

Transport of benthic diatoms across the continental shelf off southern Baja California Peninsula

Transporte de diatomeas bentónicas sobre la plataforma continental en frente de la parte sur de la Península de Baja California

A. Martínez-López^{1*}
D.A. Siqueiros-Beltrones^{1,2}
N. Silverberg¹

¹ Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
Av. Instituto Politécnico Nacional s/n
Col. Playa Palo de Santa Rita
Apartado postal 592
La Paz, CP 23096, Baja California Sur, México
*E-mail: amartin@ipn.mx

² Departamento de Biología Marina
Universidad Autónoma de Baja California Sur
La Paz, Baja California Sur, México

Recibido en mayo de 2003; aceptado en septiembre de 2003

Abstract

Material collected with a time-series sediment trap moored in San Lázaro Basin, near the NE Pacific upwelling zone off Bahía Magdalena, Baja California Sur (Mexico), from August to November 1996 and December 1997 to June 1998, revealed temporal changes in the flux of benthic diatoms. Fluxes were highest during fall and spring. Lateral transport of benthic diatoms from the coastal zone seems to be an important phenomenon at this site. The species assemblage includes components found mainly in mangrove environments of Bahía Magdalena, as well as nearby rocky coastlines, indicating that locally the northward counter current or coastal gyres carry living cells, and possibly other particles of lagoon origin, across the continental shelf.

Key words: benthic diatoms, sediment trap, transport, Baja California Peninsula.

Resumen

Material recolectado en una trampa de sedimento de serie de tiempo anclada en la Cuenca San Lázaro, cerca de la zona de surgencias del Pacífico nororiental frente a Bahía Magdalena, Baja California Sur (México), de agosto a noviembre de 1996 y de diciembre de 1997 a 1998, reveló cambios temporales en el flujo de diatomeas bentónicas. Los mayores flujos se registraron en otoño y primavera. El transporte lateral de diatomeas bentónicas desde la zona costera parece ser un fenómeno importante en la zona. Las asociaciones de especies encontradas incluye especies que se encuentran principalmente en ambientes de manglar de Bahía Magdalena, así como en los litorales rocosos cercanos, lo que indica que la contracorriente en dirección norte o los giros costeros acarrear localmente células vivas, y posiblemente otras partículas de origen lagunar, a través de la plataforma continental.

Palabras clave: diatomeas bentónicas, trampa de sedimento, transporte, Península de Baja California.

Introduction

When identifying benthic marine diatoms one often relies on key species or floristic inventories from distant localities, some separated by unbridgeable barriers (continents). Nonetheless, many of the taxa are the same, at least under the morphological species concept (Mann and Kociolek, 1990), as is the case for the coasts of England, Indian Ocean and Baja California Peninsula (Siqueiros-Beltrones, 2002). This wide distribution of benthic diatom species could be explained on the basis of a dispersion biogeographic model considering

Introducción

La identificación de diatomeas bentónicas marinas frecuentemente se basa en especies clave o inventarios florísticos de localidades lejanas, algunas separadas por barreras infranqueables (continentes). No obstante, muchos de los grupos taxonómicos son iguales, al menos según el concepto morfológico de especie (Mann y Kociolek, 1990), como es el caso para las costas inglesas, el Océano Índico y la Península de Baja California (Siqueiros-Beltrones, 2002). Esta distribución amplia de especies de diatomeas bentónicas podría explicarse

basic oceanic circulation. The mechanisms of dispersion may not be clear because there is not enough oceanographic information available on a local or regional basis. However, particular environments and/or substrates contain characteristic diatom assemblages. The presence of certain taxa found in some highly productive areas, such as seagrass or mangrove ecosystems, may be used as an indicator of the influence that such systems exert on the offshore environment, which suggests the existence of some type of mechanism for dispersion.

Highly productive diatom mats on the continental shelf have been detected down to water depths of 40 m, caused by the successful establishment of benthic diatoms transported from inshore sediments. They settle and may grow well even under low light levels, possibly down to depths of 200 m (Cahoon *et al.*, 1990).

The marine sediment record of benthic diatoms may provide evidence of displacement of shallow-water material, or when the diatoms are autochthonous, indicate the depth of the sea floor at the time of sediment deposition. The features of marine benthic diatoms that make such applications possible are: (1) in general, benthic forms are readily distinguished from planktonic ones; and (2) benthic diatoms are generally restricted to depths of less than ~100 m.

Recognition of associations that recur in similar habitats at different geographic locations is useful for the understanding of habitat preference or selection. Trap samples of particulate matter from 300 m depth in San Lázaro Basin, about 100 km offshore, showed a much greater component of benthic than planktonic diatom species. To evaluate the origin of these species and the possibility of transport from another location to the sampling site, we have undertaken the precise taxonomic identification and description of the assemblage structure of the benthic diatoms, and determined their flux variations in the area.

Materials and methods

Samples were collected using a 12-cup Technicap PPS3/3 sediment trap, at San Lázaro Basin (25°11.8' N, 112°39.9' W), a semi-isolated depression on the edge of the continental shelf, northwest of the highly productive Magdalena Bay lagoon system (fig. 1). This system includes the northernmost presence of mangroves in the northeastern Pacific (outside the Gulf of California).

The trap was deployed from August to November 1996 and from December 1997 to June 1998 at a depth of 300 m and a distance of 150 m from the bottom. Each cup had been acid-cleaned and filled with NaCl-enhanced seawater (40 ppt) containing 4% buffered formalin to preserve the samples. The trap was programmed to collect samples on an 8-day basis in 1996, and a 15-day basis during the second deployment. Whole trap samples were split using a MacLaren-Honjo-style rotary splitter. Initially, from samples of a 1/16 split, an aliquot of fresh (untreated) material was placed in a small volume sedimentation chamber and examined to estimate the proportion of

con base en un modelo de dispersión biogeográfica considerando la circulación oceánica básica, aunque los mecanismos de dispersión podrían no ser claros, ya que no existe suficiente información oceanográfica a nivel local o regional; sin embargo, ciertos ambientes y/o sustratos contienen asociaciones de diatomeas características. La presencia de ciertos grupos taxonómicos en algunas áreas altamente productivas como son los ecosistemas de manglares y pastos marinos, puede tomarse como indicador de la influencia que ejercen tales sistemas sobre el ambiente mar adentro, lo que sugiere que existe algún tipo de mecanismo de dispersión.

Se han detectado tapetes de diatomeas altamente productivos sobre la plataforma continental hasta una profundidad de 40 m, originados por el establecimiento exitoso de diatomeas bentónicas transportadas desde sedimentos costeros. Éstas se establecen y pueden tener buen crecimiento aun con niveles de luz bajos, posiblemente hasta profundidades de 200 m (Cahoon *et al.*, 1990).

El registro de diatomeas bentónicas de sedimentos marinos puede aportar evidencia del desplazamiento de material de aguas someras o, cuando las diatomeas son autóctonas, puede indicar la profundidad del fondo del mar en el momento de la depositación del sedimento. Los rasgos de las diatomeas bentónicas marinas que permiten tales aplicaciones son: (1) en general, las formas bentónicas son fácilmente distinguibles de las planctónicas; y (2) las diatomeas bentónicas generalmente están restringidas a profundidades menores que ~100 m.

