

*Nota de Investigación/Research Note*

## Flujo vertical de materia particulada en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante 2002

## Vertical flux of particulate matter in Alfonso Basin, La Paz Bay, during 2002

N Silverberg\*, F Aguirre, S Aguiñiga, N Romero

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Sta. Rita, La Paz CP 23096, Baja California Sur. \* E-mail: silverb@ipn.mx

**Resumen**

Se instaló una trampa de sedimentos de series de tiempo Technicap (0.125 m<sup>2</sup>) anclándola a 50 m del fondo de la Cuenca Alfonso cada tres meses en 2002, con una resolución de 7–8 días. Bajo el estereoscopio, la nieve marina fue abundante y las pelotillas fecales variaron en abundancia, forma y tamaño (0.25–10 mm). Las diatomeas centrales fueron comunes todo el año, pero las diatomeas en cadenas fueron claramente abundantes solamente durante dos semanas en junio. Las muestras brutas fueron tamizadas (malla 1 mm) para separar nadadores y grandes partículas. Los más frecuentes nadadores fueron organismos gelatinosos, poliquetos, pterópodos y raramente crustáceos. Cada muestra fue dividida en diez fracciones iguales. Cuatro de éstas fueron lavadas para eliminar el agua de mar, secadas y pesadas para determinar el flujo de masa total. Estos flujos variaron entre 0.17 y 2.48 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Los valores máximos se presentaron en febrero mientras que los mínimos se observaron a mediados de abril y finales de junio. El flujo de masa medio (300 g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>) es equivalente a una tasa de acumulación de sedimento de 0.4 mm año<sup>-1</sup>, valor similar a algunos obtenidos por fechado de núcleos tomados de la cuenca. La fracción carbonatada fue determinada por coulometría del carbono total antes y después de acidificación y fue considerable, con porcentajes entre 8% y 26%. El promedio (14.6%) fue similar a la concentración observada en los sedimentos superficiales. Las máximas contribuciones fueron evidentes en los periodos de enero, marzo, mayo, octubre y noviembre. El flujo medio de CaCO<sub>3</sub> fue de 0.128 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, variando entre 0.036 y 0.304 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, siendo los flujos más intensos en otoño e invierno. Los resultados sugieren que la contribución de carbonatos y el flujo de masa total son más importantes en la Cuenca Alfonso que en la Cuenca Guaymas.

*Palabras clave:* hundimiento de partículas, trampas de sedimentos de serie de tiempo, depositación.

**Abstract**

Every three months during 2002, a 1/8-m<sup>2</sup> Technicap PPS-3 time-series sediment trap was moored 50 m above the bottom of Alfonso Basin and provided 7–8 day resolution. Under the dissecting microscope, marine snow was abundant, while fecal pellets varied in number, size (0.25–10 mm) and form. Centric diatoms were common year-round, while chain-forming diatoms were clearly abundant only during a two-week period in June. The bulk samples were sieved (1 mm) to remove swimmers, the most frequent being polychaetes and pteropods, followed by gelatinous organisms and, rarely, crustaceans. The material was separated into ten equal parts using a rotary splitter. Four of the splits were rinsed of seawater, dried and weighed to determine the total mass flux. This varied between 0.17 and 2.48 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. The highest fluxes occurred in February and the lowest in mid-April and late June. The average mass flux (300 g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>) is equivalent to a sediment accumulation rate of 0.4 mm yr<sup>-1</sup>, similar to that obtained from the dating of sediment cores from the basin. The carbonate fraction, determined by coulometry of the carbon content before and after acidification, was considerable, accounting for 8–26% of the total. The mean (14.6%) is similar to the concentration reported for surficial sediments. Peak concentrations occurred during periods in January, March, May, October and November. The CaCO<sub>3</sub> flux averaged 0.128 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, ranged between 0.036 and 0.304 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> and was most intense in autumn and winter. The total mass and carbonate fluxes in La Paz Bay are considerably greater than those observed in Guaymas Basin, in the open Gulf of California.

*Key words:* settling particles, time-series sediment trap, sedimentation.

**Introducción**

En la capa superficial del mar el carbono inorgánico disuelto es incorporado por el fitoplancton y subsecuentemente transformado por el zooplancton y otros procesos biológicos y no biológicos en agregados mayores de materia orgánica particulada (MOP), frecuentemente en forma de agregados

**Introduction**

In the surface layer of the ocean, dissolved inorganic carbon is incorporated by phytoplankton and further transformed by zooplankton and other biological and nonbiological processes into large forms of particulate organic matter, often in the form of mucous-bound aggregates and fecal

mucosos y pelotillas fecales (Fowler y Knauer 1986, Alldredge y Silver 1988). Además de la MOP, este detritus que se hunde rápidamente transporta otros componentes como esqueletos de organismos planctónicos, minerales terrígenos y posiblemente contaminantes (Fowler y Knauer 1986, Silver y Gowing 1991, Romero *et al.* 2000). El flujo vertical (hundimiento) de las partículas depende de sus propiedades físicas, de la naturaleza del sistema trófico pelágico y en parte de la estructura física de la columna de agua, como la estratificación y la turbulencia (Wassman *et al.* 1994). Estas partículas grandes son relativamente raras, de 1–4 agregados por litro (Fellows *et al.* 1981), por lo que las técnicas usadas comúnmente para recolectar materia orgánica en suspensión (como las botellas Niskin) son inadecuadas para su recolección. En consecuencia, el uso de las trampas de sedimentos ha proliferado en las últimas 2 a 3 décadas como un medio para obtener información cuantitativa y cualitativa del flujo de partículas en hundimiento. En particular, los estudios de series de tiempo han revelado patrones de sedimentación como máximos flujos asociados con aportes terrígenos, estimulación de la productividad por el aporte de cenizas volcánicas ricas en hierro, y surgencias estacionales de aguas ricas en nutrientes (Thunell 1998, Wong *et al.* 1999, Takahashi *et al.* 2000). Las trampas de sedimento no sólo proporcionan información de las tasas de sedimentación, sino también información valiosa concerniente a los cambios tróficos de la comunidad pelágica. (p.ej. Romero *et al.* 2000). Excluyendo el tiempo para recobrar y reinstalar el instrumento, la serie de tiempo de la trampa proporciona una cobertura continua, incluyendo periodos en los que ningún barco está en el área. Subdividiendo cada muestra, el material está disponible para una amplia variedad de análisis, proporcionando información acerca de la naturaleza de los organismos en la columna de agua, la composición y las posibles fuentes de la materia orgánica y componentes minerales. Tales datos pueden también ser usados para evaluar e interpretar las tasas de acumulación y la química de los sedimentos subyacentes (Silverberg *et al.* 2000).

