

## Vertical fluxes of coccolithophores and foraminifera and their contributions to CaCO<sub>3</sub> flux off the coast of Ensenada, Mexico

### Flujos verticales de cocolitóforos y foraminíferos y su contribución al flujo de CaCO<sub>3</sub> frente a la costa de Ensenada, México

Felipe García-Romero<sup>1,2\*</sup>, Mara Y Cortés<sup>2</sup>, Heriberto Rochín-Bañaga<sup>3</sup>, Jörg Bollmann<sup>3</sup>,  
Fernando Aguirre-Bahena<sup>1</sup>, J Rubén Lara-Lara<sup>4</sup>, Juan C Herguera<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Oceanología, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Av. IPN s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, CP 23096, La Paz, Baja California Sur, México.

<sup>2</sup> Departamento de Geología, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur km 5.5, CP 23080, La Paz, Baja California Sur, México.

<sup>3</sup> Department of Earth Sciences, University of Toronto, 22 Russell Street, Toronto, Ontario, M5S 3B1, Canada.

<sup>4</sup> Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Carretera Ensenada-Tijuana, no. 3918, Zona Playitas, CP 22860, Ensenada, Baja California, México.

\* Corresponding author. E-mail: ffgarcia87@hotmail.com.

**ABSTRACT.** Coccoliths and foraminifera fluxes and their contributions to CaCO<sub>3</sub> were estimated by analyzing the material collected by a sediment trap installed in the area adjacent to Ensenada, Baja California (Mexico). Coccoliths were identified and counted from images obtained with a Zeiss-Supra 55VP scanning electron microscope. Foraminifera were identified and analyzed with a Leica EZ4 stereoscope. Total CaCO<sub>3</sub> was determined by coulometry. A total of 33 species of coccoliths were recorded; the most abundant species were *Emiliania huxleyi* type A, *Gephyrocapsa oceanica* (Equatorial), *E. huxleyi* type B, and *G. oceanica* (Larger), contributing 74% of total coccolith flux. The maximum flux of coccoliths was  $1,539 \times 10^6 \text{ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  in sample A-8, the minimum zero in sample A-10, and the average  $1,028 \times 10^6 \text{ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . Coccolith contribution to CaCO<sub>3</sub> content ranged from  $0.14 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  in sample A-12 to  $25.00 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  in sample A-1, with an average of  $5.60 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . *Helicosphaera carteri* made the highest contribution with  $10.00 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  in sample A-1, and the rest of the species contributed  $<7.00 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . Six genera of planktonic foraminifera were identified: *Globigerina*, *Neogloboquadrina*, *Globorotalia*, *Pulleniatina*, *Globigerinoides*, and *Orbulina*. The maximum flux of foraminifera was recorded in summer ( $513 \text{ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) and the minimum in spring ( $9 \text{ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ). Benthic foraminifera were found to make an important contribution, even greater than the contribution from planktonic foraminifera, reflecting horizontal resuspension and/or transport processes. CaCO<sub>3</sub> contributions by coccoliths and foraminifera were  $<1\%$  of total CaCO<sub>3</sub>, and the rest was contributed by fragments of the other calcareous groups.

**Key words:** coccolith fluxes, foraminifera fluxes, CaCO<sub>3</sub> fluxes, sediment traps, Baja California.

**RESUMEN.** Se estimaron los flujos de cocolitos y foraminíferos y su contribución al flujo de CaCO<sub>3</sub> mediante el análisis del material recolectado por una trampa de sedimentos instalada en la zona adyacente a Ensenada, Baja California (México). La identificación y el conteo de cocolitos se realizó a partir de imágenes obtenidas con un microscopio electrónico de barrido Zeiss-Supra VP55. Los foraminíferos se identificaron y analizaron con un estereoscopio Leica EZ4. El CaCO<sub>3</sub> total se determinó por coulometría. Se registraron 33 especies de cocolitos; las especies más abundantes fueron *Emiliania huxleyi* tipo A, *Gephyrocapsa oceanica* (Equatorial), *E. huxleyi* tipo B y *G. oceanica* (Larger), que juntas contribuyeron con el 74% del flujo total de cocolitos. El flujo de cocolitos máximo fue de  $1,539 \times 10^6 \text{ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  en la muestra A-8, el mínimo de cero en la muestra A-10 y el promedio de  $1,028 \times 10^6 \text{ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . El aporte de CaCO<sub>3</sub> por cocolitos osciló desde  $0.14 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  en la muestra A-12 hasta  $25.00 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  en la muestra A-1, con un promedio de  $5.60 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . *Helicosphaera carteri* presentó el mayor aporte con  $10.00 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  en la muestra A-1, y la contribución del resto de las especies fue  $<7.00 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . Se identificaron 6 géneros de foraminíferos planctónicos: *Globigerina*, *Neogloboquadrina*, *Globorotalia*, *Pulleniatina*, *Globigerinoides* y *Orbulina*. El flujo de testas máximo se registró en el verano ( $513 \text{ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) y el mínimo en la primavera ( $9 \text{ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ). Se encontró un aporte importante de foraminíferos bentónicos que inclusive fue mayor que el de foraminíferos planctónicos, lo cual refleja procesos de resuspensión y/o transporte horizontales. El aporte de CaCO<sub>3</sub> por cocolitos y foraminíferos fue  $<1\%$  del CaCO<sub>3</sub> total, pues el resto fue aportado por carbonatados de otros grupos calcáreos.

**Palabras clave:** flujos de cocolitos, flujos de foraminíferos, flujos de CaCO<sub>3</sub>, trampas de sedimentos, Baja California.

## INTRODUCTION

Almost 50% of the ocean floor is covered by calcareous material, 14% by siliceous material and the rest by clays (Seibold and Berger 1996). Coccoliths and foraminifera are the main planktonic components of the calcareous material (Haq and Boersma 1998, Abrantes et al. 2002, Bárcena et al. 2004). Coccolithophores (class: Prymnesiophyceae) are unicellular protists, smaller than 20  $\mu\text{m}$ , that are covered by small plates of calcium carbonate called coccoliths (Brand 1994); they are among the main components of marine phytoplankton and have a worldwide distribution (McIntyre and Bé 1967, Okada and Honjo 1973). Foraminifera (class: Rhizaria), however, are unicellular protozoa (Simpson and Roger 2004) capable of producing a shell of calcium carbonate, also called a “test,” or of agglutinated particles (Loeblich et al. 1957). In both groups, the morphology of the calcareous structures is of paramount importance for individual taxonomic classification (Abrantes et al. 2002, Bárcena et al. 2004, Engel et al. 2009). The ecological composition and distribution patterns of coccolithophores and foraminifera are largely determined by climatic and hydrographic conditions, such as water masses and particularly temperature and salinity, making them a useful tool for paleoenvironmental and paleoceanographic studies (Barker and Berggren 1977, Lipps et al. 1979, Beckmann et al. 1981).

Much of the knowledge about the composition and fluxes of these organisms has been gained from time-series studies on sediment traps (Abrantes et al. 2002, Bárcena et al. 2004), where estimates indicate that coccolithophores can constitute up to 55% of total  $\text{CaCO}_3$  (Broerse et al. 2000) and that planktonic foraminifera contribute between 23% and 55% of the total flux of calcite (Schiebel 2002). However, most of these studies have been carried out in open oceanic areas, where oceanographic conditions show little variability. Ocean dynamics in coastal zones are more complex due to the processes involved therein, such as sediment input by lateral advection, resuspension of material, and coastal upwelling. Since there is not enough information on the fluxes of these groups of calcareous plankton for this area, the main objective of this work is to document the composition and magnitude of the fluxes of coccolithophores and foraminifera and to estimate their  $\text{CaCO}_3$  contribution in a sediment trap installed at 300 m depth off the coast of Ensenada, Baja California (Mexico), from April 1 to October 15, 2012.

## MATERIALS AND METHODS

### Oceanographic conditions

The study area is located within the southern limit of the California Current System, where oceanographic features are those typical of an eastern border circulation system because of the coastal upwelling events, which occur with maximum intensity in spring-summer and with a predominant flow

## INTRODUCCIÓN

Casi el 50% del piso oceánico está cubierto por material calcáreo, 14% por material silíceo y el resto por arcillas (Seibold y Berger 1996). Del material calcáreo, los cocolitos y los foraminíferos son los componentes planctónicos principales (Haq y Boersma 1998, Abrantes et al. 2002, Bárcena et al. 2004). Los cocolitóforos (clase Prymnesiophyceae) son protistas unicelulares que miden menos de 20  $\mu\text{m}$  y están cubiertos por pequeñas placas de carbonato de calcio llamadas cocolitos (Brand 1994); se encuentran entre los principales componentes del fitoplancton marino y su distribución es global (McIntyre y Bé 1967, Okada y Honjo 1973). Por otro lado, los foraminíferos (clase Rhizaria) son protozoarios unicelulares (Simpson y Roger 2004) que tienen la capacidad de producir una concha de carbonato de calcio, llamada “testa”, o de partículas aglutinadas (Loeblich et al. 1957). Para ambos grupos, la morfología de sus estructuras calcáreas es de suma importancia para su clasificación taxonómica (Abrantes et al. 2002, Bárcena et al. 2004, Engel et al. 2009). La composición ecológica y los patrones de distribución de cocolitóforos y foraminíferos están determinados, en gran medida, por condiciones climáticas e hidrográficas como masas de agua, y particularmente temperatura y salinidad, lo que los convierte en una herramienta útil para estudios paleoambientales y paleoceanográficos (Barker y Berggren 1977, Lipps et al. 1979, Beckmann et al. 1981).

Gran parte del conocimiento sobre la composición y los flujos de estos organismos se ha obtenido de estudios de series de tiempo a partir de trampas de sedimentos (Abrantes et al. 2002, Bárcena et al. 2004), con los cuales se ha estimado que los cocolitóforos pueden constituir hasta un 55% del  $\text{CaCO}_3$  total (Broerse et al. 2000) y que los foraminíferos planctónicos llegan a conformar desde un 23% hasta un 55% del flujo total de calcita (Schiebel 2002). Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han desarrollado en zonas oceánicas, donde las condiciones oceanográficas son poco variables. En las zonas costeras la dinámica oceanográfica es más compleja por los procesos que allí intervienen, tales como aportes de sedimento por advección lateral, resuspensión de material y surgencias costeras. Dado que no existe suficiente información sobre los flujos de estos grupos del plancton calcáreo en esta zona, el objetivo principal de este trabajo fue documentar la composición y la magnitud de los flujos de cocolitóforos y foraminíferos, así como estimar su aporte de  $\text{CaCO}_3$  en una trampa de sedimentos instalada a 300 m de profundidad frente a la costa de Ensenada, Baja California (México), del 1 de abril al 15 de octubre de 2012.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Condiciones oceanográficas

El área de estudio se encuentra dentro del límite sureño del Sistema de la Corriente de California, que presenta

towards the equator (Gómez-Valdés 1983, Lynn and Simpson 1987, Durazo et al. 2010). In this zone there is confluence of Subarctic Water, which is transported southward by the California Current; Tropical Surface Water and Tropical Subsurface Water, which are transported from the south and southwestern areas off the Baja California Peninsula (Lynn and Simpson 1987); and the California Countercurrent, which carries Equatorial Subsurface Water below 400 m and has a poleward flow (Durazo and Baumgartner 2002). The variability of the coastal upwelling index (CUI) showed a minimum value of 50 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> per 100 m of coastline in February and a maximum of 250 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> per 100 m of coastline in June (Fig. 1). Sea surface temperature fluctuated from 14 °C in April to 22 °C in September. Net primary productivity ranged from 900 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in September to a maximum of 7,000 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in March.