El reconocimiento de las asociaciones que vuelven a presentarse en hábitats similares en distintas localidades geográficas es de utilidad para entender la preferencia o selección de hábitat. Muestras de trampas de material particulado de una profundidad de 300 m de la Cuenca San Lázaro, a alrededor de 100 km de la costa, presentaron un componente mayor de especies bentónicas que de diatomeas planctónicas. Con el fin de evaluar el origen de estas especies y la posibilidad de que hayan sido transportadas desde una localidad diferente al sitio de muestreo, se llevó a cabo la identificación y descripción precisa de la estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas, y se determinaron las variaciones de su flujo en el área.

Materiales y métodos

La recolección de muestras se realizó mediante una trampa de sedimento Technicap PPS3/3 de 12 tazas en la Cuenca San Lázaro (25°11.8' N, 112°39.9' W), una depresión semi-aislada en el borde de la plataforma continental al noroeste del sistema lagunar altamente productivo de Bahía Magdalena (fig. 1). Este sistema incluye la presencia más septentrional de manglares en el Pacífico nororiental (afuera del Golfo de California).

La trampa se instaló de agosto a noviembre de 1996 y de diciembre de 1997 a junio de 1998, a una profundidad de 300 m y a una distancia de 150 m del fondo. Cada taza fue lavada con ácido y llenada con agua de mar adicionada de

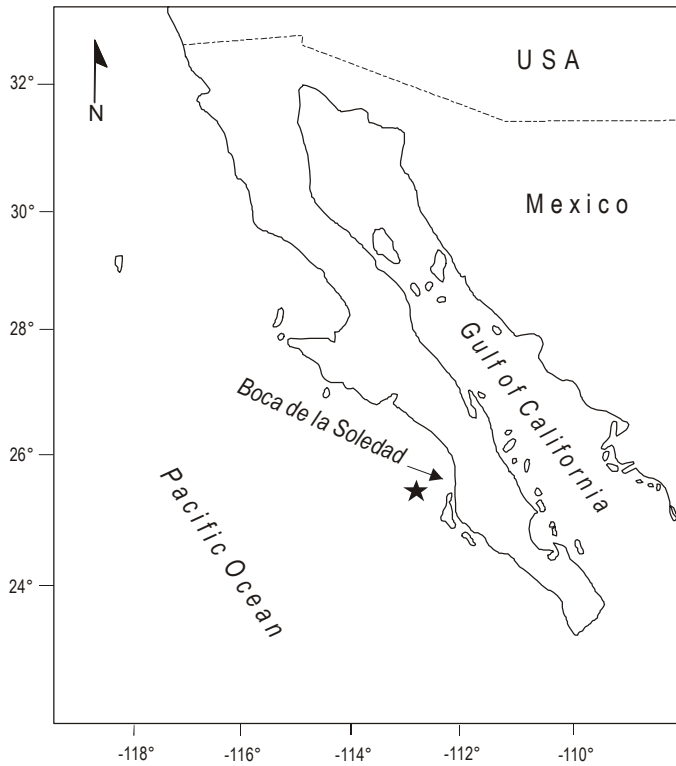


Figure 1. Location of the site of trap deployment (★) in San Lázaro Basin off the coast of Baja California Sur, Mexico.

Figura 1. Localización del sitio de muestreo (★) con la trampa de sedimento en la Cuenca San Lázaro frente a las costas de Baja California Sur, México.

“live” cells (pigmentation still evident). Subsequently, the aliquot was returned to the original split, and rinsed and centrifuged in distilled water several times in order to remove salts and preservatives. The entire split was placed in a 15-mL graduated test tube and cleaned following the methods of Hasle and Fryxell (1970). In addition, selected historical phytoplankton samples from surface net tows obtained at the northern entrance (Boca de La Soledad) of Magdalena Bay were analyzed for benthic diatom species.

For the enumeration of diatoms, the acid-cleaned samples were placed in a 10-mL sedimentation chamber. After a 24-h settling period, the entire surface of the bottom of the chamber was examined using an Olympus CH-3 inverted microscope. The resulting counts were converted to daily fluxes of each diatom species, calculated by multiplying by 16 to obtain total trap numbers and dividing by the trap collecting surface and the number of days sampled. After enumeration, the samples were deposited on cover-slips and mounted in Hyrax (R.I. = 1.65). From these slides selected diatoms were photographed at 400× and 1000× magnification.

Taxonomic determinations were done using an Olympus CH-2 phase contrast microscope with mounted camera, following the classic works of Desikachary (1986–1989), Hendey (1964), Hustedt (1955, 1959, 1961–1966), Peragallo

NaCl (40 ppm) que contenía formalina amortiguada al 4% para preservar las muestras. La trampa fue programada para recolectar muestras cada 8 días en 1996 y cada 15 días en el segundo muestreo. Las muestras extraídas de la trampa se dividieron mediante un cortador rotatorio tipo MacLaren-Honjo. Inicialmente, a partir de secciones de muestra correspondientes a 1/16, se colocó una alícuota de material fresco (no tratado) en una cámara de sedimentación de volumen pequeño y se examinó para estimar la proporción de células “vivas” (con pigmentación evidente). Posteriormente, se regresó la alícuota a la sección original, que se lavó y centrifugó varias veces en agua destilada para eliminar sales y conservadores. Se colocó toda la sección en un tubo de ensayo graduado de 15 mL previamente lavado siguiendo los métodos de Hasle y Fryxell (1970). Además, se analizaron las especies de diatomeas bentónicas de muestras históricas de fitoplancton obtenidas en arrastres superficiales en la boca norte (Boca de La Soledad) de Bahía Magdalena.

Para la enumeración de diatomeas, las muestras lavadas con ácido fueron colocadas en una cámara de sedimentación de 10 mL. Después de un periodo de asentamiento de 24 h, se examinó toda la superficie del fondo de la cámara con un microscopio invertido Olympus CH-3. Los conteos resultantes fueron convertidos a flujos diarios de cada especie de diatomea, multiplicando por 16 para obtener números totales de la trampa y dividiendo entre la superficie recolectora de la trampa y el número de días muestreados. Después de la enumeración se depositaron las muestras en cubreobjetos y se montaron en Hyrax (I.R. = 1.65). De estas preparaciones se seleccionaron algunas diatomeas que fueron fotografiadas a 400× y 1000× de magnificación.

Las determinaciones taxonómicas se realizaron utilizando un microscopio de contraste de fases Olympus CH-2 equipado con cámara, según los trabajos clásicos de Desikachary (1986–1989), Hendey (1964), Hustedt (1955, 1959, 1961–1966), Peragallo y Peragallo (1897–1908), Schmidt *et al.* (1874–1959); literatura reciente (Navarro, 1982; Foged, 1984; Round *et al.*, 1990); y estudios regionales (Siqueiros-Beltrones, 2002).

Se aplicaron varios índices para describir la estructura de las asociaciones de diatomeas de las muestras obtenidas en seis fechas representativas de los dos periodos de muestreo. Debido a la escasez de especímenes se contaron todas las valvas presentes en una o dos preparaciones, así como las formas planetónicas.

Para determinar los principales grupos taxonómicos según su abundancia y frecuencia se utilizó el Índice de Valor Biológico. La diversidad fue determinada usando índices basados en la teoría de la información (log 2): H' de Shannon, índice de equitabilidad de Pielou (J') e índice de redundancia.

Asimismo, la similitud entre muestras fue medida mediante los índices de Jaccard y Morisita. El primero se basa únicamente en la presencia/ausencia de especies, mientras que el segundo también considera la abundancia de cada taxón.

and Peragallo (1897–1908), Schmidt *et al.* (1874–1959); recent literature (Navarro, 1982; Foged, 1984; Round *et al.*, 1990); and regional studies (Siqueiros-Beltrones, 2002).

