae based on their origin, composition, thickness, regularity, and frequency of occurrence. BRODIE & KEMP (1994) studied the lamina formation and the variation of detrital flows, finding terrigenous laminae of different style (sub millimetric, irregularly spaced or isolated), whose composition is mainly clay

en una escasa proporción y, discutieron su posible relación con el aporte fluvial y condiciones paleoclimáticas. De otra parte, la fracción mineral preservada en el registro sedimentológico de la plataforma y talud continental, está usualmente relacionada con procesos de erosión continental y su transporte al océano a través de agentes como ríos o viento o, por medio del aporte antrópico directo. Además, en la distribución de la fracción mineral en el océano pueden intervenir el oleaje y las corrientes marinas erosionando y transportando inclusive sedimentos antiguos. Sin embargo, la fracción mineral por sí sola no identifica con mayor detalle cuáles son la fuente y el mecanismo de transporte. Tanto las fuentes como los modos de transporte de material terrígeno, pueden ser inferidos a través de diferentes indicadores (*proxies*) como, por ejemplo, la distribución del tamaño de grano de la fracción mineral total o detrítica y sus parámetros estadísticos, el contenido mineralógico de las arcillas, la textura y forma de los granos de cuarzo, entre otros (MORENO *et al.*, 2002). BRICEÑO-ZULUAGA *et al.* (2016) identificaron en un testigo laminado indicadores de intensidad de vientos y de aporte fluvial durante el último milenio; para la misma zona de estudio y en base a trampas de sedimentos eólicos en la zona costera y análisis de imágenes MODIS, BRICEÑO-ZULUAGA *et al.* (2017) modelaron trayectorias los patrones de dispersión y trayectorias de partículas aportadas al océano por vientos Paracas desde potenciales fuentes en la zona costera, demostrando la presencia de la señal eólica en la plataforma continental y su importancia para las reconstrucciones paleoambientales.

En base al estudio mineralógico de fracciones granulométricas SCHEIDEGGER & KRISSEK (1982) indicaron que los sedimentos transportados por fuentes eólicas y fluviales pueden depositarse en la plataforma continental, el talud continental e inclusive al otro lado de la fosa marina frente a la costa central. Para el estadio isotópico 5e-d del Pleistoceno (120 – 107 ka BP) y en base a un testigo de sedimentos recolectado a 80 km de Callao y 184 m de profundidad REIN *et al.* (2005) encontraron registros de flujos líticos provenientes del continente, posiblemente asociados a descargas fluviales intensas después de lluvias en la costa central bajo condiciones El Niño. Asimismo, sobre la base del mismo testigo, REIN (2007) concluyó que los eventos El Niño 1982/83 y 1997/98 correspondieron a registros de las más fuertes descargas de material lítico en el último milenio. GUTIÉRREZ *et al.* (2006), en un testigo recolectado en la misma área, determinaron incrementos de la fracción mineral (cuarzo, feldespatos, caolinita e illita) en los intervalos de muestreo que cronológicamente incluían a sedimentos depositados durante El Niño 1982/83, 1986/87 y 1997/98, relacionándolos a las elevadas descargas fluviales ocasionadas por

and silt, with diatoms in a scarce proportion, and discussed their possible relationship with fluvial input and paleoclimatic conditions. The mineral fraction preserved in the sedimentological record of the continental shelf and slope is usually related to continental erosion processes. It is transported to the ocean through agents such as rivers or wind, or direct anthropogenic input. In addition, its distribution in the ocean can be influenced by waves and ocean currents, which erode and transport even ancient sediments. The mineral fraction alone does not further identify the source and mechanism of transport. Both the sources and modes of transport of terrigenous matter can be inferred through different proxies such as, for example, the grain size distribution of the total or detrital mineral fraction and its statistical parameters, the mineralogical content of the clays, the texture and shape of the quartz grains, among others (MORENO *et al.*, 2002). BRICEÑO-ZULUAGA *et al.* (2016) identified indicators of wind intensity and fluvial input during the last millennium in a laminated core, while BRICEÑO-ZULUAGA *et al.* (2017) modeled trajectories of the dispersion patterns and trajectories of particles contributed to the ocean by Paracas winds from potential sources in the coastal zone based on wind sediment traps and MODIS image analysis. This demonstrated the presence of the aeolian signal on the continental shelf and its importance for paleoenvironmental reconstructions.

SCHEIDEGGER & KRISSEK (1982) based on the mineralogical study of grain size fractions, indicated that sediments transported by aeolian and fluvial sources can be deposited on the continental shelf, the continental slope, and even on the other side of the ocean deep off the central coast. For the Marine Isotope Stage (MIS) 5e-d of the Pleistocene (120 - 107 ka BP) and based on a sediment core collected 80 km off Callao at a depth of 184 m, REIN *et al.* (2005) found records of lithic flows from the continent, possibly associated with intense fluvial discharges after rains on the central coast during El Niño (EN). Also, based on the same sediment core, REIN (2007) concluded that EN 1982/83 and 1997/98 showed the strongest lithic discharges in the last millennium. GUTIÉRREZ *et al.* (2006), in a core collected in the same area, determined increases in the mineral fraction (quartz, feldspars, kaolinite, and illite) in the sampling intervals that chronologically included sediments deposited during EN 1982/83, 1986/87, and 1997/98, relating them to the high fluvial discharges caused by the

las intensas lluvias en la región. En un testigo de sedimento laminado colectado frente a Callao que representa un periodo entre (~18-12 ka BP), YSEKI (2018) definió dos tipos de transporte de aporte terrígeno al océano, uno fluvial asociado a las partículas de moda de tamaño de grano fino (3 y 15 micras) y otro eólico asociado a modas de partículas de mayor tamaño (50, 74 y 100 micras).

Durante el verano y el otoño del 2017 en la costa de Perú ocurrieron intensas lluvias acompañadas de temperaturas del mar muy altas en la costa (≥ 3 °C frente a la costa norte), denominándose al evento como El Niño Costero 2017 (ENFEN, 2017; TAKAHASHI, 2017). Estimando sus impactos, este evento ha sido considerado como el tercer Fenómeno El Niño más intenso de los últimos 100 años para el Perú (ENFEN, 2017). En el norte del Perú las intensas lluvias originaron el incremento del nivel y caudal de los ríos de la costa norte y central y el acarreo de grandes volúmenes de sedimentos de origen continental al océano.

De acuerdo a datos de la Estación Chosica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), ubicada en la cuenca del río Rímac a 870 msnm, CUENCA (2017) indicó que las más altas precipitaciones de los últimos 40 años en Lima fueron durante eventos El Niño intensos. Durante El Niño Costero (ENC) 2017 la precipitación máxima en dicha estación fue 675 mm y el caudal diario máximo fue 126 m³/s, registrado en marzo 2017. Este registro fue mayor que durante otros eventos, como El Niño 1997-98 de magnitud extraordinaria, cuya precipitación máxima fue 425 mm y el caudal diario máximo fue 120 m³/s o, como durante El Niño extraordinario 1982-83, cuya precipitación máxima fue 329 mm y el caudal diario máximo fue 108 m³/s. Asimismo, durante este evento grandes volúmenes de sedimento fueron detectados y cuantificados tanto cercanos a la desembocadura del río Rímac como en la zona submarina adyacente a su orilla (ARMAS, 2017; CANDELARIO, 2017; RAMOS *et al.*, 2017).

Con estos antecedentes, se postula que el extraordinario evento de lluvias en el continente y consecuente aporte fluvial ocurrido durante ENC 2017, que tuvo como consecuencia un intensa erosión continental y acarreo de extraordinarios volúmenes de sedimentos al medio marino por el río Rímac (CUENCA, 2017), pudo ser registrado y preservado en los sedimentos anóxicos de la plataforma continental interna.

Por consiguiente, el principal objetivo del presente estudio es caracterizar el transporte vertical y la acumulación de material particulado en los sedimentos superficiales del margen continental frente a Callao en relación a las condiciones climáticas

heavy rainfall in the region. YSEKI (2018) defined two types of terrigenous input transport to the ocean in a laminated sediment core collected off Callao representing a period between (~18-12 ka BP). The first one was fluvial associated with fine-grained (3 and 15 micron) size mode particles and the second one was aeolian associated with larger particle size modes (50, 74 and 100 microns).

Heavy rainfall coupled with very high sea temperatures along the coast (≥ 3 °C off the northern coast) occurred in summer and autumn 2017 on the Peruvian coast. This is what has been called the 2017 coastal El Niño - 2017 CEN (ENFEN, 2017; TAKAHASHI, 2017). This event has been considered the third most intense EN event in the last 100 years for Peru (ENFEN, 2017). Heavy rains in northern Peru caused an increase in the level and flow of the rivers of the northern and central coast, resulting in the transport of large volumes of terrigenous sediments into the ocean.

CUENCA (2017) based on data from the Chosica Station of the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru (SENAMHI), located in the Rímac River basin at 870 masl, indicated that the highest rainfalls of the last 40 years in Lima were during intense ENs. During 2017 CEN, the maximum rainfall at that station was 675 mm and the maximum daily flow was 126 m³/s, which was recorded in March 2017. This record was higher than during other events, such as EN 1997/98, whose maximum rainfall was 425 mm and the maximum daily flow was 120 m³/s or, as during EN 1982/83, whose maximum rainfall was 329 mm and the maximum daily flow was 108 m³/s. Likewise, during this event, large volumes of sediment were detected and quantified both near the mouth of the Rímac River and in the underwater area near the river bank (ARMAS, 2017; CANDELARIO, 2017; RAMOS *et al.*, 2017).

Therefore, we postulate that the extraordinary rainfall on the continent and the subsequent fluvial input that occurred during 2017 CEN, which resulted in intense continental erosion and the transport of considerable volumes of sediments into the marine environment through the Rímac River (CUENCA, 2017), could have been recorded and preserved in the anoxic sediments of the inner continental shelf.

Our study aims to characterize the vertical transport and accumulation of particulate matter in the surface sediments of the continental margin off Callao with the climatic and oceanographic conditions that occurred during 2017 CEN. We

y oceanográficas que ocurrieron durante ENC 2017. En particular, se busca determinar si el evento dio origen a la formación de una lámina en el sedimento superficial con características diferenciables, así como evaluar su eventual preservación en el registro sedimentario.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La reconstrucción paleoceanográfica y paleoclimática requiere de la calibración de sus marcadores, para la cual pueden ser empleadas diferentes herramientas: trampas de sedimentos (WEFER *et al.*, 1999; CURRY & OSTERMAN 1997; ABRANTES *et al.*, 2009), undisturbed sediment cores for the validation of lamina formation in recent sediments (WEFER *et al.*, 1999), high-resolution stratigraphy in thin sections (TYLMANN *et al.*, 2009), entre otras.

Área de estudio y contexto oceanográfico e hidrológico

El área de estudio está localizada en la plataforma continental de la costa central del Perú entre 12,052°S - 12,058°S y 77,232°W - 77,226°W, frente a la isla San Lorenzo, en profundidades de 35 a 100 m (Fig. 1). El área está próxima a la desembocadura del río Rímac y se encuentra influenciada por los vientos costeros paralelos a la costa y los alisios del sureste, que son más intensos en promedio durante invierno (7,7 cm/s) y menos intensos durante el verano (4,9 cm/s) (HIDRONAV, 1995).

Las islas San Lorenzo y el Frontón que constituyen los límites sur y sureste de la bahía del Callao, están conformadas por rocas de edad Cretáceo (PALACIOS, 1992). Estas islas actúan como una barrera natural, disminuyendo los efectos de los vientos del SE al interior de la bahía, los cuales son más intensos en invierno. Aunque la circulación de la superficie y fondo son variables, prevalece una tendencia hacia el norte, corrientes superficiales medidas a 0,5 millas náuticas de la línea de costa por TEVES *et al.* (1996) durante marea baja varían entre 0,12 nudos (0,062 m/s) a 0,64 nudos (0,329 m/s), con direcciones hacia el noreste, sur y sureste. CORREA *et al.* (2017) reproducen las condiciones de corriente durante verano y muestran flujos de la desembocadura del río Rímac hacia el oeste y hacia el noroeste frente a la isla San Lorenzo.

El río Rímac contribuye con significativos volúmenes de sedimentos al interior de la bahía, principalmente durante verano, cuando se presentan los mayores caudales, asociados a la estación lluviosa en los Andes. Durante condiciones normales, el río Rímac puede transportar más de 915 toneladas por año de material fino en suspensión, de acuerdo a los

seek, specifically, to determine whether the event gave rise to the formation of a sheet in the surface sediment with distinguishable characteristics, as well as to evaluate its eventual preservation in the sedimentary record.

2. MATERIAL AND METHODS

Palaeoceanographic and paleoclimatic reconstruction require the calibration of its markers, for which different tools can be used: sediment traps (WEFER *et al.*, 1999; CURRY & OSTERMAN 1997; ABRANTES *et al.*, 2009), undisturbed sediment cores for the validation of lamina formation in recent sediments (WEFER *et al.*, 1999), high-resolution stratigraphy in thin sections (TYLMANN *et al.*, 2009), among others.

