

**PROCESOS TAFONÓMICOS EN TANATOCENOSIS RECIENTES DE
PLAYA EL PELÍCANO, BAJA CALIFORNIA**

**TAPHONOMIC PROCESSES IN RECENT THANATOCENOSES AT
PLAYA EL PELÍCANO, BAJA CALIFORNIA**

Guillermo E. Avila-Serrano*
Miguel A. Téllez-Duarte

Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado postal 453
Ensenada, CP 22800, Baja California, México
* E-mail: gavila@faro.ens.uabc.mx

Recibido en enero de 2000; aceptado en septiembre de 2000

RESUMEN

En la costa noreste de Baja California (México) existen extensos depósitos superficiales de conchas de moluscos en playas arenosas expuestas, semiprotectidas o protegidas por barras arenosas. Estas playas son controladas en su morfología por oleaje, mareas, corrientes y el transporte de sedimentos, los cuales influyen en la concentración de las conchas de moluscos en la zona intermareal. Con el fin de evaluar los procesos tafonómicos implicados en la formación de estos depósitos de conchas en una playa expuesta, se estudiaron los cambios temporales en tanatocenosis de bivalvos a lo largo de 200 m de playa en el nivel de marea más alto en los meses de marzo, mayo y noviembre de 1993, así como de marzo y noviembre de 1994. Se identificaron las especies presentes y se midieron sus tamaños, orientación azimutal del eje anteroposterior y de la concavidad. Se encontró, en general, que la especie dominante fue *Glycymeris gigantea* dentro de un total de 15 especies comunes. Las conchas mostraron una orientación azimutal variable, pero en general con tendencia paralela a la línea de costa, predominancia de la concavidad hacia abajo y una distribución de tamaños polimodal con modas en los tamaños de 1 y 3 cm, en un intervalo de talla de 0.3 a 8.5 cm. Las características tafonómicas de los depósitos de conchas en playas expuestas se pueden utilizar como diagnósticas en interpretaciones paleoceanográficas costeras.

Palabras clave: procesos tafonómicos, tanatocenosis, moluscos bivalvos.

ABSTRACT

The northeastern coast of Baja California (Mexico) has extensive surface mollusk-shell deposits in exposed, semiprotected or protected sandy beaches. Waves, tides, currents and sediment transport influence the shell concentrations in the intertidal zone and control the morphology of these beaches. In order to evaluate the taphonomic processes involved in the formation of shell deposits in an exposed beach, we studied temporal changes in thanatocenoses of bivalves along 200 m of beach at spring tides in March, May and November 1993, and March and November 1994. Species were identified and their size, orientation (concave-up vs concave-down) and azimuth orientation of the anterior-posterior axis were

measured. The assemblage was dominated by *Glycymeris gigantea* and included 15 common species. The shells showed a variable azimuth orientation, but with a trend parallel to the coastline, predominance of downward concavity and a polymodal size distribution with modes in 1 and 3 cm, in a size range of 0.3 to 8.5 cm. The taphonomic characteristics of these shell deposits may be useful in coastal paleoceanographic reconstructions.

Key words: taphonomic processes, thanatocenoses, bivalve mollusks.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas fundamentales que enfrenta la paleoceanografía costera es determinar el modo de formación o depositación de los conjuntos fósiles, ya que éstos únicamente representan un panorama parcial de la comunidad original que le dio origen (Dodd y Stanton, 1981) y, por ello, su interpretación puede ser difícil. Durante la formación de las tanatocenosis o conjuntos de muerte, las partes duras de los organismos están sujetas a los procesos de clasificación, mezcla con otros organismos de hábitats cercanos o unidades estratigráficas más antiguas y destrucción selectiva por agentes físicos, químicos o biológicos (Kidwell, 1991). Por lo tanto, la diversidad de especies en una asociación fósil es mucho menor que en la asociación viva, ya que con frecuencia los organismos pequeños son eliminados durante el transporte por ser más frágiles y susceptibles a la destrucción mecánica o a la disolución diagenética. Por otro lado, las asociaciones fósiles muestran variaciones laterales y verticales en sus estados de conservación producto de procesos tafonómicos diferentes, como el transporte hidrodinámico, la actividad de organismos bioerosionadores y la disolución de los restos esqueléticos. Por ello, las interpretaciones paleoecológicas requieren un entendimiento adecuado y evaluación de esta alteración.