La sedimentación del material particulado es frecuentemente controlada por fenómenos biológicos (nieve marina, agregación por exopolímeros o “TEP”, compactación como pelotillas fecales, autoagregación por células del fitoplancton así como el hundimiento de partículas biogénicas individuales (Alldredge y Silver 1988, Silver y Gowing 1991). Además, en las inmediaciones de zonas desérticas como la Península de Baja California, la sedimentación puede estar dominada por partículas biogénicas, ya que no hay ríos permanentes y el drenaje está limitado a los periodos de lluvias fuertes asociadas a tormentas y huracanes (Van Andel 1964, Baba *et al.* 1991). En el sureste del Golfo de California, fuera de la Bahía de La Paz, la capa mínima de oxígeno ( $<0.3 \text{ mL L}^{-1}$ ) se extiende desde cerca de los 200 m hasta 1000 m de profundidad. Dentro de la bahía, en la Cuenca Alfonso, las concentraciones decrecen de  $0.3 \text{ mL L}^{-1}$  a 180 m hasta  $0.1 \text{ mL L}^{-1}$  a 380 m (Monreal-Gómez *et al.* 2001). La presencia de esta zona limita la ocurrencia de organismos nadadores, los cuales pueden distorsionar el

pellets (Fowler and Knauer 1986, Alldredge and Silver 1988). Besides particulate organic matter, this rapidly settling detritus transports other components such as skeletons of planktonic organisms, terrigenous minerals and possibly contaminants (Fowler and Knauer 1986, Silver and Gowing 1991, Romero *et al.* 2000). The settling, or vertical flux, of particles depends on the physical properties of the particles themselves, the nature of the pelagic trophic system and, in part, on the water column structure such as stratification and turbulence (Wassman *et al.* 1994). Such large particles are relatively rare (1–4 aggregates per liter, Fellows *et al.* 1981), so techniques commonly used for collecting suspended particulate matter (such as Niskin bottles) are inadequate for their collection. In consequence, the use of sediment traps has proliferated over the last 2–3 decades as the means of obtaining qualitative and quantitative information about large sedimenting particles. Time-series studies in particular have revealed patterns of modern-day sedimentation, such as high fluxes associated with terrigenous inputs, stimulation of productivity by the input of volcanic ash rich in iron and seasonal upwelling of water rich in nutrients (Thunell 1998, Wong *et al.* 1999, Takahashi *et al.* 2000). Sediment traps not only provide information on sedimentation rates but also valuable information concerning changes in the trophic structure of the pelagic community (e.g., Romero *et al.* 2000). Apart from the time occupied by short cruises to recover and redeploy the instrument, the time-series trap provides continuous coverage, including periods when no ship is in the area. By subdividing each sample, material is available for a wide variety of analyses, offering information about the nature of the organisms in the water column and the composition and possible source of the organic matter and the mineral components. Such data can also be used to evaluate rates of accumulation and the chemistry of the underlying sediment (Silverberg *et al.* 2000).

Sedimentation of particulate matter is frequently controlled by biological phenomena (marine snow, held together by transparent exopolymers [TEP], compaction as fecal pellets, autoaggregation of phytoplankton cells) as well as individual biogenic particles (Alldredge and Silver 1988, Silver and Gowing 1991). Furthermore, near arid zones, such as the Baja California Peninsula, sedimentation may be dominated by biogenic particles, since there are no permanent rivers and land drainage is limited to periods of heavy rainfall associated with tropical storms or hurricanes (Van Andel 1964, Baba *et al.* 1991). In the southeastern Gulf of California off La Paz Bay (Mexico), the oxygen minimum layer ( $<0.3 \text{ mL L}^{-1}$ ) extends from about 200 m to 1000 m depth. Within the bay, in Alfonso Basin, the concentrations decrease from  $0.3 \text{ mL L}^{-1}$  at 180 m to about  $0.1 \text{ mL L}^{-1}$  at 380 m depth (Monreal-Gómez *et al.* 2001). The presence of this zone limits the occurrence of swimming organisms, which can distort the contents of material recovered in sediment traps, mainly by the addition of their corpses once they have come into contact with the preservative solutions.

La Paz Bay is situated on the southeastern margin of the Baja California Peninsula and it is the largest coastal body of water facing the Gulf of California, covering an area of

contenido de material recuperado en las trampas de sedimento, particularmente por la adición de sus cuerpos una vez en contacto con las soluciones preservativas.

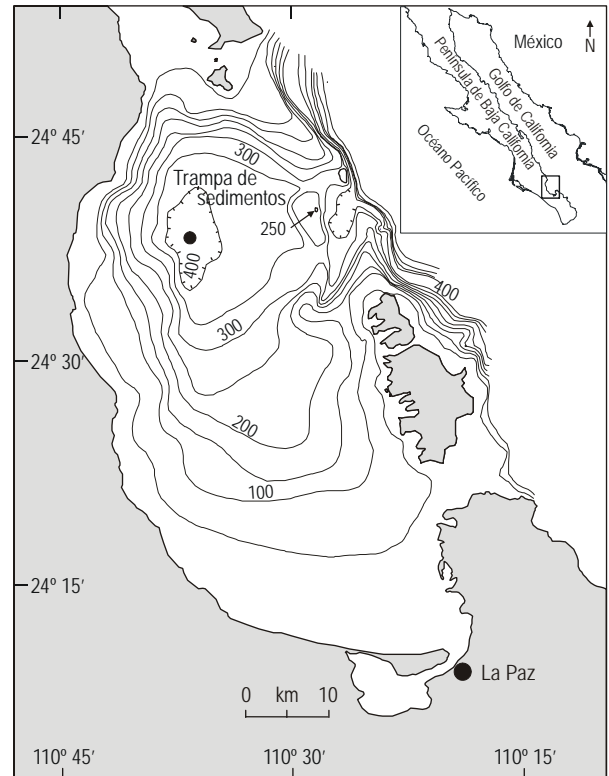
La Bahía de La Paz se encuentra ubicada en el margen suroriental de la Península de Baja California y es el cuerpo de agua más grande frente al Golfo de California, cubriendo un área de 2600 km<sup>2</sup> (fig. 1). En su porción sur es somera pero gradualmente se hace profunda hacia el norte, más abruptamente a partir de los 200 m para formar la Cuenca Alfonso, con una profundidad máxima de 420 m (Cruz-Orozco *et al.* 1989, 1996). La depresión y corrientes más lentas sobre el piso oceánico, la hacen un ambiente depositacional natural. Es considerada una área productiva, pero sólo recientemente se han llevado a cabo estudios dirigidos a comprender los procesos oceanográficos que regulan la productividad primaria dentro de la bahía (Reyes-Salinas 1999, Martínez-López *et al.* 2001). Análogamente, el estudio de los fenómenos físicos es igualmente reciente (Zaitsev *et al.* 1998, Salinas-González 2000) y no es suficiente para entender algunos de los factores que controlan la producción primaria. El forzamiento atmosférico, por ejemplo, que controla entre otras cosas el grosor de la capa de mezcla superficial, aún tiene que ser cuantificado. El objetivo principal de este estudio fue obtener información de las variaciones de periodo corto y la dinámica de las partículas en la Bahía de La Paz por al menos un año, y de éstas, interpretar los patrones dentro del ecosistema pelágico.

## Materiales y métodos

La recolección de muestras de series de tiempo se llevó a cabo usando una trampa de sedimentos Technicap modelo PPS-3, de 0.125 m<sup>2</sup> de abertura, con un motor programable y 12 botellas recolectoras de 250 mL de capacidad. La instalación de la trampa se realizó en Cuenca Alfonso (24°39' N, 110°36' W) a 360 m de la superficie. En el extremo opuesto se colocaron tres boyas que proporcionaban 160 kg de flotabilidad para mantener la orientación vertical.