Study area and oceanographic and hydrological context

The study area is located on the continental shelf of the central Peruvian coast between 12.052°S - 12.058°S and 77.232°W - 77.226°W, off San Lorenzo Island, at depths of 35 to 100 m (Fig. 1). It is close to the mouth of the Rímac River and is influenced by coastal winds parallel to the coast and southeasterly trade winds, which are more intense during the winter (7.7 cm/s) and less intense in summer (4.9 cm/s) (HIDRONAV, 1995).

The San Lorenzo and El Frontón islands, which form the southern and southeastern limits of Callao Bay, are made up of Cretaceous rocks (PALACIOS, 1992) and act as a natural barrier, diminishing the effects of SE winds in the inner part of the bay, which are more intense in winter. Although surface and bottom circulation are variable, a northward direction prevails. Surface currents measured at 0.5 nautical miles offshore by TEVES *et al.* (1996) during low tide range from 0.12 knots (0.062 m/s) to 0.64 knots (0.329 m/s), with directions to the northeast, south, and southeast. CORREA *et al.* (2017) reproduce current conditions in summer and show flows from the mouth of the Rímac River to the west and the northwest off San Lorenzo Island.

The Rímac River is a major contributor of sediment to the inner bay, mainly in summer, when the highest flows, associated with the rainy season in the Andes, occur. Under normal conditions, the Rímac River can transport more than 915 tons annually of fine suspended material, according to conservative estimates by RENARD & LANE (1975). Nevertheless, in periods of heavy rains, such as EN 1982/83, sediment transport can be greater than 2 million tons per year (GUILLÉN *et al.*, 1985).

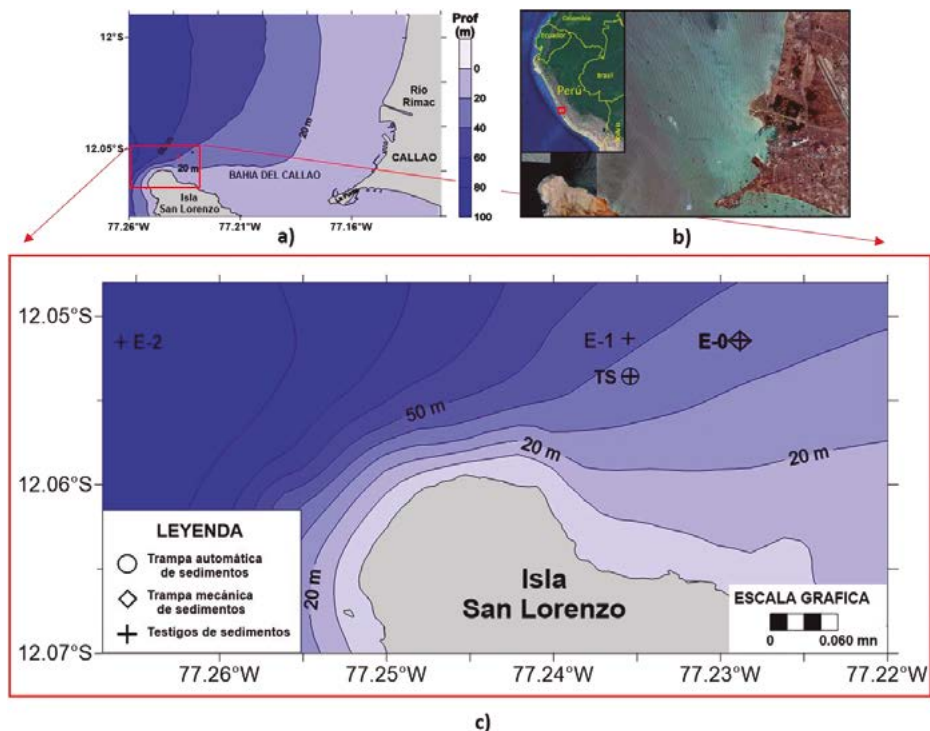


Figura 1.- a) Batimetría de la zona de estudio con la ubicación del área de estudio (rectángulo en color rojo); b) Imagen de Google Earth (2017) que muestra la pluma de dispersión del río Rímac en la bahía del Callao. c) Detalle de ubicación en círculos, cruces y diamante (en color amarillo) de las estaciones de trampas de sedimento automática (ST), mecánica TM y testigos de sedimentos (E-0, E-1, E-2, TS)

Figure 1. a) Bathymetry of the study area with its location (rectangle in red). b) Google Earth image (2017) showing the Rímac River plume dispersion in Callao Bay. c) Detail of location (in yellow color) of the automatic sediment trap stations (ST), mechanical TM and sediment cores (E-0, E-1, E-2, TS)

cálculos conservativos de RENARD & LANE (1975); sin embargo, en tiempos de avenidas excepcionales, como en El Niño 1982-83, el transporte de sedimentos puede ser mayor a 2 millones de toneladas (GUILLÉN *et al.*, 1985).

Los sedimentos del área de estudio tienen textura de arcilla limosa, color gris oliva con intenso olor a sulfuro de hidrógeno, conformados por partículas de arcilla y limo de origen terrígeno, partículas de origen biogénico (fitoplancton y foraminíferos bentónicos) así como materia orgánica. Los valores negativos del parámetro estadístico del tamaño de grano asimetría ($<0,1$) reflejan un ambiente de sedimentación, caracterizados además por altos contenidos de materia orgánica (10%) y de carbono orgánico lábil (2 a 3%) (VELAZCO, 2011). La presencia de restos de organismos fitoplanctónicos (fitodetritus) depositados en el fondo, constituyen un reflejo de la alta productividad primaria de la columna de agua (ZUTA y GUILLÉN, 1970). Según OROZCO *et al.* (1999), las concentraciones de materia orgánica en el sedimento ejercen una demanda de oxígeno disuelto en el fondo para los procesos de degradación de la materia orgánica. Fuera de la bahía, GUTIÉRREZ *et al.* (2006) indicaron la ocurrencia de periodos de ventilación de las aguas del fondo

In the study area, the sediments have a silty clay texture, olive-gray color with intense hydrogen sulfide odor, composed of terrigenous clay and silt particles, biogenic particles (phytoplankton and benthic foraminifera) as well as organic matter. Negative values of the statistical parameter of grain size asymmetry (<0.1) reflect a sedimentation environment, further characterized by high contents of organic matter (10%) and labile organic carbon (2 to 3%) (VELAZCO, 2011). The presence of phytodetritus deposited on the bottom reflects the high primary productivity of the water column (ZUTA & GUILLÉN, 1970). According to OROZCO *et al.* (1999), the concentrations of organic matter in the sediment exert a dissolved oxygen demand on the bottom for organic matter degradation processes. Outside the bay, GUTIÉRREZ *et al.* (2006) indicated the occurrence of bottom water aeration periods due to the oceanic water intrusion, which affects the mineralization of organic matter and the increase of benthic fauna.

The sediments deposited in the ocean can be transported into the bay and onto the inner continental shelf through mechanical sedimentation of the larger particles such as pebbles, gravels, and sands, which settle near the mouth and are redistributed by waves and ocean currents. On the other hand, clays and silts

debido a la intrusión de aguas oceánicas, incidiendo en la mineralización de la materia orgánica y el incremento de la fauna bentónica.

Los sedimentos transportados por el río Rímac e ingresados al océano pueden ser transportados al interior de la bahía y hacia la plataforma continental interna mediante la sedimentación mecánica de las partículas más grandes como guijas, gravas y arenas, las cuales sedimentan cerca a la desembocadura y son redistribuidas por el oleaje y las corrientes marinas, mientras que las arcillas y limos flocculan con los cambios de salinidad, temperatura y pH; otras partículas de la fracción fina pueden conformar una pluma de dispersión de sedimentos que escapan a los procesos antes mencionados y son transportadas detrás de las olas redistribuidas por las corrientes y sedimentan en aguas más profundas de la bahía y fuera de esta (VELAZCO, 2001).

En cuanto al contexto hidrológico, el escurrimiento natural del río Rímac está controlado por las precipitaciones fluviales principalmente en su alta cuenca, disminuyendo su caudal en época de estiaje (CUENCA, 2017). Durante algunos eventos El Niño o durante las estaciones de lluvia, además de los más altos flujos que se presentan en la cuenca media, ocurren flujos de lodo desde los cerros denominados 'huaycos', los cuales transportan lodo y fragmentos de roca al río. En algunas de las microcuencas del río Rímac, como el caso de la microcuenca Huaycoloro, suelen presentarse estos fenómenos cuando la lluvia es intensa, como durante los eventos El Niño (ROMERO *et al.*, 2010).

CARACTERIZACIÓN DEL FLUJO VERTICAL DE PARTÍCULAS Y DE LOS SEDIMENTOS

Tanto para la determinación del flujo de material particulado como para el estudio de la formación de la lámina de sedimento durante ENC 2017, se obtuvieron muestras empleando arreglos de trampas de sedimentos y sacatestigos en diferentes periodos del año (Tabla 1).

Recolección de muestras para caracterización del flujo vertical de partículas

Los estudios de material particulado se realizaron en dos escalas temporales y resoluciones; a escala anual (más de 12 meses) empleando una trampa de sedimentos mecánica (Fig. 2a) y a escala sub-anual (60 días) con una resolución de muestreo de 10 días, empleando una trampa de sedimentos automática (Fig. 2b).

flocculate present changes in salinity, temperature, and pH, while other fine particles may form a sediment dispersion plume that escapes the above processes and are transported behind the waves and redistributed by currents settling in deeper waters within and outside the bay (VELAZCO, 2001).

Regarding the hydrological context, the natural runoff of the Rímac River is controlled by fluvial precipitation mainly in its upper basin, decreasing its flow during the dry season (CUENCA, 2017). During some ENs (also in rainy seasons), there are mudflows from the hills (*huaycos* in Spanish), which transport mud and rock fragments to the river, besides the higher flows that occur in the middle basin. In some of the micro-basins of the Rímac River, such as that of the Huaycoloro, these phenomena usually occur when rainfall is intense, as in ENs (ROMERO *et al.*, 2010).

VERTICAL PARTICLE AND SEDIMENT FLOW CHARACTERIZATION

Samples for both the determination of particulate matter flux and the study of lamina formation during 2017 CEN were obtained using sediment traps and sediment cores at different periods of the year (Table 1).

Sample collection for vertical particle flow characterization

Particulate matter studies were conducted at two-time scales and resolutions. At an annual scale (over 12 months) using a mechanical sediment trap (Fig. 2a) and at a sub-annual scale (60 days) with a 10-day sampling resolution, using an automatic sediment trap (Fig. 2b).

Mechanical sediment trap.- A sediment trap array was installed in Callao Bay (E-0, 35 m) for 13 months (November 2016 to December 2017). It was made up of i) KC brand mechanical sediment traps, which consist of two collecting tubes of 60 cm length and 68 cm internal diameter and a steel structure designed to rotate and orient itself always with the direction and sense of the current, ii) a 25 m long line (1/2" rope) that is connected at the lower end to an 80 kg ballast and at the upper end to a 30 cm diameter rigid buoy which remains submerged and hoists and keeps the array vertical. This trap is intended to collect samples to record the flux and estimate the annual accumulation rate at the level of the trap, i.e., at a 5 m distance from the bottom (Table 1, Fig. 2a) before, during, and after CEN. The particulate matter collectors did not contain any preservatives. Both the installation of the sediment trap array and its recovery were performed by autonomous diving.

Tabla 1.- Estaciones de muestreo, equipos de recolección de muestras, tipo de material recolectado y mes de muestreo

Table 1. Sampling stations, sample collection equipment, type of material collected, and sampling month

Estación/ Station Nº	Tipo de equipo/ Type of equipment	Tipo de muestra/ Sample type	Nivel/ Profundidad	Periodo
Trampas de sedimento/ Sediment traps				
TS	Trampa de sedimento automática/ Automatic sediment trap	Material particulado/ Particulate matter	30 m	27 febrero - 27 abril 2017/ 27 February - 27 April 2017
E-0	Trampa de sedimento mecánica/ Mechanical sediment trap	Material particulado/ Particulate matter	31 m	Noviembre 2016 -diciembre 2017/ November 2016 -December 2017
Testigos de sedimento/ Sediment core				
Sacatestigos de Sedimento/ Core catchers				
E-0	Multisacatestigos Octopus/ Multiple corer Oktopus	Testigo de sedimento/ Sediment core	35 m	Agosto, 2017/ August, 2017
TS	Multisacatestigos Octopus/ Multiple corer Oktopus	Testigo de sedimento/ Sediment core	41 m	Octubre, 2017/ October, 2017
E-1	Multisacatestigos Octopus/ Multiple corer Oktopus	Testigo de sedimento/ Sediment core	46 m	Agosto, 2018/ August, 2018
E-2	Multisacatestigos Octopus/ Multiple corer Oktopus	Testigo de sedimento/ Sediment core	94 m	Agosto, 2017/ August, 2017

Trampa mecánica de sedimentos.- En la bahía del Callao (E-0, 35 m) se instaló por un periodo de 13 meses (noviembre 2016 a diciembre 2017) un arreglo de trampas de sedimentos conformado por i) trampas mecánicas de sedimentos de marca KC, las cuales consisten de dos tubos recolectores de 60 cm de longitud y 68 cm de diámetro interno y una estructura de acero diseñada para girar y orientarse siempre con la dirección y sentido de la corriente, ii) una línea (cabo de 1/2") de 25 m de longitud que está conectada en el extremo inferior a un lastre de 80 kg y en el extremo superior a una boya rígida de 30 cm de diámetro que permanece sumergida e iza y mantiene vertical el arreglo. Esta trampa tiene como finalidad recolectar muestras para registrar el flujo y estimar la tasa de acumulación anual al nivel de la trampa, es decir a 5 m de distancia del fondo (Tabla 1, Fig. 2a) antes, durante y posterior al evento ENC 2017. Los recolectores de material particulado no contenían ningún preservante. Tanto la instalación del arreglo de trampas de sedimento como su recuperación se realizó mediante buceo autónomo.