Entre los factores más importantes que regulan la abundancia y composición de los depósitos fosilíferos están: (a) la fuente y razón de suministro, (b) susceptibilidad a la modificación y destrucción, (c) condiciones

INTRODUCTION

One of the fundamental problems that coastal paleoceanography faces is the determination of the mode of formation or deposition of the fossil assemblages, since these deposits represent only a partial view of the original community (Dodd and Stanton, 1981) and, thus, environmental interpretation may be difficult. During the formation of the thanatocenoses or death assemblages, the hard parts of the organisms are subject to sorting, mixing with other remains from nearby habitats or older stratigraphic units, and selective destruction by physical, chemical and biological agents (Kidwell, 1991). Therefore, the diversity of species in a fossil assemblage is often much less than in the living association, because small organisms are frequently eliminated during transport as they are more fragile and susceptible to mechanical destruction or diagenetic dissolution. In addition, fossil associations show lateral and vertical variations in their state of preservation as a result of different taphonomic processes, such as hydrodynamic transport, activity of bioeroding organisms or dissolution. Hence, paleoecological interpretations require a proper understanding and evaluation of this alteration.

Some of the most important factors that regulate the abundance and composition of fossiliferous deposits are: (a) source and supply rate, (b) susceptibility to modification and destruction, (c) taphonomic conditions in the environment, and (d) time scale of accumulation (Behrensmeier and Kidwell, 1985). The

tafonómicas expuestas en el ambiente y (d) escala de tiempo de acumulación (Behrensmeyer y Kidwell, 1985). La importancia relativa de estos factores influye en la correcta interpretación de la ecología de las especies, particularmente el transporte de los restos de organismos (Lawrence, 1968).

Los estudios experimentales del transporte de valvas de moluscos han sido extensamente estudiados para explicar los patrones de transporte, orientación, grado de abrasión, razón de valvas izquierdas/derechas y la orientación de la concavidad hacia abajo o arriba (Martin-Kaye, 1951; Menard y Boucot, 1951; Lever, 1958; Kelling y Williams, 1967; Beherenes y Watson, 1969; Dent y Uhens, 1993). Estos patrones han probado ser importantes para determinar el origen y modo de formación de los conjuntos fósiles (Kidwell, 1986, 1991; Fürsich y Flessa, 1987; Bailey y Erickson, 1990; Meldahl y Flessa, 1990; Lutaenko, 1994).

La costa noreste de Baja California se conforma por playas expuestas, semiprotegidas o protegidas por barras arenosas, en las que abundan depósitos de conchas. Las características de estas playas son controladas por procesos físicos y geológicos, tales como el oleaje, mareas, corrientes y el transporte de sedimento tanto eólico como litoral, los cuales afectan la forma de la línea de costa y la concentración de conchas. Estos escenarios son apropiados para estudios experimentales tafonómicos actualísticos debido a los escasos desarrollos turísticos y actividades pesqueras. Entre éstos, el conocer la variabilidad espacial y temporal en el transporte de conchas puede ayudarnos a explicar el origen de los depósitos más antiguos que existen en las inmediaciones (Martín-Barajas *et al.*, 1993) y su significado paleoceanográfico costero.

En general, las playas en el noreste de la península presentan la mayor acumulación de conchas en el nivel superior y medio de la cara

relative importance of these factors influence the correct interpretation of species' ecology, particularly transport of organism remains (Lawrence, 1968).