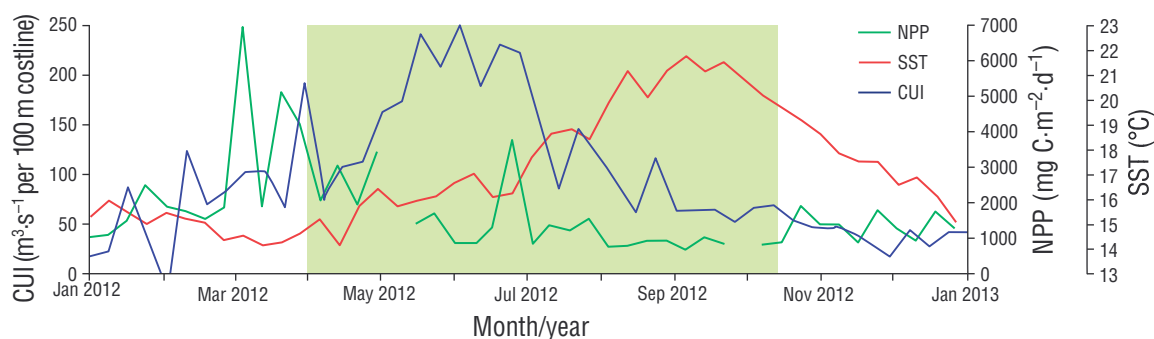
### Sampling

The sediment trap (Technicap, PPS 3/3 with an opening area of 0.125 m<sup>2</sup>) was installed at 300 m depth off the coast of Ensenada, Baja California (Mexico) (31°45'27"N and 116°39'53"W). This area is known as the “Todos Santos Canyon” (Fig. 2). The time resolution for each sample was 17 days; the study period covered the time interval between 1 April and 15 October 2012 in order to document the influence of coastal upwelling events (with maximum intensity in spring-summer). The sediment trap had a carousel of 12 sampling bottles labeled A-1 to A-12. Each bottle contained a preserving solution, buffered with sodium tetraborate and 8.5 pH to avoid the dissolution of carbonates. A detailed description of the mooring and general treatment of the samples can be found in Silverberg et al. (2014). Eleven

características típicas de un sistema de circulación de frontera oriental debido a los eventos de surgencias costeras, los cuales se presentan con máxima intensidad en primavera-verano y con un flujo predominante hacia el ecuador (Gómez-Valdés 1983, Lynn y Simpson 1987, Durazo et al. 2010). En esta zona confluyen el Agua Subártica, que es transportada hacia el sur por la corriente de California; el Agua Tropical Superficial y el Agua Tropical Subsuperficial, que provienen del sur y suroeste de la península de Baja California (Lynn y Simpson 1987); y la contracorriente de California, que acarrea Agua Ecuatorial Subsuperficial por debajo de los 400 m de profundidad y con flujo hacia el polo (Durazo y Baumgartner 2002). La variabilidad del índice de surgencias costeras indicó un valor mínimo de 50 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> por 100 m de línea de costa durante febrero y un máximo de 250 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> por 100 m de línea de costa durante junio (Fig. 1). La temperatura superficial del mar fluctuó de 14 °C en abril a 22 °C en septiembre. La productividad primaria neta varió de 900 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en septiembre a un máximo de 7,000 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en marzo.

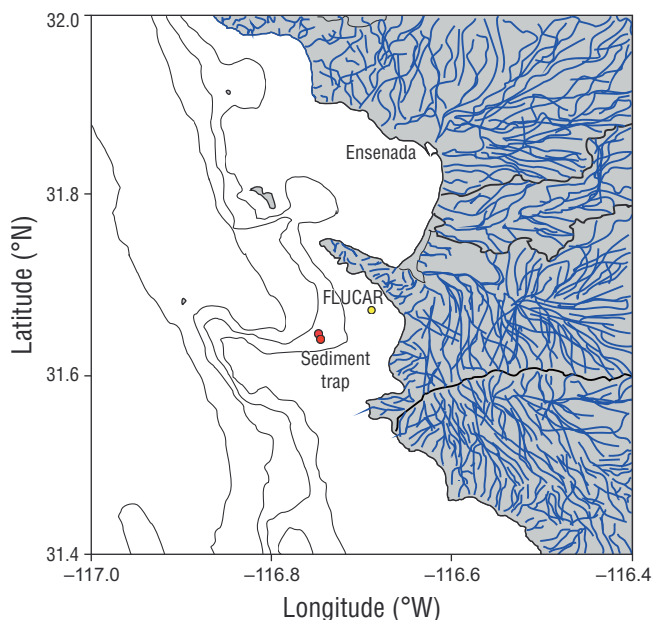
### Muestreo

La trampa de sedimentos (Technicap, PPS 3/3 con un área de abertura de 0.125 m<sup>2</sup>) se instaló a 300 m de profundidad frente a la costa de Ensenada, Baja California (México) (31°45'27"N y 116°39'53"W), en la zona conocida como el “cañón Todos Santos” (Fig. 2). La resolución de recolecta fue de 17 días por muestra; el periodo de estudio cubrió el intervalo de tiempo entre el 1 de abril y el 15 de octubre de 2012 para documentar la influencia de los eventos de surgencias costeras (con máxima intensidad en primavera y verano). La trampa contaba con un carrusel de 12 botellas recolectoras etiquetadas de la A-1 a la A-12. Cada botella contenía una



**Figure 1.** Variability of the coastal upwelling index (CUI, m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> per 100 m of coastline; available from [http://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/NA/data\\_download.html](http://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/NA/data_download.html)), net primary productivity (NPP, available from <http://orca.science.oregonstate.edu/1080.by.2160.8day.hdf.mld.hycom.php>), and sea surface temperature (SST, available from <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>) in 2012. The green rectangle highlights the study period.

**Figura 1.** Variabilidad del índice de surgencias costeras (CUI, m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> por 100 m de línea de costa; available from [http://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/NA/data\\_download.html](http://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/NA/data_download.html)), de la producción primaria neta (NPP, available from <http://orca.science.oregonstate.edu/1080.by.2160.8day.hdf.mld.hycom.php>) y de la temperatura superficial del mar (SST, available from <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>) en 2012. El rectángulo verde resalta el periodo de estudio.



**Figure 2.** Location of the sediment trap (31°45'27"N, 116°39'53"W) (red circles), and the FLUCAR station (yellow circle). Blue lines show the drainage basins that channel to the sea.

**Figura 2.** Localización de la trampa de sedimento (31°45'27"N, 116°39'53"W) (círculos rojos) y la estación FLUCAR (círculo amarillo). Las líneas azules muestran las cuencas hidrográficas que drenan hacia el mar.

bottles were recovered from the sediment trap and 10 aliquots were obtained from each. One aliquot was used to analyze coccolithophores and another to analyze foraminifera. In both cases organic matter was eliminated according to Bairbakhish et al. (1999). For the coccolith analysis samples were filtered using Nucleopore membranes (47 mm diameter, 0.45  $\mu\text{m}$  pore size). Part of the filter was mounted on aluminum supports and covered with 15 nm of platinum following the method described by Bollmann et al. (2002). A scanning electron microscope (Zeiss Supra 55VP) was used to digitalize 1,500 images (3,000 $\times$  resolution) and analyze an area of  $6.53 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ . Taxonomic identification of coccolithophores was done using the taxonomic identification concepts of Young et al. (2003) and the concepts of Quinn et al. (2005) for the *Florisphaera profunda* morphotypes, of Bollmann (1997) for *Gephyrocapsa oceanica*, and of Kleijne and Cros (2009) for the *Syracosphaera* group. The software Image-J was used to count coccoliths. After obtaining the number of coccoliths per sample and species, the flux of coccoliths was calculated following Andrulleit (1997). Coccolith contribution to  $\text{CaCO}_3$  flux was estimated according to Young and Ziveri (2000).

Samples for the analysis of foraminifera were screened through a 63- $\mu\text{m}$  mesh using distilled water (8.5 pH). Foraminifera were subsequently collected using a fine brush and a stereoscope. Identification was done according to Parker (1962), Boersma (1998), and Kemle-von-Mücke

solución preservadora, amortiguada con tetraborato de sodio y con pH de 8.5 para evitar la disolución de los carbonatos. La descripción detallada sobre el anclaje y tratamiento general de las muestras se puede consultar en Silverberg et al. (2014). Se recuperaron 11 botellas de la trampa de sedimentos y de cada una se obtuvieron 10 alícuotas. Una alícuota fue destinada al análisis de cocolitóforos y otra al análisis de foraminíferos. En ambos casos la materia orgánica fue eliminada de acuerdo con Bairbakhish et al. (1999). Para el análisis de cocolitos, las muestras fueron filtradas utilizando membranas Nucleopore de 47 mm de diámetro y 0.45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro. Una parte del filtro fue montada sobre soportes de aluminio y fue cubierta con 15 nm de platino, siguiendo la metodología de Bollmann et al. (2002). Se digitalizaron 1,500 imágenes a 3,000 $\times$  de resolución con un microscopio electrónico de barrido (Zeiss Supra VP55) y se analizó un área de  $6.53 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ . Para la identificación taxonómica de los cocolitos, se utilizaron la guía de identificación taxonómica de cocolitos de Young et al. (2003) y los conceptos de Quinn et al. (2005) para los morfotipos de *Florisphaera profunda*; los de Bollmann (1997) para *Gephyrocapsa oceanica*; y los de Kleijne y Cros (2009) para el grupo de las *Syracosphaera*. Para los conteos, se utilizó el software Image-J. Una vez obtenido el número de cocolitos por muestra y especie, se calculó el flujo de cocolitos siguiendo la metodología de Andrulleit (1997). La estimación del aporte de  $\text{CaCO}_3$  por cocolitos se realizó de acuerdo con lo descrito por Young y Ziveri (2000).

Las muestras para el análisis de foraminíferos fueron tamizadas en una malla de 63  $\mu\text{m}$  utilizando agua destilada (pH 8.5). Posteriormente, los foraminíferos fueron recolectados utilizando un pincel fino y un estereoscopio. La identificación se realizó de acuerdo con Parker (1962), Boersma (1998) y Kemle-von-Mücke y Hemleben (1999). El flujo de foraminíferos se representa en número de testas por metro cuadrado por día (testas  $\cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ), y se tomó en cuenta el conteo de testas, las veces que se dividió la muestra (factor Split), el tiempo en que la trampa estuvo recolectando material y la abertura de la trampa de sedimento (King y Howard 2001). Posteriormente, todas las testas recolectadas fueron pesadas por muestra en una microbalanza analítica (UMX2 Mettler Toledo, precisión de 0.001 mg) para obtener su peso en miligramos de calcita.

