

PROCEDIMIENTO PARA DIVISIÓN Y RETIRADA DE NADADORES-PELLETS FECALES DE MUESTRAS DE TRAMPA DE SEDIMENTO COLECTADAS EN EL SISTEMA DE AFLORAMIENTO DEL NORTE DE LA CORRIENTE DE HUMBOLDT

SEDIMENT TRAP SPLITTING AND SWIMMERS-FECAL PELLETS PICKING PROCEDURE OF SAMPLES COLLECTED IN THE UPWELLING SYSTEM OF THE NORTH HUMBOLDT CURRENT

Ursula Mendoza¹ Patricia Ayón¹ Bobby Leigh² Wendy Oyola³
 Lennart Bach⁴ Sandrine Caquineau⁵ Ioanna Bouloubassi⁶ Federico Velazco¹
 Bruno Turcq⁵ Abdel Sifeddine⁷ Flor Chang¹ Roberto Quesquén¹
 Michelle Graco¹

RESUMEN

MENDOZA, U., AYÓN, P., LEIGH, B., OYOLA, W., BACH, L., CAQUINEAU S., BOULOUBASSI, I., VELAZCO, F., TURCK, B., SIFEDDINE, A., CHANG, F., QUESQUÉN, R., GRACO, M. (2022). *Procedimientos para división y retirada de nadadores-pellets fecales de muestras de trampa de sedimento colectadas en el sistema de afloramiento del norte de la Corriente de Humboldt*. *Inf Inst Mar Perú*. 49(2): 315-322.- Este trabajo proporciona un procedimiento desarrollado y aplicado durante el proyecto KOSMOS-Perú 2017 para evaluar el flujo y el material biológico (nadadores, pellets fecales) capturado, utilizando una trampa de sedimento automática fija, colocada en la columna de agua somera de un área del sistema de afloramiento del norte de la Corriente de Humboldt. La trampa de sedimento fue desplegada durante el periodo de verano austral, caracterizado por presentar la mayor productividad biológica y en particular, bajo las condiciones extremas del evento El Niño Costero 2017. Esta condición determinó la colecta de material de origen terrígeno en mayor proporción que durante un año no Niño. Además, el material capturado presentó alta heterogeneidad, lo cual dificultó el submuestreo representativo de la muestra *bulk*. Esto determinó la necesidad de desarrollar un procedimiento adecuado para manipular la muestra de la trampa de sedimento con respecto a los métodos de división, tamizado, remoción de los nadadores y los pellets fecales. Por otra parte, los errores relacionados a la precisión fueron documentados. Para ello, los esfuerzos para corregir el sesgo potencial o minimizar el problema usando esta tecnología son presentados.

PALABRAS CLAVE: tasa de sedimentación, pellets fecales, zooplancton, trampa de sedimento, sistema de afloramiento del norte de la Corriente de Humboldt

ABSTRACT

MENDOZA, U., AYÓN, P., LEIGH, B., OYOLA, W., BACH, L., CAQUINEAU S., BOULOUBASSI, I., VELAZCO, F., TURCK, B., SIFEDDINE, A., CHANG, F., QUESQUÉN, R., GRACO, M. (2022). *Sediment trap splitting and swimmers-fecal pellets picking procedure of samples collected in the upwelling system of the north Humboldt Current*. *Inf Inst Mar Peru*. 49(2): 315-322.- This work provides a procedure developed and applied during the KOSMOS-Peru 2017 project to assess the flux and biological material (zooplankton, faecal pellets) caught using an automatic fixed sediment trap deployed at the upper ocean of a coastal area of the upwelling system of the North Humboldt Current. The sediment trap was deployed during the austral summer period, characterized by the highest biological productivity and in particular under the extreme conditions of the coastal El Niño event 2017. This condition determined the sampling of material with terrigenous origin in a higher proportion than during a non-Niño year. In addition, the caught material presented a large heterogeneity, which difficult the representative sub-sampling from the bulk sample. In this particular scenario, a suitable procedure how to sample the sediment trap with respect to the splitting, sieving, swimmers and faecal pellets removal methods was described. This determined the need to develop a suitable procedure for handling the sediment trap samples with respect to the splitting, sieving, swimmers and faecal pellets removing methods. Furthermore, the accuracy-related issues were documented. For this approach the effort to correct for the potential bias or minimize the problem using this technology is presented.