Experimental studies on transport of mollusk valves have been extensively used to explain the transport patterns, orientation, degree of abrasion, proportion of left and right valves and downward or upward concavity orientation (Martin-Kaye, 1951; Menard and Boucot, 1951; Lever, 1958; Kelling and Williams, 1967; Beherenes and Watson, 1969; Dent and Uhens, 1993). These features have proven to be useful for determining the origin and mode of formation of fossil assemblages (Kidwell, 1986, 1991; Fürsich and Flessa, 1987; Bailey and Erickson, 1990; Meldahl and Flessa, 1990; Lutaenko, 1994).

The northeastern coast of Baja California consists of exposed, semiprotected or protected beaches, where shell deposits are abundant. The characteristics of these beaches are controlled by physical and geological processes, such as waves, tides and currents, and by sediment transport as a result of littoral and aeolian processes, which affect the form of the coastline and the shell concentrations. These settings are appropriate for experimental, actualistic taphonomic studies because of limited tourist developments and fishery activity. Studies of the spatial and temporal variability in shell transport in these deposits can help to explain the origin of nearby older deposits and their coastal paleoceanographic significance (Martín-Barajas *et al.*, 1995).

In general, the beaches in the northeast of the peninsula show the greatest accumulation of shells in the high and middle beach face level, where they form linear concentrations caused by tides and waves. In the lower beach, shells appear to be buried by sediment transport and reworking on the change of slope at the base of the beach face. The objectives of this work are to: (1) determine the taphonomic

de la playa, formando cordones originados por el efecto conjunto de las mareas y el oleaje. En tanto, en el nivel inferior parecen ser sepultadas por transporte de sedimento y retrabajamiento en el cambio de pendiente a la base de la cara de la playa. Los objetivos de este trabajo son: (1) determinar los procesos tafonómicos responsables de los patrones de orientación, clasificación y transporte de las valvas de moluscos en tanatocenosis recientes en una playa expuesta; y (2) interpretar el significado paleoambiental de estos procesos.

ÁREA DE ESTUDIO

Se seleccionó para este estudio a Playa El Pelicano por la gran abundancia de depósitos de conchas en la cara de la playa, así como por la ausencia de desarrollos turísticos y campos pesqueros que interfieran en los patrones y procesos naturales.

Playa El Pelicano se localiza a 30°45'N y 114°42'W, 33 km al sur del puerto de San Felipe, Baja California (fig. 1). Morfológicamente, es una playa arenosa, expuesta, recta, de pendiente muy pronunciada, berma amplia y campo de dunas costeras en dirección al continente. Localmente, durante invierno y primavera los vientos soplan del oeste como frentes fríos y masas de aire marítimo polar; durante verano y otoño predominan los vientos del sur como masas de aire tropical y continental. La precipitación anual promedio es de unos 15 mm (Reyes-Coca y Vogel, 1984). Las mareas en la región son semidiurnas y las más altas llegan hasta los 10 m (Thompson, 1968; Bray y Robles, 1991).

METODOLOGÍA

Con el fin de detectar cambios temporales y espaciales en la orientación azimutal y de la concavidad de la concha, tamaño y razón de valvas izquierdas/derechas en las tanatocenosis

processes responsible for the patterns of orientation, sorting and transport of mollusk valves in recent thanatocenosis in an exposed beach; and (2) interpret the paleoenvironmental significance of these processes.

STUDY AREA

Playa El Pelicano was chosen for this study because of the great abundance of shell deposits on the beach face, and the lack of tourist development and fishery camps, which can disturb natural patterns and processes.

This beach is located at 30°45'N and 114°42'W, 33 km south of the port of San Felipe, Baja California (fig. 1). Morphologically, it is an exposed, straight sandy beach, with a steep slope, broad berm and a field of coastal dunes to the landward side. Locally, during winter and spring winds blow from the west as cold fronts and polar maritime air masses; during summer and fall, winds blow from the south as tropical and continental air masses. Average yearly rainfall is about 15 mm (Reyes-Coca and Vogel, 1984). Tides are semidiurnal and range up to 10 m (Thompson, 1968; Bray and Robles, 1991).