El contenido de carbono inorgánico se determinó analizando 2 fracciones (<63 y >63  $\mu\text{m}$ ) con un coulómetro modelo CM5014. La exactitud del método fue controlada colocando sedimento estándar (CM301-002) y realizando 3 réplicas de las muestras A-1, A-6 y A-11. El carbono inorgánico (esencialmente en la forma de  $\text{CaCO}_3$ ) fue determinado por la diferencia entre el carbono total y el contenido de carbono orgánico (datos no publicados) (Ljutsarev 1987).

## RESULTADOS

Se identificaron taxonómicamente 33 especies de cocolitos durante todo el periodo de estudio. El flujo diario de cocolitos



and Hemleben (1999). The flux of foraminifera is represented by the number of tests (shells) per square meter per day (tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>), accounting for the number of tests, the times the sample was divided (split factor), the time during which the trap was collecting material, and the opening of the sediment trap (King and Howard 2001). All collected tests were then weighed per sample in an analytical microbalance (UMX2 Mettler Toledo, ± 0.001 mg accuracy) to obtain the weight of each sample in milligrams of calcite.

Inorganic carbon content was determined by analyzing 2 size fractions (<63 μm and >63 μm) with a CM5014 coulometer. The accuracy of the method was controlled by placing standard sediment (CM301-002) and performing 3 replicates of samples A-1, A-6, and A-11. Inorganic carbon (essentially in the form of CaCO<sub>3</sub>) was determined by calculating the difference between total carbon and organic carbon content (unpublished data) (Ljutsarev 1987).

## RESULTS

Thirty-three species of coccoliths were taxonomically identified throughout the study period. The daily flux of coccoliths ranged from  $27 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-12 to  $1,539 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-8, with an average of  $356 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Fig. 3a). No coccoliths were recorded from 25 August to 10 September 2012 (sample A-10). *Emiliania huxleyi* type A (*huxleyi*), *E. huxleyi* type B (*pujosiae*), *G. oceanica* morphotype Equatorial, and *G. oceanica* morphotype Larger accounted for 74% of the total flux of coccoliths. *Calcidiscus leptoporus* (larger), *C. leptoporus* (small), *F. profunda* var. *elongata* (medium), and *Helicosphaera carteri* accounted for 12% of the total flux of coccoliths, while the remaining 14% was contributed by other species.

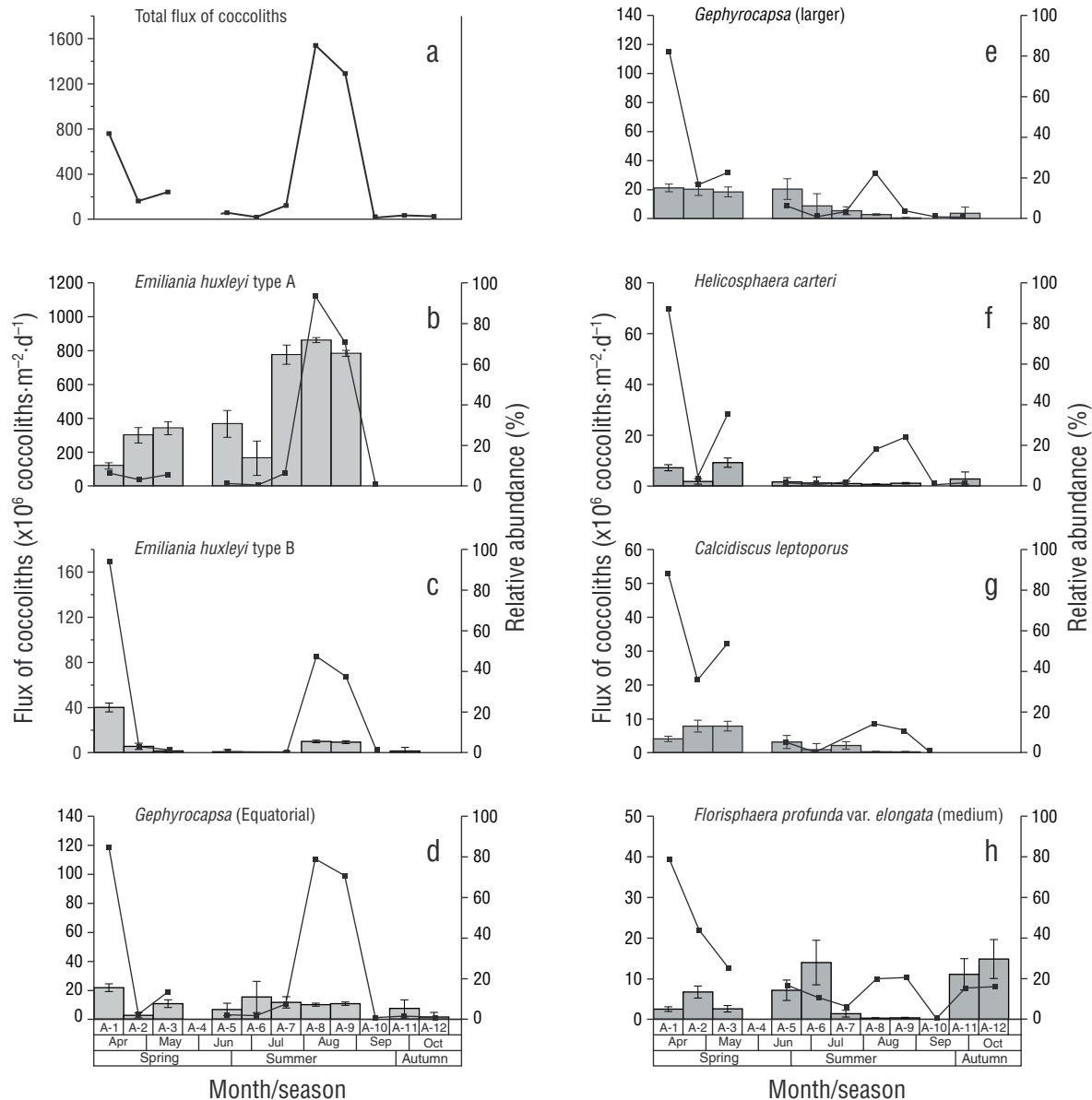
The fluxes of *E. huxleyi* type A varied from zero coccoliths in samples A-11 and A-12 to  $1,114 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-9, with an average of  $188 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> and 73% maximum relative abundance (A-8) (Fig. 3b). The fluxes of *E. huxleyi* type B varied from zero coccoliths (A-6 and A-12) to  $169 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (A-1), with an average of  $27 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> and 22% maximum relative abundance (A-1) (Fig. 3c). *Gephyrocapsa oceanica* morphotype Equatorial showed the second highest flux, ranging from  $3 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-12 to  $119 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-1, with an average of  $30 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> and 15.5% maximum relative abundance (A-1) (Fig. 3d). In the case of *G. oceanica* morphotype Larger, fluxes ranged from zero coccoliths in sample A-12 to  $114 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-1, with an average of  $18 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> and 15% relative abundance (A-1) (Fig. 3e). *Helicosphaera carteri* reached a maximum flux of  $69 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-1, and a mean relative abundance of 11.6% in sample A-3 (Fig. 3f) *Calcidiscus leptoporus* showed a maximum flux of  $53 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample

varió desde  $27 \times 10^6$  coccolitos m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-12 hasta  $1,539 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la A-8, con un promedio de  $356 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Fig. 3a). Del 25 de agosto al 10 de septiembre de 2012 no se registraron coccolitos (muestra A-10). *Emiliania huxleyi* tipo A (*huxleyi*), *E. huxleyi* tipo B (*pujosiae*), *G. oceanica* morfotipo Equatorial y *G. oceanica* morfotipo Larger representaron el 74% del flujo total de coccolitos. *Calcidiscus leptoporus* (larger), *C. leptoporus* (small), *F. profunda* variación *elongata* (medium) y *Helicosphaera carteri* representaron el 12% del flujo total de coccolitos, mientras que el 14% restante lo aportaron otras especies.

Los flujos de *E. huxleyi* tipo A variaron entre cero coccolitos en las muestras A-11 y A-12 y  $1,114 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-9, con un promedio de  $188 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> y una abundancia relativa máxima del 73% (A-8) (Fig. 3b). Los flujos de *E. huxleyi* tipo B variaron desde cero coccolitos (A-6 y A-12) hasta  $169 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (A-1), con un promedio de  $27 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> y una abundancia relativa máxima del 22% (A-1) (Fig. 3c). *Gephyrocapsa oceanica* morfotipo Equatorial fue la segunda especie con mayor flujo, el cual varió desde  $3 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-12 hasta  $119 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-1, con un promedio de  $30 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> y una abundancia relativa máxima del 15.5% (A-1) (Fig. 3d). En el caso de *G. oceanica* morfotipo Larger, se registraron cero coccolitos en la muestra A-12 y hasta  $114 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la A-1, con un promedio de  $18 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> y una abundancia relativa del 15% (A-1) (Fig. 3e). *Helicosphaera carteri* presentó un flujo máximo de  $69 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-1 y una abundancia relativa del 11.6% en la muestra A-3 (Fig. 3f). *Calcidiscus leptoporus* presentó un máximo de  $53 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-1 y una abundancia relativa del 13.2% en las muestras A-2 y A3 (Fig. 3g). Por último, *F. profunda* var. *elongata* (medium) presentó un máximo de  $39 \times 10^6$  coccolitos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-1 y una abundancia relativa del 29% en la muestra A-12 (Fig. 3h). A pesar de los bajos flujos de especies como *H. carteri* y *C. leptoporus*, su aporte al contenido de CaCO<sub>3</sub> fue alto.

La estimación de CaCO<sub>3</sub> aportado por coccolitos al contenido total de CaCO<sub>3</sub> mostró valores máximos en la muestra A-1 (25.4 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) y mínimos en la muestra A-10 (0.0 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>). Las especies con mayor aportación de CaCO<sub>3</sub> por coccolitos fueron *H. carteri* con 30% (10.0 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) del aporte total y *C. leptoporus* con 32% (8.7 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>). *Gephyrocapsa oceanica* morfotipo Equatorial alcanzó una contribución máxima de 2.1 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, que representa un 10% del aporte total de CaCO<sub>3</sub>. *Emiliania huxleyi* tipo A contribuyó con 3.2 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, que representa el 10% del aporte total. *Gephyrocapsa oceanica* morfotipo Larger contribuyó con 3.0 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, que representa un 9% del aporte total de CaCO<sub>3</sub> (Tabla 1).