Several indices were applied to the trap samples in order to describe the structure of the diatom assemblages in samples from six dates representative of the two sampling periods. Because of the scarcity of specimens all the valves present in one or two slides were counted. Planktonic forms were also enumerated.

To determine the most important taxa based on abundance and frequency the Biological Value Index was used. Diversity was measured using indices based on information theory (log 2): Shannon's H' , Pielou's equitability index (J'), and the redundancy index (REDI).

Also, the similarity between samples was measured using the Jaccard and Morisita indices. The former is based solely on the presence/absence of species, while the latter also considers the abundance of each taxon.

Results and discussion

Fluxes

The rates of benthic diatom flux and their percentage of the total diatom flux for the two trapping periods are shown in figure 2. Diatoms showed a seasonal pattern, although the two series are not contiguous. There were maxima in the fall (late October to November 1996), of 91,000 valves $m^{-2} d^{-1}$, and winter (late December 1997 to mid-February 1998), of 88,000 valves $m^{-2} d^{-1}$. Higher fluxes were observed in January 1998, of 40,000 valves $m^{-2} d^{-1}$. A minor peak was recorded during the spring of 1998. This was associated with an increase in the percentage of benthic component after late January, amounting to more than 90% during the spring (fig. 2).

Taxonomy and possible origins

A total of 93 taxa of benthic diatoms were identified in the sediment trap material. These (and four planktonic taxa) are listed in table 1, with their corresponding authorities and type of environment in which they have been noted. Four abundant species (*Melosira nummuloides* Agardh, *Nitzschia lorenziana* Grunow, *Diploneis subcincta* (A.S.) Cleve, and *Paralia sulcata* (Ehr.) Cleve) accounted for about 74% of the total flux. The numeric fluxes of these species (fig. 3) tended individually to follow that of the total benthic diatom flux, with most displaying notable flux variations as well.

The estimated diversity values were high, similar to those of productive environments (Siqueiros-Beltrones, 1990), in spite of the scarcity of specimens in the small samples available (table 2). Although the lower values corresponded to lower species richness (S), equitability was also low in such cases. The highest H' value was observed in the September sample (4.76), along with the highest J' (0.867) and lowest redundancy (0.215), but not the highest S (45).

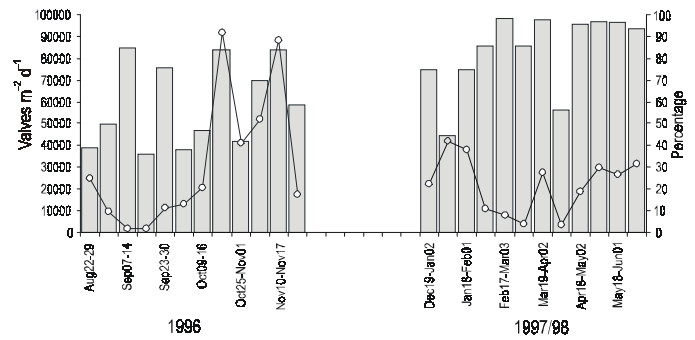


Figure 2. Benthic diatom fluxes (line) and percentages (bars) calculated from the total diatom fluxes (planktonic plus benthic) for the 1996 and 1997/98 sampling periods.

Figura 2. Flujos (línea) y porcentajes (barras) de diatomeas bentónicas calculados a partir de los flujos totales de diatomeas (planctónicas más bentónicas) para los periodos de muestreo de 1996 y 1997/98.

Resultados y discusión

Flujos

Las tasas del flujo de diatomeas bentónicas y su porcentaje del flujo total de diatomeas para los dos periodos de muestreo se muestran en la figura 2. Las diatomeas mostraron un patrón estacional, aunque las dos series no son contiguas. Se obtuvieron valores máximos en otoño (finales de octubre a noviembre de 1996), de 91,000 valvas $m^{-2} d^{-1}$, e invierno (finales de diciembre de 1997 a mediados de febrero de 1998), de 88,000 valvas $m^{-2} d^{-1}$. Se observaron flujos mayores en enero de 1998, de 40,000 valvas $m^{-2} d^{-1}$. Se registró un pico menor en la primavera de 1998, que se asoció con un incremento en el porcentaje del componente bentónico después de enero, ascendiendo a más de 90% en primavera (fig. 2).

Taxonomía y orígenes posibles

En el material obtenido con las trampas de sedimento se identificaron un total de 93 grupos taxonómicos de diatomeas bentónicas. Éstos (y cuatro taxones de plancton) se enlistan en la tabla 1, con sus autoridades correspondientes y tipo de ambiente donde se han registrado. Cuatro especies abundantes (*Melosira nummuloides* Agardh, *Nitzschia lorenziana* Grunow, *Diploneis subcincta* (A.S.) Cleve y *Paralia sulcata* (Ehr.) Cleve) contribuyeron alrededor de 74% al flujo total. Los flujos numéricos de estas especies (fig. 3), de manera individual, tendieron a seguir el flujo total de diatomeas bentónicas, la mayoría mostrando notables variaciones de flujo.

Los valores estimados de diversidad fueron altos, similares a los de ambientes productivos (Siqueiros-Beltrones, 1990), a pesar de la escasez de especímenes en las pocas muestras disponibles (tabla 2). Aunque los valores menores corresponden a menor riqueza de especies (S), la equitabilidad también fue baja en esos casos. El mayor valor de H' se observó en la muestra de septiembre (4.76), al igual que el mayor valor de J'

Table 1. Benthic diatoms collected in a sediment trap set in San Lázaro Basin at a depth of 300 m. * New records for the Baja California Peninsula; previous record from mangrove environments (M), seagrass (S) or rocky substratum (R); ♦ plankton tows in Boca de La Soledad, Magdalena Bay; planktonic forms (P). **Tabla 1.** Diatomeas bentónicas recolectadas con la trampa de sedimento instalada a una profundidad de 300 m en la Cuenca San Lázaro. * Nuevos registros para la Península de Baja California; registros previos de ambientes de manglares (M), pasto marino (S) o sustrato rocoso (R); ♦ arrastres de plancton en la Boca de La Soledad, Bahía Magdalena; formas planctónicas (P).