KEYWORDS: sedimentation rates, fecal pellets, zooplankton, sediment trap, upwelling system of the North Humboldt Current

1 Dirección General de Investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático, Instituto del Mar del Perú, 1 Callao, Perú. umendoza@imarpe.gob.pe

2 Escuela Profesional de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Piura, 295 Piura, Perú

3 Escuela Profesional de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1 Lima, Perú

4 GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, 24105 Alemania

5 Laboratoire d'Océanographie et du Climat, Institut de Recherche pour le Développement, 93143 Bondy, Francia

6 Laboratoire de Physique et Chimie Marines, Université Pierre et Marie Curie, Paris, Francia

7 Laboratoire d'Océanographie et expérimentation et approche Numérique, 04510 Ciudad de México, México

1. ANTECEDENTES

Nuestro entendimiento de la relación bentónico-pelágica y las dinámicas de la sedimentación de partículas se incrementó con el uso de las trampas de sedimento, el equipo más común para investigar el flujo vertical de partículas (BERGER, 1971; HONJO, 1976). A partir del uso de dichas trampas se logró el muestreo de partículas en sedimentación en la columna de agua en océanos profundos y someros, aunque se han cuestionado debido a problemas asociados, por ejemplo, con nadadores (zooplancton), y en el submuestreo debido a cuestiones hidrográficas (BAKER *et al.*, 1988).

El protocolo descrito aquí fue desarrollado y aplicado para una trampa de sedimento estándar fijada en la costa central peruana del productivo sistema de afloramiento del norte de la Corriente de Humboldt (12,0554667°S, 077,2347667°W) durante el proyecto KOSMOS-Perú 2017. La dificultad clave del uso de las trampas de sedimento en esta área es el procesamiento de las muestras después de su recuperación, debido a las extremadamente altas densidades de partículas originadas de la productividad biológica (PACE *et al.*, 1987) características de los sistemas de afloramiento costero, y en particular en el momento del estudio del gran aporte de material terrígeno transportado por los ríos hacia el mar durante el extremo evento El Niño costero 2017. Además, se debe tener en cuenta que la heterogeneidad en el material sedimentado es grande, lo cual complica el submuestreo de la muestra original. Mientras que, los pellets fecales del zooplancton son la fuente principal del material particulado atrapado en las trampas. En términos de la composición de la masa colectada (*bulk*) un fragmento promedio de pellet fecal de anchoveta es equivalente a varios cientos de pellets fecales "típicos" de copépodos adultos (HONJO & ROMAN, 1978) y su contribución representa del 0,7 al 17,4% del carbono orgánico particulado (COP) total del sistema de afloramiento peruano (STARESINIC *et al.*, 1983).

En este contexto, a fin de obtener la estimación precisa del flujo de masa total está la necesidad de adoptar un procedimiento adecuado para esta área de investigación, debido a que los métodos de remoción de los nadadores y su

precisión en la división en trabajos anteriores realizados en el sistema de afloramiento de la Corriente de Humboldt están escasamente documentados (GONZÁLEZ & SMETACEK, 1994; GONZÁLEZ *et al.*, 2000). Este estudio combinó las fortalezas de dos procedimientos empleados anteriormente en los Océanos Pacífico y Atlántico. Estos son el procedimiento BATS (*Bermuda Atlantic Time-series Study*) (CONTE *et al.*, 2001) y el proyecto AMOP (*Activities of research dedicated to the Minimum of Oxygen in the Eastern Pacific*) (BRETAGNON *et al.*, 2018) para estandarizar la metodología de las trampas de sedimento en el océano somero y así obtener el mejor set de datos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Material y Soluciones

- Microscopio estereoscopio con cámara acoplada
- Microscopio compuesto con cámara acoplada
- 3 botellas de vidrio (250 mL) por muestra
- Botellas de polisulfona (50 mL, 100 mL)
- Tubos de Eppendorf (2 mL)
- Tamiz de nital con mallas de 1 mm, 500 μ m, 300 μ m, 150 μ m y 100 μ m de abertura
- Aguja de acupuntura
- Pinceles finos
- Pipetas de vidrio (10 mL, 25 mL) con pera de succión
- Pipeta automática Sarpette (50 mL)
- Bomba de succión Resun ACO-008^a usado en acuarios
- Divisor Folsom
- Cámara de recuento Bogorov
- Cámara de recuento Sedgewick Rafter
- Soporte de tamices
- Agua destilada y agua milli-Q
- Solución de formaldehído al 20%, grado EM
- Tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) o bórax

A fin de preservar a los nadadores y pellets fecales, estos son fijados en formaldehído al 2% (BATS) y formaldehído al 5% tamponado (pH 8) con Tetraborato de sodio (bórax) (AMOP), respectivamente.

Diseño de muestreo

Antes del despliegue de la trampa de sedimento, dos litros de agua de mar fueron

colectados con una botella Niskin de la estación y profundidad elegidas para la colocación del arreglo oceanográfico. En el laboratorio, para facilitar el trabajo *in situ* (usualmente esto puede realizarse a bordo), el formol (5%) tamponado con bórax a pH ~8 se preparó con agua de mar filtrada (filtro de acetato de celulosa 0,2 µm) siguiendo el procedimiento AMOP (BRETAGNON *et al.*, 2018).