Trampa automática de sedimentos.- Una trampa de sedimentos cilíndrica de 320 mm de diámetro con sistema programable (*Hydro-Bios Multi*

Automatic sediment trap.- We placed a 320 mm diameter cylindrical sediment trap with a programmable system (*Hydro-Bios Multi Sediment Trap, 444000*), designed for use in shallow water, on an array line at a depth of 30 m. The trap has a rotating base that houses 6 collection bottles (250 mL). A battery provides power for the base to rotate according to the desired time and for the tubes to collect particulate matter. The trap was programmed for a 10-day collection of each bottle before installation. The design of the array was based on a 25 m long line consisting mainly of 5/16" steel cable and 1/2" chain lengths, which were connected by 1/2" steel shackles and swivels. The lower end of the line (5/16" steel cable) was ballasted with a 900 kg reinforced concrete block and the upper end of the line was connected to a flotation system of 15 12" diameter Pescafloat buoys that provided verticality to the arrangement. The cable was the main element that supported the tension during the launching and recovery of the array, as well as during its permanence at sea.

Tiltmeter Onset was attached to the sediment trap frame to assess the sampling efficiency through the verticality of the sediment trap collection. To obtain the water column temperature profile (40 m), six temperature data loggers (Onset) were attached to

Sediment Trap, 444000), diseñada para empleo en aguas someras, se colocó en una línea del arreglo a 30 m de profundidad. La trampa tiene una base rotatoria que aloja 6 botellas de recolección (250 mL); una batería proporciona la energía para que la base rote de acuerdo al tiempo que se desea y que los tubos recolecten material particulado; previo a su instalación la trampa se programó para una colecta de 10 días cada botella. El diseño del arreglo se basó en una línea de 25 m de longitud conformada principalmente por un cable de acero de 5/16" y tramos de cadena de 1/2"; unidos por grilletes y giratorios de acero de 1/2". El extremo inferior de la línea (cable de acero de 5/16"), fue lastrado con un bloque de concreto armado de 900 kg y el extremo superior de la línea fue conectado a un sistema de flotación de 15 boyas Pescafloat de 12" de diámetro que confirieron la verticalidad al arreglo. El cable fue el principal elemento que soportó la tensión durante el lanzamiento y recuperación del arreglo, así como su periodo de permanencia en el mar.

Para evaluar la eficiencia de muestreo a través de la verticalidad de la recolección de la trampa de sedimentos, se fijó un sensor de inclinación en el marco de la trampa de sedimentos (*Tiltmeter Onset*). Para obtener el perfil de temperatura de la columna de agua (40 m) seis registradores de datos de temperatura (*Onset*) se unieron a la línea de amarre (cada 5 m de profundidad). Después del despliegue del arreglo desde el BAP Morales, un equipo de buzos autónomos realizó una inspección del arreglo y comprobó la verticalidad de la trampa de sedimentos.

La trampa de sedimentos se configuró para recolectar una muestra cada 10 días. Antes del despliegue, las botellas se llenaron con una solución de agua de mar tomada en la misma profundidad, pre-filtrada (0,2 µm) con formalina (Merck) al 5% (tamponada con tetraborato de sodio p.a. a pH 8). El tiempo de este experimento fue de 60 días consecutivos, desde el 27 de febrero hasta el 24 de abril 2017. La búsqueda del arreglo se realizó mediante buceo autónomo. La recuperación la efectuó un buzo profesional con equipo dependiente de la superficie, liberando la línea desde el anclaje de concreto situado en el fondo del mar (Fig. 2b).

Recolección de sedimentos del fondo marino

Los sedimentos fueron obtenidos de muestras de testigos recolectados con un multi- sacatestigos (MUC) marca Octopus (Fig. 3) durante operaciones de monitoreo de la línea oceanográfica Callao del

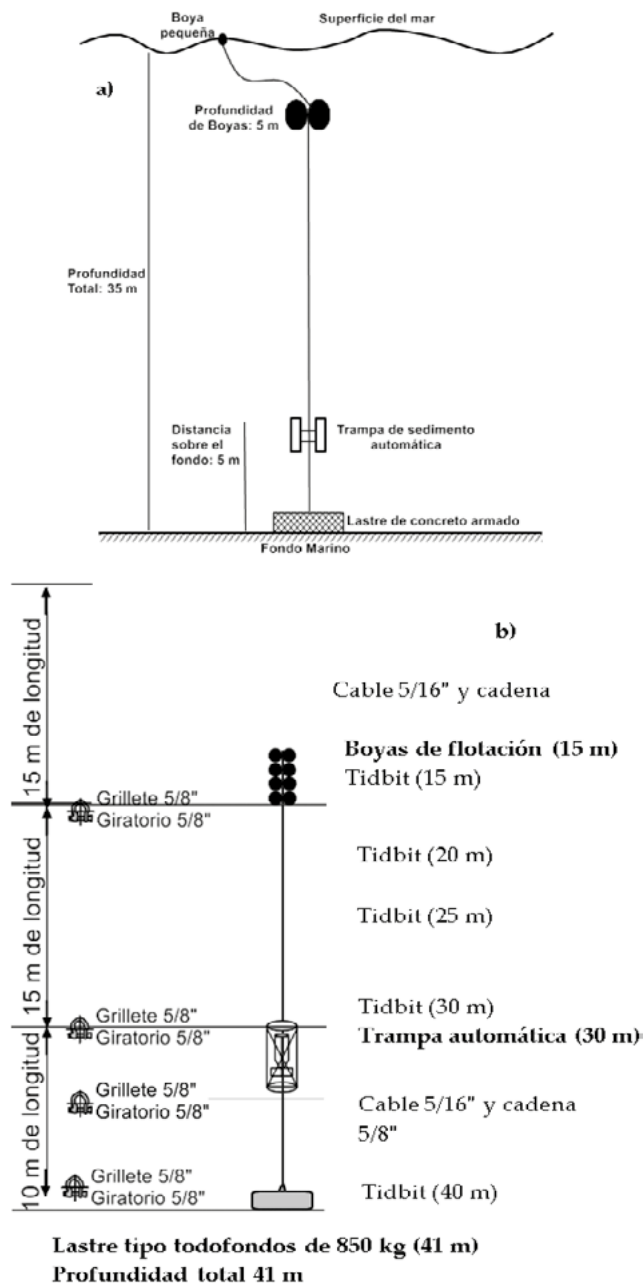


Figura 2.- Esquemas de los arreglos de trampas de sedimento. a) trampas mecánicas de sedimento instaladas a 35 m (estación E-0), b) trampa de sedimento automática instalada a 40 m de profundidad (estación TS)

Figure 2. Diagrams of the sediment trap arrays. a) mechanical sediment traps installed at a depth of 35 m (station E-0), b) automatic sediment trap installed at a depth of 40 m (station TS)

the mooring line (at intervals of 5 m). After the BAP Morales, deployed the array, a team of autonomous divers performed an inspection and checked the verticality of the sediment trap.

The sediment trap was set to collect a sample every 10 days. Before deployment, the bottles were filled with a solution of seawater taken

IMARPE a bordo del BIC José Olaya Balandra. Para el caso de estudio de los sedimentos superficiales en la plataforma continental, en la E- 2 (94 m) se obtuvieron testigos en febrero, abril y agosto 2017; estos testigos fueron extruidos con un émbolo y luego seccionados cada centímetro, seleccionándose solamente el primer centímetro superficial para los análisis geoquímicos (Fig. 3).

at the same depth, pre-filtered (0.2 μm) with 5% formalin (Merck) (buffered with sodium tetraborate p.a. at pH 8). This experiment lasted for 60 consecutive days, from February 27 to April 24, 2017. A professional diver with surface-dependent equipment performed the recovery of the array, releasing the line from the concrete anchor located on the seafloor (Fig. 2b).

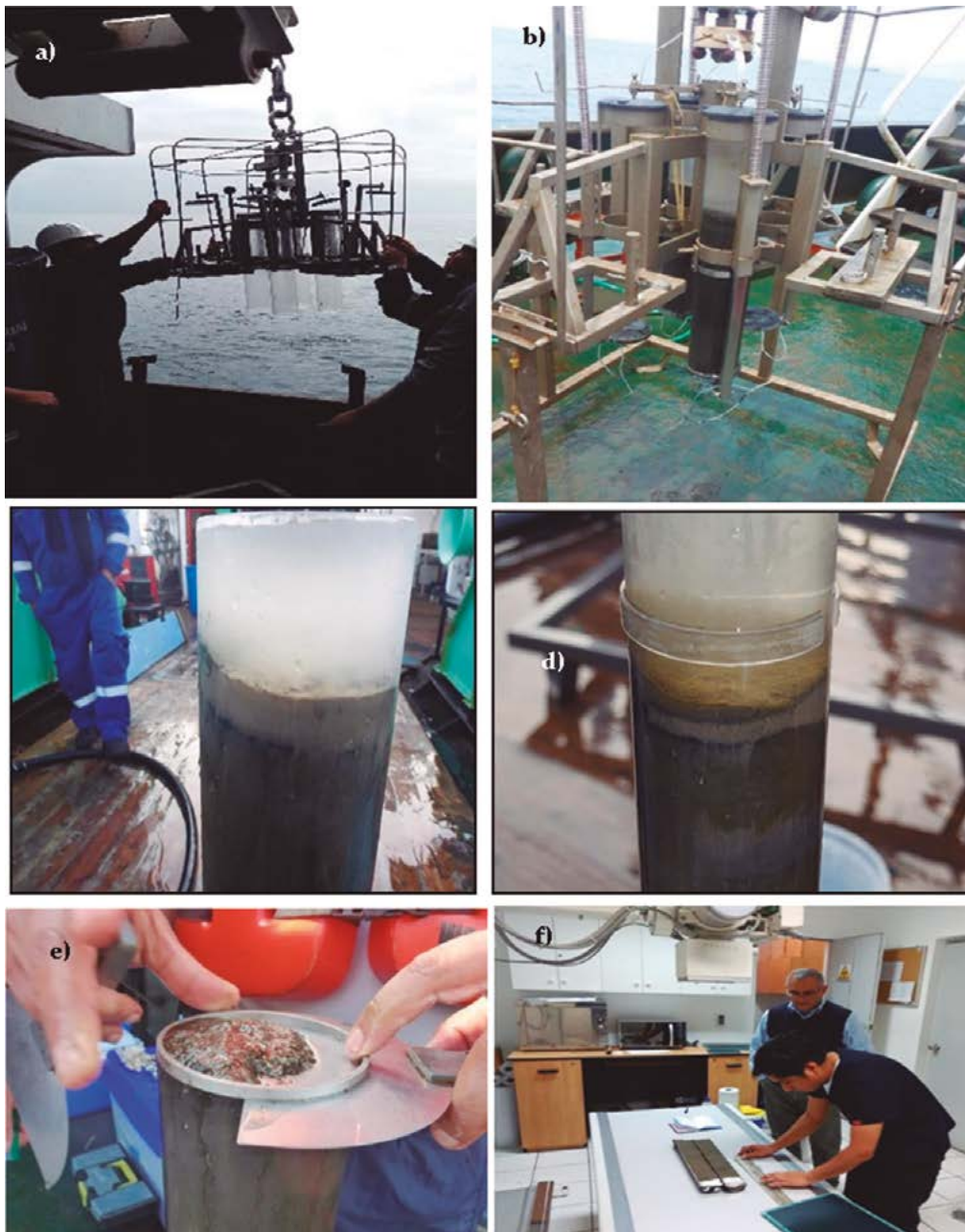


Figura 3.- (a) y (b) Colecta de sedimentos con multisacatestigos, (c) y (d) Testigos de sedimento recolectados antes y después de intensos aportes fluviales ocurridos durante Niño Costero 2017, (e) Inicio de submuestreo de testigo somero de sedimento (Cr. CRIO, abril 2017), (f) Preparación de testigo para radiografiado

Figure 3. (a) and (b) Sediment collection with multiple corer, (c) and (d) Sediment cores collected before and after heavy river inputs during 2017 CEN, (e) Start of sub-sampling of shallow sediment core (Cr. CRIO, April 2017), (f) Preparation of core for radiography

Para conocer la tasa de acumulación en el fondo marino en la zona más somera del área de estudio (alrededores de las trampas de sedimentos), se recolectaron testigos de sedimento en la bahía del Callao, en las estaciones E-0 (35 m) en agosto 2017, TS (41 m) en octubre 2017 y E-1 (46 m) en agosto 2018 (Tabla 1, Fig. 1). Posteriormente, fueron trasladados al laboratorio para ser abiertos, descritos, radiografiados y finalmente conservados en refrigeración a 4 °C.