1. <i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i> (Kütz.) Cleve M, S	38. <i>Dimmeregrama maculatum</i> (Cleve) Frenguelli M
2. <i>Achnanthes orientalis</i> Hustedt M, S	39. <i>Diplomenora cocconeiformis</i> (Schmidt) Blazé
3. <i>Actinoptychus adriaticus</i> Grunow M	40. <i>Diploneis bombus</i> Ehrenberg M, R
4. <i>Actinoptychus aster</i> Brun M	41. <i>Diploneis dalmatica</i> (Grun) Cleve *
5. <i>Actinoptychus campanulifer</i> Schmidt R	42. <i>Diploneis finnica</i> (Ehr.) Cleve S
6. <i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehrenberg M, R, S, ♦	43. <i>Diploneis gravelleana</i> Hagelstein M
7. <i>Actinoptychus vulgaris</i> Schuman M, R	44. <i>Diploneis interrupta</i> (Kütz.) Cleve M
8. <i>Alveus marinus</i> (Grun.) Kaczmarska & Fryxell * P	45. <i>Diploneis nitescens</i> (Greg.) Cleve R
9. <i>Amphiprora cholnokyi</i> Van Landingham *	46. <i>Diploneis obliqua</i> (Brun.) Hustedt M, ♦
10. <i>Amphiprora decipiens</i> Grunow *, ♦	47. <i>Diploneis papula</i> var. <i>constricta</i> Hustedt M, R
11. <i>Amphora bigibba</i> Grunow M, R, S	48. <i>Diploneis subcincta</i> (A. S.) Cleve S
12. <i>Amphora coffeaeformis</i> var. <i>dussenii</i> (Brun.) A. Cleve S	49. <i>Diploneis vacillans</i> (A. S.) Cleve M, R, S
13. <i>Amphora coffeaeformis</i> var. <i>perpusilla</i> (Grunow) A. Cleve M, S	50. <i>Eunotogramma frauenfeldii</i> (Grun.) Cleve *
14. <i>Amphora obtusa</i> var. <i>oceanica</i> Castracane M, ♦	51. <i>Eunotogramma laeve</i> Grunow M, R, S, ♦
15. <i>Amphora laevis</i> Gregory M	52. <i>Fallacia nummularia</i> (Grevillei) Mann M
16. <i>Amphora ostrearia</i> Brébisson M, S, ♦	53. <i>Fragilaria pantoczecki</i> A. Cleve *
17. <i>Amphora ovalis</i> Kützing R, S	54. <i>Fragilariopsis doliolus</i> (Wall.) Medlin and Sims M, R, S, ♦
18. <i>Amphora proteus</i> var. <i>contigua</i> Cleve M, R, S, ♦	55. <i>Grammatophora hammulifera</i> Kützing M, R, S
19. <i>Amphora ventricosa</i> Gregory * M	56. <i>Grammatophora marina</i> var. <i>undulata</i> Ehrenberg R
20. <i>Bacillaria paxyllifer</i> (O. F. Müller) Hendeby R	57. <i>Grammatophora oceanica</i> (Ehr.) Grunow R
21. <i>Biddulphia alternans</i> (Bailey) Van Heurck R, ♦	58. <i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grunow M, S
22. <i>Caloneis</i> sp. 1	59. <i>Hyalodiscus scoticus</i> (Kütz.) Grunow M, R, S
23. <i>Catenula pelagica</i> Mereschkowsky M, S	60. <i>Licmophora remulus</i> Grunow * M
24. <i>Cocconeis dirupta</i> Gregory M, R, S	61. <i>Luticola mutica</i> (Kütz.) Mann M, S
25. <i>Cocconeis dirupta</i> var. <i>flexella</i> (Janisch & Rabenhorst) Grunow R, S	62. <i>Lyrella clavata</i> var. <i>subconstricta</i> (Hustedt) Mann * M, ♦
26. <i>Cocconeis discrepans</i> A. Schmidt R	63. <i>Lyrella impercepta</i> (Hustedt) comb. nov. M
27. <i>Cocconeis discoloides</i> Hustedt M, R, S	64. <i>Lyrella lyra</i> f. <i>subtypica</i> (A. Schmidt) comb. nov. M, ♦
28. <i>Cocconeis distans</i> (Greg.) A. Schmidt R, ♦	65. <i>Melosira moniliformis</i> (O.F. Müller) Agardh
29. <i>Cocconeis fluminensis</i> (Grun.) Peragallo R	66. <i>Melosira nummuloides</i> Agardh M, R, S
30. <i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg M, R, S	67. <i>Navicula directa</i> (Wm. Sm.) Ralfs M, S
31. <i>Cocconeis scutellum</i> var. <i>parva</i> Grunow ex Cleve M, R, S	68. <i>Navicula diversistriata</i> Hustedt M, S
32. <i>Cyclotella litoralis</i> Lange and Syvertsen M	69. <i>Navicula longa</i> Gregory S
33. <i>Cyclotella stylorum</i> Brightwell R, ♦, P	70. <i>Navicula patrickae</i> Hustedt S
34. <i>Cyclotella</i> sp. 1	71. <i>Navicula pennata</i> Schmidt M, S, ♦
35. <i>Cymatosira belgica</i> Van Heurck M, S, ♦	72. <i>Navicula</i> sp. 1
36. <i>Delphineis surirella</i> (Ehr.) Andrews M, R, S	73. <i>Nitzschia capitellata</i> Hustedt S
37. <i>Delphineis surirella</i> var. <i>australis</i> (Petit) Andrews M, R, S	74. <i>Nitzschia grossestriata</i> Hustedt M, S

(Continued)

75. <i>Nitzschia laevis</i> Hustedt M, R, S	87. <i>Psammodiscus nitidus</i> (Greg.) Round and Mann M
76. <i>Nitzschia lorenziana</i> Grunow M, S	88. <i>Pseudotriceratium punctatum</i> (Wall.) Simonsen * P
77. <i>Nitzschia</i> sp. 1	89. <i>Psammodyction constrictum</i> (Kütz.) Mann M
78. <i>Nitzschia subtilis</i> Grunow M, R, S	90. <i>Rhaphoneis ampiceros</i> (Ehr.) Ehrenberg M, S
79. <i>Odontinium marinum</i> Grunow M, S	91. <i>Rhoicosphenia marina</i> var. <i>intermedia</i> Schmidt R
80. <i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve M, R, S, ◆	92. <i>Surirella armoricana</i> Peragallo M
81. <i>Paralia sulcata</i> var. <i>crenulata</i> Grunow M, R, S, ◆	93. <i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow M, R, ◆, P
82. <i>Paralia sulcata</i> var. <i>radiata</i> (Grunow) Peragallo and Peragallo *	94. <i>Trachyneis antillarum</i> (Cl. & Grun.) Cleve *
83. <i>Plagiogramma obesum</i> Grevillei *	95. <i>Trachyneis aspera</i> (Ehr.) Cleve M, R, S, ◆
84. <i>Pleurosigma angulatum</i> (Quek.) Wm. Smith M, S, ◆	96. <i>Trachyneis velata</i> Peragallo M, ◆
85. <i>Pleurosigma diversistriata</i> Meister* ◆	97. <i>Tropidoneis lepidoptera</i> (Grun.) Cleve M, S, ◆
86. <i>Podosira stelliger</i> (Bailey) Mann R	98. <i>Tryblionella</i> cf. <i>acuminata</i> W. Smith ◆

Table 2. Values of indices used to describe the structure of the diatom assemblages collected at San Lázaro Basin: Shannon's diversity index (H'), Pielou's equitability index (J') and species number (S). N = number of valves.

Tabla 2. Valores de los índices utilizados para describir la estructura de las asociaciones de diatomeas en la Cuenca San Lázaro: índice de diversidad de Shannon (H'), índice de equitabilidad de Pielou (J') y número de especies (S). N = número de valvas.

Index	Sep/96	Oct/96	Nov/96	Dec/97	Jan/98	Apr/98
H'	4.760	3.760	4.440	3.810	4.430	4.590
H' max	5.490	4.700	5.360	5.130	5.490	5.640
J'	0.867	0.799	0.829	0.742	0.807	0.813
S	45	26	41	35	45	50
N	151	177	178	168	180	220

The comparison between samples showed a similar behavior with the Jaccard and Morisita indices, i.e., the grouping of the January and April 1998 samples with the highest value of similarity (fig. 4). Presence/absence was relatively low (Jac = 0.462), but considering the species abundances, Morisita's index reached a value of 1. The samples for October and November 1996 were very similar but clearly segregated from the other samples. This indicated that most of the similarity was caused by abundant taxa that differed in these two months in their order of numerical importance (table 3). Thus, the most abundant species in these two samples were *Achnanthes orientalis* Hustedt, *Diploneis subcineta* (A.S.) Cleve, *Cyclotella stylorum* Brightwell, *Nitzschia lorenziana* Grunow and *Amphora ovalis* Kützing, while the other assemblages were dominated mainly by *Thalassionema nitzschioides* Grunow (two forms), *Paralia sulcata* (Ehr.) Cleve, *P. sulcata* var. *crenulata* Grunow and *P. sulcata* var. *radiata* (Grunow) Peragallo & Peragallo.