METHODOLOGY

In order to detect temporal and spatial changes in the azimuthal and concavity orientations of the shells, as well as sizes and ratios of left/right valves in bivalve thanatocenosis, we sampled five times during an annual cycle, in March, May and November 1993, and in March and November 1994. We collected and identified all the species of bivalve mollusks included in a quadrant of 1 m², at intervals of 20 m along 200 m of beach at the high tidal line. The highest shell concentrations occur at this level.

The azimuth orientations of the anterior-posterior axis of the valves were taken using a

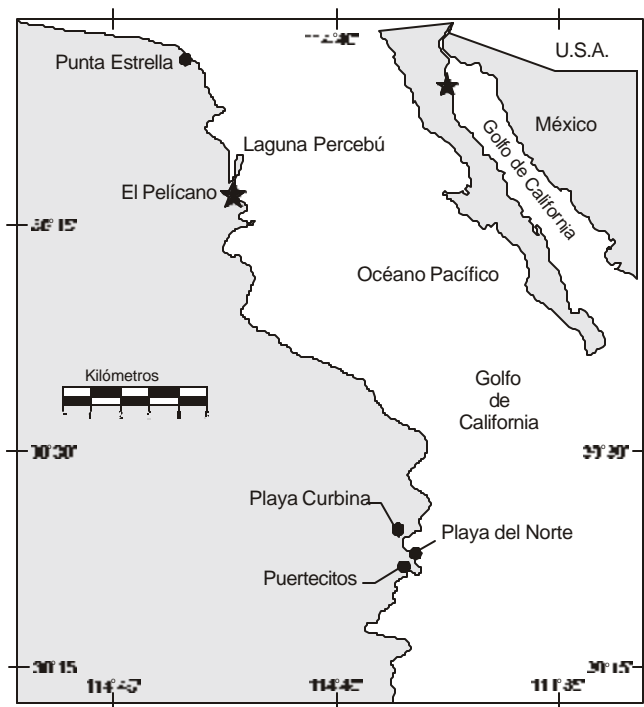


Figura 1. Ubicación del área de estudio.
Figure 1. Study area.

de bivalvos, se realizaron cinco muestreos durante un ciclo anual, en marzo, mayo y noviembre de 1993, y en marzo y noviembre de 1994. Se recolectaron e identificaron todas las especies de moluscos bivalvos que quedaron incluidas en un cuadrante de 1 m², a intervalos de 20 m a lo largo de 200 m de playa en el nivel de marea más alto, sitio donde se observaron las mayores concentraciones de conchas en los reconocimientos de campo.

Se midieron las orientaciones azimutales del eje anteroposterior de las valvas utilizando una brújula Brunton y se graficaron en diagramas de rosa utilizando el programa RockWare, versión 2.0 para Windows. Se cuantificó la cantidad de valvas orientadas con la concavidad hacia arriba y hacia abajo.

Brunton compass and were plotted in rose diagrams using the Rock Ware program, version 2.0 for Windows. The number of valves oriented with the concavity upward and downward was noted.

Bivalve species were identified according to Keen (1971) and the size of the shells of the most abundant species was measured.

RESULTS

Faunal composition

Fifteen bivalve species were identified in the study (table 1). Two species were consistently dominant: *Glycymeris gigantea*, comprising 69% to 82% of all individuals, and

Tabla 1. Abundancia relativa y porcentual de las especies de bivalvos en las tanatocenosis de Playa El Pelicano durante los meses de marzo, mayo y noviembre de 1993, y marzo y noviembre de 1994.