El anclaje fue instalado y subsecuentemente recuperado y reinstalado nuevamente durante enero, abril, julio y noviembre de 2002 y febrero de 2003. Los intervalos entre muestreos fueron de aproximadamente tres meses proporcionando 12 muestras que representaban 7–8 días de recolección. Debido a problemas con el motor, en enero de 2003 sólo se muestrearon 10 botellas por lo que la décima botella muestreó durante 47 días. Las botellas recolectoras se llenaron con una solución de formaldehído al 4% que se preparaba con agua de mar filtrada (a través de filtros de 0.45 µm) a la que se le agregaba sal (NaCl) de alta pureza para obtener una salinidad de 40 ups. La densidad resultante evitaba el intercambio con el agua de mar del ambiente dentro de la trampa misma. La solución se amortiguó con NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O y Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> de acuerdo a Galingher y Kozloff (1971); sin embargo, el pH determinado en las muestras fluctuó entre 6.05 y 6.9.

En el laboratorio se colocó una alícuota de 1 mL en una caja de Petri para ser primero observada con un estereoscopio;



**Figura 1.** Ubicación del anclaje de la trampa de sedimento en la Cuenca Alfonso, que ocupa la mayoría del tercio norte de la Bahía de La Paz, México (Batimetría de Nava-Sánchez *et al.* 2001).

**Figure 1.** Location of the sediment trap mooring in Alfonso Basin, which occupies most of the northern third of La Paz Bay, Mexico (bathymetry from Nava-Sánchez *et al.* 2001).

over 2600 km<sup>2</sup> (fig. 1). The southern portion is shallow but gradually deepens towards the north, and descends more abruptly below 200 m to form Alfonso Basin, with a maximum depth of 420 m (Cruz-Orozco *et al.* 1989, 1996). The depression and the more sluggish currents over the seafloor make it a natural depositional environment. It is considered a productive area, but only recently have studies directed towards understanding the oceanographic processes regulating primary production within the bay been undertaken (Reyes-Salinas 1999, Martínez-López *et al.* 2001). Similarly, the study of its physical oceanography is also recent (Zaitsev *et al.* 1998, Salinas-González 2000) and not enough to understand some of the factors controlling primary production. Atmospheric forcing, for example, which controls the thickness of the surface mixed layer, among other things, has still to be quantified. The aim of the present study was to obtain data on the short-term variations in the composition and dynamics of settling particulates in La Paz Bay over at least one entire year, and from these to interpret patterns within the pelagic ecosystem.

## Material and methods

The time-series collection was undertaken using a Technicap model PPS-3 sediment trap with an opening of 0.125 m<sup>2</sup>

éste contaba con una cámara de video acoplada con la que se tomaron algunas imágenes del aspecto general del material recolectado y de las partículas más conspicuas. Después de que la alícuota se regresó a la muestra original, ésta se pasó a través de un tamiz con una luz de malla de 1000  $\mu\text{m}$  con el fin de eliminar todos los agregados grandes y el zooplancton. La fracción retenida de cada muestra fue separada y guardada en frascos de 20 mL para su análisis posterior. Después del tamizado las muestras se dividieron en 10 fracciones mediante un fraccionador rotatorio para proveer 10 submuestras iguales. Estas submuestras se recolectaron en tubos de 50 mL tratados con HCl al 10%. Cuatro de los tubos, pesados previamente, fueron centrifugados eliminando por decantación la solución preservativa. A continuación las muestras se lavaron con agua desmineralizada, para eliminar las sales, centrifugando y decantando la solución nuevamente. Las muestras se secaron en un horno durante al menos 48 h a  $\sim 50^\circ\text{C}$ . Después de que los tubos se aclimataron a temperatura ambiente en un desecador, se pesaron para calcular la masa del material. El cálculo de los flujos de masa totales ( $F$ ) se hizo mediante la siguiente ecuación:

$$F(g\ m^{-2}\ d^{-1}) = \frac{P \times 10 \times 8}{T}$$

donde  $P$  es el peso medio, en gramos, de los cuatro tubos multiplicado por 10, ya que cada tubo representa un décimo de la muestra y multiplicando nuevamente por 8 debido a que la abertura de la trampa es de un  $1/8$  de  $\text{m}^2$ , y por último dividido entre el número de días ( $T$ ) que estuvo la botella recolectando material.

Se utilizó uno de estos tubos con material seco para la determinación preliminar del contenido de carbonatos. Aproximadamente 2 mL de HCl al 10% se agregaron a las muestras contenidas en los tubos previamente pesados. Una vez finalizada la efervescencia las muestras se lavaron con 20 mL de agua desmineralizada, se centrifugaron y el sobrenadante fue decantado. Este procedimiento se repitió una vez más para asegurar la completa disolución, y la diferencia por pérdida de peso sirvió como una estimación preliminar del contenido de carbonato de calcio.

Un gran número de estos resultados preliminares fueron muy altos, posiblemente asociados a los errores del método gravimétrico. Para verificar, la mayoría de las muestras de reserva fueron analizadas por un método independiente en el Laboratorio de Química Oceánica del Instituto Shirsov de Oceanología en Moscú. El carbono inorgánico se determinó por la diferencia entre los contenidos de carbono total y carbono orgánico (Ljutsarev 1987). La veracidad de las mediciones fue controlada por el uso de estándares de sedimento y la precisión, determinada por algunas muestras por triplicado, la cual presentó un error estándar de  $\pm 8.5\%$ .

Se examinó una muestra de sedimento superficial (recuperada del muerto de los anclajes) de alta porosidad, color café, para compararla con el material de la trampa de sedimentos.

and a programmable motor-driven carousel containing twelve 250-mL bottles. The instrument was installed in Alfonso Basin ( $24^\circ 39' \text{ N}$ ,  $110^\circ 36' \text{ W}$ ), 360 m below the surface, supported by buoys providing 160 kg of buoyancy to maintain vertical orientation.

The mooring was installed and subsequently recovered and reinstalled during January, April, July and November 2002 and February 2003. The roughly three-month intervals provided 12 samples, each representing 7–8 days collection. Due to problems with the motor in January 2003, the tenth bottle did not rotate and continued to sample for 47 days. The sample bottles contained a solution of 4% formaldehyde, made up of filtered ( $0.45\ \mu\text{m}$ ) seawater to which high purity NaCl was added to make the resulting salinity 40 psu, dense enough to avoid exchange with the ambient seawater in the trap itself. The solution was buffered using  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  and  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  following Galingher and Kozloff (1971), but the pH measured afterwards ranged from 6.05 to 6.9.