Para el estudio de la lámina que conforma la columna del sedimento, se recolectó un testigo fuera de la bahía en la plataforma continental interna (E-2, 94 m) en agosto 2018 (Tabla 1, Figs. 1, 2). Este testigo fue conservado en refrigeración hasta su traslado al laboratorio, para los diferentes análisis que se describen en el siguiente punto.

ANÁLISIS EN LABORATORIO

Se realizaron mediciones directas y análisis para determinar flujos y caracterización del material particulado, sedimentológicos y geoquímicos en los sedimentos del fondo marino.

Caracterización y flujos de material particulado

Acumulación del material particulado: en los tubos recolectores transparentes de la trampa de sedimentos mecánica, se realizaron mediciones directas del material particulado acumulado. En los frascos recolectores de la trampa automática también se cuantificó la acumulación de sedimentos obteniéndose una medida relativa de la acumulación de partículas cada 10 días. La acumulación relativa de las partículas en las botellas de trampas de sedimentos fue comparada con los caudales fluviales durante ENC 2017, publicado en reportes de SENAMHI.

Flujos de masa diario: los flujos de masa se determinaron siguiendo el instructivo interno del Laboratorio de Geología Marina del IMARPE sobre procesamiento y análisis de muestras recolectadas con la trampa automática de sedimentos (MENDOZA, 2018).

El material particulado contenido en cada frasco recolector (Fig. 4a, b) fue tamizado con mallas de 1 mm, 500 µm y 300 µm para el retiro (*picking*) de los nadadores (Ej. zooplancton). Luego, utilizando un Divisor Folsom, se procedió a fraccionar la muestra libre de nadadores en 4 alícuotas (1/4) para diferentes análisis y las alícuotas fueron refrigeradas a 4 °C. Una de estas alícuotas de 1/4 fue subdividida nuevamente hasta obtener sub-alícuotas de 1/8, 1/16 y 1/32 partes, siendo destinadas a la determinación de los flujos de masa total.

COLLECTION OF SEDIMENTS FROM THE SEABED

Sediments were obtained from core samples collected with an Oktopus multiple corer (MUC) (Fig. 3) during IMARPE's monitoring of the Callao oceanographic line onboard R/V José Olaya Balandra. For the case study of surface sediments on the continental shelf, E-2 (94 m) cores were obtained in February, April, and August 2017. These cores were extruded with a plunger and then sectioned every centimeter, selecting only the first centimeter for geochemical analyses (Fig. 3).

We collected sediment cores in Callao Bay at stations E-0 (35 m) in August 2017, TS (41 m) in October 2017, and E-1 (46 m) in August 2018 (Table 1, Fig. 1) to know the accumulation rate on the seafloor in the shallowest part of the study area (around the sediment traps). Then, they were transferred to the laboratory to be opened, described, radiographed, and finally preserved under refrigeration at 4 °C.

A core was collected outside the bay on the inner continental shelf (E-2, 94 m) in August 2018 (Table 1, Figs. 1, 2) for the study of the lamina that makes up the sediment column. This core was kept refrigerated until it was transferred to the laboratory for the various analyses described in the following section.

LABORATORY ANALYSIS

Direct measurements and analyses were performed to determine fluxes and characterization of particulate, sedimentological, and geochemical matter in seafloor sediments.

Particulate matter characterization and fluxes

Particulate matter accumulation: direct measurements of accumulated particulate matter were made in the transparent collection tubes of the mechanical sediment trap, while in the automatic trap collection bottles, sediment accumulation was also quantified and a relative measure of particulate accumulation was obtained every 10 days. The relative accumulation of particulate matter in the sediment trap bottles was compared to river flows during 2017 CEN, which were published in SENAMHI reports.

Daily mass fluxes: they were determined following the internal instructions of the IMARPE's Marine Geology Laboratory on the processing and analysis of samples collected with the automatic sediment trap (MENDOZA, 2018).

The particulate matter contained in each collection bottle (Fig. 4a, b) was sieved with 1 mm, 500 µm, and 300 µm meshes for the picking of "swimmers"

Para la determinación de los flujos de masa total, la alícuota libre de nadadores fue filtrada a través de un filtro GF/F de 47 mm (filtro que fue previamente calcinado en una mufla a 450 °C durante 6 horas) y luego fue secada a 40 °C hasta peso constante. Con la masa determinada, el área del recolector y el número de días, fue calculado el flujo de masa diario.

Caracterización de los sedimentos del fondo marino

Caracterización de sedimentos superficiales (láminas en proceso de formación)

Análisis geoquímicos: para identificar el origen de la materia orgánica de los sedimentos superficiales, se realizaron análisis elementales de CT y NT a través de un analizador elemental por cromatografía de gases Perkin Elmer Mod. Serie II 2400. Para ello se trabajaron los centímetros superiores del sedimento extraído con el multisacatestigos en E-0 y E-2. Los datos de CT y NT en niveles seleccionados de sedimentos recolectados antes, durante y después del verano 2017, fueron analizados empleando un Analizador elemental Perkin Elmer, mediante cromatografía de gases.

(e.g., zooplankton). Then, using a Folsom Splitter, the swimmer-free sample was fractionated into 4 aliquots (1/4) for different analyses, which were refrigerated at 4 °C. One of these 1/4 aliquots was subdivided again to obtain sub-aliquots of 1/8, 1/16, and 1/32 parts, being destined to the determination of the total mass fluxes.

The swimmer-free aliquot was filtered through a 47mm GF/F filter (a filter that was previously calcined in a muffle oven at 450 °C for 6 hours) and then dried at 40 °C to constant weight to determine the total mass fluxes. With the mass determined, the area of the collector, and the number of days, the daily mass flux was estimated.

Seabed sediment characterization

Surface sediment characterization (laminae formation)

Geochemical analysis: elemental analyses of TC and TN were performed using a PerkinElmer® 2400 Series II CHNS/O Elemental Analyzer to identify the origin of the organic matter in the surface sediments. Therefore, the top centimeters of the sediment



Figura 4.- a) Trampa automática de sedimentos, b) Retiro de los frascos colectores con material particulado del carril rotatorio de la trampa automática al finalizar el experimento, c) Frascos colectores con material particulado colectado luego de 60 días (27/02/17- 28/04/17), ordenados secuencialmente por período de colecta de izquierda a derecha (10 días de colecta cada frasco). Nótese la diferencia de alturas y color del sedimento en los frascos: durante el experimento se mantiene el color marrón oliva en las botellas 1 a 5 y el cambio de color se produce en la botella 6, en la cual se observa una capa verde oliva sobreyacente a un nivel marrón oliva

Figure 4. a) Automatic sediment trap, b) Removal of the collection bottles with particulate matter from the rotating lane of the automatic trap at the end of the experiment, c) Collection bottles with particulate matter collected after 60 days (27/02/17- 28/04/17), ordered sequentially by collection period from left to right (10 days of collection each bottle). Note the difference in heights and color of the sediment in the bottles: during the experiment, the olive brown color is maintained in bottles 1 to 5 and the color change occurs in bottle 6, in which an olive-green layer is observed overlying an olive brown level

Caracterización de la columna de sedimento

Descripción de testigos de sedimento: en caso de los testigos destinados para descripción, cada uno de ellos fue cortado longitudinalmente en dos mitades, una de ellas para ser fotografiada, descrita, radiografiada y para analizar en el laboratorio; la otra mitad fue conservada como archivo, manteniéndose refrigerada a 4 °C en una cámara frigorífica. Se realizó una descripción visual del testigo, definiendo la litología, estructura, color (empleando una tabla Munsell de colores), textura del sedimento y presencia/ausencia de organismos.

Imágenes radiológicas y análisis de nivel de gris de laminaciones: las imágenes de rayos X fueron realizadas por la empresa CIMEDIC SAC, con los siguientes factores de exposición: 50kV, 200 mA y 5.00 mAs/msec. Las imágenes fueron escaneadas en formatos jpg y tiff; posteriormente fueron analizadas empleando el programa Visilog para determinar valores relativos de niveles de gris de las estructuras sedimentarias (láminas, bandas). En la imagen de rayos X, la tonalidad de nivel de gris es un indicador indirecto de la densidad del sedimento. De esta manera, tonos claros de nivel de gris indican relativa mayor densidad que los tonos oscuros y subsecuente mayor contenido mineral (de origen terrígeno) o biogénico (de carbonato de calcio de caparazones de organismos) en relación a la materia orgánica o partículas de otro origen, de menor densidad. Además, debido a la relación con el contenido mineral total y otros minerales de origen terrígeno en los sedimentos hemipelágicos frente a las costas de Callao y Pisco encontrada por SIFEDDINE *et al.* (2008), empleamos el nivel de gris como *proxy* de aporte terrígeno en la capa superficial de los sedimentos.

Clasificación de laminaciones: el tipo de lámina (clara u oscura) fue definido a partir de una escala visual de 1 (L1= muy clara) a 5 (L5= muy oscura), tomando como base el esquema de clasificación visual para interpretar láminas de sedimentos de DREYER (2011), que fue aplicado en sedimentos hemipelágicos frente a la costa de Chimbote. En este trabajo comparamos el tipo de lámina con el valor de la densidad aparente, razón C/N y el nivel de gris de la radiografía de rayos X del testigo de sedimento recolectado en E-2.

Densidad aparente de los sedimentos: en el testigo de sedimento se recolectaron submuestras de diferentes niveles (láminas o bandas) de diferente color (claro u oscuro), empleando un muestreador cilíndrico de plástico de 1 cm de diámetro, se determinó el peso húmedo y posteriormente el peso seco, luego se mantuvo la submuestra a 60 °C por más de 52 horas hasta alcanzar peso constante. De la relación entre el peso seco y el volumen inicial de la submuestra se obtuvo la densidad aparente.

extracted with the multiple corer at E-0 and E-2 were worked. TC and TN data in selected sediment levels collected before, during, and after summer 2017 were analyzed with the same elemental analyzer through gas chromatography.

Sediment column characterization

Description of sediment cores: each of the cores was cut longitudinally into two halves, one of them to be photographed, described, radiographed, and analyzed in the laboratory. The other half was kept as an archive, refrigerated at 4 °C in a cold room. A visual description of the core was made, defining lithology, structure, color (using a Munsell color chart), sediment texture, and presence/absence of organisms.

Radiological imaging and gray level analysis of laminations: CIMEDIC SAC carried out the X-ray images with the following exposure factors: 50kV, 200 mA, and 5.00 mAs/msec. The images were scanned in jpg and tiff formats. They were then analyzed using the Visilog software to determine relative gray level values of the sedimentary structures (laminae, bands). In the X-ray image, the shade of gray level is an indirect indicator of sediment density. Thus, lighter shades of gray level indicate relatively higher density than darker shades and subsequently higher mineral (terrigenous) or biogenic (calcium carbonate from shells of organisms) content relative to organic matter or particles of other origins, of lower density. Also, we used the gray level as a proxy for terrigenous input in the surface layer of sediments given the relationship with total mineral content and other terrigenous minerals in the hemipelagic sediments off the coasts of Callao and Pisco found by SIFEDDINE *et al.* (2008).

Laminae classification: we defined the type of lamina (light or dark) on a visual scale from 1 (L1= very light) to 5 (L5= very dark), based on DREYER'S (2011), visual classification scheme for interpreting sediment laminae, which was applied to hemipelagic sediments off the coast of Chimbote. We compared the type of lamina with the value of bulk density, C/N ratio, and the gray level of the X-ray radiograph of the sediment core collected in E-2.

Bulk density of sediments: subsamples of different levels (laminae or bands) of a different color (light or dark) were collected, using a cylindrical plastic sampler of 1 cm in diameter, the wet weight was determined and then the dry weight. The subsample was kept at 60 °C for more than 52 hours until a constant weight was reached. The bulk density was obtained from the ratio between the dry weight and the initial volume of the subsample.

3. RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN DEL FLUJO VERTICAL DE PARTÍCULAS Y SEDIMENTOS MARINOS

Los registros del sensor de inclinación, de variación de inclinación horizontal y vertical presentaron ángulos menores a $3,5^\circ$.

Tasa de acumulación de material particulado a resolución anual: el sedimento acumulado en los tubos transparentes de la trampa mecánica de sedimentos (30 m de profundidad) alcanzó 6,46 cm de altura para un periodo de 13 meses que incluye la ocurrencia de ENC 2017; esta medida equivale a una tasa de acumulación de 6,46 cm/año al nivel de la trampa de sedimentos (Fig. 5).

Tasa de acumulación de material particulado en alta resolución: las mediciones directas de altura de las botellas recolectoras de la trampa automática de sedimentos a nivel de 30 m, registraron variaciones entre 0,2 cm y 2,2 cm de flujo acumulado de partículas para un periodo de 60 días a partir del 27/02/2017, que cubre la ocurrencia del máximo caudal del río Rímac (registrada en la estación Chosica) durante ENC 2017. El color de las partículas de las cinco primeras botellas fue marrón oliva, mientras que en la botella número 6 se observaron dos colores de partículas: marrón oliva en la base y por encima, sedimento color verde oliva, hasta la superficie (Fig. 4c).

Flujos de material particulado: estos flujos fueron $625 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ para el periodo entre el 27/02/17 y 09/03/17; de $794,2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ del 10/03/17 al 19/03/17, de $8.777,9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ del 20/03/17 al 29/03/17 y de $2.324,8 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ del 30/03/17 al 08/04/17 (Fig. 6a).