Un arreglo oceanográfico fijo subsuperficial fue desplegado por el buque de investigación BAP MORALES al norte de la isla San Lorenzo a profundidad promedio de 40 m, localizado frente al Callao, Perú central (Fig. 1). Una trampa de sedimento estándar programable con embudo

cilíndrico (HYDRO-BIOS MULTI SEDIMENT TRAP, 444000) se instaló en la línea de fondeo a 30 m de profundidad. La trampa tiene un colector que recoge las partículas en sedimentación en botellas de 250 mL secuenciales, en un carrusel giratorio de 6 puertos. El tiempo utilizado por la trampa de sedimento en el experimento fue de 60 días consecutivos, empezando el 26 de febrero 2017, cuando la resolución del muestreo fue configurada para 10 días.

Procedimiento

El procedimiento detallado aplicado para las muestras de la trampa de sedimento automática se dividió en 2 pasos (Figs. 2, 3).

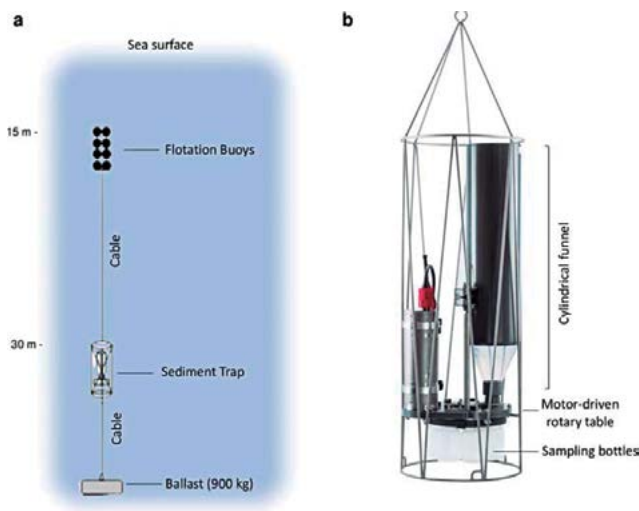


Figura 1.- Panel a) Bosquejo de la línea de fondeo fija sub superficial con una trampa de sedimento programable posicionada en la base. Panel b) Bosquejo de la trampa de sedimento con embudo cilíndrico (Hydro-Bios Multi Sediment Trap, 444000) diseñado para plataforma continental

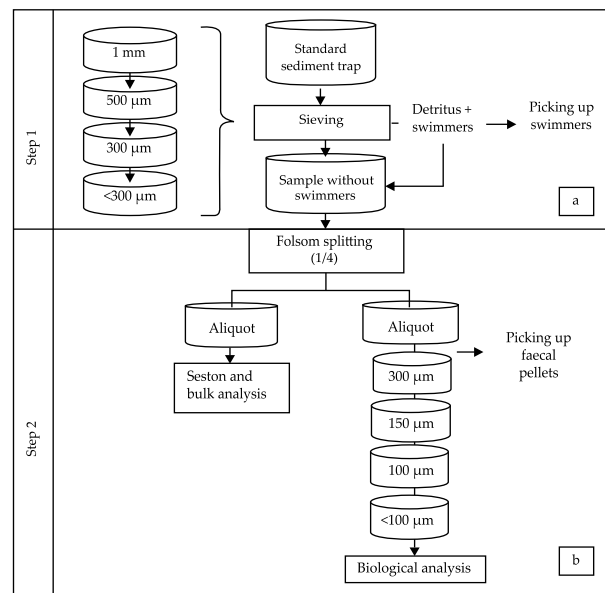


Figura 2.- Diagrama del procedimiento con trampa de sedimento a) retirada and b) división

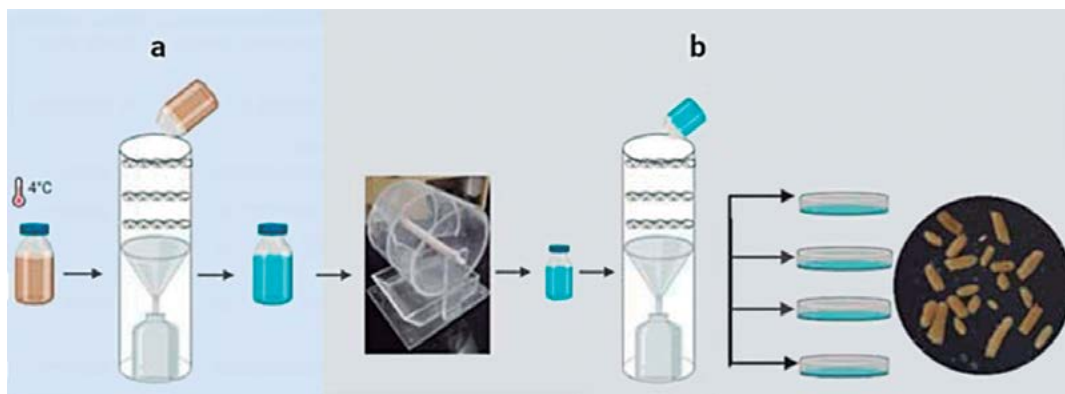


Figure 3.- Paneles a) Paso 1 describiendo el tamizado y la retirada de zooplancton, b) Paso 2 describiendo los procedimientos de división y retirada en trampa de sedimento automática