Table 1. Percentage and relative abundance of bivalve species at Playa El Pelicano thanatocenoses during March, May and November 1993, and March and November 1994.

| Especie | Mar/93 | | May/93 | | Nov/93 | | Mar/94 | | Nov/94 | |
|--------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | No. | % | No. | % | No. | % | No. | % | No. | % |
| <i>Glycymeris gigantea</i> | 311 | 70.68 | 676 | 82.75 | 67 | 69.07 | 182 | 82.35 | 696 | 77.00 |
| <i>Chione fluctifraga</i> | 66 | 15.00 | 106 | 12.98 | 21 | 21.65 | 34 | 15.39 | 166 | 18.36 |
| <i>Donax navicula</i> | 1 | 0.23 | 1 | 0.12 | 3 | 3.10 | 0 | 0.0 | 3 | 0.33 |
| <i>Trachycardium panamense</i> | 5 | 1.14 | 29 | 3.55 | 0 | 0.0 | 5 | 2.26 | 16 | 1.77 |
| <i>Diplodonta inezensis</i> | 49 | 11.13 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| <i>Cardium</i> sp. | 3 | 0.68 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| <i>Lucina lampra</i> | 2 | 0.45 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 22 | 2.43 |
| <i>Pitar concinus</i> | 0 | 0.0 | 1 | 0.12 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| <i>Trachycardium</i> sp. | 1 | 0.23 | 2 | 0.24 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| <i>Crucibulum spinosum</i> | 1 | 0.23 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| <i>Cardita affinis</i> | 1 | 0.23 | 1 | 0.12 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| <i>Chione</i> sp. 1 | 0 | 0.0 | 1 | 0.12 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| <i>Mulinia coloradoensis</i> | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 4 | 4.12 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| <i>Cardium</i> sp. | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 2 | 2.06 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| <i>Tellina</i> sp. | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 1 | 0.11 |
| Total | 440 | 100.0 | 817 | 100.0 | 97 | 100.0 | 221 | 100.0 | 904 | 100.0 |

Las especies fueron identificadas según Keen (1971) y se midió el tamaño de las conchas de las especies identificadas más abundantes.

RESULTADOS

Composición faunística

Quince especies de bivalvos se identificaron en este estudio (tabla 1). Dos especies fueron consistentemente dominantes: *Glycymeris gigantea*, comprendiendo del 69% al 82% del

Chione fluctifraga, 12% to 21%. In March 1993, *Diplodonta inezensis* comprised 11.13% of all individuals.

Table 2 shows that species from sandy environments were dominant, followed by those from rocky habitats. However, in all cases, species were typically from the intertidal.

Figure 2 shows the variation in the number of species in each sample. Note that the number of species was always less than ten, and a gradual decrease took place, from ten species in March 1993 to only three in March 1994.

Tabla 2. Listado de las especies de bivalvos en las tanatocenosis de Playa El Pelicano, con sus hábitats y rangos de profundidad de acuerdo con Keen y Coan (1974) y Keen (1971).

Table 2. Checklist of the bivalve species at Playa El Pelicano thanatocenoses, with species habitats and depth range according to Keen (1971) and Keen and Coan (1974).

| Espece | Hábitat |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| <i>Glycymeris gigantea</i> | Intermareal a 365 m |
| <i>Chione fluctifraga</i> | Arena o lodo, intermareal a 45 m |
| <i>Donax navicula</i> | Arena, intermareal a 5 m |
| <i>Trachycardium panamense</i> | Arena, intermareal a 120 m |
| <i>Diplodonta inezensis</i> | Arena o anidadas, 11 a 64 m |
| <i>Cardium</i> sp. | Arenoso, intermareal |
| <i>Lucina lampra</i> | Arena, intermareal a 45 m |
| <i>Pitar concinus</i> | 25 a 185 m |
| <i>Trachycardium</i> sp. | Arena, intermareal a 120 m |
| <i>Crucibulum spinosum</i> | Rocoso o apilado, intermareal a 25 m |
| <i>Cardita affinis</i> | Rocoso, intermareal |
| <i>Chione</i> sp. 1 | Arena o lodo, intermareal a 40 m |
| <i>Mulinia coloradoensis</i> | Lodoso, intermareal |
| <i>Cardium</i> sp. | Arenoso, intermareal |
| <i>Tellina</i> sp. | De arena a limo, intermareal a 10 m |