3. RESULTS

CHARACTERIZATION OF THE VERTICAL FLOW OF MARINE PARTICLES AND SEDIMENTS

The tilt sensor records of horizontal and vertical tilt variation showed angles of less than 3.5° .

Accumulation rate of particulate matter at annual resolution: the sediment accumulated in the transparent tubes of the mechanical sediment trap (30 m deep) reached 6.46 cm in height for a 13-month period that includes the occurrence of 2017 CEN. This is equivalent to an accumulation rate of 6.46 cm/year at the level of the sediment trap (Fig. 5).

Accumulation rate of particulate matter at high resolution: direct height measurements of the automatic sediment trap collection bottles at the 30 m level, recorded variations between 0.2 cm to 2.2 cm of accumulated particle flux for 60 days from 27/02/2017, covering the occurrence of the maximum flow of the Rímac River (recorded at the Chosica station) during 2017 CEN. The particle color of the first five bottles was olive-brown, while in bottle number 6, two colors were observed: olive-brown at the base and above, olive green sediment, up to the surface (Fig. 4c).

Particulate matter fluxes: these fluxes were $625 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ between 27/02/17 and 09/03/17; $794.2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ from 10/03/17 to 19/03/17; $8,777.9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ between 20/03/17 and 29/03/17; and $2,324.8 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ from 30/03/17 to 08/04/17 (Fig. 6a).

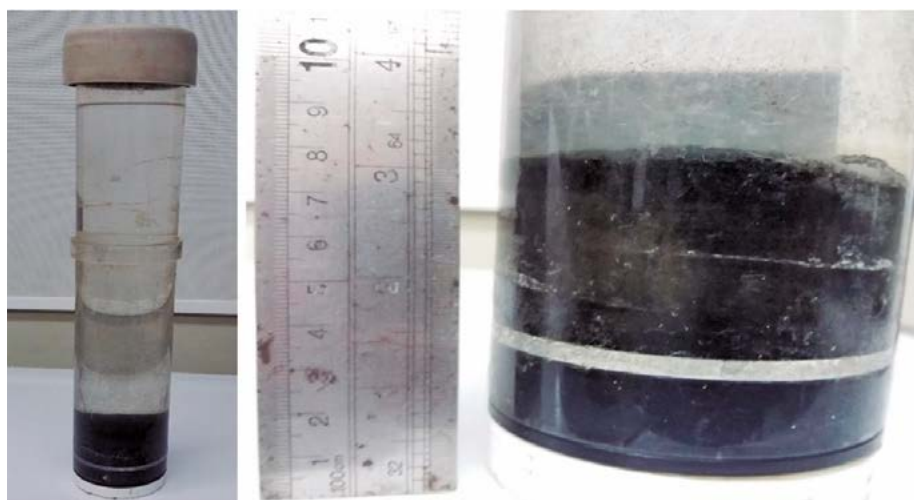


Figura 5.- Acumulación de sedimentos durante 13 meses, medidos directamente en el colector de la trampa mecánica de sedimentos

Figure 5. 13-month sediment accumulation, measured directly in the collector of the mechanical sediment trap

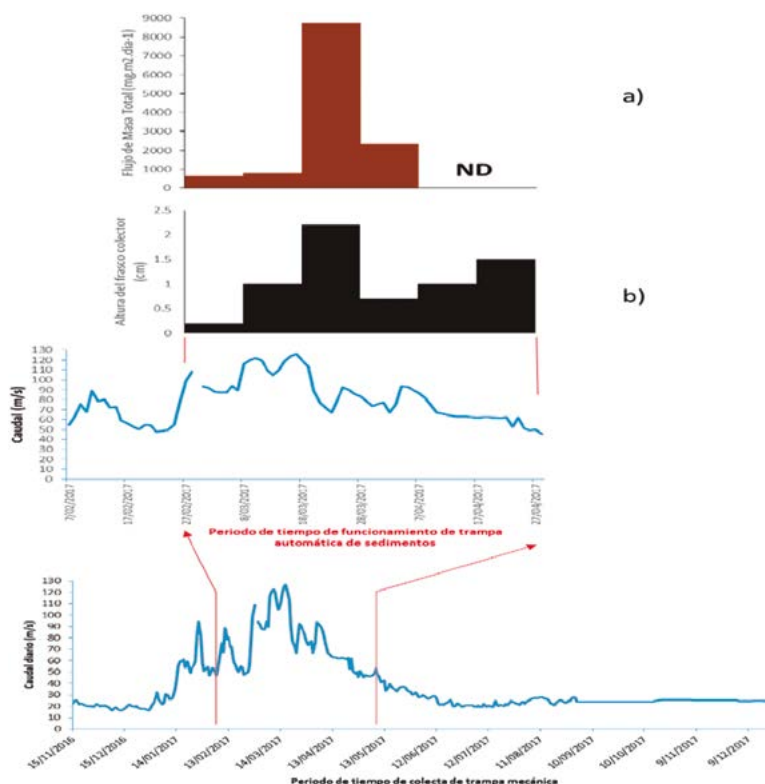


Figura 6.- a) Flujos de masa total de material particulado ($\text{mg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{día}^{-1}$), b) Características del sedimento acumulado (altura) medidos directamente de las botellas de trampa automática de sedimento, correspondientes a la trampa de sedimentos automática en la Estación TS (41 m de profundidad) a un nivel de 30 m, por un periodo de 60 días (recolecta de 10 días para cada botella), c) Caudales diarios del río Rímac (m^3/s) (CUENCA, 2017) y el periodo de permanencia de las trampas de sedimento (mecánica y automática) colectando material particulado

Figure 6. a) Total particulate matter mass fluxes ($\text{mg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{day}^{-1}$), b) Characteristics of the accumulated sediment (height) measured directly from the automatic sediment trap bottles, corresponding to the automatic sediment trap at Station TS (41 m deep) at a level of 30 m, for a 60-day period (10-day collection for each bottle), c) Daily flow rates of the Rímac River (m^3/s) (CUENCA, 2017) and the period of permanence of the sediment traps (mechanical and automatic) collecting particulate matter

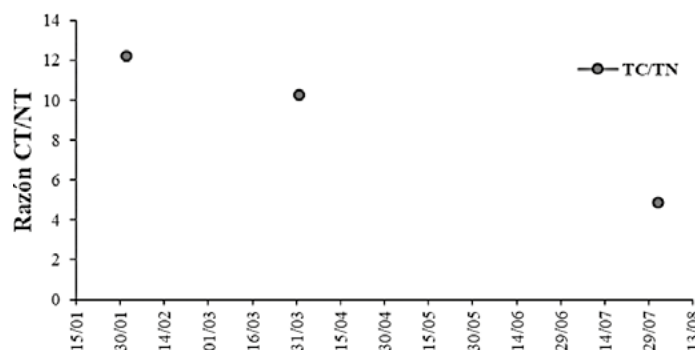


Figura 7.- Razón Carbono Total/Nitrógeno Total del primer centímetro superficial del sedimento en E-2, entre febrero y agosto de 2017

Figure 7. Total Carbon/Total Nitrogen Ratio of the first surface centimeter of sediment in E-2 (February-August 2017)

CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS MARINOS

Sedimentos superficiales: la razón carbono total a nitrógeno total (CT/ NT) en el primer centímetro superficial de E-2 alcanzó el máximo valor en febrero (12,19) disminuyendo hacia fines de marzo y posteriormente manteniendo esta tendencia hasta llegar al mínimo valor de 4,88 en agosto (Fig. 7).

MARINE SEDIMENT CHARACTERIZATION

Surface sediments: the ratio of total carbon to total nitrogen (TC/ TN) in the first surface centimeter of E-2 peaked in February (12.19), decreasing in late March, and then maintaining this pattern until reaching a minimum value of 4.88 in August (Fig. 7).

Columna de sedimentos

Descripción de testigos de sedimentos someros (bahía): en base a la visualización de las estructuras sedimentarias (como láminas y bandas) y la comparación de estas entre los tres testigos, fue posible determinar que la acumulación del sedimento reciente fue mayor en el punto más profundo (46 m) que es el área contigua a la ubicación de las trampas de sedimento (Fig. 8).

La textura de los sedimentos fue fangosa con escasas cantidades de arena, presentando olor sulfhídrico en todos los casos. La parte superficial de los testigos de 35 m de profundidad (agosto 2017), 41 m de profundidad (octubre 2017) y 46 m de profundidad (agosto 2018), presentaron pelecípodos de 0,5 cm de longitud y en las radiografías se caracterizaron por mostrar tonos de colores claros en la superficie. A lo largo de los testigos, se presentaron bandas alternadas de color marrón verdoso u oliva oscuro a marrón grisáceo muy oscuro con bandas de color marrón oliva claro a marrón oliva. Las radiografías mostraron que las bandas usualmente presentan contactos irregulares entre sí. Una lámina muy clara y delgada conformada por fango y pelecípodos pudo ser observada infrayacente a nivel superficial claro con abundantes pelecípodos (Fig. 8).

Sediment column

Description of shallow sediment cores (bay): we determine that the accumulation of recent sediment was greater at the deepest point (46 m), which is the area adjacent to the location of the sediment traps, based on the visualization of sedimentary structures (such as laminae and bands) and the comparison of these structures among the three cores (Fig. 8).

The sediments were muddy with scarce amounts of sand, and hydrogen sulfide odor in all cases. The superficial part of the 35-m deep (August 2017), 41-m deep (October 2017), and 46-m deep (August 2018) cores, presented bivalves of 0.5 cm in length and the radiographs were characterized by showing light color tones on the surface. Along with the cores, it was evident the presence of alternating bands of greenish-brown or dark olive to very dark grayish brown with light olive to olive-brown bands. Radiographs showed that the bands usually had irregular contact with each other. A very clear, thin lamina consisting of mud and bivalves could be observed underlying the clear surface level with abundant bivalves (Fig. 8).

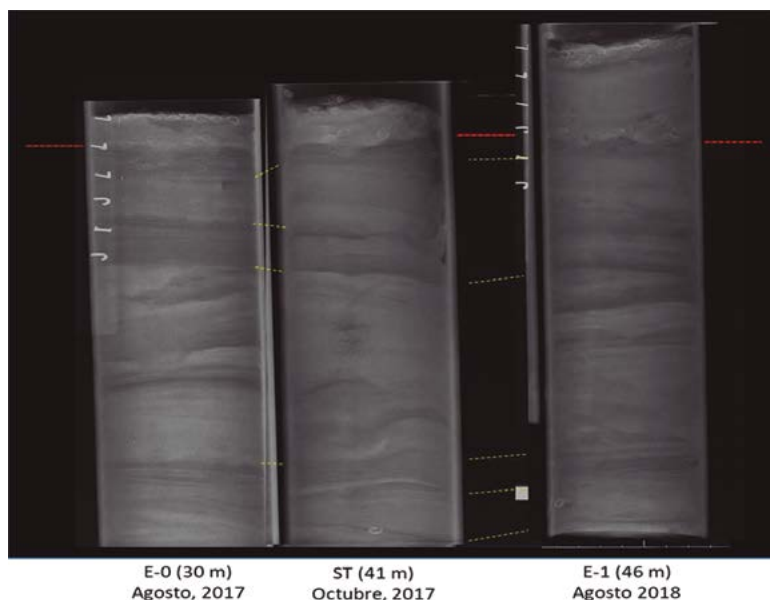


Figura 8.- Radiografías de testigos de sedimento de la estación 0 (35 m) recolectada en agosto 2017, de la estación TS (41 m) recolectada en octubre 2017 y de la estación 1 (46 m) recolectada en agosto 2018. Las líneas de color amarillo indican los niveles que se correlacionan entre sí y las líneas de color rojo destacan, a través de un contacto irregular con evidencias de bioturbación (existen valvas de pelecípodos en este nivel), la base de una capa clara que corresponde a la acumulación de sedimentos de mayor densidad; esta capa en la parte superior de los testigos tiene valvas de pelecípodos. Nótese que en el 2018 (testigo de E-1), este nivel tiene aproximadamente 4 cm, que correspondería a la acumulación de sedimento durante 1 año

Figure 8. X-rays of sediment cores from station 0 (35 m) collected in August 2017, station TS (41 m) collected in October 2017, and station 1 (46 m) collected in August 2018. The yellow-colored lines indicate the levels that correlate with each other and the red colored lines highlight, through an irregular contact with bioturbation (there are bivalve shells in this level), the base of a clear layer that corresponds to the accumulation of higher density sediments. This layer at the top of the cores has bivalve shells. Note that in 2018 (core of E-1), this level is approximately 4 cm, which would correspond to the 1-year accumulation of sediment