PRIMER PASO

El primer paso describe el cribado y recojo de los nadadores bajo el estereoscopio para remover todos, retirando con cuidado cualquier partícula de detrito adherida a estos. Estas partículas serán destinadas al análisis de la masa colectada (Figs. 2a, 3a). Los nadadores son definidos como el zooplancton completo y larvas de peces bien preservados, los cuales entran de manera activa a la trampa de sedimento, mientras que los no-nadadores se refiere a las partes de los organismos (patas, conchas, antenas) u organismos en claro estado de descomposición (BUESSELER *et al.*, 2007). Es importante remover todos los nadadores retirando cualquier partícula de detritus adherida a estos para obtener una muestra libre de nadadores, porque al no removerlos se sobreestimaría el flujo (BUESSELER *et al.*, 2007).

Actualmente, no hay consenso sobre un protocolo general para la remoción de nadadores. Algunos autores (CONTE *et al.*, 2001; HONJO & MANGANINI, 1993; MIQUEL *et al.*, 1994; KARL *et al.*, 1996) han usado uno o más tamices con diferentes mallas (125, 500, 600, 1000, 1500 micrón) antes de la etapa de fraccionamiento para remover los nadadores más grandes y posteriormente, bajo el estereoscopio. Otros (KNAP *et al.*, 1997; ANTIA *et al.*, 1999; STEINBERG *et al.*, 2001) remueven los nadadores solamente recogéndolos de los filtros bajo un estereoscopio sin realizar el procedimiento de tamizado. CHIARINI *et al.* (2013) propuso la remoción de nadadores usando el estereoscopio solamente en una porción de la muestra con una gran cantidad de material retenido. Estos autores advierten que eliminar los nadadores bajo un estereoscopio es la metodología más precisa, aun si la precisión depende de la experiencia del analista. Otra ventaja es que, el estereoscopio permite la identificación y remoción de diferentes materiales externos tales como plumas provenientes de aves marinas o fibras de plástico de diferentes orígenes. Adicionalmente, ambientes eutróficos poco profundos (dentro de los 200 m de profundidad) o ambientes costeros tienen un mayor número de nadadores, por ello el método a ser utilizado para su remoción dependerá del sistema oceánico estudiado (BUESSELER *et al.*, 2007).

El método de remoción de nadadores también representa una fuente de error que probablemente varía con el espectro del tamaño y la composición de las especies (KARL *et al.*, 1996). La comunidad de metazooplancton de las aguas costeras peruanas (p. ej. copépodos, eufáusidos) presenta un amplio rango de tamaños aproximadamente entre 0,3 y 25 mm (PINEDO, 2014) por ello la mejor opción de recojo de nadadores es usando las mallas de 1 mm, 500 μm (BATS) y 300 μm para las submuestras, las cuales son usadas para los análisis biogeoquímicos. Generalmente el metazooplancton más pequeño (p. ej. copépodos) también puede encontrarse, por ello ese zooplancton permite utilizar, junto a las mallas con abertura más grande, el filtrado < 300 μm .

La resolución de muestreo configurada cada 10 días para la trampa de sedimento estándar del proyecto KOSMOS-Perú 2017 integró densidades relativamente altas (100 a 300 g peso húmedo) durante el verano austral. En esta estación del año, la productividad primaria es mayor (CALIENES *et al.*, 1985; GUTIEREZ *et al.*, 2011; CALIENES, 2014), identificada por la presencia de pellets fecales de zooplancton y peces, junto a una alta entrada de material terrígeno debido al evento El Niño 2017, ambos conllevaron a una sobrecarga de la muestra, lo cual dificultaría el análisis si solo fueran una o dos mallas.

El proceso de tamizado y retiro de nadadores es descrito abajo:

1. Dejar sedimentar por 48 horas la muestra fijada para separar el material particulado del sobrenadante por gravedad (BOXHAMMER *et al.*, 2016) bajo refrigeración (4 °C).
2. Remover el sobrenadante usando una pipeta (25 mL) y transferirlo a una botella de polisulfona (100 mL), evitando tocar el material particulado. Almacenar el sobrenadante en refrigeración (4 °C) para usarlo posteriormente para el lavado del material del laboratorio (placas Petri, embudos, etc.) después del proceso de tamizado.
3. Acoplar las mallas de tamizado (1 mm, 500 y 300 μm) de mayor a menor tamaño al soporte de tamices, colocar el embudo (10 cm) y la botella de vidrio (250 mL) debajo de la malla de 300 μm para recuperar el material filtrado (< 300 μm).