En cuanto a los foraminíferos, se identificaron 6 géneros planctónicos y 3 bentónicos. Todos los géneros



**Figure 3.** Flux of coccoliths (continuous line) and relative abundance (gray bars, SE at 95% confidence) in each sample (A-1–A-12). The total flux of coccoliths recorded during the study period and the fluxes of the most representative species are shown.

**Figura 3.** Flujo de cocolitos (línea continua) y abundancia relativa (barras grises, error estándar con un nivel de confianza del 95%) en cada muestra (A-1–A-12). Se muestran el flujo total de cocolitos registrados durante el periodo de estudio y las especies más representativas.

A-1 and a relative abundance of 13.2% in samples A-2 and A-3 (Fig. 3g). Lastly, *F. profunda* var. *elongata* (medium) showed a maximum flux of  $39 \times 10^6$  coccoliths·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-1 and a relative abundance of 29% in sample A-12 (Fig. 3h). Despite the low fluxes of species such as *H. carteri* and *C. leptoporus*, their contribution to CaCO<sub>3</sub> content was high.

Estimation of coccolith contribution to total CaCO<sub>3</sub> content showed maximum values in sample A-1 (25.4 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) and minimum values in sample A-10 (0.0 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>). The coccolith species that most contributed to total CaCO<sub>3</sub> content

planctónicos se identificaron en la fracción <63 μm. *Globigerina* spp. fue el principal contribuyente (50%), seguido de *Neogloboquadrina* spp. (34%) y en menor medida *Globorotalia* spp. (6%), *Pulleniatina* spp. (5%), *Globigerinoides* spp. (3%) y *Orbulina* spp. (2%). Los flujos de foraminíferos planctónicos variaron desde 9 testas·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en las muestras A-2 y A-6 hasta 513 testas·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-9, con un promedio de 137 testas·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Fig. 4a). Los máximos flujos registrados por estas especies se enlistan de mayor a menor: 249 testas·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> para *Globigerina* spp. (Fig. 4b), 103 testas·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> para *Globorotalia* spp. (Fig. 4c),

were *H. carteri* with 30% (10.0 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) and *C. leptoporus* with 32% (8.7 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>). *Gephyrocapsa oceanica* morphotype Equatorial reached a maximum contribution of 2.1 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, which represents 10% of coccolith contribution to CaCO<sub>3</sub> content. Contribution from *E. huxleyi* type A was 3.2 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, which represents 10% of total contribution. *Gephyrocapsa oceanica* morphotype Larger contributed 3.0 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, which represents 9% of the total contribution to CaCO<sub>3</sub> content (Table 1).

In the case of foraminifera, 6 planktonic genera and 3 benthic genera were identified. All planktonic genera were identified in the <63 μm fraction. *Globigerina* spp. was the main contributor (50%), followed by *Neogloboquadrina* spp. (34%) and to a less extent *Globorotalia* spp. (6%), *Pulleniatina* spp. (5%), *Globigerinoides* spp. (3%), and *Orbulina* spp. (2%). Fluxes of planktonic foraminifera ranged from 9 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in samples A-2 and A-6 to 513 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-9, with an average of 137 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Fig. 4a). The maximum fluxes recorded for these species are listed from highest to lowest: 249 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> for *Globigerina* spp. (Fig. 4b), 103 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> for *Globorotalia* spp. (Fig. 4c), 94 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> for *Neogloboquadrina* spp. (Fig. 4d), and 66 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> for *Globigerinoides* spp. (Fig. 4e); all these fluxes were recorded in sample A-9. The maximum flux for *Pulleniatina* spp. and for *Orbulina* spp. was 9 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Fig. 4f), but the latter was recorded only in sample A-11 (Fig. 4g). The most abundant benthic foraminifera were *Quinqueloculina* spp. (maximum of 212 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, A-9), *Textularia* spp. (94 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, A-1), and *Bolivina* spp. (40 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, A-10). The species from these 3 genera represented up to 50% of the CaCO<sub>3</sub> contribution by planktonic and benthic foraminifera in certain samples (A-1, A-8, A-9, A-11, and A-12).

The CaCO<sub>3</sub> concentrations determined by coulometry (>63 μm and <63 μm) showed a highly variable distribution. In the >63 μm fraction, fluxes varied from 18 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-8 to 490 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-2, with an overall average of 278 ± 170 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. On the other hand, in the <63 μm fraction fluxes ranged from 46 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-6 to 356 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-2, with an average of 240 ± 144 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Fig. 5a). The CaCO<sub>3</sub> contribution from coccoliths reached a maximum of 25.4 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> and was not consistent with the CaCO<sub>3</sub> concentration measured by coulometry (Fig. 5b). Contribution of planktonic foraminifera to CaCO<sub>3</sub> flux varied seasonally, with maximum fluxes of 0.07 and 0.62 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in samples A-12 and A-11, respectively, and an average of 0.25 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Table 2, Fig. 5c). Benthic foraminifera contributed from 0.0 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in samples A-2, A-3, A-5, and A-6 to 0.8 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> in sample A-1, with an average flux of 0.24 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Table 3, Fig. 5d).

## DISCUSSION

The association of coccolithophore species recorded in the present work reflects oceanographic and climatic

94 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> para *Neogloboquadrina* spp. (Fig. 4d) y 66 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> para *Globigerinoides* spp. (Fig. 4e); todos estos flujos se registraron en la muestra A-9. El flujo máximo para *Pulleniatina* spp. y para *Orbulina* spp. fue de 9 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Fig. 4f), pero esta última sólo se registró en la muestra A-11 (Fig. 4g). Los foraminíferos bentónicos más abundantes fueron *Quinqueloculina* spp. (máximo de 212 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, A-9), *Textularia* spp. (94 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, A-1) y *Bolivina* spp. (40 tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, A-10). Las especies de estos 3 géneros representaron hasta el 50% del CaCO<sub>3</sub> aportado por los foraminíferos planctónicos y bentónicos en algunas muestras (A-1, A-8, A-9, A-11 y A-12).

Las concentraciones de CaCO<sub>3</sub> estimadas por coulometría (>63 μm y <63 μm) mostraron una distribución muy variable. En la fracción >63 μm, los flujos variaron desde 18 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-8 hasta 490 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-2, con un promedio general de 278 ± 170 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Por otro lado, en la fracción <63 μm los flujos variaron desde 46 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-6 hasta 356 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-2, con un promedio general de 240 ± 144 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Fig. 5a). El aporte de CaCO<sub>3</sub> de los cocolitos alcanzó un máximo de 25.4 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> y no mostró una correspondencia con la concentración de CaCO<sub>3</sub> estimada por coulometría (Fig. 5b). La contribución de los foraminíferos planctónicos al flujo de CaCO<sub>3</sub> varió estacionalmente, con flujos máximos de 0.07 y 0.62 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en las muestras A-12 y A-11, respectivamente, y un promedio 0.25 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Tabla 2, Fig. 5c). Los foraminíferos bentónicos mostraron una contribución que varió desde 0.0 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en las muestras A-2, A-3, A-5 y A-6 hasta 0.8 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en la muestra A-1, con un flujo promedio de 0.24 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Tabla 3, Fig. 5d).

## DISCUSIÓN

La asociación de especies de cocolitóforos registradas en el presente trabajo refleja los cambios oceanográficos y climáticos en la dinámica del Sistema de la Corriente de California y la contracorriente de California. *Emiliania huxleyi* tipo A y *G. oceanica* morfotipo Equatorial fueron las especies dominantes en todo el periodo de muestreo. Ambas especies son abundantes en zonas de surgencias, especialmente durante los meses de verano, y pertenecen a la zona biogeográfica templada transicional (Winter et al. 1994).

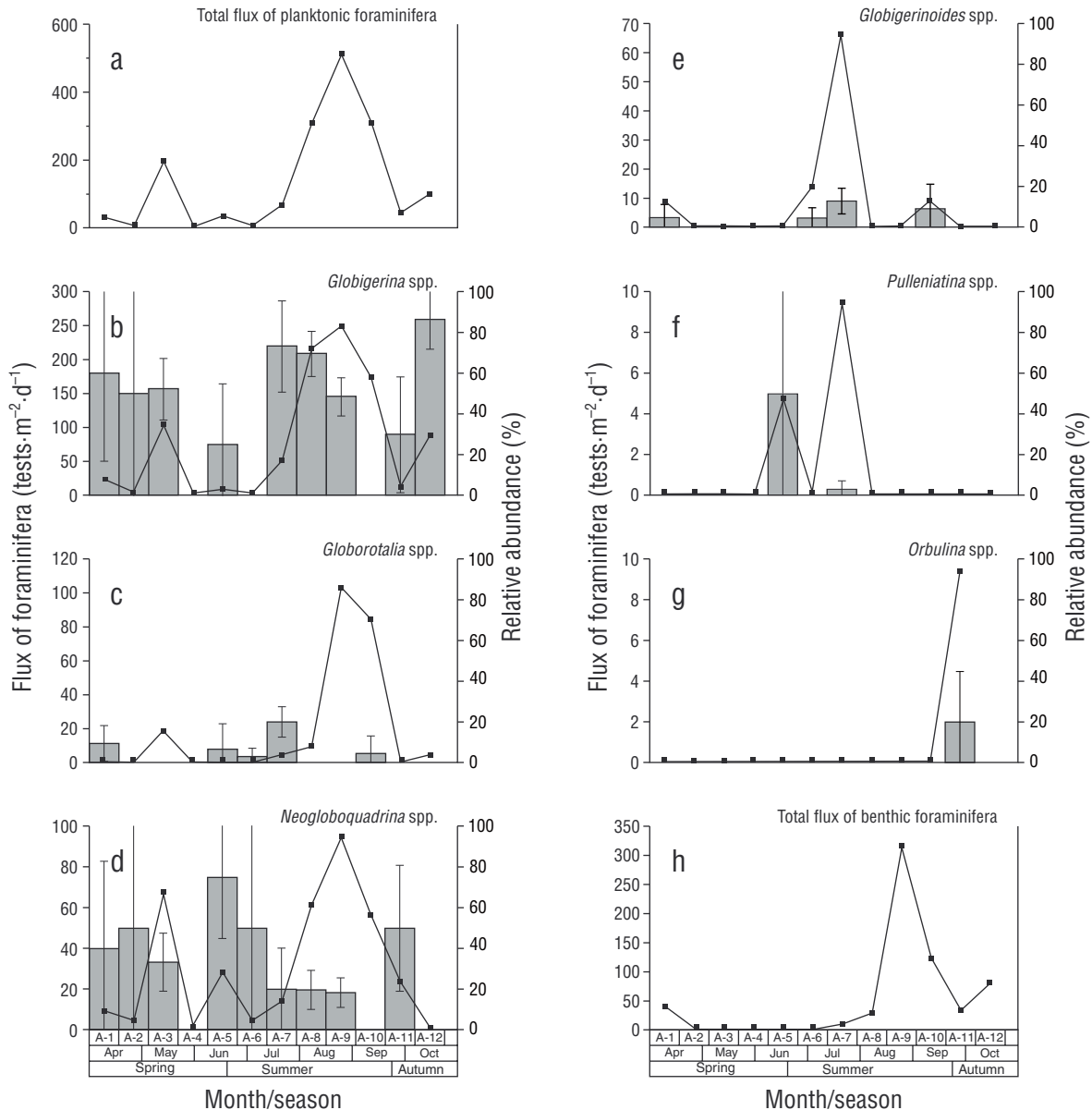
*Emiliania huxleyi* es una especie cosmopolita oportunista que responde rápidamente al enriquecimiento de nutrientes en aguas superficiales, principalmente en zonas de surgencias (Winter et al. 1994, Hagino 2011). Sin embargo, en la zona adyacente a Ensenada, esta especie presentó máximas abundancias y máximos flujos en la muestra A-8, cuando los valores del índice de surgencias costeras decrecieron (100 m<sup>-3</sup>·s<sup>-1</sup> por 100 m de línea de costa) y la productividad primaria neta disminuyó (900 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) (Fig. 1). *Gephyrocapsa oceanica* morfotipo Equatorial se distribuye principalmente en

**Table 1.** Estimation of coccolith contribution (mg CaCO<sub>3</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) to the flux of CaCO<sub>3</sub> in each sample. Calcite estimations are based on the weights (pg) and sizes reported by Young and Ziveri (2000). The 6 species that contributed to a greater extent are shown. Species with low contributions are grouped into "Other species."