Once in the laboratory, a 1-mL aliquot was removed to a clean Petri dish and observed under a dissecting scope equipped with a digital video recorder to obtain images of the general character of the material and identify the most conspicuous particles. After the aliquot was returned to the bulk sample, the latter was passed through a 1000- $\mu\text{m}$  nylon screen to remove “swimmers” and large aggregates. This coarse fraction was stored in 20-mL vials for later examination. After sieving, the samples were subdivided into 10 equal subsamples (“splits”), collected into acid-washed 50-mL tubes using a rotary splitter. Four of the tubes were preweighed, and these splits were centrifuged and the preservative solution decanted. The samples were rinsed with demineralized water to remove sea salts, centrifuged and decanted once again and allowed to dry in a  $\sim 50^\circ\text{C}$  oven for at least 48 h. After cooling in a desiccator, the tubes were weighed again and the split weight determined. The total mass flux ( $F$ ) was then calculated as follows:

$$F(g\ m^{-2}\ d^{-1}) = \frac{P \times 10 \times 8}{T}$$

where  $P$  is the mean weight in grams of the four splits, multiplied by 10 to account for the total mass of the 10 splits and by 8 to account for the  $1/8\ \text{m}^2$  collecting surface, and  $T$  is the period of collection in days.

One of the dried splits was then treated to eliminate and measure the calcium carbonate content. About 2 mL of 10% HCl was added to the sample in a preweighed 50-mL centrifuge tube. After effervescence stopped, the sample was rinsed with about 20 mL of demineralized water and then centrifuged so that the supernatant could be decanted. This was repeated a second time to assure complete dissolution and the remaining dried sample was weighed once more, and the weight loss was used as a preliminary estimate of the calcium carbonate content. The samples so treated then serve for organic chemistry analysis (stable C and N isotopes).

Examinando algunas submuestras, se hizo una estimación gruesa de la contribución de varios componentes.

## Resultados

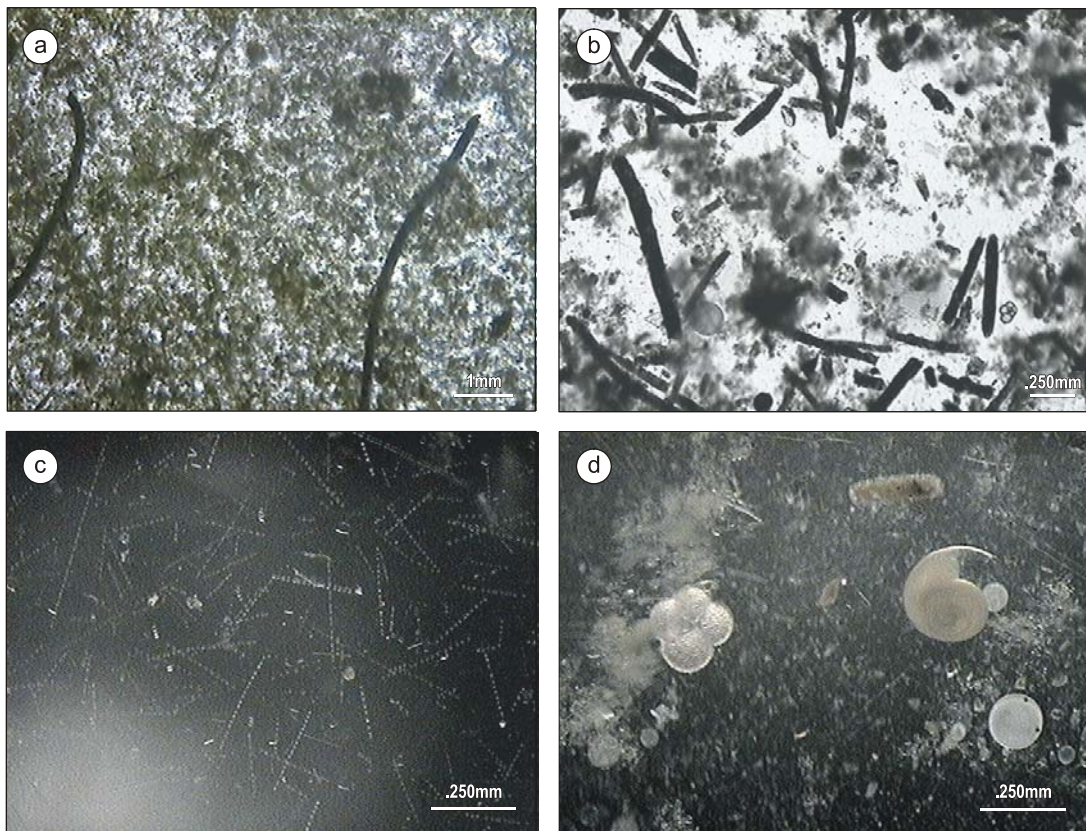
Las observaciones estereoscópicas del material recolectado nos permitieron determinar qué componentes se presentan en cada muestra y su abundancia relativa durante el periodo de recolección. Las partículas predominantes fueron la nieve marina y las pelotillas fecales (fig. 2). Estas últimas varían en forma (algunas de ellas muy alargadas debido a que aún se conservaban intactas antes del fraccionamiento de las muestras) y abundancia entre muestras, indicando que las poblaciones de zooplancton cambiaban en este ambiente. Las diatomeas centrales (v.g. *Coscinodiscus*) estuvieron presentes todo el año, mientras que las diatomeas formando cadenas fueron evidentemente abundantes sólo en un periodo de dos semanas, durante junio (fig. 2). También se encontraron, entre otros organismos, foraminíferos, pterópodos y gasterópodos. La fracción >1 mm consistió de grandes crustáceos decápodos y ostrácodos, casas de larváceos, pterópodos y comúnmente nieve marina de consistencia gelatinosa.

A large number of these preliminary results were very high, possibly associated with errors in the gravimetric method. To verify the true carbonate contents, most of the reserve samples were analyzed by an independent procedure at the Laboratory of Ocean Chemistry, Shirsov Institute of Oceanology, Moscow. Inorganic carbon was determined as the difference between total carbon and organic carbon (Ljutsarev 1987). The accuracy of the method was controlled via the use of sediment standards and the precision, determined by a series of blind triplicate analyses, gave a standard error of  $\pm 8.5\%$ .

A sample of the high-porosity, brown-colored surficial sediment (recovered from the mooring anchor) was examined to compare with the sediment trap material. A rough estimate of the contribution of the various components was made by examining a number of subsamples.

## Results

The dissecting scope observations allowed the determination of the main types of particle present in each sample and their relative abundance during the period of collection. The most prominent particles (fig. 2) were marine snow aggregates



**Figura 2.** Microfotografías selectas de sedimento recolectado por la trampa, sin tratar: (a) agregados de nieve marina abundantes con largas pelotillas fecales de zooplancton; (b) pelotillas fecales con diferentes formas, fragmentos de nieve marina y conchas de foraminíferos; (c) abundantes diatomeas en forma de cadenas; y (d) concha de *Globigerina*, diatomeas céntricas y exoesqueleto de pterópodo.  
**Figure 2.** Selected micrographs of the untreated sediment trap material: (a) abundant marine snow aggregates with long zooplankton fecal pellets; (b) a variety of fecal pellet forms, marine snow fragments and foraminifera shells; (c) abundant chain-forming diatoms; and (d) *Globigerina* shell, centric diatoms and pteropod conch.