Much of the taxonomic assemblage found in the traps is similar to that found in mangrove environments located in La Paz Bay (Siqueiros-Beltrones and Morzaria-Luna, 1999; Siqueiros-Beltrones and Sánchez-Castrejón, 1999), or in other mangrove habitats (Navarro, 1982; Foged, 1984). Likewise,

(0.867) y la menor redundancia (0.215), pero no la mayor S (45).

La comparación entre muestras mostró un comportamiento similar con los índices de Jaccard y Morisita, i.e., el agrupamiento de las muestras de enero y abril de 1998 con el mayor valor de similitud (fig. 4). La presencia/ausencia fue relativamente baja (Jac = 0.462), pero considerando las abundancias de especies, el índice de Morisita alcanzó un valor de 1. Las muestras de octubre y noviembre de 1996 fueron muy similares pero claramente segregadas de las otras muestras. Esto indicó que la mayoría de la similitud fue causada por abundantes grupos taxonómicos que en esos dos meses difirieron en su orden de importancia numérica (tabla 3). Por tanto, las especies más abundantes en estas dos muestras fueron *Achnanthes orientalis* Hustedt, *Diploneis subcineta* (A.S.) Cleve, *Cyclotella stylorum* Brightwell, *Nitzschia lorenziana* Grunow y *Amphora ovalis* Kützing, mientras que las otras asociaciones fueron dominadas principalmente por *Thalassionema nitzschioides* Grunow (dos formas), *Paralia sulcata* (Ehr.) Cleve, *P. sulcata* var. *crenulata* Grunow y *P. sulcata* var. *radiata* (Grunow) Peragallo y Peragallo.

Mucha de la asociación taxonómica encontrada en las muestras es similar a la encontrada en ambientes de manglares

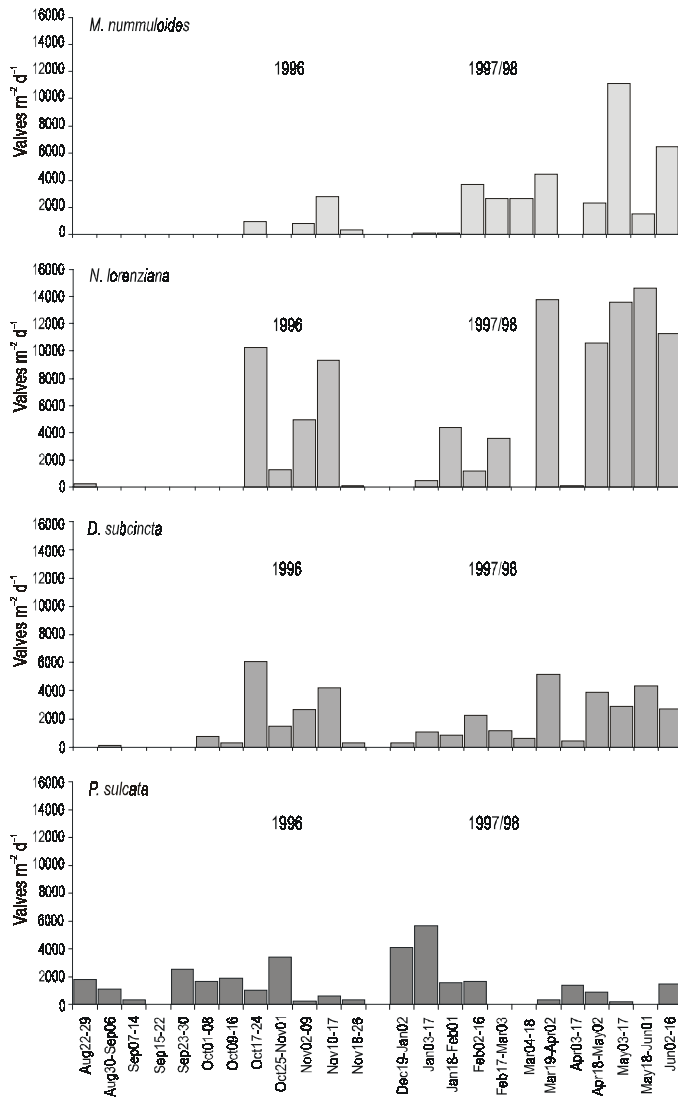


Figure 3. Fluxes (valves $m^{-2} d^{-1}$) of the most abundant benthic diatoms.
Figura 3. Flujos (valvas $m^{-2} d^{-1}$) de las diatomeas bentónicas más abundantes.

the H' values are as high as those estimated for benthic diatom assemblages in mangrove systems in the southern peninsula (Siqueiros-Beltrones and Sánchez-Castrejón, 1999; López-Fuerte, 2002).

The *Cocconeis* species in table 1, which are epilithic or epiphytic forms, are common in the rocky environment outside the Magdalena-Almejas lagoon system (Siqueiros-Beltrones, 2000). They are mostly pioneer species that adhere strongly to rocks or to macroalgae including corallines. Strong growth and little grazing may combine to allow waves and currents to dislodge some of the diatoms and parts of their substratum. A clump of *Odontinium marinum* Grunow was noted, partially preserved through the mounting process. In the laboratory, the formation and detachment of small clumps of other species has been observed in three-week old microalgal films growing on artificial substratum (Siqueiros-Beltrones, 1999).

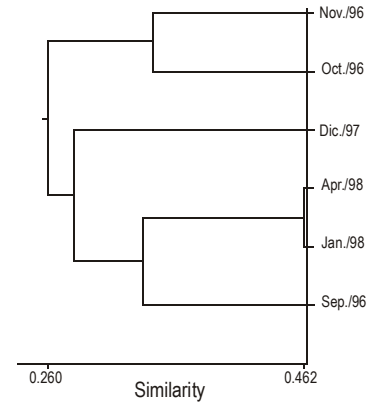


Figure 4. Similarity between samples using Jaccard's index.
Figura 4. Similitud entre muestras utilizando el índice de Jaccard.

Table 3. Biological Value Index (BVI) estimated for the 20 benthic diatom species (and two planktonic forms as reference) in the assemblages found in the sediment trap at San Lázaro Basin, Baja California Sur.

Tabla 3. Índice de Valor Biológico (BVI) estimado para las 20 especies de diatomeas bentónicas (y dos formas planctónicas como referencia) en las asociaciones encontradas en la trampa de sedimento de la Cuenca San Lázaro, Baja California Sur.