4. Homogeneizar manualmente la muestra por 30 segundos.
5. Tamizar el material particulado con las mallas y lavar la botella de la muestra y su tapa con parte del sobrenadante obtenido, tamizar el líquido obtenido y esperar 15 minutos hasta que la muestra completa haya sido filtrada.
6. Remover los tamices del soporte y colocar cada malla al revés ante las placas Petri con 10 mL de sobrenadante para amortiguar la caída del contenido y evitar su ruptura (especialmente de los pellets fecales).
7. Transferir el material retenido de cada malla a la placa Petri ejerciendo aire a presión utilizando una bomba manual para acuario (Resun ACO-008a), con una presión de 0,033MP sobre la muestra para eliminar el material atrapado en cada malla hasta no observar residuos en estas.
8. Colocar el contenido de cada placa Petri y el material filtrado (<300 μm , contenido en una botella de vidrio) separadamente en botellas de polisulfona de 100 mL debidamente identificadas (alícuotas).

El recojo de nadadores y pellets fecales se lleva a cabo a continuación:

9. Transferir cada alícuota a una placa de conteo Bogorov y retirar cada partícula de detrito cuidadosamente con la ayuda de pinces y agujas de acupuntura, tomar en cuenta no dañar sus contenidos para realizar el retiro de los nadadores utilizando un estereoscopio (rango de aumento 1X-8X).
10. Almacenar los nadadores removidos en botellas de polisulfona con una solución a 4 °C.
11. Combinar las alícuotas libre de nadadores en una sola muestra y almacenarla en botellas de polisulfona listas para el procedimiento de división.

Luego de la remoción, los nadadores son identificados por taxa mayores y contados. La data de nadadores es presentada como número de nadadores por trampa, ya que las trampas no están destinadas a medir el flujo activo de animales (SILVER & GOWING, 1991).

SEGUNDO PASO

El objetivo del segundo paso es dividir la muestra libre de nadadores en partes iguales utilizando un divisor para obtener al menos 4 submuestras ($\frac{1}{4}$ de la muestra) (Figs. 2b, 3b). Dos de las submuestras son usadas para el análisis de seston, análisis de la masa colectada y biológico (pellets fecales), objetivo del presente protocolo. Debido a que los diferentes métodos de remoción de nadadores pueden afectar los valores de los flujos biogénicos (GARDNER, 2000) y que la precisión de medición de masa varía dependiendo del divisor utilizado (CHIARINI *et al.*, 2013), es importante adoptar un procedimiento de fraccionamiento adecuado. Considerando que la trampa de sedimento estándar puede capturar pellets fecales de peces en un sistema de afloramiento natural, los cuales son equivalentes a cientos de pellets fecales de un "típico" copépodo adulto (HONJO & ROMAN, 1978), cuyos fragmentos son frágiles, se adoptó el uso del divisor Folsom. En el sistema del afloramiento del norte de la Corriente de Humboldt existen pellets fecales de zooplankton (50 - 668 μm de largo) y peces (248 - 8843 μm de largo) (data no mostrada) cuyos tamaños varían entre <100 y >300 μm , dificultando la separación apropiada de los pellets fecales y el detrito. En este contexto, para el análisis biológico, los pellets fecales fueron recogidos de la submuestra ($\frac{1}{4}$) añadiendo a la malla de 300 μm , una de 150 μm y de 100 μm de abertura y el filtrado <100 μm . La precisión realizada durante la manipulación del divisor Folsom fue calculada (véase en la sección de precisión).

Los procedimientos de fraccionamiento y retiro de pellets fecales son descritos abajo.

1. Homogeneizar la muestra.
2. Transferir la muestra libre de nadadores al divisor folsom obteniendo 2 submuestras ($\frac{1}{2}$ cada uno).
3. Dividir cada submuestra ($\frac{1}{2}$) secuencialmente, obteniendo 4 submuestras ($\frac{1}{4}$ cada una).
4. Etiquetar cada submuestra ($\frac{1}{4}$) destinadas a diferentes análisis y/o archivo.
5. Filtrar una alícuota con un filtro de membrana de vidrio para los siguientes análisis de flujo de masa total y análisis estándar de masa colectada.

6. Tamizar la alícuota usada para el análisis biológico utilizando mallas de tamizado con aberturas de 300 µm, 150 µm y 100 µm.
7. Esperar 15 minutos hasta que el líquido filtrado se encuentre totalmente adentro.

El retiro de los pellets fecales se desarrolla de la siguiente forma:

8. Retirar los pellets fecales con 2 agujas de acupuntura y conservarlos en frascos de polisulfona con una solución preservante a 4 °C.
9. Medir (largo y ancho) y registrar los pellets fecales (>150 µm) presentes utilizando una cámara Nikon DS-Fi2 acoplada al estereoscopio, una pantalla táctil Nikon Digital Sight DS-L3 y el programa Nikon NIS-Element.
10. Transferir la alícuota libre de nadadores a la cámara de conteo Sedgewick Rafter y con la ayuda de las agujas de acupuntura, realizar el conteo, medición y retiro de los pellets fecales < 150 µm utilizando el estereoscopio Nikon H600L (aumento 100X).
11. Relacionar el taxón de zooplancton de donde provienen los pellets fecales de acuerdo a su forma (ISEKI, 1981; FOWLER & SMALL, 1972; TAGUCHI & SAINO, 1998; WILSON *et al.*, 2008; MARTENS, 1978; YOON *et al.*, 2001).