total de individuos, y *Chione fluctifraga*, del 12% al 21%. En marzo de 1993, *Diplodonta inezensis* comprendió el 11.13% del total de individuos. En la tabla 2 se muestra que dominaron las especies de ambientes arenosos, seguidas por las de hábitats rocosos. Sin embargo, en todos los casos fueron especies típicamente intermareales.

En la figura 2 se ilustra la variación en el número de especies en cada muestra. Nótese que el número de especies fue siempre inferior a diez y que un gradual decremento toma lugar, de diez especies en marzo de 1993 a solamente tres en marzo de 1994.

Azimuth and concavity orientations

The thanatocenoses showed variable azimuth orientation but, in general, they were to the northwest (fig. 3). In March 1993, the preferential direction of the valves was to the northwest in six of the ten quadrants and in May, in seven of the ten quadrants (fig. 3). In November the number of valves decreased considerably, so it was not possible to determine a dominant orientation. In the case of quadrants II and VI, a rose diagram was not plotted due to the small sample size (five and three valves, respectively). In March 1994, the northwest

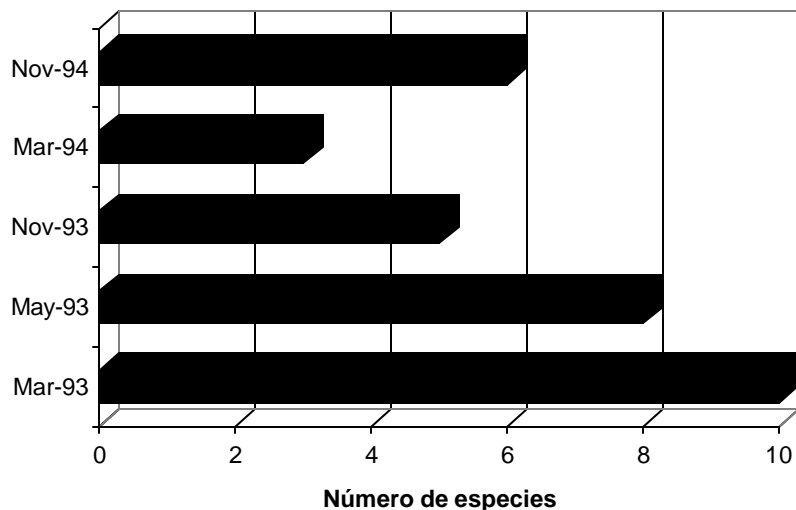


Figura 2. Variación en la abundancia de especies presentes en las tanatocenosis de Playa El Pelicano durante los meses de muestreo.

Figure 2. Variation in species abundance in thanatocenoses at Playa El Pelicano during the sampling months.

Orientaciones azimutales y de concavidades

Las tanatocenosis mostraron una orientación azimutal variable, pero en general predominó la orientación al noroeste (fig. 3). En marzo de 1993, la dirección preferencial de las valvas fue al noroeste en seis de los diez cuadrantes y en mayo, en siete de los diez cuadrantes (fig. 3). En noviembre de 1993 disminuyó notablemente el número de valvas, por lo que no se pudo determinar una orientación dominante. En el caso de los cuadrantes II y VI, no se construyó diagrama de rosa por el tamaño de muestra tan pequeño (cinco y tres valvas, respectivamente). Para marzo de 1994 volvió a dominar la orientación al noroeste en seis de los diez cuadrantes y en noviembre de 1994, la orientación fue variable: cuatro cuadrantes se orientaron al noreste, tres al sudeste y tres al noroeste (fig. 3).

orientation was dominant again in six of the ten quadrants and in November 1994, the orientation was variable: four quadrants had a north-east orientation, three were to the southeast and three to the northwest (fig. 3).