Species	BVI
1. <i>Paralia sulcata</i> var. <i>crenulata</i>	13.20
2. <i>Thalassionema nitzschioides</i> (small form)	10.38
3. <i>Diploneis subcineta</i>	10.38
4. <i>Thalassionema nitzschioides</i> (large)	8.69
5. <i>Paralia sulcata</i>	7.71
6. <i>Cyclotella stylorum</i>	6.49
7. <i>Achnanthes orientalis</i>	6.39
8. <i>Nitzschia lorenziana</i>	6.20
9. <i>Cyclotella</i> sp. 1	6.02
10. <i>Amphora ovalis</i>	3.55
11. <i>Actinoptychus campanulifer</i>	3.35
12. <i>Delphineis surirella</i>	3.10
13. <i>Actinoptychus aster</i>	3.00
14. <i>Cyclotella litoralis</i>	2.84
15. <i>Pleurosigma diversistriata</i>	2.78
16. <i>Diploneis dalmatica</i>	2.73
17. <i>Rhaphoneis amphiceros</i>	2.65
18. <i>Eunotogramma laeve</i>	2.63
19. <i>Surirella armoricana</i>	2.40
20. <i>Diploneis interrupta</i>	2.27
21. <i>Plagiogramma obesus</i>	2.03
22. <i>Trachyneis antillarum</i>	1.99

Some of the more abundant taxa, such as *Diploneis subcincta* and *D. dalmatica* (plate 1), had not been collected previously in southern Baja California. Other species, such as *Nitzschia capitellata* Hustedt and *Amphora coffeaeformis* var. *dussenii* (Brun.) A. Cleve, had not been previously recorded in the south either. *Diploneis subcincta* was recorded from the Ensenada area and San Quintín Bay, in the northern part of Baja California, while *D. dalmatica* and *Pleurosigma diversistriata* Meister, along with 13 other taxa, constitute new records for the entire west coast of the peninsula (table 1). This indicates that much floristic work remains to be done for the northwestern region of Mexico.

Only 18.6% of the taxa collected in our trap (table 1) are known exclusively from mangrove environments, but 40% have been recorded from nearby mangrove and/or rocky habitats, though not in the northern (state of Baja California) part of the peninsula (Siqueiros-Beltrones, 2000, 2002; Siqueiros-Beltrones and Morzaria-Luna, 1999). About 47% of the taxa have been collected in both extremes of the peninsula, and $\approx 20\%$ of the taxa are unidentified species or of uncertain habitat (new records). Although we did not propose a name for those taxa, our experience indicates that they have not been observed previously in the region (Siqueiros-Beltrones, 2002). Thus, the transitional nature of this region is well represented by the benthic diatom assemblage, containing species of temperate latitudes, and species of tropical (mangrove) affinity (plate 2).

Analysis of historical samples collected in the shallow northern opening (Boca de La Soledad) of Magdalena Bay, which is closer to San Lázaro Basin, yielded 62 taxa of benthic diatoms. Twenty-one of these taxa occurred in the samples from the traps (table 1), including the second observation of *Pleurosigma diversistriata*, plus *Biddulphia alternans* (Bailey) Van Heurck, *Cyclotella stylorum* Brightwell, *Cymatosira belgica* Van Heurck, *Eunotogramma leave* Grunow, *Lyrella lyra* f. *subtypica* (A. Schmidt) comb. nov., *Paralia sulcata*, *P. sulcata* var. *radiata*, *Trachyneis aspera* (Ehr.) Cleve and *T. velata* Peragallo. These were recorded mainly during spring (April–June) when the maximum phytoplankton production occurs inside Magdalena Bay (Gárate-Lizárraga and Siqueiros-Beltrones, 1998). All of these species (except *P. diversistriata*) are commonly found on mangrove prop roots in the bay (López-Fuerte, 2002).

Observation of the fresh material from the trap samples showed that, although loose valves and fragments were also present, most of the benthic diatoms collected were alive. The additional buoyancy provided by their organic contents would have made their transport more feasible. It is still uncertain if all of the (living) benthic diatom cells are local, which would imply that this area of the coast is an important transition region, or if some are from distant localities, which would imply a great resistance over meso-scale distances. The occurrence of more temperate species this far south suggests that the California Current can apparently transport these cells to lower latitudes. On the other hand, the similarities in species

de Bahía de La Paz (Siqueiros-Beltrones y Morzaria-Luna, 1999; Siqueiros-Beltrones y Sánchez-Castrejón, 1999), o en otros hábitats de manglares (Navarro, 1982; Foged, 1984). Asimismo, los valores de H' son igual de altos que los estimados para asociaciones de diatomeas bentónicas en sistemas de manglares del sur de la península (Siqueiros-Beltrones y Sánchez-Castrejón, 1999; López-Fuerte, 2002).

Las especies de *Cocconeis* en la tabla 1, las cuales son formas epilíticas o epifíticas, son comunes en el ambiente rocoso afuera del sistema lagunar Magdalena-Almejas (Siqueiros-Beltrones, 2000). Éstas son principalmente especies pioneras que se adhieren fuertemente a rocas o macroalgas, incluyendo las coralinas. Un fuerte crecimiento y poco pastoreo permiten que las olas y corrientes desalojen algunas de las diatomeas y partes de sus sustratos. Se observó un agregado de *Odontinium marinum* Grunow, parcialmente preservado durante el proceso de montaje. En el laboratorio, se ha observado la formación y separación de pequeños agregados de otras especies en películas de microalgas de tres semanas de edad creciendo sobre sustrato artificial (Siqueiros-Beltrones, 1999).

Algunas de las especies más abundantes, como *Diploneis subcincta* y *D. dalmatica* (placa 1), no habían sido recolectadas anteriormente en la parte sur de Baja California. Otras especies, como *Nitzschia capitellata* Hustedt y *Amphora coffeaeformis* var. *dussenii* (Brun.) A. Cleve, tampoco habían sido registradas en el sur. *Diploneis subcincta* fue registrada desde el área de Ensenada y la Bahía de San Quintín, en la parte norte de la Península de Baja California, mientras que *D. dalmatica* y *Pleurosigma diversistriata* Meister, junto con otros 13 taxones, constituyen nuevos registros para toda la costa occidental de la península (tabla 1). Esto indica que aún requiere realizarse mucho trabajo florístico para la región noroccidental de México.

Sólo 18.6% de los taxones recolectados (tabla 1) se conocen exclusivamente de ambientes de manglares, pero 40% han sido registrados en manglares y/o hábitats rocosos cercanos pero no en la parte norte (estado de Baja California) de la península (Siqueiros-Beltrones, 2000, 2002; Siqueiros-Beltrones y Morzaria-Luna, 1999). Alrededor de 47% de los taxones han sido encontrados en ambos extremos de la península y $\approx 20\%$ corresponden a especies no identificadas o de hábitat incierto (nuevos registros). Aunque no propusimos nombres para estos taxones, nuestra experiencia nos dice que éstos no han sido observados anteriormente en la región (Siqueiros-Beltrones, 2002). Por tanto, el carácter transicional de esta región está bien representada por la asociación de diatomeas bentónicas, con especies de latitudes templadas y especies de afinidad tropical (manglares) (placa 2).

El análisis de muestras históricas recolectadas en la boca somera norte (Boca de La Soledad) de Bahía Magdalena, más cercana a la Cuenca San Lázaro, arrojó 62 taxones de diatomeas bentónicas. De éstos, 21 se presentaron en las muestras (tabla 1), incluyendo la segunda observación de *Pleurosigma diversistriata*, así como *Biddulphia alternans* (Bailey) Van Heurck, *Cyclotella stylorum* Brightwell, *Cymatosira belgica*