Los flujos de masa totales calculados para 2002 e inicios de 2003 (tabla 1) mostraron variaciones significativas entre meses y aún de una semana a otra, con un mínimo de  $0.17 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  y un máximo de  $2.48 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Los mínimos se presentaron a mediados de abril y finales de junio, mientras que los máximos sucedieron al inicio de marzo y mediados de noviembre (fig. 3a). El flujo medio fue de  $0.82 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

De acuerdo con los resultados parciales por el método de culometría, la proporción de carbonatos de calcio varió entre 8% y 26% (fig. 3b), con un promedio de 14.6%. Los máximos aparecen frecuentemente a intervalos de 58 a 59 días (durante la tercera semana de enero, en marzo y mayo, la segunda semana de octubre y la tercera de noviembre de 2002, y la primera de enero de 2003; ver tabla 1). La gama de flujos varió entre  $0.03$  y  $0.30 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , con un promedio de  $0.128 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (fig. 3c). Los flujos máximos (semanas tercera de enero, primera y cuarta de febrero, tercera de mayo, primera de octubre, cuarta de noviembre y cuarta de enero de 2003) no siempre corresponden a los máximos de concentración, a causa de las variaciones en el flujo de masa total. Los flujos más altos de carbonatos ( $>0.20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) se presentan en invierno y otoño.

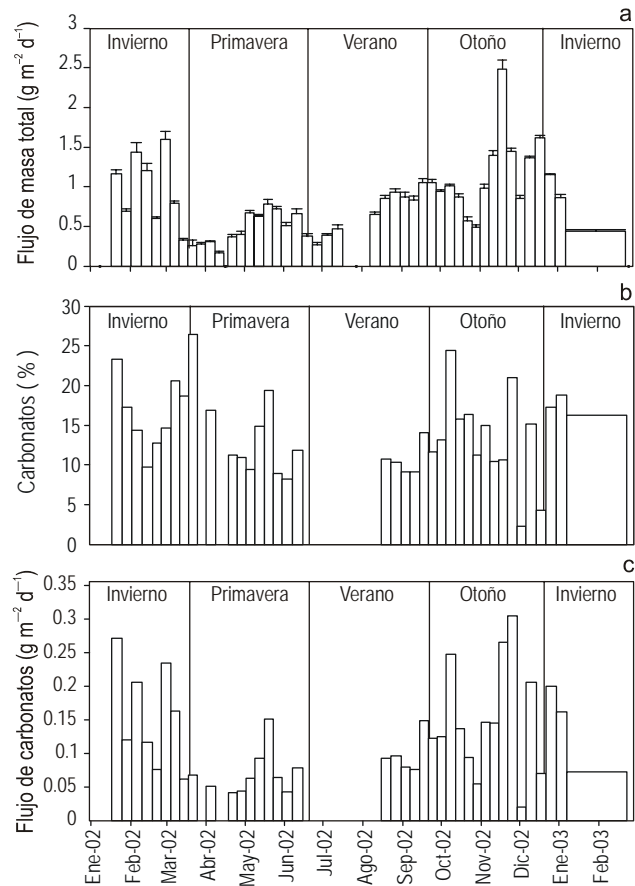
Bajo el campo de disección, el sedimento recolectado de los muertos, alrededor del 30% consistió de una masa de partículas minerales de grano fino y otro 30% consistió de material fino, aparentemente agregado por materia orgánica. De las partículas identificables a baja magnificación, las testas de foraminíferos bentónicos parecidos a *Bolivina subaduena* conformaron alrededor del 10% de la muestra, mientras otro 10% fueron principalmente esqueletos incompletos o quebrados de formas de foraminíferos globulares o esféricos. Las valvas de diatomeas céntricas (*Coscinodiscus* y *Thalassiosira*) conformaron otro 10%. El 10% remanente estuvo constituido de formas más raras de foraminíferos, algunos aglutinados, algunos parecidos a *Melonis parkerae*, otros a la forma aplanada de *Epistominella*, algunos a la ovoide espiral de *Chilostomella ovoidea*—junto con pterópodos de conchas muy gastadas y una mezcla de pelotillas fecales rotas y partes de cuerpos de zooplancton. A una alta magnificación, usando un microscopio invertido, alrededor del 30% del material de grano fino parecen ser granos minerales menores que  $25 \mu\text{m}$  y otro 15% fueron agregados de gránulos de color verde. Las valvas de *Coscinodiscus* de diámetro variable ( $60\text{--}250 \mu\text{m}$ ) contabilizaron 30%, además de valvas más pequeñas ( $20\text{--}40 \mu\text{m}$ ) de *Thalassiosira* que hicieron otro 5%. El 20% remanente del material de grano fino estuvo formado de esqueletos dispersos de diatomeas penadas (*Amphora*, *Nitzschia*), radiolarios, tintínicos, silicoflagelados y posiblemente cocolitos. Sobre todo, el material biogénico, particularmente el calcáreo, fue abundante en el sedimento superficial.

**Discusión**

Los resultados preliminares que se obtuvieron revelan, por mucho, un grado considerable de variación en la composición

and fecal pellets. The latter varied in form (some being quite long since they had not yet been broken during the subsequent sample splitting treatment) and abundance between samples, indicative of changing ambient zooplankton populations. Centric diatoms (e.g., *Coscinodiscus*) were present throughout the year, while chain-forming diatoms were clearly abundant only during a two-week interval in June (fig. 2). Other organisms encountered included foraminifera, pteropods and gastropods. The  $>1\text{-mm}$  fraction consisted of large crustaceans, decapods and ostracods, larvacean houses, large pteropods and, commonly, gelatinous aggregates.

The total mass fluxes calculated for 2002 and the beginning of 2003 (table 1) show significant variations between months and even from one week to another, with a minimum of  $0.17 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  and a maximum of  $2.48 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . The lowest fluxes occurred in mid-April and late June, while peak fluxes were observed in early March and mid-November (fig. 3a). The mean flux was  $0.82 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .



**Figura 3.** Variaciones temporales en el flujo de partículas a 360 m de profundidad en la Cuenca Alfonso : (a) flujo total de masa, (b) contenido de carbonato de calcio en el material en sedimentación y (c) flujo del carbonato de calcio.  
**Figure 3.** Temporal variations in the particle flux at 360 m depth in Alfonso Basin: (a) total mass flux, (b) calcium carbonate content of the settling material and (c) flux of calcium carbonate.

**Tabla 1.** Fechas de colectas y los valores de flujo de masa total ( $\pm$ ), porcentaje de carbonatos de calcio y flujo de carbonatos en Cuenca Alfonso.  
**Table 1.** Dates of collection and values of total mass flux ( $\pm$ ), percent calcium carbonate and flux of calcium carbonate in Alfonso Basin.