**Tabla 1.** Estimación de la contribución de cocolitos (mg CaCO<sub>3</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) al flujo de CaCO<sub>3</sub> en cada muestra. La estimación de la calcita se realizó tomando en cuenta los pesos (pg) y tamaños que reportaron Young y Ziveri (2000). Se muestran las 6 especies que contribuyeron en un mayor grado. Las especies con menores contribuciones se agruparon en "otras especies".

Beginning	Sampling interval		Sample	Total CaCO <sub>3</sub>	<i>Calcidiscus leptoporus</i> (Larger)	<i>Helicosphaera carteri</i>	<i>Gephyrocapsa oceanica</i> (medium)	<i>Emiliania huxleyi</i>	<i>Gephyrocapsa oceanica</i> Larger	<i>Calcidiscus leptoporus</i> (small)	Others species
	Beginning	End									
1 Apr 2012	10 Apr 2012	A-1	25.4	8.7	10.0	2.1	0.2	3.0	0.3	1.1	
11 Apr 2012	27 Apr 2012	A-2	5.4	3.5	0.5	0.1	0.1	0.6	0.2	0.4	
28 Apr 2012	14 May 2012	A-3	11.1	5.3	4.0	0.3	0.2	0.8	0.3	0.2	
15 May 2012	31 May 2012	A-4									
1 Jun 2012	17 Jun 2012	A-5	1.2	0.5	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	
18 Jun 2012	4 Jul 2012	A-6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
5 Jul 2012	21 Jul 2012	A-7	1.7	0.7	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	
22 Jul 2012	7 Aug 2012	A-8	11.2	1.4	2.1	2.0	3.2	0.8	0.6	1.0	
8 Aug 2012	24 Aug 2012	A-9	10.1	1.1	2.7	1.8	2.5	0.1	0.9	0.9	
25 Aug 2012	10 Sep 2012	<b>A-10</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	
11 Sep 2012	27 Sep 2012	A-11	0.4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
28 Sep 2012	14 Oct 2012	A-12	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	





**Figure 4.** Flux of foraminifera (continuous line) and relative abundance (gray bars, SE at 95% confidence) in each sample (A-1 to A-12). The total flux of planktonic and benthic foraminifera (**a**, **h**) and the 2 most representative genera of planktonic foraminifera (**b**, **c**, **d**, **e**, **f**, **g**) are shown. **Figura 4.** Flujo de foraminíferos (línea continua) y abundancia relativa (barras grises, error estándar con un nivel de confianza del 95%) en cada muestra (A-1 a la A-12). Se muestran el flujo total de foraminíferos planctónicos y bentónicos (**a**, **h**) y 2 de los géneros más representativos de los foraminíferos planctónicos (**b**, **c**, **d**, **e**, **f**, **g**).

changes in the dynamics of the California Current System and the California Countercurrent. *Emiliania huxleyi* type A and *G. oceanica* morphotype Equatorial were the dominant species throughout the sampling period. Both species are abundant in upwelling areas, especially during the summer months, and belong to the temperate biogeographic transition zone (Winter et al. 1994).

*Emiliania huxleyi* is an opportunistic cosmopolitan species that responds rapidly to nutrient enrichment of surface waters, especially in upwelling areas (Winter et al. 1994, Hagino 2011). However, in the area adjacent to Ensenada, this

regiones ecuatoriales, donde las temperaturas son de 25 a 30 °C (Bollmann 1997); su presencia en la zona de estudio podría deberse a la influencia de la contracorriente de California, la cual transporta Agua Ecuatorial Subsuperficial con flujo hacia el polo (Durazo et al. 2010). Por otra parte, *G. oceanica* morfotipo Larger se asocia a zonas de surgencias con temperaturas de 18 a 23 °C, donde suele ser dominante (Bollmann 1997). En este trabajo, esta especie presentó flujos máximos y altas abundancias relativas en la muestra A-1, cuando la temperatura superficial del mar era de 14 °C y las condiciones de surgencia fueron intensas

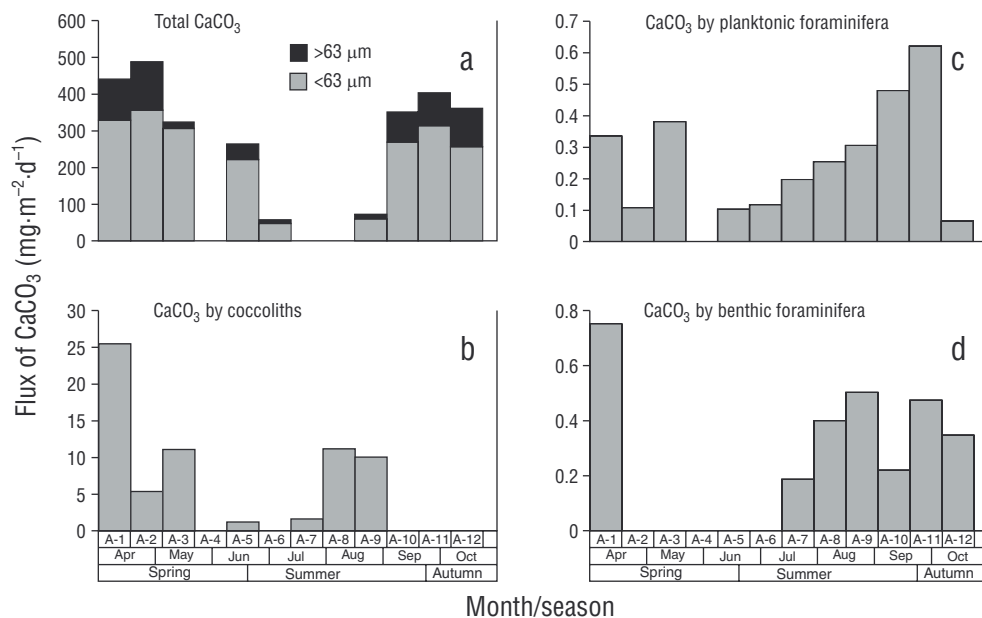
species showed maximum abundances and fluxes in sample A-8, when the coastal upwelling index decreased ( $100 \text{ m}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$  per 100 m of coastline) and net primary productivity was low ( $900 \text{ mg C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) (Fig. 1). *Gephyrocapsa oceanica* morphotype Equatorial is mainly distributed in equatorial regions, where temperatures range from 25 to 30 °C (Bollmann 1997); its presence in the study area could be due to the influence of the California Countercurrent, which transports Equatorial Subsurface Water towards the pole (Durazo et al. 2010). Conversely, *G. oceanica* morphotype Larger is associated with upwelling areas, where temperatures are 18–23 °C and the species is usually dominant (Bollmann 1997). In this study, this species showed maximum and high relative abundances in sample A-1, when the SST was 14 °C and there were intense upwelling conditions ( $180 \text{ m}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$  per 100 m of coastline), making evident its close relation to high productivity (Giraudeau 1992, Ziveri et al. 1995b, Broerse et al. 2000), though the opportunistic behavior was only observed during upwelling periods (Ziveri et al. 1995a).

The highest fluxes of coccoliths observed in this study ( $1,539 \times 10^6 \text{ coccoliths}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) were higher than the maxima recorded for the San Pedro Basin in California ( $860 \times 10^6 \text{ coccoliths}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ), where coccoliths are associated with low fluxes of diatoms and planktonic foraminifera, and maximum coccoliths production is associated with water column stratification, low primary production, low nutrient concentrations, and low temperatures (Ziveri et al. 1995a). Coccolith abundances in the water column can be reduced by the synecological competition that exists with other phytoplankton

( $180 \text{ m}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$  por 100 m de línea de costa), lo que pone en evidencia su estrecha relación con alta productividad (Giraudeau 1992, Ziveri et al. 1995b, Broerse et al. 2000), aunque el comportamiento oportunista se observó sólo durante los periodos de surgencias (Ziveri et al. 1995a).

Los máximos flujos de cocolitos registrados en este estudio ( $1,539 \times 10^6 \text{ cocolitos}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) son mayores que los máximos registrados para la cuenca San Pedro en California ( $860 \times 10^6 \text{ cocolitos}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ), donde los cocolitos se asocian a los bajos flujos de diatomeas y foraminíferos planctónicos, y la máxima producción de cocolitos se correlaciona con la estratificación de la columna de agua, baja producción primaria, bajas concentraciones de nutrientes y bajas temperaturas (Ziveri et al. 1995a). Las abundancias de cocolitóforos en la columna de agua pueden reducirse por la competencia sincológica que existe con otros grupos fitoplanctónicos, como las diatomeas, que son más abundantes durante las surgencias (Andrulleit et al. 2003).

Los flujos de cocolitos registrados durante el periodo de estudio pueden asociarse a mecanismos de sedimentación como la formación de agregados y/o pelotillas fecales (por pastoreo de zooplancton) más que por adhesión de material litogénico, ya que los máximos flujos de material litogénico (A-2, datos no publicados) no coinciden con los máximos flujos de cocolitos (A-8). Ziveri et al. (1995a) sugieren que el principal mecanismo de sedimentación de cocolitos en la cuenca San Pedro es la consolidación de macroagregados y pelotillas fecales, puesto que los flujos más altos se registraron a bajas concentraciones de nutrientes y en aguas superficiales frías



**Figure 5.** Total CaCO<sub>3</sub> measured by coulometry for the 2 fractions analyzed (<63 μm and > 63 μm) (a) and CaCO<sub>3</sub> supplied by coccoliths (b), planktonic foraminifera (c), and benthic foraminifera (d) in each sample (A-1 to A-12).

**Figura 5.** Total de CaCO<sub>3</sub> medido por coulometría para las 2 fracciones analizadas (<63 μm y >63 μm) (a) y CaCO<sub>3</sub> aportado por cocolitos (b), foraminíferos planctónicos (c) y foraminíferos bentónicos (d) en cada muestra (A-1 to A-12).