The orientation of the concavity was predominately downward during each of the five sample periods (fig. 4), and was most noticeable in May 1994.

Distribution of shell sizes

Figure 5 shows the distribution of shell sizes for each quadrant. Polymodal distribution was obtained in March 1993 and November 1994 (fig. 5a, e), and unimodal distribution in May 1993 and March 1994 (fig. 5b, d). Modal sizes were typically 1 and 3 cm, and in only one case, 4 cm. Sizes ranged from 0.3 to 8.5 cm (fig.5a-e).

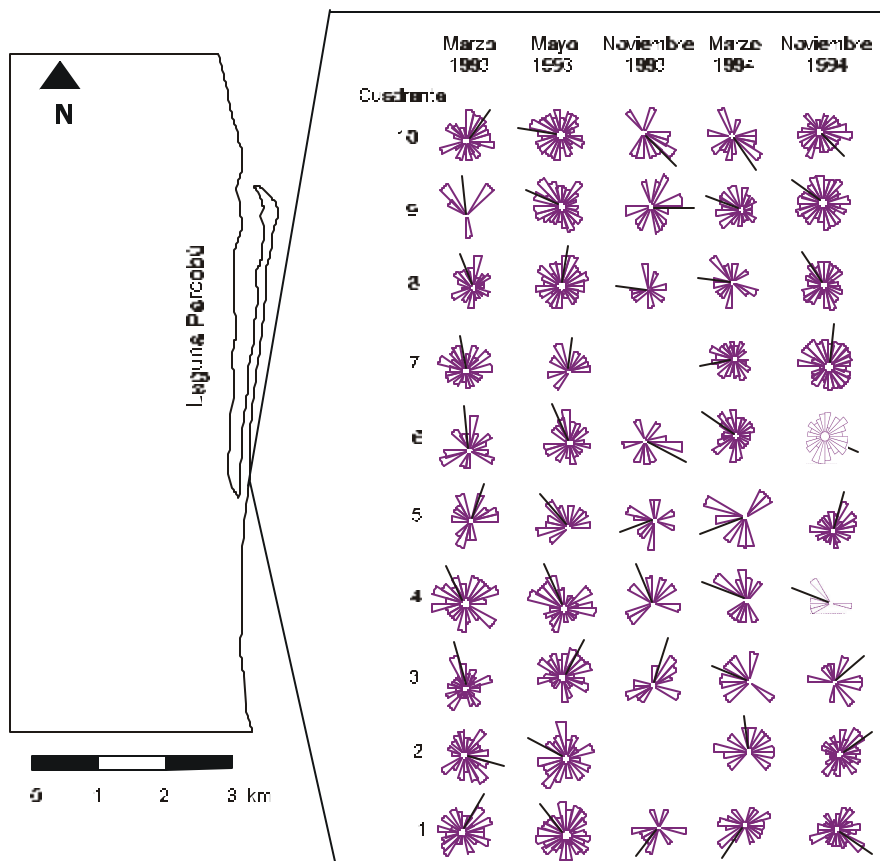


Figura 3. Orientaciones azimutales de los ejes de las valvas. La distancia entre cuadrantes es de 20 m. La línea sólida corresponde a la orientación promedio.

Figure 3. Azimuthal orientations of the valve axes. The distance between quadrants is 20 m. Solid lines correspond to the average orientation.

La orientación de la concavidad fue predominantemente hacia abajo durante los cinco periodos de muestreo (fig. 4) y fue más notable en el mes de mayo de 1994.