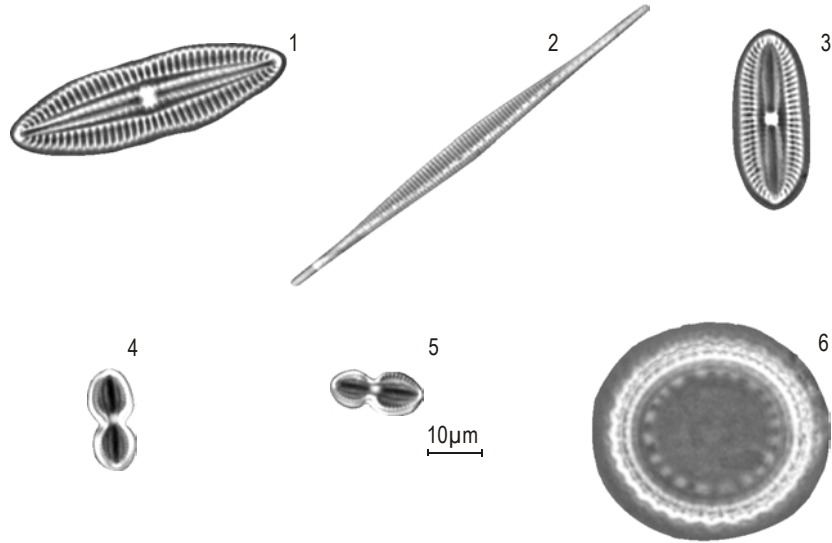


Plate 1. Dominant taxa among the benthic diatoms (LM view, 1000×) collected by the sediment trap in San Lázaro Basin.
Placa 1. Taxa dominantes de las diatomeas bentónicas (vista LM, 1000×) recolectadas por la trampa de sedimento en la Cuenca San Lázaro.
 (1) *Diploneis dalmatica*, (2) *Nitzschia lorenziana*, (3) *Diploneis subcincta*, (4–5) *Diploneis graveleana*, (6) *Paralia sulcata*.

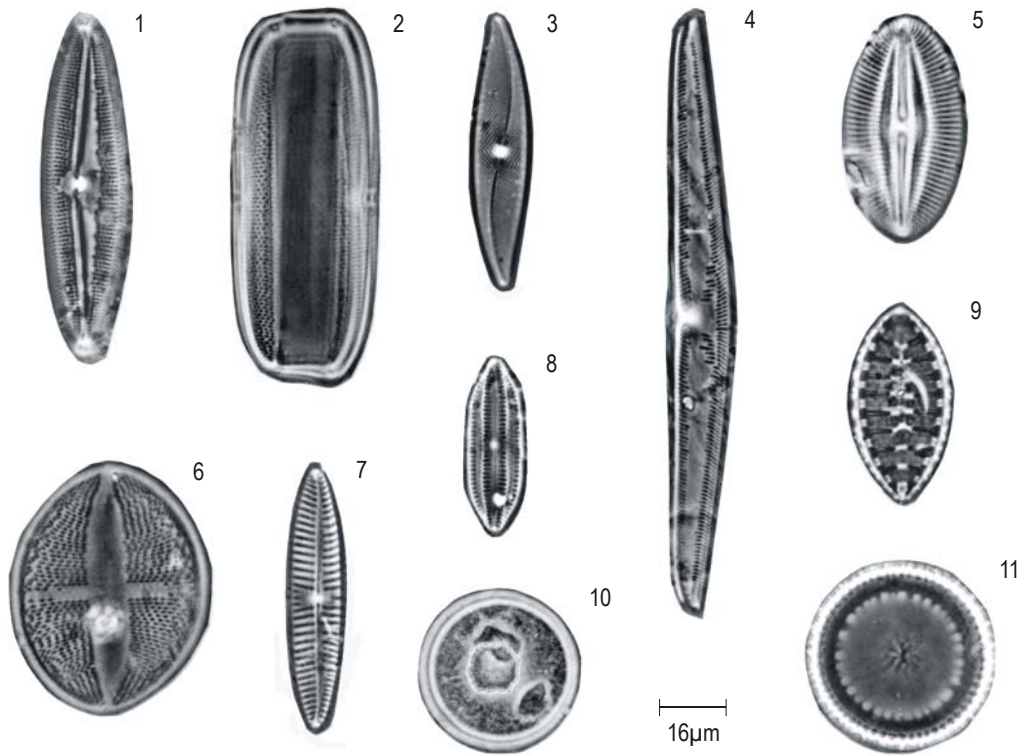


Plate 2. Common benthic diatom assemblage (LM view, 400×) found in the sediment trap at San Lázaro Basin.
Placa 2. Asociación común de diatomeas bentónicas (vista LM, 400×) encontrada en la trampa de sedimento en la Cuenca San Lázaro.
 (1–2) *Trachyneis antillarum*, (3) *Pleurosigma diversistriata*, (4) *Amphora ventricosa*, (5) *Diploneis nitescens*, (6) *Cocconeis dirupta* var. *flexella*, (7) *Navicula pennata*, (8) *Cymatoneis* sp., (9) *Surirella armoricana*, (10) *Podosira stelliger*, (11) *Paralia sulcata*.

composition clearly indicate a strong influence from the Magdalena-Almejas lagoon system. The occurrence of benthic diatoms in the samples from tows in the northern opening of Magdalena Bay supports our assumption that biogenic material is exported from this system.

The precise method of dispersal of the benthic diatoms so that they end up being intercepted by our sediment trap at 300 m depth is not known. Some of the valves are likely carried away from the coast and interior shallow portions of Magdalena Bay by tidal currents (Gárate-Lizárraga and Siqueiros-Beltrones, 1998), and exported to the shelf. Here they may undergo prolonged random dispersion by storm waves and shelf currents (Stanley and Swift, 1974) and simply sink permanently in the calm waters of San Lázaro Basin. Others may derive from the sandy shelf platform east of the basin. The trap was situated in a deep, broad valley tributary to the main basin, and may thus have been exposed to mass movements (such as sand cascades or less likely, turbidity currents) from the walls of the basin. It is difficult to imagine such seafloor-hugging events being responsible for carrying the fine-grained, biogenic-rich material collected to the center of the valley 150 m above the bottom.

The phenomenon discussed here is relevant to this subtropical region because the export of benthic diatoms as well as dissolved and particulate carbon and nutrients contribute to biological production in this area. This could be very important during anomalous periods of oligotrophic condition related to events like El Niño 1997–98, since it attenuates its impact.

Acknowledgements

Financial support was provided by the *Dirección de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Politécnico Nacional*, for the research projects “Variabilidad estacional a decenal de indicadores de la productividad en el Pacífico nororiental: Un estudio combinado de la columna de agua y los sedimentos laminados” (DEPI 966592) and “Variación estacional del régimen biooceanográfico en la Cuenca San Lázaro” (DEPI 968104), and by the Mexican Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología for the same project (CONACYT 3920P-T9608). Salaries for the authors are supported in part by Estímulos al Desempeño en Investigación (EDI fellowships) and COFFAA from the Instituto Politécnico Nacional.

References

- Cahoon, L.B., Redman, R.S. and Tronzo, C.R. (1990). Benthic microalgal biomass in sediments of Onslow Bay, North Carolina. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 31: 805–816.
- Desikachary, T.V. (1986). *Atlas of Diatoms. Fasc. I, 8 p., Plates 1–77.* Madras Science Foundation, India.
- Desikachary, T.V. (1987). *Atlas of Diatoms. Fasc. II, 10 p., Plates 78–221.* Madras Science Foundation, India.
- Desikachary, T.V. (1987). *Atlas of Diatoms. Fasc. III, 10 p., Plates 222–400.* Madras Science Foundation, India.
- Desikachary, T.V. (1988). *Atlas of Diatoms. Fasc. IV, 13 p., Plates 401–621.* Madras Science Foundation, India.

Van Heurck, *Eunotogramma leave* Grunow, *Lyrella lyra* f. *subtypica* (A. Schmidt) comb. nov., *Paralia sulcata*, *P. sulcata* var. *radiata*, *Trachyneis aspera* (Ehr.) Cleve y *T. velata* Peragallo. Estas especies fueron registradas principalmente en primavera (abril a junio) cuando ocurre la máxima producción de fitoplancton dentro de la Bahía Magdalena (Gárate-Lizárraga y Siqueiros-Beltrones, 1998). Todas estas especies (excepto *P. diversistriata*) comúnmente se encuentran sobre las raíces zancudas de mangles en la bahía (López-Fuerte, 2002).