**Table 2.** Total flux of planktonic foraminifera, flux of CaCO<sub>3</sub> (recorded in each sample), and relative abundance (RA, %) and flux of the identified genera (tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) in each sample. **Tabla 2.** Flujo total de foraminíferos planctónicos, flujo de CaCO<sub>3</sub> (registrado en cada muestra) y abundancia relativa (RA, %) y flujo (testas·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) de los géneros identificados en cada muestra.

Beginning	Sampling interval	End	Sample	Total flux	CaCO <sub>3</sub> flux (mg·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	<i>Globigerina</i>		<i>Neogloboquadrina</i>		<i>Globorotalia</i>		<i>Globigerinoides</i>		<i>Pulleniatina</i>		<i>Orbulina</i>		
						RA	Flux	RA	Flux	RA	Flux	RA	Flux	RA	Flux	RA	Flux	RA
1 Apr 2012	10 Apr 2012	A-1	A-1	336.0	0.3	60.0	24.0	40.0	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11 Apr 2012	27 Apr 2012	A-2	A-2	108.2	0.1	50.0	4.7	50.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28 Apr 2012	14 May 2012	A-3	A-3	381.2	0.4	52.4	103.5	33.3	65.9	9.5	18.8	4.8	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15 May 2012	31 May 2012	A-4	A-4															
1 Jun 2012	17 Jun 2012	A-5	A-5	103.5	0.1	25.0	9.4	75.0	28.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18 Jun 2012	4 Jul 2012	A-6	A-6	117.6	0.1	0.0	0.0	50.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	4.7	0.0	0.0	0.0
5 Jul 2012	21 Jul 2012	A-7	A-7	197.6	0.2	73.3	51.8	20.0	14.1	6.7	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22 Jul 2012	7 Aug 2012	A-8	A-8	254.1	0.3	69.7	216.5	19.7	61.2	3.0	9.4	4.5	14.1	3.0	9.4	0.0	0.0	0.0
8 Aug 2012	24 Aug 2012	A-9	A-9	305.9	0.3	48.6	249.4	18.3	94.1	20.2	103.5	12.8	65.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25 Aug 2012	10 Sep 2012	A-10	A-10	480.0	0.5	55.2	174.1	17.9	56.5	26.9	84.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11 Sep 2012	27 Sep 2012	A-11	A-11	621.2	0.6	30.0	14.1	50.0	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	9.4	9.4
28 Sep 2012	14 Oct 2012	A-12	A-12	65.9	0.1	86.4	89.4	0.0	0.0	4.5	4.7	9.1	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

**Table 3.** Total benthic foraminifera, flux of CaCO<sub>3</sub> (recorded in each sample), and relative abundance (RA, %) and flux (tests·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) of the identified genera in each sample.**Tabla 3.** Flujo total de foraminíferos bentónicos, flujo de CaCO<sub>3</sub> (registrado en cada muestra) y abundancia relativa (RA, %) y flujo (testas·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) de los géneros identificados en cada muestra.

Sampling interval		Sample	Total flux	CaCO <sub>3</sub> flux (mg·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	<i>Bolivina</i>		<i>Quinqueloquina</i>		<i>Textularia</i>	
Beginning	End				RA	Flux	RA	Flux	RA	Flux
1 Apr 2012	10 Apr 2012	A-1	40.0	0.8	100.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11 Apr 2012	27 Apr 2012	A-2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28 Apr 2012	14 May 2012	A-3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15 May 2012	31 May 2012	A-4								
1 Jun 2012	17 Jun 2012	A-5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18 Jun 2012	4 Jul 2012	A-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5 Jul 2012	21 Jul 2012	A-7	9.4	0.2	100.0	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0
22 Jul 2012	7 Aug 2012	A-8	28.2	0.4	83.0	23.5	16.7	4.7	0.0	0.0
8 Aug 2012	24 Aug 2012	A-9	292.7	0.5	13.6	24.4	68.2	211.8	18.2	56.5
25 Aug 2012	10 Sep 2012	A-10	122.3	0.2	23.1	28.2	0.0	0.0	76.9	94.1
11 Sep 2012	27 Sep 2012	A-11	32.9	0.5	28.6	9.4	0.0	0.0	71.4	23.5
28 Sep 2012	14 Oct 2012	A-12	80.0	0.3	29.4	23.5	0.0	0.0	70.6	56.5

groups, such as diatoms, which are most abundant during upwellings (Andrulleit et al. 2003).

The fluxes of coccoliths recorded during the study period may be associated with sedimentation mechanisms such as the formation of aggregates and/or fecal pellets (by grazing zooplankton) rather than with the adhesion of lithogenic material, since maximum fluxes of lithogenic material (A-2, unpublished data) do not match the maximum fluxes of coccoliths (A-8). On the other hand, Ziveri et al. (1995a) suggest that in the San Pedro Basin the main mechanism of sedimentation of coccoliths is the consolidation of macroaggregates and fecal pellets, since fluxes were highest at low nutrient concentrations and in well-mixed cold surface water. Another process that could explain the maximum fluxes of coccoliths in the study area is the lateral transport and resuspension of sediments due to tidal currents that show elliptical flow trajectories, as a result of the shoreline morphology and bathymetric changes (García-Córdova et al. 1994). In the area of the Todos Santos Canyon the presence of a serpentine stream between 10 and 200 m depth has been documented, suggesting the presence of Taylor columns (Torres et al. 2006) and thus a possible resuspension of fine material. The presence of benthic foraminifera in the sediment trap is evidence of material resuspension and lateral advection in the area. The lateral transport and resuspension of coccoliths from the platform are the dominant processes for the transport and flux of coccoliths in the Bay of Biscay according to Beaufort and Heussner (1999). Moreover, an increase in the fluxes of organisms in deep sediment traps was observed in Canary Islands region, and the origin of this increase could be the lateral advection of material

bien mezcladas. Otro proceso que pudiera explicar los flujos máximos de cocolitos en la zona de estudio es el transporte lateral y la resuspensión de sedimentos debido a las corrientes de marea que muestran trayectorias de flujo elípticas, resultado de la morfología de la línea de costa y cambios batimétricos (García-Córdova et al. 1994). En la zona del cañón Todos Santos se ha documentado la presencia de una corriente serpenteante de 10 a 200 m de profundidad, lo cual sugiere la presencia de columnas de Taylor (Torres et al. 2006) e indica una posible resuspensión de material fino. La presencia de foraminíferos bentónicos en la trampa de sedimentos es evidencia de la resuspensión y advección lateral de material en la zona. El transporte lateral y la resuspensión de cocolitos desde la plataforma son los procesos dominantes para el transporte y flujo de cocolitos en el golfo de Vizcaya, de acuerdo con Beaufort y Heussner (1999). Por su parte, en la región de las islas Canarias se observó un incremento del flujo de organismos registrados en trampas profundas, y el origen de este incremento pudo ser la advección lateral de material por filamentos superficiales (Abrantes et al. 2002). En general la resuspensión y el transporte horizontal juegan un papel crucial en el acarreo de sedimentos hacia zonas profundas, el cual se puede evidenciar por los foraminíferos bentónicos registrados en la trampa de sedimentos durante el presente estudio.

La estimación de la contribución de cocolitos al flujo de CaCO<sub>3</sub> fue menor que el 1%, y el flujo promedio general de CaCO<sub>3</sub> fue de 66 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Este último valor está ligeramente por debajo de lo reportado en zonas de surgencias como la cuenca San Pedro, donde se registraron flujos de



by surface filaments (Abrantes et al. 2002). In general, resuspension and horizontal transport play a crucial role in the transport of sediments to deep areas, which can be evidenced by the benthic foraminifera recorded in the sediment trap during the present study.

The estimated contribution of coccoliths to the flux of CaCO<sub>3</sub> was less than 1%, and the overall average flux of CaCO<sub>3</sub> was 66 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. The latter value is slightly lower than that reported for upwelling areas such as the San Pedro Basin, where CaCO<sub>3</sub> fluxes were 80 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Ziveri et al. 1995a). Although *E. huxleyi* was the species with the highest recorded flux, its average contribution to CaCO<sub>3</sub> was only 6.5 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>; by contrast, species with low fluxes of coccoliths but larger in size, such as *C. leptoporus* (7 μm) and *H. carteri* (10 μm), on average, contributed 21 and 20 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, respectively, because of their higher mass (74.1 and 135.0 pg per coccolith, on average, respectively) (Young and Ziveri 2000).

The composition and patterns of planktonic foraminifera are largely determined by climatic conditions and currents, and by the characteristics of the mixed layer (Bé et al. 1985); therefore, the planktonic foraminifera recorded in the area adjacent to Ensenada largely reflect the oceanographic conditions that arise from the interaction of Subarctic Water from the California Current System and Equatorial Subsurface Water from the California Countercurrent (Durazo and Baumgartner 2002, Durazo et al. 2010). The dominant *Globigerina* and *Neogloboquadrina* genera have also been recorded in other nearby regions, such as the Santa Bárbara Basin (to the north of our study area), where *Globigerina bulloides*, *Neogloboquadrina pachyderma*, and *Globigerina quinqueloba* were the most abundant species (Kincaid et al. 2000).

The contribution of planktonic foraminifera to CaCO<sub>3</sub> flux oscillated between 0.10 and 0.62 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, with an overall average of 0.25 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, and was much lower than that of coccoliths, which was 6 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. These values are low in comparison with the overall average production rate of approximately 9.7 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Langer 2008). Benthic foraminifera were an important source of foraminiferal contribution to CaCO<sub>3</sub>; their contribution was up to 50% in some samples (A-1 and from A-7 to A-12). The maximum flux of benthic foraminifera was 0.75 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> and the minimum was 0.0 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, with an average of 0.24 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. The presence of benthic foraminifera in the sediment trap at 300 m depth is probably due to the resuspension and lateral advection of material. In the Alfonso Basin, Rochín-Bañaga et al. (2015) found species of benthic diatoms in a sediment trap positioned at 150 m above the seafloor, suggesting the influence of horizontal transport, by tidal currents, of material from shallow areas to the basin.

Calcium carbonate is the most important biogenic component for the transport of carbon to the seafloor because its higher density (2.71–2.94 g·cm<sup>-3</sup>), compared to minerals such as opal (1.73–2.16 g·cm<sup>-3</sup>) and quartz (2.65 g·cm<sup>-3</sup>), allows better preservation of sinking particulate organic matter according to the “Ballast hypothesis” (Armstrong et al. 2002, Armstrong 2005).

CaCO<sub>3</sub> de 80 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Ziveri et al. 1995a). A pesar de que *E. huxleyi* fue la especie con los mayores flujos, su contribución al CaCO<sub>3</sub> fue tan solo de 6.5 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> en promedio; en contraste, las especies con bajos flujos pero de mayor tamaño, como *C. leptoporus* (7 μm) y *H. carteri* (10 μm), aportaron en promedio 21 y 20 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, respectivamente, debido a que presentan una mayor masa (74.1 y 135.0 pg por coccolito, en promedio, respectivamente) (Young y Ziveri 2000).