Año	Fecha	Fecha intermedia	Día del año	Días de colecta	Flujo de masa ( $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )	Variación ( $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )	$\text{CaCO}_3$ (%)	Flujo de $\text{CaCO}_3$ ( $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )
2002	18–25 Ene	22 Ene	22	8	1.163	0.048	23.3	0.271
	26 Ene–02 Feb	30 Ene	30	8	0.692	0.026	17.2	0.119
	03–10 Feb	07 Feb	38	8	1.439	0.121	14.3	0.206
	11–17 Feb	15 Feb	46	8	1.199	0.093	9.7	0.116
	18–24 Feb	21 Feb	52	7	0.597	0.026	12.7	0.076
	25 Feb–03 Mar	28 Feb	59	7	1.599	0.096	14.6	0.234
	04–10 Mar	07 Mar	66	7	0.790	0.035	20.6	0.163
	11–17 Mar	14 Mar	73	7	0.326	0.019	18.7	0.061
	18–24 Mar	21 Mar	80	7	0.255	0.072	26.4	0.067
	25–30 Mar	28 Mar	87	7	0.280	0.016	–	–
	01–07 Abr	04 Abr	94	7	0.303	0.013	16.8	0.051
	08–14 Abr	11 Abr	101	7	0.167	0.018	–	–
	15–17 Abr	16 Abr	106	3	–	–	–	–
	18–24 Abr	21 Abr	111	8	0.421	0.031	11.2	0.047
	25 Abr–01 May	28 Abr	118	8	0.458	0.041	10.9	0.050
	02–08 May	05 May	125	8	0.766	0.030	9.4	0.072
	09–15 May	12 May	132	8	0.714	0.025	14.8	0.106
	16–22 May	19 May	139	7	0.777	0.059	19.3	0.150
	23–09 May	26 May	146	7	0.720	0.029	8.9	0.064
	30 May–06 Jun	03 Jun	154	7	0.446	0.030	8.2	0.036
	07–14 Jun	11 Jun	162	7	0.578	0.049	11.8	0.068
	15–22 Jun	19 Jun	170	7	0.329	0.032	–	–
	23–30 Jun	27 Jun	178	7	0.235	0.022	–	–
	01–08 Jul	05 Jul	186	7	0.339	0.022	–	–
	09–16 Jul	13 Jul	194	7	0.412	0.041	–	–
	17 Jul–06 Ago	27 Jul	198	21	–	–	–	–
	07–14 Ago	11 Ago	223	8	0.650	0.033	–	–
	15–22 Ago	19 Ago	231	8	0.855	0.038	10.8	0.092
	23–30 Ago	27 Ago	239	8	0.931	0.040	10.4	0.096
	31 Ago–06 Sep	03 Sep	246	8	0.999	0.062	9.1	0.091
	07–13 Sep	10 Sep	253	7	0.832	0.053	9.1	0.076
	14–20 Sep	17 Sep	260	7	1.055	0.044	14.1	0.148
	21–27 Sep	24 Sep	267	7	1.049	0.040	11.6	0.122
	28 Sep–04 Oct	01 Oct	274	7	0.946	0.018	13.1	0.124
	05–11 Oct	08 Oct	281	7	1.014	0.019	24.4	0.248
	12–18 Oct	15 Oct	288	7	0.866	0.042	15.8	0.136
	19–25 Oct	22 Oct	295	7	0.571	0.044	16.4	0.093
	26 Oct–01 Nov	29 Oct	302	7	0.517	0.036	11.2	0.058
	02–08 Nov	05 Nov	309	7	0.982	0.048	14.9	0.146
	09–15 Nov	12 Nov	316	7	1.390	0.069	10.5	0.145
	16–22 Nov	19 Nov	323	7	2.483	0.109	10.7	0.264
	23–29 Nov	26 Nov	330	7	1.446	0.041	21.0	0.304
	30 Nov–06 Dic	03 Dic	337	7	0.851	0.037	–	–
	07–14 Dic	11 Dic	345	8	1.361	0.020	15.1	0.206
	15–22 Dic	19 Dic	353	8	1.619	0.030	–	–
	23–30 Dic	27 Dic	361	8	1.154	0.009	17.3	0.199
2003	31 Dic–07 Ene	04 Ene	369–04	8	0.859	0.041	18.8	0.161
	08 Ene–23 Feb	01 Feb	399–34	47	0.442	0.019	16.3	0.072

y flujo de las partículas sedimentarias en Cuenca Alfonso. El flujo de masa total cambia por un orden de magnitud entre principios de la primavera y finales del otoño, pero también hay cambios en escala más pequeña. Los flujos más bajos durante el periodo de muestreo en Cuenca Alfonso, ocurrieron durante marzo y principios de abril, así como desde mediados de junio a mediados de julio.

El flujo de masa en promedio fue de  $300 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ . Suponiendo que en el sedimento profundo no hay pérdida de masa por diagénesis y, como por abajo de los primeros 40 cm en los núcleos la compactación de los sedimentos finos resulta con un 50% de contenido de agua (Berner 1980, Silverberg *et al* 1986), la tasa actual de acumulación de sedimento en Cuenca Alfonso está calculada en  $0.4 \text{ mm año}^{-1}$ . Esto coincide con tasas de acumulación ya publicadas, que fueron obtenidas de perfiles de exceso de  $^{210}\text{Pb}$  en núcleos de sedimentos de la Cuenca Alfonso por Nava-Sánchez (1997), Pérez-Cruz (2000) y Rodríguez-Castañeda, (2001), que son de 0.5, 0.4 y  $0.63 \text{ mm año}^{-1}$ , respectivamente.

La concentración del carbonato de calcio varió por un factor de tres, entre 8% y 26%. Las altas proporciones de carbonatos asociadas con bajos flujos totales han sido relacionadas a los periodos oligotróficos en varias cuencas de la margen del Océano Pacífico (Ziveri y Thunell 2000, Silverberg *et al.* 2004), durante los cuales el nanoplancton de cocolitofóridos prolifera a expensas de las diatomeas silíceas. Aún están por determinarse las proporciones de cocolitofóridos, foraminíferos y diatomeas en el material que se hunde, pero las continuas contribuciones de moderadas a altas de carbonatos en Cuenca Alfonso, aun durante el evidente florecimiento de cadenas de diatomeas en junio, sugieren un régimen diferente para la Bahía de La Paz.

La evidencia estereoscópica indica que la materia orgánica también es una componente significativa. Si el flujo de la masa total en promedio es  $0.83 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  y el flujo de  $\text{CaCO}_3$  es  $0.12 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , la diferencia de  $0.70 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  debería de corresponder al material terrígeno, sílice biogénico y materia orgánica.

Estudios previos han mostrado máximos de clorofila *a*, que indican florecimientos de fitoplancton en abril y mayo (Reyes-Salinas 1999, Martínez-López *et al.* 2001), mientras que Verdugo-Díaz (2004) mostró máximos en el otoño, una variación considerable de clorofila *a* y de la composición de las especies en función del nivel de luz. Claramente, los factores que controlan el ritmo y composición de los florecimientos fitoplanctónicos en Bahía de La Paz merecen una revisión más profunda.

Del registro paleoceanográfico de un núcleo de caja de la Cuenca Alfonso, Bernal-Franco (2001) describió tendencias inversas entre el carbono orgánico y el contenido de calcita en los últimos 1000 años. Sin embargo, desde 1650 ambos porcentajes de carbono orgánico y  $\text{CaCO}_3$  se han ido incrementando. El horizonte más reciente que ha sido examinado, muestra un 20% de contenido de calcita, pero González-

According to the partial results from the coulometric analyses, the proportion of calcium carbonate ranged from 8% to 26% (fig. 3b), with an average of 14.6%. Peak concentrations frequently occurred at intervals of 58–59 days (during the third week of January, March and May, the second week of October, the third week of November and the first week of January 2003; see table 1). The flux of this component varied between  $0.03$  and  $0.30 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , with a mean of  $0.13 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (fig. 3c). The peaks in the carbonate flux (third week of January, first and fourth week of February, first week of October, fourth week of November and fourth week of January 2003) do not always correspond to those of maximum concentration, since they are also influenced by the total mass flux. The highest carbonate fluxes ( $>0.20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) occurred in autumn and winter.