3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aspectos relacionados con la precisión

Se dio especial atención a la remoción de nadadores, la preservación de las muestras, los instrumentos utilizados para la división, el tamaño de abertura de mallas de tamizado y la pérdida de material durante su manipulación.

El resultado de los flujos puede diferir ampliamente dependiendo del método para la remoción de los nadadores. Opuesto a la Región Antártica, donde este paso influencia más el flujo debido a la escasez de material (5 g peso húmedo) (CHIARINI *et al.*, 2013), en el sistema de afloramiento del norte de la Corriente de Humboldt, la cantidad de material particulado es mayor y su composición heterogénea. El procedimiento BATS (CONTE *et al.*, 2001) adoptado aquí para el tamizado complementando con una malla de 300 µm es rápido, aunque menos preciso que el retiro manual utilizando un estereoscopio y puede sobrestimar el flujo. Para compensarlo, se implementó también el retiro manual utilizando un estereoscopio, lo que podría resultar en una subestimación ya que algunas partículas pueden retirarse al quedarse adheridas a los nadadores (BUESSELER *et al.*, 2007).

La precisión del divisor Folsom fue determinada gravimétricamente por el volumen dividido (Tabla 1). Para calcularlo, se realizó una prueba de fraccionamiento con agua destilada, agua destilada con 1 g de sedimento de la superficie del área donde se realizó el estudio. Para cada prueba, el volumen (500 mL), el doble que el utilizado en la botella original de las muestras (250 mL), fue dividido en 8 partes iguales debido a que el error incrementa junto al número de submuestras por división (HEUSSNER *et al.*, 1990). El coeficiente de variación (CV) promedio obtenido fue de 0,17% para agua destilada y 0,11% para agua con sedimento añadido. Además, la prueba se repitió con dos muestras reales de material particulado, resultando en un CV medio de 0,07%. Los resultados de precisión del presente trabajo son considerablemente más bajos que el rango de 5% al 6% encontrado para el divisor

Tabla 1.- Precisión del divisor Folsom. La media y rango del coeficiente de variación (CV) son dados para cada tratamiento

Tipo de divisor	Nivel de sub muestra	Volumen muestral (mL)	Número de medidas	Volumen de submuestra (mL)	Número de réplicas	Media CV (%)	CV rango (%)
Divisor Folsom (solo agua)	1/8	500	8	62,5	16	0,17	0,10-0,25
Divisor Folsom (agua y 1 gr sedimento)	1/8	500	8	62,5	24	0,11	0,06-0,27
Divisor Folsom (material particulado simple)	1/8	250	7	31,2	33	0,07	0,01-0,18

Folsom utilizado por CHIARINI *et al.* (2013) con escaso material, sugiriendo así su aplicación.

Comentarios resumidos

Se alcanzó el objetivo del protocolo para la correcta estimación del flujo de masa total y pellets fecales que se utilizan posteriormente para desarrollar la cuantificación exacta de la cantidad de carbono. Teniendo en cuenta que los métodos de retirada de nadadores afectan directamente el flujo, fue importante informar cómo se eliminaron los nadadores. La combinación de la subestimación del flujo con la filtración con tamiz y la sobreestimación del flujo con la retirada manual de nadadores permitió un punto de cruce en algún lugar. Este punto “nulo” varió con el espectro del tamaño y quizás con las especies presentes. Este protocolo focalizado en muestras de año El Niño nos permitió plasmar un escenario de un espectro de gran tamaño con un aumentado problema de los nadadores debido a la poca profundidad de la trampa de sedimento. Fue importante hacer un esfuerzo para comprender el procedimiento del método y errores en este entorno variable del sistema de afloramiento del norte de la Corriente de Humboldt. Se recomienda tomarlo como base para futuros estudios.

Agradecimientos

Este Proyecto fue respaldado por la colaboración con el Centro de Investigación SFB 756 Interacción Clima-Biogeoquímica en el Océano Tropical financiado por la Fundación Alemana de Investigación (DFG por sus siglas en inglés). Un fondo adicional fue provisto por el proyecto AQUACOSM de la Unión Europea y el premio Leibniz 2012 para U.R. Agradecimientos a todos los participantes del estudio KOSMOS-Perú por el apoyo en el muestreo y mantenimiento de los mesocosmos. Agradecimiento en particular al equipo de IMARPE por el apoyo durante el planeamiento, preparación y ejecución de este estudio y a los capitanes y tripulación del BAP MORALES, IMARPE VI y BIC HUMBOLDT por el apoyo durante el despliegue y recuperación de los mesocosmos y varias operaciones durante el curso de esta investigación. Agradecimientos especiales a la Marina de Guerra del Perú, en particular a la sección Submarino de la Marina en el Callao, y a la Dirección General de

Capitanías y Guardacostas. Esta investigación es una contribución en el marco del convenio de cooperación entre el IMARPE y GEOMAR a través del Ministerio Alemán de Educación (BMBF por sus siglas en alemán) y el proyecto de investigación ASLAEL 12-016 y el proyecto nacional Estudio Integrado del Sistema de Afloramiento del Perú desarrollado por la Dirección de Oceanografía y Cambio Climático de IMARPE, PPR 137 CONCYTEC.