La observación del material fresco de las muestras obtenidas mostró que, aunque también se encontraban valvas y fragmentos sueltos, la mayoría de las diatomeas bentónicas recolectadas estaban vivas. La flotabilidad adicional proporcionada por sus contenidos orgánicos habría hecho más factible su transporte. Aún no se ha determinado si todas las células (vivas) de diatomeas bentónicas son locales, lo cual indicaría que esta área de la costa es una importante región de transición, o si algunas son de localidades distantes, lo cual indicaría una gran resistencia en distancias a nivel de mesoescala. La ocurrencia de especies más templadas tan al sur sugiere que la Corriente de California aparentemente puede transportar estas células a latitudes menores. Por otro lado, las similitudes en la composición de especies claramente indican una fuerte influencia del sistema lagunar Magdalena-Almejas. La presencia de diatomeas bentónicas en las muestras de los arrastres en la boca norte de Bahía Magdalena apoya nuestra hipótesis relacionada con la exportación de material biogénico desde este sistema.

Se desconoce el método preciso de dispersión de las diatomeas bentónicas para que éstas hayan sido atrapadas por nuestra trampa de sedimento a una profundidad de 300 m. Algunas de las valvas probablemente son transportadas desde la costa y las partes internas someras de Bahía Magdalena por las corrientes de marea (Gárate-Lizárraga y Siqueiros-Beltrones, 1998) y exportadas a la plataforma. Aquí son sometidas a una dispersión aleatoria por el oleaje de tormenta y las corrientes sobre la plataforma (Stanley y Swift, 1974), y simplemente se hunden permanentemente en las aguas tranquilas de la Cuenca San Lázaro. Otras pueden provenir de la plataforma continental arenosa al este de la cuenca. La trampa se situó en un valle profundo y ancho, tributario de la cuenca principal y, consecuentemente, podría haber estado expuesta a movimientos masivos (tales como cascadas de arena o, menos probable, turbidez de las corrientes) de las paredes de la cuenca. Es difícil imaginar que tales eventos en el fondo del mar sean responsables de transportar el material de grano fino y biogénicamente rico recolectado en el centro del valle a 150 m del fondo.

El fenómeno que aquí se discute es relevante a esta región subtropical ya que la exportación de diatomeas bentónicas, así como de carbono y nutrientes disueltos y particulados, contribuye a la producción biológica del área. Esto podría ser muy importante durante periodos anómalos de condición oligotrófica relacionados con eventos como El Niño 1997–98, ya que disminuye su impacto.

- Desikachary, T.V. (1989). Atlas of Diatoms. Fasc. V, 13 p., Plates 622–809. Madras Science Foundation, India.
- Foged, N. (1984). Freshwater and littoral diatoms from Cuba. Bibliotheca Diatomologica, Kramer. Germany, 123 pp., 60 plates.
- Gárate-Lizárraga, I. and Siqueiros-Beltrones, D.A. (1998). Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982–1983 El Niño event (1984 to 1986). *Pac. Sci.*, 52, 79–97.
- Hasle, G.R. and Fryxell, G.A. (1970). Diatoms: Cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Trans. Am. Microscop. Soc.*, 89 (4): 469–474.
- Hendey, N.I. (1964). An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. Part V: Bacillariophyceae (Diatoms). *Fish. Invest. Ser. IV*, HMSO, London, 317 pp.
- Hustedt, F. (1955). Marine littoral diatoms of Beaufort, North Carolina. *Duke Univ. Mar. Stat. Bull.*, 6: 1–67.
- Hustedt, F. (1959). Die Kieselalgen Deutschland, Osterreich und der Schweiz. In: L. Rabenhorst (ed.), *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Osterreich und Schweiz*, VII Band, II Teil. Koeltz Scientific Books (Rep. 1991), Germany, 845 pp.
- Hustedt, F. (1961–1966). Die Kieselalgen Deutschland, Osterreich und der Schweiz. In: L. Rabenhorst (ed.), *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Osterreich und Schweiz*, VII Band, III Teil. Koeltz Scientific Books (Rep. 1991), Germany, 816 pp.
- López-Fuerte, F.O. (2002). Estructura de las asociaciones de diatomeas epífitas en raíces de *Rhizophora mangle* L. en Bahía Magdalena, BCS, México. B.Sc. thesis, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Mexico, 56 pp.
- Mann, D.G. and Kociolek, J.P. (1990). The species concept in diatoms: Report on a workshop. In: H. Simola (ed.), *Proc. 10th International Diatom Symposium*, Koenigstein, Koeltz.
- Navarro, N. (1982). Marine diatoms associated with mangrove prop roots in the Indian River, Florida, USA. *Bibliotheca Phycologica*, 61: 1–151, 37 plates.
- Peragallo, H. and Peragallo, M. (1897–1908). *Diatomees marines de France et districts maritimes voisins*. Ed. M.J. Tempere, Grez-sur-Loing, France, 492 pp.
- Round, F.E., Crawford, R.M. and Mann, D.G. (1990). *The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge Univ. Press, 747 pp.
- Schmidt, A., Schmidt, M., Fricke, F., Heiden, H., Müller, O. and Hustedt, F. (1874–1959). *Atlas der Diatomaceenkunde*. Reiland, Leipzig.

Agradecimientos

Se recibió apoyo financiero de la Dirección de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Politécnico Nacional, para los proyectos de investigación “Variabilidad estacional a decenal de indicadores de la productividad en el Pacífico nor-oriental: Un estudio combinado de la columna de agua y los sedimentos laminados” (DEPI 966592) y “Variación estacional del régimen biooceanográfico en la Cuenca San Lázaro” (DEPI 968104), así como del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para el mismo proyecto (CONACYT 3920P-T9608). Los salarios de los autores fueron subsidiados parcialmente por los Estímulos al Desempeño en Investigación y COFFAA del Instituto Politécnico Nacional.

Traducido al español por Christine Harris.

- Siqueiros-Beltrones, D.A. (1990). A view of the indices used to assess species diversity in benthic diatoms associations. *Cienc. Mar.*, 16(1): 91–99.
- Siqueiros-Beltrones, D.A. (1999). Estructura y sucesión en asociaciones de diatomeas bentónicas utilizadas como pastura de abulones *Haliotis* spp. en cultivo. Ph.D thesis, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Mexico, 93 pp.
- Siqueiros-Beltrones, D.A. (2000). Benthic diatoms associated to abalone (*Haliotis*), Magdalena, Baja California Sur, Mexico. *Oceánides*, 15(1): 35–46.
- Siqueiros-Beltrones, D.A. (2002). Diatomeas bentónicas de la península de Baja California; diversidad y potencial ecológico. *Oceánides-CICIMAR/IPN-UABCS*, 102 pp.
- Siqueiros-Beltrones, D.A. and Morzaria-Luna, H.N. (1999). New records of marine benthic diatom species for the northwestern Mexican region. *Oceánides*, 14(2): 89–96.
- Siqueiros-Beltrones, D.A. and Sánchez-Castrejón, E. (1999). Structure of benthic diatom assemblages from a mangrove environment in a Mexican subtropical lagoon. *Biotropica*, 31(1): 48–70.
- Stanley, D.J. and Swift, D.J.P. (1974). *Marine Sediment Transport and Environmental Management*. John Wiley, New York, 638 pp.