Under the dissecting scope, the sediment was seen to consist of a groundmass of fine-grained mineral particles (about 30%), with another 30% of fine material apparently aggregated by organic matter. Of the particles identifiable at low magnification, benthic foraminifera tests resembling *Bolivina subaduena* made up about 10% of the sample, while another 10% consisted mostly of broken or incomplete skeletons of globular or spherical forms of foraminifera. Valves of centric diatoms (*Coscinodiscus* and *Thalassiosira*) made up another 10%. The remaining 10% was made up of rarer forms of foraminifera—some agglutinated, some resembling *Melonis parkerae*, others the flattened form of *Epistominella*, some the ovoid spiral of *Chilostomella ovoidea*—together with very worn shells of pteropods and a mixture of broken fecal pellets and zooplankton body parts. At higher magnification, using an inverted microscope, about 30% of the fine-grained material appeared to be mineral grains smaller than  $25 \mu\text{m}$ , while another 15% consisted of aggregates of green-tinted granules. *Coscinodiscus* valves of varying diameter ( $60\text{--}250 \mu\text{m}$ ) accounted for 30%, with smaller ( $20\text{--}40 \mu\text{m}$ ) *Thalassiosira* making up another 5%. The remaining 20% of the fine-grained material was made up of scattered skeletons of pennate diatoms (*Amphora*, *Nitzschia*), radiolarians, tintinnids, silico-flagellates and possibly coccoliths. Overall, biogenic, particularly calcareous, material was abundant in the superficial sediment.

## Discussion

The preliminary results obtained thus far reveal a considerable degree of variation in the composition and flux of sedimenting particulates in Alfonso Basin. The total mass flux changes by one order of magnitude between early spring and late autumn, but smaller scale changes are also apparent. The lowest fluxes observed in Alfonso Basin during the sampling period occurred during March and early April, and again from mid-June to mid-July.

The average flux was  $300 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ . Assuming no diagenetic loss and that compaction of fine sediments reduces the water content to about 50% below 40 cm depth within the sediment (Berner 1980, Silverberg *et al.* 1986), the resulting



Yajimovich (2004) muestra una concentración de 12% en la superficie de un núcleo de la cuenca. El promedio en nuestras trampas fue de 14%.

En un estudio de seis años que Thunell (1998) realizó con trampas de sedimentos en la Cuenca de Guaymas, que tiene 2000 m de profundidad y está situada al norte del Golfo de California central, también se observó abundante material biogénico en las partículas sedimentarias, pero el sílice biogénico (asociado a la mezcla por mareas y de surgencias que impulsaron la producción del fitoplancton) fue el componente dominante en lugar del carbonato de calcio. El promedio de los flujos de  $\text{CaCO}_3$  en la Cuenca Alfonso ( $0.128 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) es mucho más grande que el  $0.05 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  determinado en la Cuenca de Guaymas (Ziveri y Thunell 2000). Además, el flujo medio de masa total en la Cuenca de Guaymas fue de  $139 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ , que es considerablemente menor a los  $300 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  que registramos en Cuenca Alfonso.

Los resultados de este estudio muestran que el flujo de partículas en Cuenca Alfonso varió de manera significativa en intensidad y composición en una escala de semanas. Podemos decir que el flujo total de masa encontrado para 2002 es relativamente alto ( $>0.8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , entre cuencas áridas y subtropicales. Además, el componente de carbonato de calcio formó una proporción sustancial a lo largo del año. Estas características y la falta de dominancia de diatomeas sugieren que el flujo de partículas es controlado por factores diferentes a los observados en la Cuenca Guaymas.

### Agradecimientos

Este estudio fue realizado gracias al financiamiento de los proyectos CGPI-IPN 20010812, 20-02, 20030351 y 20040815. Fernando Aguirre B. recibió apoyo financiero de PIFI-IPN y CONACYT.

### Referencias

- Allredge AL, Silver MW. 1988. Characteristics, dynamics and significance of marine snow. *Prog. Oceanogr.* 20: 41–82.
- Baba J, Peterson CD, Schrader HJ. 1991. Modern fine-grained sediments in the Gulf of California. In: Dauphin JP, Simoneit BRT (eds.), *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*. AAPG Mem. 47: 569–587.
- Bernal-Franco GC. 2001. Registro paleoceanográfico en los sedimentos laminados de la Cuenca de La Paz, margen occidental del bajo Golfo de California. Tesis de doctorado, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México, 110 pp.
- Berner RA. 1980. *Early Diagenesis: A Theoretical Approach*. Princeton Univ. Press, 241 pp.
- Cruz-Orozco R, Rojo P, Godínez L, Nava-Sánchez E. 1989. Topografía, hidrografía y sedimentos de las márgenes de la Laguna de La Paz, BCS, México. *Rev. Inv. Cient. Univ. Autón. Baja Calif. Sur* 1: 3–15.
- Cruz-Orozco R, Martínez-Noriega C, Mendoza-Maravillas A. 1996. Batimetría y sedimentos de Bahía de La Paz, BCS, México. *Oceánides* 11: 21–27.

present-day sediment accumulation rate in Alfonso Basin is calculated as  $0.4 \text{ mm yr}^{-1}$ . This coincides with the published accumulation rates derived from excess  $^{210}\text{Pb}$  profiles in sediment cores from the basin by Nava-Sánchez (1997), Pérez-Cruz (2000) and Rodríguez-Castañeda (2001), of 0.5, 0.4 and  $0.63 \text{ mm yr}^{-1}$ , respectively.

The calcium carbonate content varies by a factor of three, between 8% and 26%. High proportions of carbonates related to low total fluxes have been correlated with oligotrophic periods in various basins of the Pacific margin (Ziveri and Thunell 2000, Silverberg *et al.* 2004), during which coccolithophorid nanoplankton proliferate at the expense of siliceous diatoms. The determination of the proportions of coccoliths, foraminifera and diatoms in the settling material of Alfonso Basin is still underway, but the moderate to high continuous contributions of carbonates, even during the evident chain-diatom bloom in June, suggests a different regime for La Paz Bay.

The stereoscope evidence indicates that organic matter should also be a significant component. If the mean total flux is  $0.83 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  and the mean flux of calcium carbonate is  $0.13 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , the difference ( $0.70 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) must correspond to terrigenous material, biogenic silica and organic matter.

Previous studies have shown maxima in chlorophyll *a* concentrations indicative of phytoplankton blooms in April and May (Reyes-Salinas 1999, Martínez-López *et al.* 2001), while Verdugo-Díaz (2004) revealed maxima in autumn and considerable variation in both chlorophyll *a* and species composition with light level. Evidently, the factors that control the timing and species composition of phytoplankton blooms in La Paz Bay merit further examination.