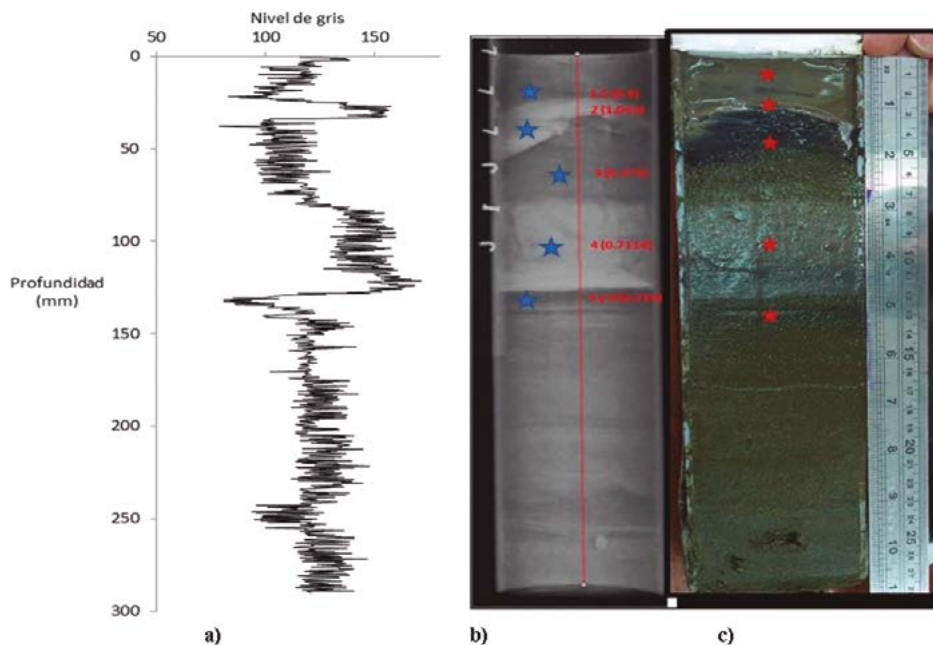


Figura 9.- a) Resultados del análisis de nivel de gris del testigo E-2 (94 m) realizado en el centro de la radiografía (b), marcado con una línea roja vertical al lado derecho (c) se muestra la imagen fotográfica del testigo y sobre ella, las estrellas de color rojo muestran la ubicación de las submuestras para análisis de densidad aparente (Fig. 10)

Figure 9. a) Results of the gray level analysis of core E-2 (94 m) performed in the center of the X-ray (b), marked with a vertical red line on the right side (c) shows the photographic image of the core and above it, the red stars show the location of the subsamples for bulk density analysis

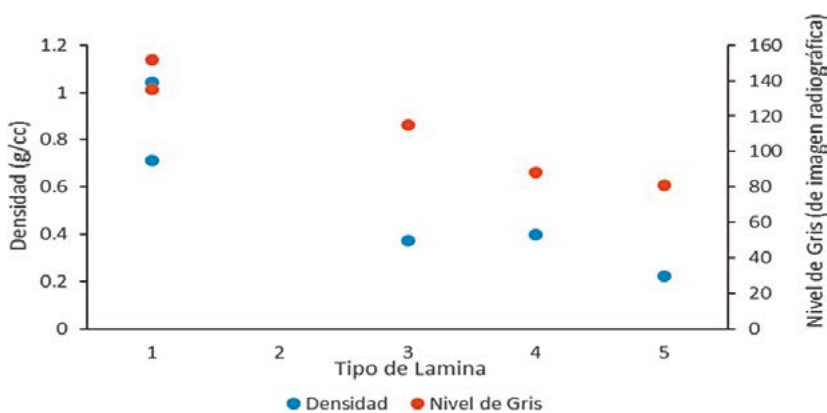


Figura 10.- Relación del tipo de lámina (1-clara, 5-oscuro) del testigo de sedimento de la estación 2 (96 m; recolectado en junio 2017) con el valor de nivel de gris de la radiografía y los valores de densidad aparente

Figure 10. Ratio of lamina type (1-clear, 5-dark) of sediment core from station 2 (96 m, collected in June 2017) to radiographic gray level value and bulk density values

Descripción de testigo de plataforma continental, tipo de lámina y nivel de gris y densidad aparente:

Una imagen de un testigo recolectado en E-2 en junio 2017 ubicado fuera de la bahía, permitió distinguir la formación de una lámina clara de 1 cm de espesor cubierta por una capa de sedimentos de color verde oliva oscuro en contacto con el agua suprayacente. La mayor preservación de las estructuras sedimentarias se encontró en la plataforma continental, en el testigo mencionado (E-2); no siendo posible correlacionarlo con los testigos someros (de la bahía). La figura 9, muestra el detalle del color natural del sedimento, apreciándose que el color claro (natural) de la fotografía tiene una correspondencia en la radiografía con un tono de color claro, con excepción de los dos centímetros superficiales, que por su fluidez se mezclaron.

Description of continental shelf core, lamina type, and gray level and bulk density:

We distinguished the formation of a 1 cm thick clear lamina covered by a layer of dark olive-green sediments in contact with the overlying water in an image of a core collected in E-2 (June 2017), located outside the bay. The greatest preservation of the sedimentary structures was found in the continental shelf, in the mentioned core (E-2), but it was not possible to correlate it with the shallow cores (within the bay). Figure 9 shows the detail of the natural color of the sediment, showing that the light (natural) color of the photograph has a correspondence in the radiography with a light color tone, except for the two superficial centimeters, which were mixed due to their fluidity.

En relación al tipo de lámina, los resultados de las muestras seleccionadas de testigos recolectados con MUC durante el verano 2017, mostraron que las láminas tipo 1 (L1), de color natural claro, presentaron valores sobre las 150 unidades de nivel de gris; mientras que las láminas tipo 5 (L5), de color natural oscuro, presentaron valor de 90 unidades de nivel de gris (Fig. 10). En relación a la densidad, las láminas o bandas claras exhibían los mayores valores de densidad.

4. DISCUSIÓN

La literatura citada documenta el registro fluvial extremo del río Rímac tanto por los caudales extraordinarios registrados (CUENCA, 2017) como por las inundaciones (ENFEN, 2017); además diversas publicaciones documentan el ingreso extraordinario de sedimentos a la bahía del Callao durante ENC 2017 (ARMAS, 2017; RAMOS *et al.*, 2017). Imágenes aéreas evidencian que a través de la pluma de dispersión de los sedimentos aportados por el río Rímac en la bahía del Callao, el material particulado pudo ser transportado hasta la zona de estudio.

Los flujos de material particulado de la trampa automática de sedimentos presentaron un notable incremento que coincide con los mayores aportes fluviales reportados por CUENCA (2017) siendo coincidentes con el incremento de los volúmenes de sedimentos transportados por el río Rímac a la bahía y depositados tanto cerca a la desembocadura (ARMAS, 2017) como en la zona submarina adyacente a esta (RAMOS *et al.*, 2017). De otro lado, en relación a la sedimentación más alejada de la desembocadura, un modelo conceptual planteado por VELAZCO (2001) indica que parte del material particulado que ingresa a la bahía del Callao, transportado por el río Rímac y que escapa a la sedimentación mecánica cerca a la desembocadura (partículas más grandes y pesadas), es trasladado hacia zonas más alejadas de la bahía por las corrientes. En base a esta información es factible que el material particulado recolectado por las trampas de sedimentos mecánica y automática pueda provenir desde la desembocadura del río Rímac.

En la trampa automática de sedimentos, la coincidencia de los más altos flujos de material particulado con el notable incremento de los aportes fluviales sugiere que el mayor volumen depositado de estos sedimentos en el fondo del mar (tanto en la zona costera como en la plataforma continental) hayan sido causados directamente por los mayores caudales del río Rímac y el sedimento transportado por este; cumpliendo así una de las principales condiciones de formación de láminas en sedimentos indicado por KEMP (1996).

Regarding lamina type, the results of selected core samples collected with MUC in summer 2017 showed that laminae type 1 (L1), light natural color, presented values above 150 gray level units. On the other hand, laminae type 5 (L5), dark natural color, showed a value of 90 gray level units (Fig. 10). About the density, the light-colored laminae or bands had the highest density values.

4. DISCUSSION

The extreme fluvial record of the Rímac River is documented because of its extraordinary flows (CUENCA, 2017) as well as by floods (ENFEN, 2017). Also, several publications document the extreme input of sediments into Callao Bay during 2017 CEN (ARMAS, 2017; RAMOS *et al.*, 2017). Aerial images show that the particulate matter could have been transported to the study area through the dispersion plume of sediments deposited by the Rímac River into Callao Bay.

The particulate matter fluxes from the automatic sediment trap showed a noticeable increase coinciding with the higher fluvial inputs reported by CUENCA (2017). They coincided with the increase in sediment volumes transported by the Rímac River to the bay and deposited both near the mouth (ARMAS, 2017) and in the underwater area adjacent to the mouth (RAMOS *et al.*, 2017). On the other hand, VELAZCO (2001) proposed a conceptual model for sedimentation farther away from the mouth of the bay, which indicates that part of the particulate matter entering Callao Bay, transported by the Rímac River and which escapes mechanical sedimentation near the mouth (larger and heavier particles), is transferred to areas farther away from the bay by currents. Therefore, it is likely that the particulate matter collected by the mechanical and automatic sediment traps could come from the mouth of the Rímac River.

The coincidence of the highest fluxes of particulate matter in the automatic sediment trap with the noticeable increase in fluvial inputs suggests that the greater volume of sediment deposited on the seabed (both on the coast and the continental shelf) was directly caused by the higher flows of the Rímac River and its sediments, thus meeting one of the main conditions for the laminae formation indicated by KEMP (1996).

Asimismo, el cambio de color del material particulado y de la estructura homogénea (color marrón oliva claro) presente en los frascos recolectores de la trampa automática de sedimento desde marzo hasta mediados de abril (frascos M1 a M5 y la base del frasco M6) al igual que el material particulado color verde oliva oscuro depositado sobre la base color marrón oliva claro en el frasco M6, permite asociar la disminución del aporte de material color marrón oliva claro con la reducción del aporte fluvial del río Rímac, dando paso a un incremento del material particulado de origen biogénico (fitoplanctónico) color verde oliva conforme avanzó el otoño en la parte final de ENC 2017.

La lamina de fango formada en la plataforma interna (94 m) alcanzó hasta 1 cm de espesor, presentando un color natural entre marrón oliva claro a marrón oliva, característicos de sedimentos de origen continental. Es así que, el color natural de la lámina que conforma el registro sedimentológico en la estación E-2 (94 m) es similar al de los sedimentos superficiales observados cuando fueron recolectados en la zona somera en abril 2017 (Fig. 3) y al de las partículas que conformaron el flujo acumulado en las botellas de la trampa automática de sedimentos (Fig. 4), por lo cual se puede considerar que el sedimento en este sector está muy asociado a las partículas que sedimentan verticalmente en la columna de agua.

También debe considerarse que, en relación a la geoquímica de los sedimentos superficiales, la razón C/N de los sedimentos superficiales recolectados en abril 2017 en E-2 (94 m) correspondió al rango típico de la materia orgánica de origen continental (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1984 en GUIÑEZ *et al.*, 2010).

De otro lado, en registros sedimentarios hemipelágicos afuera de Callao, se ha observado que cuando el aporte fluvial de partículas es mayor, los sedimentos depositados son de color más claro y están asociados a mayor intensidad de nivel de gris (de la imagen radiográfica del testigo y por consiguiente mayor densidad), con respecto a sus adyacentes láminas y bandas de fango color negra a verde oliva (SIFEDDINE *et al.*, 2008; GUTIÉRREZ *et al.*, 2009). De acuerdo a estos autores, el aumento de la densidad de los sedimentos (y nivel de gris alto) es explicado por mayor abundancia de sedimentos conformados por minerales de origen terrígeno como cuarzo, feldespatos; cuyos flujos aumentan con el aporte fluvial. De otro lado, al sur del área de estudio (14°S), BRICEÑO *et al.* (2016), comprobaron el origen fluvial de los sedimentos a partir del espectro de tamaño de las partículas de sedimento libres de contenido orgánico y carbonatos, durante los períodos en los cuales el flujo de lútics aumenta debido a condiciones húmedas y erosión fluvial que ocurrió durante la Pequeña Edad de Hielo (1450-1800 AD). Estas consideraciones permiten concluir que la lámina

Likewise, the change in color of the particulate matter and homogeneous structure (light olive-brown) found in the collection bottles of the automatic sediment trap from March to mid-April (bottles M1 to M5 and the base of bottle M6), as well as the dark olive-green particulate matter deposited on the light olive-brown base in bottle M6, allow us to associate the decrease in the contribution of light olive-brown material with the reduction of the fluvial input from the Rímac River. Thus, olive-green biogenic (phytoplanktonic) particulate matter increased as autumn progressed when 2017 CEN was about to end.

The mud sheet formed in the inner platform (94 m) reached up to 1 cm thick, being light olive-brown to olive-brown, which is characteristic of terrigenous sediments. Thus, at station E-2 (94 m), the natural color of the lamina forming the sedimentological records is similar to that of the surface sediments observed when they were collected in the shallow area in April 2017 (Fig. 3) and to that of the particles that made up the accumulated flow in the bottles of the automatic sediment trap (Fig. 4). Therefore, we consider that the sediment in this sector is closely associated with the particles that settle vertically in the water column.

Also, regarding the geochemistry of surface sediments, the C/N ratio of surface sediments collected in April 2017 at E-2 (94 m) corresponded to the typical terrigenous organic matter (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1984 en GUIÑEZ *et al.*, 2010).