4. REFERENCIAS

- ANTIA, A. N., VON BODUNGEN, B., PEINERT, R. (1999). Particle flux across the mid-European continental margin, Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 46, 1999–2024. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(99\)00041-2](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(99)00041-2)
- BAKER, E. T., MILBURN, H. B., TENNANT, D. A. (1988). Field assessment of sediment trap efficiency under varying flow conditions, Journal of Marine Research, 46, 573-592. <https://doi.org/10.1357/002224088785113522>
- BERGER, W. H. (1971). Sedimentation of planktonic foraminifera, Marine Geology, 11, 325-388. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(71\)90035-1](https://doi.org/10.1016/0025-3227(71)90035-1)
- BOXHAMMER, T., BACH, L. T., CZERNY, J., RIEBESELL, U. (2016). Technical note: Sampling and processing of mesocosm sediment trap material for quantitative biogeochemical analysis. Biogeosciences, 13, 2849-2858. <https://doi.org/10.5194/bg-13-2849-2016>
- BRETAGNON, M., PAULMIER, A., GARÇON, V., DEWITTE, B., ILLIG, S., LEBLOND, N., COPPOLA, L., CAMPOS, F., VELAZCO, F., PANAGIOTOPOULOS, C., OSCHLIES, A., HERNANDEZ-AYON, J. M., MASKE, H., VERGARA, O., MONTES, I., MARTINEZ, P., CARRASCO, E., GRETTEL, J., DESPREZ-DE-GESINCOURT, O., MAES, C., SCOUAMEC, L. M. (2018). Modulation of the vertical particle transfer efficiency in the oxygen minimum zone off Peru. Biogeosciences, 15, 5093-5111. <https://doi.org/10.5194/bg-15-5093-2018>
- BUESSELER, K., ANTIA, A., CHEN, M., FOWLER, S., GARDNER, W., GUSTAFSSON, O., HARADA, K., MICHAELS, A., RUTGERS-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, 416. <https://doi.org/10.1357/002224007781567621>
- CALienes, R. (2014). Producción primaria en el ambiente marino en el Pacífico sudeste, Perú, 1960-2000. Bol Inst Mar Perú, 29(1-2), 306 pp.
- CALienes, R., GUILLEN, O., LOSTAUNAU, N. (1985). Variabilidad espacio temporal de clorofila, Producción Primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Bol Inst Mar Perú, 10(1), 1-44.
- CHIARINI, F., CAPOTONDI, L., GIGLIO, F., DUNBAR, R., GIGLIO, F., MAMMÌ, I., MUCCIARONE, D., RAVAIOLI, M., TESI, T., LANGONE, L. (2013). A revised sediment trap splitting procedure for samples collected in the Antarctic