La composición y los patrones de foraminíferos planctónicos están determinados en gran medida por las condiciones climáticas y las corrientes, así como por las características de la capa de mezcla (Bé et al. 1985); por tanto, los foraminíferos planctónicos registrados en la zona adyacente a Ensenada estarían reflejando en gran medida las condiciones oceanográficas que resultan de la interacción de las masas de Agua Subártica del Sistema de la Corriente de California y el Agua Ecuatorial Subsuperficial de la contracorriente de California (Durazo y Baumgartner 2002, Durazo et al. 2010). Los géneros dominantes *Globigerina* y *Neogloboquadrina* también han sido registrados en otras regiones cercanas, como la cuenca de Santa Bárbara (al norte de nuestra zona de estudio), donde *Globigerina bulloides*, *Neogloboquadrina pachyderma* y *Globigerina quinqueloba* fueron las especies más abundantes (Kincaid et al. 2000).

El aporte de CaCO<sub>3</sub> por los foraminíferos planctónicos osciló entre un 0.10 y 0.62 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, con un promedio general de 0.25 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, y fue mucho más bajo que el de los coccolitos, que fue de 6 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Estos valores son bajos al compararlos con la tasa de producción promedio global de aproximadamente 9.7 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Langer 2008). Por otro lado, los foraminíferos bentónicos fueron parte importante del aporte de CaCO<sub>3</sub> por foraminíferos en nuestro sitio de estudio, pues llegaron a aportar hasta el 50% en algunas muestras (A-1 y de la A-7 a la A12). El flujo máximo de foraminíferos bentónicos fue de 0.75 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> y un mínimo de 0.0 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, con un promedio de 0.24 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. El registro de los foraminíferos bentónicos en la trampa de sedimentos a 300 m de profundidad se debe posiblemente a procesos de resuspensión y advección lateral de material. En la cuenca Alfonso, Rochín-Bañaga et al. (2015) encontraron especies de diatomeas bentónicas en una trampa de sedimentos posicionada a 150 m sobre el fondo marino, lo que sugiere la influencia de transporte horizontal de material por corrientes de mareas de las zonas someras hacia la cuenca.

El CaCO<sub>3</sub> es el componente biogénico más importantes para el transporte de carbono al fondo marino, pues al tener una mayor densidad (2.71–2.94 g·cm<sup>-3</sup>) que otros minerales, como el ópalo (1.73–2.16 g·cm<sup>-3</sup>) y el cuarzo (2.65 g·cm<sup>-3</sup>), permite una mejor preservación de la materia orgánica particulada en hundimiento según la “hipótesis de Lastre” (Armstrong et al. 2002, Armstrong 2005). Esta idea se ha probado en distintos ambientes como la cuenca de Santa Bárbara, la cuenca Cariaco y la cuenca de Guaymas (Thunell et al. 2007). En la cuenca Alfonso se reportó, recientemente, una buena correlación entre el flujo de carbono orgánico (C<sub>org</sub>)

This idea has been tested in different environments such as the Santa Bárbara Basin, Cariaco Basin, and Guaymas Basin (Thunell et al. 2007). In the Alfonso Basin, a good correlation was recently reported between the flux of organic carbon ( $C_{org}$ ) and total minerals ( $r = 0.86$ ),  $C_{org}$  and  $CaCO_3$  ( $r = 0.82$ ),  $C_{org}$  and lithogenic ( $r = 0.79$ ), and  $C_{org}$  and silica ( $r = 0.69$ ) (Silverberg et al. 2014), corroborating the “Ballast hypothesis”. In oceanic areas coccolithophores and foraminifera are the main exporters of  $CaCO_3$  to the sea floor (Honjo 1976, Seibold and Berger 1996, Abrantes et al. 2002, Barcena et al. 2004, Engel et al. 2009). However, in the area adjacent to Ensenada, the contribution of coccolithophores to  $CaCO_3$  was less than 1%, although greater than that of planktonic foraminifera. The fraction  $>63 \mu m$ , composed by benthic foraminifera, ostracodes, pteropods, and other micromolluscs, represented a little over 20% of the total  $CaCO_3$ . On the other hand, in the Alfonso basin, La Paz Bay, the contribution of coccoliths was low ( $<4\%$ ); the main source of contribution corresponded to the fine fraction ( $<63 \mu m$ ) rather than the shell fragments (Rochín-Bañaga 2014). In this basin, foraminifera, protoconchs of pteropods, and fragments of the tests in the fine fraction contributed with more than 70% of total  $CaCO_3$ . This happened because, in general, benthic organisms such as foraminifera or bivalves have heavier material than planktonic calcareous organisms, and their contribution to  $CaCO_3$  is thus greater. The contribution of the coccoliths to  $CaCO_3$  was higher than that of planktonic foraminifera; however, for both groups, the contribution to total  $CaCO_3$  flux was less than 1%.

The contribution of coccolithophores and foraminifera to  $CaCO_3$  in coastal zones is very different because it depends not only on the availability of food and the life cycle of these organisms but also on the climatic and oceanographic conditions that prevail. In paleoceanographic studies in the continental shelf and/or coastal regions, in which the total  $CaCO_3$  contribution (by coulometry) is associated with the production of coccoliths and/or foraminifera, the importance of calcareous fragments should be taken into account.

## ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful for the support provided by the FLUCAR project; CICESE (Ensenada); CICIMAR-IPN; the crew from the R/V Francisco de Ulloa; the UABCS microscopy laboratory; the electron microscopy laboratory of the University of Toronto, Canada; and the CICESE P3 laboratory.

## REFERENCES

- Abrantes F, Meggers H, Nave S, Bollman J, Palma S, Sprengel C. 2002. Fluxes of micro-organisms along a productivity gradient in the Canary Island region (29°N): implications for paleoreconstructions. *Deep-Sea Res. (II Top. Stud. Oceanogr.)* 49(17): 3599–3629.  
[https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(02\)00100-5](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(02)00100-5)
- Andrulleit H. 1997. Coccolithophore fluxes in the Norwegian-Greenland Sea: seasonality and assemblage alterations. *Mar. Micropaleontol.* 31(1–2): 45–64.  
[https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(96\)00055-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(96)00055-2)
- Andrulleit H, Stäger S, Rogalla U, Čepek P. 2003. Living coccolithophores in the northern Arabian Sea: ecological tolerances and environmental control. *Mar. Micropaleontol.* 49(1–2): 157–181.  
[https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(03\)00049-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(03)00049-5)
- Armstrong R. 2005. The Ballast Hypothesis. *Geophys. Res. Abstracts* 7: 1.
- Armstrong R, Lee C, Hedges JI, Honjo S, Wakeham SG. 2002. A new, mechanistic model for organic carbon fluxes in the ocean based on the quantitative association of POC with ballast minerals.

y los minerales totales ( $r = 0.86$ ),  $C_{org}$  y  $CaCO_3$  ( $r = 0.82$ ),  $C_{org}$  y litogénico ( $r = 0.79$ ) y  $C_{org}$  y sílice biogénico ( $r = 0.69$ ) (Silverberg et al. 2014), lo que corrobora la “hipótesis de Lastre”. En las zonas oceánicas, los coccolitóforos y foraminíferos son los principales exportadores de  $CaCO_3$  al fondo marino (Honjo 1976, Seibold y Berger 1996, Abrantes et al. 2002, Bárcena et al. 2004, Engel et al. 2009). Sin embargo, en la zona adyacente a Ensenada la contribución de coccolitóforos al  $CaCO_3$  fue menor que el 1%, aunque su aporte fue mayor al de foraminíferos plantónicos. La fracción  $>63 \mu m$ , compuesta por foraminíferos bentónicos, ostrácodos, pterópodos y otros micromoluscos, contribuyó poco más del 20% al  $CaCO_3$  total. Por otro lado, en la cuenca Alfonso, bahía de La Paz, el aporte de coccolitos fue bajo ( $<4\%$ ), y la principal fuente de aporte correspondió a la fracción fina ( $<63 \mu m$ ) más que a los fragmentos de conchas (Rochín-Bañaga 2014). En esa cuenca, los foraminíferos, las protoconchas de pterópodos y los fragmentos de testas de la fracción fina contribuyeron más del 70% al  $CaCO_3$  total. Esto se debe a que, por lo general, las formas de organismos bentónicos como los foraminíferos o los bivalvos, son más pesadas que las de organismos calcáreos planctónicos, por lo que su aporte de  $CaCO_3$  es mayor. La contribución de los coccolitos al  $CaCO_3$  total fue mayor que la de los foraminíferos planctónicos; Sin embargo, para ambos grupos, el aporte al flujo de  $CaCO_3$  total fue menor que el 1%.

El aporte de  $CaCO_3$  por coccolitóforos y foraminíferos en zonas costeras es muy variante ya que depende no solo de la disponibilidad de alimento y del ciclo de vida de éstos organismos, sino que también de las condiciones climáticas y oceanográficas que imperen. En estudios paleoceanográficos en plataforma continental y/o zonas costeras, en los que se trate de relacionar el aporte de  $CaCO_3$  total (por coulometría) con la producción de coccolitos y/o foraminíferos, se debe tomar en cuenta la importancia de los fragmentos calcáreos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo recibido a través del proyecto FLUCAR; el CICESE (Ensenada); el CICIMAR-IPN; la tripulación del B/O Francisco de Ulloa; el laboratorio de microscopía de la UABCS; el laboratorio de microscopía electrónica de la universidad de Toronto, Canadá; y el laboratorio P3 del CICESE.