From the paleoceanographic record of a boxcore from Alfonso Basin, Bernal-Franco (2001) described inverse trends between the organic carbon and the calcite content over the last 1000 years. Since 1650, however, the percentages of organic carbon and calcium carbonate have both been increasing. The most recent horizon examined showed a calcite content of 20%, but González-Yajimovich (2004) showed a concentration of 12% at the surface of a core from the basin. The average in our traps was 14%.

Thunell (1998) conducted a six-year sediment trap study in the 2000-m-deep Guaymas Basin, situated to the north in the central Gulf of California, and reported an abundance of biogenic material in the settling particles, but biogenic silica (associated with phytoplankton production driven by upwelling and tidal-mixing), rather than calcium carbonate, was the dominant component. The mean flux of calcium carbonate in Alfonso Basin ( $0.13 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) is much greater than the  $0.05 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  determined for Guaymas Basin (Ziveri and Thunell 2000). Also, the mean annual total mass flux in Guaymas Basin was  $139 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ , considerably lower than the  $300 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  we recorded at Alfonso Basin.

The results of this study show that particle fluxes in Alfonso Basin varied significantly in intensity and composition on the scale of weeks; that the total mass flux during 2002

- Fellows DA, Karl DM, Knauer GA. 1981. Large particle flux and the vertical transport of living carbon in the upper 1500 m of the northeast Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.* 28: 921–936.
- Fowler SW, Knauer GA. 1986. Role of large particles in the transport of elements and organic compounds through the ocean water column. *Prog. Oceanogr.* 16: 147–194.
- Galingher AE, Kozloff EN. 1971. *Essentials of Practical Microtechniques*. 2nd ed. Lea and Febiger, US, 531 pp.
- González-Yajimovich OE. 2004. Holocene sedimentation in the southern Gulf of California and its climatic implications. Ph.D. dissertation, University of Southern California, 230 pp.
- Ljutsarev AV. 1987. Determination of organic carbon in sea bottom sediments by dry combustion. *Oceanology* 26: 533–536.
- Martínez-López A, Cervantes-Duarte R, Reyes-Salinas A, Valdez-Holguín JE. 2001. Cambio estacional de la clorofila *a* en la Bahía de La Paz, BCS, México. *Hidrobiológica* 11: 45–52.
- Monreal-Gómez MA, Molina-Cruz A, Salas-de León DA. 2001. Hydrography and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during 1998. *J. Mar. Syst.*, 30: 305–315.
- Nava-Sánchez E. 1997. Modern fan deltas of the west coast of the Gulf of California, Mexico. Ph.D. dissertation, University of Southern California.
- Nava-Sánchez EH, Gorsline DS, Molina-Cruz A. 2001. The Baja California Peninsula Borderland: Structural and sedimentological characteristics. In: Halfar J, Nava-Sanchez EH (eds.), *Sedimentation and Tectonics along a Rift Basin Margin: The Gulf of California*. *Sediment. Geol., Spec. Issue*, 144(1–2).
- Pérez-Cruz LL. 2000. Estudio paleoceanográfico y sedimentológico Holocénico de la Bahía de La Paz, Golfo de California. Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Reyes-Salinas A. 1999. Factores que controlan la productividad primaria en la Bahía de La Paz, BCS. Tesis de maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN, México, 122 pp.
- Romero N, Silverberg N, Roy S, Lovejoy C. 2000. Sediment trap observations from the Gulf of St. Lawrence. *Deep-Sea Res. II*, 47: 545–584.
- Rodríguez-Castañeda AN. 2001. Elementos mayores y traza en sedimentos y macroalgas de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN, México.
- Salinas-González F. 2000. Mezcla turbulenta y transporte de masa en la Bahía de La Paz, BCS: Experimentación y modelación numérica. Tesis de doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN, México, 260 pp.
- Silver MW, Gowing MM. 1991. The “particle” flux: Origins and biological components. *Prog. Oceanogr.* 26: 75–113.
- Silverberg N, Nguyen HV, Delibrias G, Koide M, Sundby B, Yokoyama Y, Chesselet R. 1986. Radionuclide profiles, sedimentation rates, and bioturbation in modern sediments of the Laurentian Trough, Gulf of St. Lawrence. *Oceanol. Acta* 93: 285–290.
- Silverberg N, Sundby B, Mucci A, Zhong S, Arakaki T, Hall P, Tenberg A, Hillemeier A. 2000. Carbon mineralization and burial in sediments of the eastern Canadian continental margin. *Deep-Sea Res. II*, 47: 699–732.
- averaged  $>0.8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , relatively high among arid, subtropical basins; and that the calcium carbonate component formed a substantial proportion of the total throughout the year. These characteristics and the lack of dominance of diatoms suggest that factors different from those observed in Guaymas Basin control the flux of particulate matter.

## Acknowledgements

This research was supported by CGPI-IPN grants 20010812, 20-02, 20030351 and 20040815. Financial support for Fernando Aguirre B. was provided by PIFI-IPN and CONACYT.

- Silverberg N, Martínez A, Aguñiga S, Carriquiry JD, Romero N, Choumiline E, Soledad-Cota S. 2004. Contrasts in sedimentation flux below the southern California Current between late 1996 and during the El Niño event of 1997–98. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 59: 575–587.
- Takahashi T, Fujitani N, Yanada M, Maita Y. 2000. Long-term biogenic particle fluxes in the Bering Sea and the central subarctic Pacific Ocean. *Deep-Sea Res. I*, 47: 1723–1759.
- Thunell RC. 1998. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. *Deep-Sea Res. I*, 45: 2059–2083.
- Van Andel TH. 1964. Recent marine sediments of the Gulf of California. In: Van Andel TH, Shor GG (eds.), *Marine Geology of the Gulf of California*. *J. Geol.*, 74: 216–310.
- Verdugo-Díaz G. 2004. Respuesta ecofisiológica del fitoplancton ante la variabilidad ambiental en una bahía subtropical de Baja California Sur, México. Tesis de doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN, México, 138 pp.
- Wassmann P, Martínez R, Vernet, MM. 1994. Respiration and biochemical composition of sedimenting organic matter during summer in the Barents Sea. *Cont. Shelf Res.* 14: 79–90
- Wong CS, Whitney FA, Crawford DW, Iseki K, Matear RJ, Johnson WK, Page JS, Timothy D. 1999. Seasonal and interannual variability in particle fluxes of carbon, nitrogen and silicon from time-series of sediment traps at Ocean Station P, 1982–1993: Relationship to changes in subarctic primary productivity. *Deep-Sea Res. II*, 46: 2735–2760.
- Zaitzev OV, Salinas-González F, Troyo-Diéguez S. 1998. Water dynamics and mixing studies in the coastal zone of the Gulf of California. *Proc. Canadian Hydrographic Conference*, Victoria, British Columbia, pp. 267–276.
- Ziveri P, Thunell RC. 2000. Coccolithofore export production in Guaymas Basin, Gulf of California: Response to climate forcing. *Deep-Sea Res. II*, 47: 2073–2100.

*Recibido en octubre de 2003;  
recibido en su forma actual en enero de 2005;  
aceptado en julio de 2005*