- Sea. *Methods in Oceanography*, 8, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.mio.2014.05.003>
- CONTE, M. H., RALPH, N., ROSS, E. H. (2001). Seasonal and interannual variability in deep ocean particle fluxes at the Oceanic Flux Program (OFP)/Bermuda Atlantic Time Series (BATS) site in the western Sargasso Sea near Bermuda. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 48(8-9), 1471-1505. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(00\)00150-8](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(00)00150-8)
- FOWLER, S. W., SMALL, L. F. (1972). Sinking rates of euphausiid fecal pellets. *Limnology and Oceanography*, 17(2), 293-296. <https://doi.org/10.4319/lo.1972.17.2.0293>
- GARDNER, W. D. (2000). Sediment trap sampling in surface waters. In: Hanson, R.B., Ducklow, H.W. and Field, J.G. The changing ocean carbon cycle: A midterm synthesis of the Joint Global Ocean Flux Study. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 240-281.
- GONZÁLEZ, H. E., SMETACEK, V. (1994). The possible role of the cyclopoid copepod *Oithona* in retarding vertical flux of zooplankton faecal pellets. *Marine Ecology Progress Series*, 113, 233- 246.
- GONZÁLEZ, H. E., ORTIZ, V. C., SOBARZO, M. (2000). The role of faecal material in the particulate organic carbon flux in the northern Humboldt Current, Chile (23°S), before and during the 1997-1998 El Niño. *Journal of Plankton Research*, 22(3), 499-529.
- GUTIERREZ, D., BOULOUBASSI, I., SIFEDDINE, A., PURCA, S., GOUBANOVA, K., GRACO, M., FIELD, D., MEJANELLE, L., VELAZCO, F., LORRE, A., SALVATTECCI, R., QUISPE, D., VARGAS, G., DEWITTE, B., ORTLIEB, L. (2011). Coastal cooling and increased productivity in the main upwelling zone off Peru since the mid - twentieth century. *Geophysical Research Letter*, 38(7), 6. <https://doi.org/10.1029/2010GL046324>
- HEUSSNER, S., RATTI, C., CARBONNE, J. (1990). The PPS 3 time-series sediment trap and the trap sample processing techniques used during the ECOMARGE experiment. *Continental Shelf Research*, 10, 943-958. [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(90\)90069-X](https://doi.org/10.1016/0278-4343(90)90069-X)
- HONJO, S. (1976). Coccoliths, primary production, transportation and sedimentation. *Marine Micropaleontology*, 1, 65-79. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(76\)90005-0](https://doi.org/10.1016/0377-8398(76)90005-0)
- HONJO, S., ROMAN, M. R. (1978). Marine copepod fecal pellets, production, preservation and sedimentation, *Journal of Marine Research*, 36, 45-57.
- HONJO, S., MANGANINI, S. J. (1993). Annual biogenic particle fluxes to the interior of the North Atlantic Ocean; studied at 34°N 21°W and 48°N 21°W. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 40(1-2), 587-607. [https://doi.org/10.1016/0967-0645\(93\)90034-K](https://doi.org/10.1016/0967-0645(93)90034-K)
- ISEKI, K. (1981). Particulate Organic Matter Transport to the Deep Sea by Salp Fecal Pellets, *Marine Ecological Progress Series*, 5, 55-60. [10.3354/meps005055](https://doi.org/10.3354/meps005055)
- KARL, D. M., CHRISTIAN, J. R., DORE, J. E., HEBEL, D. V., LETELIER, R. M., TUPAS, L. M., WINN, C. D. (1996). Seasonal and interannual variability in primary production and particle flux at station ALOHA. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 43(2-3), 539-568. [https://doi.org/10.1016/0967-0645\(96\)00002-1](https://doi.org/10.1016/0967-0645(96)00002-1)
- KNAP, A.H., MICHAELS, A. F., STEINBERG, D. K., BAHR, F., BATES, N., BELL, S., COUNTWAY, P., CLOSE, A., DOYLE, A., HOWSE, F., GUNDERSEN, K., JOHNSON, R., LITTLE, R., ORCUTT, K., PARSONS, R., RATHBUN, C., SANDERSON, M., STONE, S. (1997). BATS methods manual. Monograph, U.S. JGOFS Planning Office, Woods Hole, MA, USA, 136 pp.
- MARTENS, P. (1978). Faecal pellets. Fiches d'Identification du Zooplancton, 162, 1-4.
- MIQUEL, J. C., FOWLER, S. W., LA ROSA, J., BUAT-MENARD, P. (1994). Dynamics of the downward flux of particles and carbon in the open northwestern Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 41(2), 243-261. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(94\)90002-7](https://doi.org/10.1016/0967-0637(94)90002-7)
- PACE, M. L., KNAUER, G. A., KARL, D. M., MARTIN, J. H. (1987). Primary production, new production and vertical flux in the eastern Pacific Ocean. *Nature*, 325, 803-804.
- PINEDO, E. (2014). Estructura comunitaria del zooplancton de la costa peruana asociada a las masas de agua durante los veranos del 2000 y 2003. Tesis para optar el Título Profesional de Biólogo, con mención en Zoología. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, 152 pp.
- SILVER, M. W., GOWING, M. M. (1991). The particle flux: origin and biological components. *Progress in Oceanography*, 38(8), 1741-1761.
- STARESINIC, N., FARRINGTON, J. W., GAGOSIAN, R. B., CLIFFORD, C. H., HULBURT, E. M. (1983). Downward transport of particulate matter in the Peru coastal upwelling: role of the anchoveta, *Engraulis ringens*. In: *Coastal Upwelling* (Edited by Suess E. and Thiede J.), Plenum Press, New York. 225-240 pp.
- STEINBERG, D. K., CARLSON, C. A., BATES, N. R., JOHNSON, R. J., MICHAELS, A. F., KNAP, A. F. (2001). Overview of the US JGOFS Bermuda Atlantic Time-series Study (BATS): a decade-scale look at ocean biology and biogeochemistry. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 48(8-9), 1405-1447. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(00\)00148-X](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(00)00148-X)
- TAGUCHI, S., SAINO, T. (1998). Net Zooplankton and the biological pump off Sanriku, Japan. *Journal of Oceanography*, 54, 573-582. <https://doi.org/10.1007/BF02742459>
- WILSON, S. E., STEINBERG, D. K., BUESSELER, K. O. (2008). Changes in fecal pellet characteristics with depth as indicators of zooplankton repackaging of particles in the mesopelagic zone of the subtropical and subarctic North Pacific Ocean. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 55(14-15), 1636-1647. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.04.019>
- YOON, W., KIM, S., HAN, K. (2001). Morphology and sinking velocities of fecal pellets of copepod, molluscan, euphausiid, and salps taxa in the northeastern tropical Atlantic. *Marine Biology*, 139, 923-928. <https://doi.org/10.1007/s002270100630>