On the other hand, it has been observed in hemipelagic sedimentary records outside Callao that when the fluvial input of particles is greater, the sediments deposited are lighter in color and are associated with a higher intensity of gray level, compared to their adjacent black to olive-green mud sheets and bands (SIFEDDINE *et al.*, 2008; GUTIÉRREZ *et al.*, 2009). According to these authors, the increase in sediment density (and high gray level) is explained by a greater abundance of sediments formed by terrigenous minerals such as quartz and feldspars, whose flows increase with fluvial input. BRICEÑO *et al.* (2016) proved that south of the study area (14°S), fluvial sediments, from the size spectrum of sediment particles free of organic content and carbonates, occurred during the Little Ice Age (1450-1800 AD) resulting from the wet conditions and fluvial erosion. Thus, we concluded that the sediment lamina formed off Callao (and preserved in sediments at E-2, on the continental shelf) is terrigenous and was transported by a fluvial source.

de sedimentos formada frente a Callao (y preservada en sedimentos de la E-2 en la plataforma continental) es de origen continental y aportado por una fuente fluvial.

En razón a la intensa hidrodinámica y a la bioperturbación de la fauna bentónica en E-0 y E-1 (V. Aramayo, com. pers.), como se ha podido comprobar también por radiografías de testigos de sedimentos recolectados después de ENC 2017, las láminas no son bien preservadas en la zona costera (30-46 m de profundidad) y en cambio son mucho mejor preservadas en la plataforma interna, donde se encuentra E-2 (94 m), debido a que este ambiente de sedimentación está permanentemente expuesto a la deficiencia de oxígeno y consecuentemente, menos afectado por presencia de fauna bentónica y bioperturbación. El espesor de la lámina (1 cm) formada a 8 millas de distancia a la costa (con mínima compactación debido a su reciente formación) y su contenido de material lítico obtenido indirectamente mediante técnicas radiológicas, podrían ser *proxies* de la intensidad de estos eventos extremos de lluvias muy intensas, aporte fluvial al océano y erosión continental. Además, la evidencia de estos registros superficiales en otras zonas de la plataforma continental permitiría entender los procesos de transporte y sedimentación netos en el *Shelf mud layer* (KRISSEK *et al.*, 1980).

Al ser posible registrar la ocurrencia y/o magnitud del aporte fluvial de la cuenca del río Rímac al océano, en los registros hallados en la plataforma continental interna a 8 millas náuticas de la costa; se abre la posibilidad que esta señal quede registrada en aquellos hallados en los sedimentos laminados anóxicos a más de 30 millas náuticas; entre el borde externo de la plataforma continental y el talud continental superior, en la estructura sedimentaria conocida como *Mud Lens* (KRISSEK *et al.*, 1980) si es que fracciones de estos sedimentos de origen fluvial, alcanzaran en su proceso de transporte esta estructura, posibilidad que se basa en que la columna sedimentológica del *Mud Lens*, contiene minerales terrígenos presentes en los sedimentos laminados anóxicos. GUTIÉRREZ *et al.* (2006) revisando los registros de El Niño 1982/83, 1986/87 y 1997/98 y REIN *et al.* (2007) los de El Niño 1982/83 y 1997/98, han interpretado que podrían provenir de aportes fluviales extraordinarios de esta cuenca. También podría ser posible la formación de una lámina o microlámina asociada a esos flujos o, podría también representar una señal fluvial de más de una cuenca presente en la región e influenciada por similares condiciones climáticas (lluvias extremas).

No se ha documentado precedentes similares de formación de lámina durante eventos fluviales de aporte terrígeno extraordinario en sedimentos de la plataforma interna a profundidades menores a 100 m

Laminae are not well preserved in the coastal zone (30-46 m depth) due to the intense hydrodynamics and bioturbation of the benthic fauna in E-0 and E-1 (V. Aramayo, pers. comm.), as could also be verified by radiographs of sediment cores collected after 2017 CEN. In contrast, they are much better preserved in the inner continental shelf, where E-2 (94 m) is located, because this sedimentation environment is permanently exposed to oxygen deficiency and consequently, less affected by the presence of benthic fauna and bioturbation. We could consider the thickness of the sheet (1 cm) formed 8 miles offshore (with minimal compaction given its recent formation) and its lithic content obtained indirectly through radiological techniques, as proxies for the intensity of these extreme events such as heavy rainfall, fluvial input to the ocean, and continental erosion. Also, the evidence of these surface records in other areas of the continental shelf would allow us to understand the transport and sedimentation processes in the shelf mud layer.

Possibly, the signal of previous events could be recorded in the anoxic laminated sediments at more than 30 nm, between the outer edge of the continental shelf and the upper continental slope, in the sedimentary structure known as mud lens, if fractions of fluvial sediments reach this structure in their transport process (KRISSEK *et al.*, 1980). This postulate is based on the terrigenous minerals found in the sedimentary column of the mud lens. GUTIÉRREZ *et al.* (2006) by reviewing the records of EN 1982/83, 1986/87, and 1997/98 and REIN *et al.* (2007) who reviewed those of EN 1982/83 and 1997/98, have interpreted that they could come from extraordinary fluvial inputs from this basin. Likewise, the formation of a lamina or micro lamina associated with these flows could also be possible, or it could also represent a fluvial signal from more than one basin present in the region and influenced by similar climatic conditions (extreme rainfall).

No similar precedents of lamina formation during fluvial events of extraordinary terrigenous input have been documented in sediments of the inner shelf at depths less than 100 m or in bays associated with the Peruvian Current system, but there are studies associated with sheet formation on the outer continental shelf and upper continental slope, where the highest accumulation rate found is up to 2.2 mm/year off Pisco, formed by the alternation of a 2 mm thick dark sheet and a 5 mm thick light sheet (GUTIÉRREZ *et al.*, 2006). Nevertheless, we still need to go deeper in the identification of the lamina in relation to the fluvial event that formed it. On the other

o en bahías asociadas al sistema de la Corriente Peruana, pero sí existen estudios asociados a formación de láminas en plataforma continental externa y talud continental superior, donde la mayor tasa de acumulación encontrada llega a ser hasta 2,2 mm/año frente a Pisco, conformada por alternancia de una lámina oscura de 2 mm de espesor y una lámina clara de 5 mm de espesor (GUTIÉRREZ *et al.*, 2006), siendo aún necesario profundizar en la identificación de la lámina respecto al evento fluvial que la formó. De otro lado, en sedimentos modernos varvados de otras latitudes como en los fiordos en el hemisferio norte, es posible encontrar registros de láminas asociados a procesos aporte fluvial; tal es el caso de una estación a similar profundidad del presente trabajo en el sureste de Alaska (ADDISON *et al.*, 2013), de aproximadamente 40-50 años de antigüedad (a 91 m de profundidad), donde la tasa de sedimentación para una estación próxima a la mencionada (150 m de profundidad) es alrededor de 5 mm/año; en la estación de 91 m de profundidad; láminas claras y oscuras conforman las varvas, siendo la lámina clara de origen detrítico, formada durante el periodo de otoño/invierno y que está asociada en su origen a contenido predominantemente lítico proveniente de procesos de lluvia, erosión continental y aporte fluvial; en relación a la lámina biogénica adyacente, oscura y rica en material orgánico, se asocia otro origen y al periodo de primavera/verano.

El análisis de la granulometría y la mineralogía de los sedimentos de la lámina formada frente a Callao y del material particulado de la trampa de sedimento automática, así como su comparación con el material en suspensión proveniente del río Rímac constituyen los próximos pasos a desarrollar para discriminar mejor la señal del aporte fluvial de aquellas fuentes que podrían potencialmente aportar partículas de origen terrígeno a los sedimentos de la plataforma. Por ejemplo, otras fuentes potenciales son: i) posibles depósitos originados por corrientes de baja densidad (corrientes de turbidez) originadas por deslizamientos que ocurren en la plataforma continental (GORSLINE *et al.*, 1984; THORNTON, 1984) y podrían darse a continuación de la pendiente submarina adyacente a la isla San Lorenzo, ii) posibles fuentes de origen antrópico (por ejemplo de la construcción de la vía costanera en la bahía de Miraflores transportados hacia el norte o disposición de materiales de dragado), iii) sedimentos transportados por las corrientes marinas, iv) ondas internas documentadas por ZEYNEP *et al.* (2016) para la plataforma externa frente a Callao, v) el aporte eólico que dada la cercanía de una fuente de este material como la isla San Lorenzo y a su vez favorecida por la dirección de los vientos y que inclusive ha sido encontrado en sedimentos laminados a más de 30 millas de la costa frente a Callao por YSEKI (2018) y, vi) finalmente, la combinación de dos o más de estas fuentes en los sedimentos marinos.

hand, we can find records of laminae associated with fluvial input processes in modern varved sediments from other latitudes such as fjords in the northern hemisphere. This is the case of a station in southeast Alaska which is about 40-50 years old, located at a similar depth to the one in this work (91 m deep) (ADDISON *et al.*, 2013), and the sedimentation rate for a station close to the one mentioned (150 m deep) is about 5 mm/year. Light and dark laminae form the varves in the 91 m deep station; the light lamina is detrital, predominantly lithic content from rainfall processes, continental erosion, and fluvial input and it was formed during the autumn/winter, while the adjacent biogenic lamina, dark and rich in organic matter, has another origin and is associated with the spring/summer.

Grain size and mineralogy analyses of the sediments of the lamina formed off Callao and of the particulate matter from the automatic sediment trap, as well as their comparison with the suspended matter coming from the Rímac River, are the next steps to be developed to better differentiate the fluvial input from those sources that could potentially contribute terrigenous particles to the sediments of the continental shelf. Thus, other potential sources are: i) possible deposits originating from low-density currents (turbidity currents) caused by landslides occurring on the continental shelf (GORSLINE *et al.*, 1984; THORNTON, 1984) and could occur along the submarine slope adjacent to San Lorenzo Island, ii) possible anthropogenic sources (e.g. from the construction of the coastal road in Miraflores Bay transported to the north or disposal of dredged materials), iii) sediments transported by marine currents, iv) internal waves documented by ZEYNEP *et al.* (2016) for the outer shelf off Callao, v) the aeolian contribution that given the proximity of a source of this material such as San Lorenzo Island, favored by the direction of the winds, and which has even been found in laminated sediments more than 30 miles offshore by YSEKI (2018) and vi) finally, the combination of two or more of these sources in the marine sediments.

Also, we need to date this lamina with ^{241}Am , ^{137}Cs o ^{210}Pb for its dating and to use other inorganic (trace metals) and organic geochemical proxies to allow a more complete characterization of this event given its potential as a time marker in sedimentological records of past extreme rainfall and fluvial erosion events in the continent. The same approach can be applied for studies of

Esta lámina como potencial marcador temporal en registros sedimentológicos de pasados eventos extremos de lluvia y erosión fluvial en el continente, requiere además estudios de dataciones con ^{241}Am , ^{137}Cs o ^{210}Pb para su fechado y el empleo de otros *proxies* geoquímicos inorgánicos (metales traza) y orgánicos; que permitan una caracterización más completa de este evento; el mismo enfoque puede aplicarse para estudios de eventos de mayor antigüedad del pasado reciente como los eventos El Niño 1997/98 y 1982/83.

5. CONCLUSIONES

A raíz del incremento extraordinario de las descargas fluviales del río Rímac durante marzo 2017, fueron registrados en la bahía de Callao flujos diarios de masa de material particulado hacia el subsistema bentónico, de $3.130,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ en promedio, con un valor de flujo de masa máximo de $8.777,9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ en la tercera semana de marzo, y un valor mínimo de $58,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ entre la última semana de marzo y la primera semana de abril.

Debido al aporte de material terrígeno transportado por las descargas fluviales del río Rímac se formó una lámina clara de alta densidad en los sedimentos costeros, caracterizada por presencia de materia orgánica de origen continental y alto contenido de material lítico.

Agradecimientos

El trabajo fue financiado por el Instituto del Mar del Perú y el Proyecto Paleotracas. Los autores expresan su agradecimiento al proyecto KOSMOS PERU por las facilidades logísticas para la instalación de los equipos a bordo del BAP Morales, el Área de Concesión dentro de la cual se localizó el experimento. Al Dr. Jorge Tam por la revisión de las versiones de este manuscrito. También al personal del Laboratorio de Bentos Marino por la recolección de testigos de multicorer durante los cruceros CRIO. Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú por la información brindada sobre caudales diarios del río Rímac. Asimismo, también agradecer a la tripulación y buzos del BAP Morales durante la instalación de la trampa automática de sedimentos; a la tripulación de los BIC Olaya y Flores durante la instalación de las trampas mecánicas de sedimento y a la tripulación de la embarcación IMARPE VI para las operaciones de recuperación de la trampa automática de sedimentos.

events of greater antiquity in the recent past such as the 1997/98 and 1982/83 El Niño events.

5. CONCLUSIONS

In March 2017, given the extraordinary increase in fluvial inputs from the Rímac River, on average, daily mass fluxes of particulate matter of $3,130.5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ were deposited to the benthic subsystem in Callao Bay, with a maximum mass flux value of $8,777.9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ in the third week of March, and a minimum value of $58.5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ between late March and early April.

A clear, high-density lamina was formed in the coastal sediments, characterized by the presence of terrigenous organic matter and a high content of lithic material. This results from the contribution of terrigenous material transported by the fluvial discharges of the Rímac River.