- Deep-Sea Res. (II Top. Stud. Oceanogr.) 49(3): 219–236.  
[https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00101-1](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00101-1)
- Bairbakhish A, Bollmann J, Spreng C, Thierstein H. 1999. Disintegration of aggregates and coccospheres in sediment trap samples. *Mar. Micropaleontol.* 37(2): 219–223.  
[https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(99\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(99)00019-5)
- Bárcena MA, Flores JA, Sierro FJ, Perez-Folgado M, Fabres J, Calafat A, Canals M. 2004. Planktonic response to main oceanographic changes in the Alboran Sea (Western Mediterranean) as documented in sediment traps and surface sediments. *Mar. Micropaleontol.* 53(3–4): 423–445.  
<https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2004.09.009>
- Barker RW, Berggren WA. 1977. Paleocene and early Eocene of the rio grande and Tampico embayments: Foraminiferal biostratigraphy and paleoecology. *Mar. Micropaleontol.* 2: 67–103.  
[https://doi.org/10.1016/0377-8398\(77\)90006-8](https://doi.org/10.1016/0377-8398(77)90006-8)
- Bé AWH, Bishop JKB, Sverdrlove MS, Gardner WD. 1985. Standing stock, vertical distribution and flux of planktonic foraminifera in the Panama Basin. *Mar. Micropaleontol.* 9(4): 307–333  
[https://doi.org/10.1016/0377-8398\(85\)90002-7](https://doi.org/10.1016/0377-8398(85)90002-7)
- Beaufort L, Heussner S. 1999. Coccolithophorids on the continental slope of the Bay of Biscay—production, transport and contribution to mass fluxes. *Deep-Sea Res. (II Top. Stud. Oceanogr.)* 46(10): 2147–2174.  
[https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(99\)00058-2](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(99)00058-2)
- Beckmann JP, Bolli H, Perch-Nielsen K, Decima FP, Saunders J, Toumarkine M. 1981. Major calcareous nannofossil and foraminiferal events between the middle Eocene and early Miocene. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 36(3–4): 155–190.  
[https://doi.org/10.1016/0031-0182\(81\)90105-x](https://doi.org/10.1016/0031-0182(81)90105-x)
- Bollmann J. 1997. Morphology and biogeography of *Gephyrocapsa* coccoliths in Holocene sediments. *Mar. Micropaleontol.* 29(3–4): 319–350.  
[https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(96\)00028-x](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(96)00028-x)
- Bollmann J, Cortés MY, Haidar AT, Brabec B, Crose A, Hofmann R, Palma S, Tupas L, Thierstein HR. 2002. Techniques for quantitative analyses of calcareous marine phytoplankton. *Mar. Micropaleontol.* 44: 163–185.  
[https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(01\)00040-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(01)00040-8)
- Boersma A. 1998. Foraminifera. In: Haq BU, Boersma A (eds.), *Introduction to Marine Micropaleontology*. Second edition. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 19–77.  
<https://doi.org/10.1016/B978-044482672-5/50002-7>
- Brand LE. 1994. Physiological ecology of marine coccolithophores. In: Winter A, Seisser WG (eds.), *Coccolithophores*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 38–49.
- Broerse ATC, Ziveri P, van Hinte JE, Honjo S. 2000. Coccolithophore export production, species composition, and coccolith - CaCO<sub>3</sub> fluxes in the NE Atlantic (34°N 21°W and 48°N 21°W). *Deep-Sea Res. (II Top. Stud. Oceanogr.)* 47(9–11): 1877–1905.  
[https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(00\)00010-2](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(00)00010-2)
- Durazo R, Baumgartner T. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997–1999. *Prog. Oceanogr.* 54(1–4): 7–31.  
[https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(02\)00041-1](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(02)00041-1)
- Durazo R, Ramírez-Manguilar AM, Miranda LE, Soto-Mardones LA. 2010. Climatología de variables hidrográficas. In: Gaxiola-Castro G and Durazo R (eds.), *Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997–2007: Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Mexico City, pp. 25–57.
- Engel A, Abramson L, Szlosek J, Liu Z, Stewart G, Hirschberg D, Lee C. 2009. Investigating the effect of ballasting by CaCO<sub>3</sub> in *Emiliania huxleyi*, II: Decomposition of particulate organic matter. *Deep-Sea Res. (II Top. Stud. Oceanogr.)* 56(18): 1408–1419.  
<https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.11.028>
- García-Córdova J, Robles JM, Flores C, Delgado O, Figueroa M. 2014. Observaciones de corrientes y temperatura en la Bahía de Todos Santos, B.C. durante noviembre 1993–enero 1994. *Tech. rep.*, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Mexico, 63 pp.
- Giraudeau J. 1992. Distribution of recent nannofossils beneath the Benguela System; Southwest African continental margin. *Mar. Geol.* 108(2): 219–237.  
[https://doi.org/10.1016/0025-3227\(92\)90174-g](https://doi.org/10.1016/0025-3227(92)90174-g)
- Gómez-Valdés J. 1983. Estructura hidrográfica promedio frente a Baja California. *Cienc. Mar.* 9(2): 75–86.
- Hagino K, Bendif EM, Young JR, Kogame K, Probert I, Takamo Y, Horiguchi T, de Vargas C, Okada H. 2011. New evidence for morphological and genetic variation in the cosmopolitan coccolithophore *Emiliania huxleyi* (prymnesiophyceae) from the *cox1b-atp4* genes. *J. Phycol.* 47: 1164–1176.  
<https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2011.01053.x>
- Haq BU, Boersma A. 1998. *Introduction to Marine Micropaleontology*, 2nd ed. Elsevier, New York, Oxford, 376 pp.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-82672-5.x5000-4>
- Honjo S. 1976. Coccoliths: Production, transportation and sedimentation. *Mar. Micropaleontol.* 1: 65–79.  
[https://doi.org/10.1016/0377-8398\(76\)90005-0](https://doi.org/10.1016/0377-8398(76)90005-0)
- Kemle-von-Mücke S, Hemleben C. 1999. Foraminifera. In: Boltovskoy D (eds.), *South Atlantic Zooplankton*. Backhuys Publishers, Leiden, pp. 43–73.
- Kincaid E, Thunell RC, Le J, Lange CB, Weinheimer AL, Reid FMH. 2000. Planktonic foraminiferal fluxes in the Santa Barbara Basin: response to seasonal and interannual hydrographic changes. *Deep-Sea Res. (II Top. Stud. Oceanogr.)* 47: 1157–1176.  
[https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(99\)00140-X](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(99)00140-X)
- King AL, Howard WR. 2001. Seasonality of foraminiferal flux in sediment traps at Chatham Rise, SW Pacific: implications for paleotemperature estimates. *Deep-Sea Res. (I Oceanogr. Res. Pap.)* 48(7): 1687–1708.  
[https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(00\)00106-0](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(00)00106-0)
- Klejne A, Cros L. 2009. Ten new extant species of the coccolithophore *Syracosphaera* and revised classification scheme for the genus. *Micropaleontology* 55: 425–462.
- Langer MR. 2008. Assessing the contribution of foraminiferan protists to global ocean carbonate production. *J. Eukaryot. Microbiol.* 55(3): 163–169.  
<https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2008.00321.x>
- Lipps JH, Verger WGH, Buzas MA, Douglas RG, Ross CA. 1979. *Foraminiferal ecology and paleoecology*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Houston, Texas, 198 pp.
- Ljutsarev AV. 1987. Determination of organic carbon in sea bottom sediments by dry combustion. *Oceanology* 26: 533–536.
- Loeblich AR, Tappan H, Beckann JP, Bolli H, Montanaro Gallitelli E, TRoelsen JS. 1957. *Studies in Foraminifera*. Smithsonian Institution, Washington, 323 pp.
- Lynn RJ, Simpson JJ. 1987. The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res. (C Oceans)*. 92(C12): 12947–12966.  
<https://doi.org/10.1029/jc092ic12p12947>
- McIntyre A, Bé AWH. 1967. Modern Coccolithophoridae of the Atlantic Ocean—I. Placoliths and cyrtoliths. *Deep-Sea Res. and Oceanographic Abstracts* 14(5): 561–597.  
[https://doi.org/10.1016/0011-7471\(67\)90065-4](https://doi.org/10.1016/0011-7471(67)90065-4)
- Okada H, Honjo S. 1973. The distribution of oceanic coccolithophorids in the Pacific. *Deep-Sea Res. Oceanogr. Abstr.* 20(4): 355–374.  
[https://doi.org/10.1016/0011-7471\(73\)90059-4](https://doi.org/10.1016/0011-7471(73)90059-4)
- Parker F. 1962. Planktonic foraminiferal species in Pacific sediments. *Micropaleontology*. 8(2): 219–254.  
<https://doi.org/10.2307/1484745>

- Quinn PS, Cortes MY, Bollmann J. 2005. Morphological variation in the deep sea ocean-dwelling coccolithophore *Florisphaera profunda* (Haptophyta). *Eur. J. Phycol.* 40(1): 123–133. <http://dx.doi.org/10.1080/09670260400024667>
- Rochín-Bañaga H. 2014. Contribución de cocolitóforos y foraminíferos al flujo de carbonato de calcio en Cuenca Alfonso, BCS. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México, p. 75.
- Rochín-Bañaga H, Siqueiros-Beltrones DA, Bollmann J. 2015. Benthic diatoms from shallow environments deposited at 300 m depth in a Southern Gulf of California Basin. *Oceanides* 30(1): 7176.
- Schiebel R. 2002. Planktic foraminiferal sedimentation and the marine calcite budget. *Global Biogeochem. Cycles.* 16(4): 1065. <https://doi.org/10.1029/2001gb001459>
- Seibold E, Berger WH. 1996. *The Sea Floor: An Introduction to Marine Geology*. Third edition. Springer. Berlin, 215 pp. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-03317-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-03317-3_9)
- Silverberg N, Aguirre-Bahena F, Mucci A. 2014. Time-series measurements of settling particulate matter in Alfonso Basin, La Paz Bay, southwestern Gulf of California. *Cont. Shelf Res.* 84: 169–187. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.05.005>
- Simpson AG, Roger AJ. 2004. The real "Kingdoms" of Eukaryotes. *Curr. Biol.* 14(7): 693–696. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.08.038>
- Thunell R, Benitez-Nelson C, Varela R, Astor Y, Muller-Karger F. 2007. Particulate organic carbon fluxes along upwelling-dominated continental margins: Rates and mechanisms. *Global biogeochem. cycles* 21(1): 1–12. <https://doi.org/10.1029/2006gb002793>
- Torres CR, Mejía-Trejo A, Argote ML, Ramírez I, Mancillas M. 2006. Three-dimensional circulation in Todos Santos Bay, Ensenada, BC. México. In: Gámez B, Ojeda D, Larrazabal, G, Cerrolaza M (eds.), *Simulación y Modelado en Ingeniería y Ciencias*. Editorial SVMNI, Ensenada, Baja California, pp. 115–122.
- Winter A, Jordan R, Roth P. 1994. Biogeography of living coccolithophores in the ocean waters. In: Winter A, Siesser WG (eds.), *Coccolithophores*. Cambridge Univ. Press Cambridge.
- Young JR, Geisen M, Cros L, Kleijne A, Sprengel C, Probert I, Ostergaard J. 2003. A guide to extant coccolithophore taxonomy. *Journal of Nannoplankton Research. Special Issue 1*.
- Young JR, Ziveri P. 2000. Calculation of coccolith volume and its use in calibration of carbonate flux estimates. *Deep-Sea Res. (II Top. Stud. Oceanogr.)* 47(9–11): 1679–1700. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(00\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(00)00003-5)
- Ziveri P, Thunell RC, Rio D. 1995a. Export production of coccolithophores in an upwelling region: Results from San Pedro Basin, Southern California Borderlands. *Mar. Micropaleontol.* 24(3–4): 335–358. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(94\)00017-h](https://doi.org/10.1016/0377-8398(94)00017-h)
- Ziveri P, Thunell RC, Rio D. 1995b. Seasonal changes in coccolithophore densities in the Southern California bight during 1991–1992. *Deep-Sea Res. (I Oceanogr. Res. Pap.)* 42(11–12): 1881–1903. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(95\)00089-5](https://doi.org/10.1016/0967-0637(95)00089-5)

*Received March 2017,  
accepted August 2017.*