Acknowledgments

This work was funded by the Instituto del Mar del Perú and the Paleotracas Project. The authors are grateful to the KOSMOS PERU project for the logistical support for the installation of the equipment onboard the BAP Morales, within the Concession Area where the experiment was located. We would like to thank Dr. Jorge Tam for the review of the versions of this manuscript, as well as the staff of the Marine Benthos Laboratory for the collection of multiple corers during the CRIO cruises. Thanks to the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru for the information provided on the daily flow rates of the Rímac River. Finally, we would also like to thank the crew and divers of the BAP Morales during the installation of the automatic sediment trap, the crew of the R/Vs Olaya and Flores during the installation of the mechanical sediment traps, and the crew of IMARPE VI for the recovery operations of the automatic sediment trap.

REFERENCIAS / REFERENCES

- AGI. 1984. Dictionary of Geological Terms. American Geosciences Institute (AGI). Third Edition. Robert L Bates and Julia A Jackson, Editors. Anchor Books
- ADDISON J, FINNEY B, JAEGER J, STONER J, NORRIS R, HANGSTERFER A. 2013. Integrating satellite observations and modern climate measurements with the recent sedimentary record: An example from Southeast Alaska. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Volume 118, Issue 7 p. 3444-3461
- ARMAS V. 2017. Trabajos de descolmatación del río Rímac a consecuencia del Fenómeno "El Niño". Bitácora Hidrográfica. Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina. Callao. N° 17: 24-25.
- ABRANTES F, LOPES C, RODRIGUES T, GIL I, WITT L, GRIMALT J, HARRIS I. 2009. Proxy calibration to instrumental data set: Implications for palaeoceanographic reconstructions. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 10: Q09U07. doi:10.1029/2009GC002604
- BRICEÑO-ZULUAGA F J, SIFEDDINE A, CAQUINEAU S, CARDICH J, SALVATTECI R, GUTIERREZ D, ORTLIEB L, VELAZCO F, BOUCHER H, MACHADO C. 2016. Terrigenous material supply to the Peruvian central continental shelf (Pisco, 14° S) during the last 1000 years: Paleoclimatic implications. *Climate of the Past*. 12(3): 787-798.
- BRICEÑO-ZULUAGA F J, CASTAGNA A, RUTLANT J, FLORES-AQUEVEQUE V, CAQUINEAU S, SIFEDDINE A, VELAZCO F, GUTIERREZ D, CARDICH J. 2017. Paracas dust storms: Sources, trajectories and associated meteorological conditions. *Atmospheric Environment*. doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.06.019.
- BRODIE I, KEMP A. 1994. Variation in biogenic and detrital fluxes and formation of laminae in late Quaternary sediments from the Peruvian coastal upwelling zone. *Marine Geology*. 116: 385-398.
- BUESSELER K, ANTIA A, CHEN M, FOWLER S, GARDNER W, GUSTAFSSON O, HARADA K, MICHAELS A, VAN DER LOEFF M, SARIN M, STEINBERG D, TRULL T. 2007. An assessment of the use of sediment traps for estimating upper ocean particle fluxes. *Journal of Marine Research*. 65: 345-416.
- BULL D, KEMP A. 1995. Composition and origins of laminae in late Quaternary and Holocene sediments from the Santa Barbara Basin. *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results*. 146: 77-87.
- CANDELARIO J. 2017. Sistema de Información Geográfica en la desembocadura del río Rímac. Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina. Callao. Bitácora Hidrográfica. 17: 26-29.
- CORREA D, TAM J, PASAPERA J, SAAVEDRA M, INGUNZA A. 2017. Modeling of marine circulation and hypothetical discharges in Callao Bay, Peru. *Journal Research in Marine Sciences*. 2(3): 156-176.
- CUENCA, V. 2017. Impacto Ambiental del comportamiento Hidrometeorológico en la cuenca del río Rímac zona de Chosica, durante eventos "El Niño" 1982-83, 1997-98 y 2016-17. Lima. Fac. Ing. Ambiental. Univ. César Vallejo. Lima.
- CURRY W, D. OSTERMANN D. 1997. Ground-truthing the paleoclimate record - Sediment trap observations aid paleoceanographers. *Oceanus*. 40: 11-14.
- DREYER J. 2011. Origin and palaeoceanographic significance of laminations in hemipelagic bio siliceous sediments: examples from the Peru Margin and the Monterey formation, California. Master Thesis. Faculty of California State University, Monterey Bay.
- ENFEN. 2017. Informe Técnico Extraordinario N° 001. El Niño Costero.
- GUÍÑEZ M, VALDÉZ J, SIFEDDINE A. 2010. Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO) en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones, Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 38(2): 242-253.
- GUILLÉN O, DELGADO C, POMA R. 1985. Distribución de plomo, cobre, zinc y cadmio en sedimentos del Puerto del Callao. *Inf Inst Mar Perú. Proyecto OEA. Callao.*
- GORSLINE D S, KOLPACK R L, KARL H A, DRAKE D E, FLEISCHER P, THORNTON S E, SCWALBACH J R, SAVRDA C E. 1984. Studies of fine-grained sediment transport processes and products in the California Continental Borderland. In: D.A.V. Stow and D.J.W. Piper (Ed.). *Fine Grained Sediments: Deep-Water Processes and Facies*. Spec. Publ. Geol. Soc. London. 15: 395-496.
- GUTIÉRREZ D, ENRÍQUEZ E, PURCA S, QUIPÚZCOA L, MARQUINA R, FLORES G, GRACO M. 2008. Oxygenation episodes on the continental shelf of central Peru: Remote forcing and benthic ecosystem response. *Progress in Oceanography*. 79: 177-189.
- GUTIÉRREZ D, SIFEDDINE A, REYS J L, VARGAS G, VELAZCO F, SALVATTECI R, FERREIRA-BARTRINA V, ORTLIEB L, FIELD D, BAUMGARTNER T, BOUSSAFIR M, BOUCHER H, VALDES J, MARINOVIC L, SOLER P, TAPIA P. 2006. Anoxic sediments off Central Peru record interannual to multidecadal changes of climate and upwelling ecosystems during the last two centuries. *Advances in Geosciences*. 6: 119-125.
- HIDRONAV. 1995. Derrotero de la Costa del Perú. Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina. Callao. Vol. I, 3ª Ed.
- KEMP A E S. 1990. Sedimentary fabrics and variation in lamination style in Peru continental margin upwelling sediments. *Proc. ODP, Sci. Results*. 112: 43-58.
- KEMP A. 1996. Laminated sediments as paleo-indicators. In: *Paleoclimatology and paleoceanography from laminated sediments*. Geological Society Special Publications. The Geological Society. London. 116: vii-xii.
- KRISSEK K, SHEIDEGGER K, KULM L. 1980. Surface sediments of the Peru-Chile continental margin and the Nazca plate. *Geological Society of America Bulletin*. Part 1(91): 321-331.
- MENDOZA U. 2018 Instructivo de recibimiento, fraccionamiento, tamizado y análisis de muestras colectadas con trampas de sedimento automática. Laboratorio de Geología Marina. AFIOQG. DGIOCC. IMARPE.
- MORENO A. 2002. Registro del aporte de polvo de origen sahariano y de la productividad oceánica en la Cuenca del Norte de Canarias y en el Mar de Alborán. Respuesta a los últimos 250.000 años de cambio climático. Tesis para Optar grado de Doctor en Ciencias Geológicas. Universitat de Barcelona. Departament de Geodinàmica i Geofísica. Universitat de Barcelona. <http://hdl.handle.net/10803/1915>
- PALACIOS O, CALDÁS J, VELA CH. 1992. Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Serie A. Carta Geológica Nacional. Boletín del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Lima. 43: 162 pp.
- RAMOS C, GUZMÁN E, CHOQUE E. 2017. Estimación preliminar de la evolución morfodinámica del delta del Río Rímac

- producto del fenómeno El Niño Costero. Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina. Callao. Bitácora Hidrográfica. 17: 11-14.
- REIN B, SIROKO F, LUCKGE A, REINHARDT L, WOLF A, DULLO W. 2005. Abrupt change of El Niño activity off Peru during stage MIS 5e-d. In: Siroko, F., Litt, T., Claussen, M., Sanchez-Goni, F. (Eds.). *The Climate of the Past Interglacials*.
- REIN B. 2007. How do the 1982/83 and 1997/98 El Niño Rank in a geological record from Peru? *Quaternary International* 161: 56-66.
- RENARD K, LANE H. 1975. Sediment yield as related to scholastic model of ephemeral run off. In: *Present and prospective technology for predicting yields and sources*. Ref. ARS-1-40, U.S. Dep. of Agriculture. Agricultural Research Station, Southern Region, New Orleans.
- ROMERO A, GUADALUPE E, BLAS W. 2010. Estimado de descargas máximas en la microcuenca de Huaycoloro (Huachipa – Lima). *Rev. del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM*. 13(25): 109-116.
- OROZCO R, CASTILLO S, FERNÁNDEZ E, FIERRO C, MORÓN O, SOLÍS J, FLORES G. 1999. Contaminación sobre ecosistema marino del Callao en abril y setiembre. *Inf Prog. Inst Mar Perú*.
- SALVATTECI R, FIELD D, SIFEDDINE A, ORTLIEB L, GUTIERREZ, FERREIRA V, BAUMGARTNER T, CAQUINEAU S, VELAZCO F, REYSS J, SANCHEZ-CABEZA J, GUTIERREZ D. 2014. Cross stratigraphist from a seismically active mud lens off Peru indicate horizontal extensions of laminae, missing sequences, and a need for multiple cores for high resolution records. *Marine Geology*. 357: 72–89.
- SALVATTECI R, SCHNEIDER R, BLANZ T, MOLLIER-VOGEL E. 2019. Deglacial to Holocene Ocean temperatures in the Humboldt Current System as indicated by alkenone paleothermometry. *Geophysical Research Letters*, 46, 281-292. <https://doi.org/10.1029/2018GL080634>
- SCHAEFFER F, SCHACHTSCHABEL P. 1984. *Lehrbuch der Bodenkunde*. Enke Verlag, Stuttgart. 442 pp.
- SCHEIDEGGER, KENNETH F, KRISSEK, LAWRENCE A. 1982. Dispersal and deposition of eolian and fluvial sediments off Peru and northern Chile. *Geological Society of America Bulletin*. 93(2): 150. doi:10.1130/0016-7606(1982)93<150:dadoea>2.0.co;2
- SIFEDDINE A, GUTIERREZ D, ORTLIEB L, BOUCHER H, VELAZCO F, FIELD D, VARGAS G, BOUSSAFIR M, SALVATTECI R, FERREIRA V, GARCÍA M, VALDES J, CAQUINEAU S, MANDENG-YOGO M, CETIN F, SOLIS J, SOLER P, BAUMGARTNER T, 2008. Laminated sediments from the central Peruvian continental slope: a 500-year record of upwelling system productivity, terrestrial runoff and redox conditions. *Progress in Oceanography*. 79: 190–197.
- TAKAHASHI K, MARTINEZ A. 2017. The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Clim Dyn*. DOI 10.1007/s00382-017-3702-1
- TAKAHASHI K. 2017. Fenómeno El Niño Global vs “Costero”. *Boletín Técnico El Niño – IGP*. 4(4): 4-7.
- TEVES N, LAOS G, CARRASCO S, SAN ROMAN C, PIZARRO L, CARDENAS G, ROMERO A. 1996. Sea-Level Rise along the Lima Coastal Zone, Perú, as a Result of Global Warming: Environmental Impacts and Mitigation Measures. In: Smith J.B. et al. (eds) *Adapting to Climate Change*. Springer, New York, NY.
- THORNTON S E. 1984. Basin model for hemipelagic sedimentation in a tectonically active continental margin: Santa Barbara Basin, California Continental Borderland. In: D.A.V. Stow and D.J.W. Piper (Editors), *Fine Grained Sediments: Deep-Water Processes and Facies*. Spec. Publ. Geol. Soc. London. 15: 481-496.
- TYLMANN W, KINDER M, ŻARCZYŃSKI M, PORAJ-GÓRSKA A. 2016. Preliminary characteristics of laminations in recent sediments from lakes Kamendul and Perty in the Suwałki Landscape Park, northeastern Poland. *Limnol. Rev.* 16(4): 237–245.
- VELAZCO F. 2001. Geología Marina y ambiental del área entre la bahía del Callao y Ventanilla. Tesis Ing. Geólogo. Universidad Nacional de Ingeniería.
- VELAZCO F. 2011. Sedimentos marinos superficiales en la bahía del Callao, Perú. 1997. *Bol Inst Mar Perú*. 26(1-2): 75-82. <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/113>
- YSEKI M. 2018. Variabilidad del flujo y tipo de transporte de material terrígeno hacia el margen continental en la costa central del Perú durante la última desglaciación (18-12 ka) BP. Tesis Maestría Ciencias del Mar, Univ. Peruana Cayetano Heredia. 114 p.
- WEFER G, BERGER W, BIJMA J, FISHER G. 1999. Clues to Ocean History: a Brief overview of proxies. In: *Use of proxies in Paleooceanography: Examples from the South Atlantic*. 68 pp.
- ZEYNEP E, SCHÖNFELD J, GLOCK N, MARCUS D, MOSCH T, SOMMER S, ELGER J, EISENHAEUET A. 2016. Peruvian sediments as recorders of an evolving hiatus for the last 22 thousand years. *Quaternary Science Reviews*. 137. 10.1016/j.quascirev.2016.01.029.
- ZUTA S, GUILLEN O. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Bol Inst Mar Perú*. 26(1-2): 75-82.