Distribución de tamaño de las valvas

La figura 5 muestra la distribución porcentual de tamaños de las valvas para cada cuadrante. Se observó una distribución multimodal en marzo de 1993 y noviembre de 1994

DISCUSSION

Shell production at beaches adjacent to the study area is very low, as indicated by the scarcity of bivalves in recent biocenoses (Cupul-Magaña and Téllez-Duarte, 1997). This indicates that the great accumulation of shells in recent thanatocenoses is the result of either considerable time averaging or transportation. In the same area, Cupul-Magaña and Téllez-Duarte (1997) found only three bivalve species

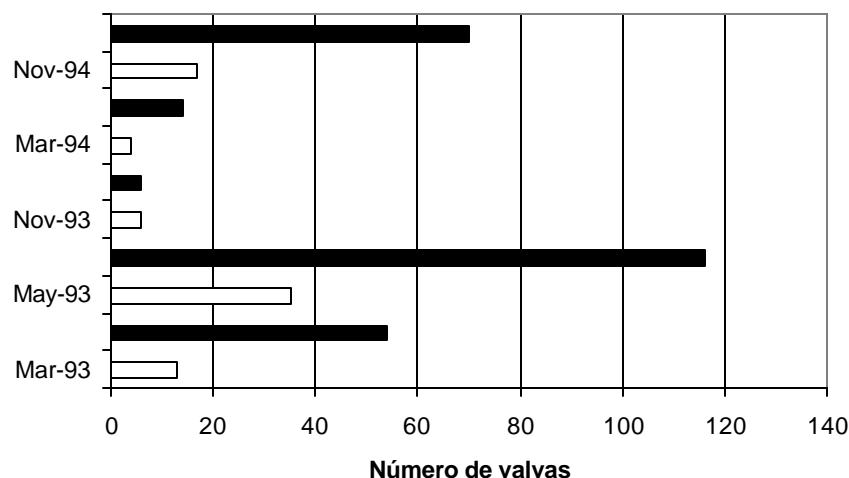


Figura 4. Orientaciones de las concavidades en los bivalvos de Playa El Pelicano durante los meses de muestreo. Las barras oscuras indican la concavidad hacia abajo y las blancas la concavidad hacia arriba.
Figure 4. Concavity orientation in bivalves at Playa El Pelicano during the sampling months. Solid bars indicate shells concavity down and white bars concavity up.

(fig. 5a, e), y una distribución unimodal en mayo de 1993 y marzo de 1994 (fig. 5b, d). Los tamaños modales fueron típicamente de 1 y 3 cm, y en un solo caso de 4 cm. El intervalo total de tamaño fue de 0.3 a 8.5 cm (fig. 5a-e).

DISCUSIÓN

La producción de conchas en las playas adyacentes a la zona de estudio actualmente es muy baja, como lo indica la escasez de bivalvos en las biocenosis recientes (Cupul-Magaña y Téllez-Duarte, 1997). Esto indica que la gran acumulación de conchas en las tanatocenosis recientes es el resultado de un considerable promediado en el tiempo o por transporte. En la misma área, Cupul-Magaña y Téllez-Duarte (1997) encontraron que a lo largo de un ciclo anual sólo aparecieron tres especies de bivalvos: *Diplodonta orbella*, *Donax navicula* y *Chione californiensis*, en concentraciones menores a cuatro individuos por cuadrante a lo

in an annual cycle: *Diplodonta orbella*, *Donax navicula* and *Chione californiensis*, in concentrations of less than four individuals per quadrant along the beach profile. Only *D. navicula* appeared in the thanatocenoses, and it is noteworthy that *Glycymeris gigantea* and *Chione fluctifraga*, the most abundant species, do not appear in the living fauna. However, they were rarely found outside the sampling transects. Therefore, the source of the shells is from the middle intertidal to the subtidal and they are later transported and accumulated in the upper intertidal. In this zone, transport is only local, as is indicated by the approximately same number of right and left valves of *C. fluctifraga* (Téllez and Avila, in preparation).

Even though diversity is low, there are some species that transport evidence from other habitats. Such is the case of *Crucibulum spinosum*, *Cardita affinis* and *Mulinia coloradoensis*. *Crucibulum* and *Cardita* live in hard substrates found in nearby localities from where they could have been transported. Only

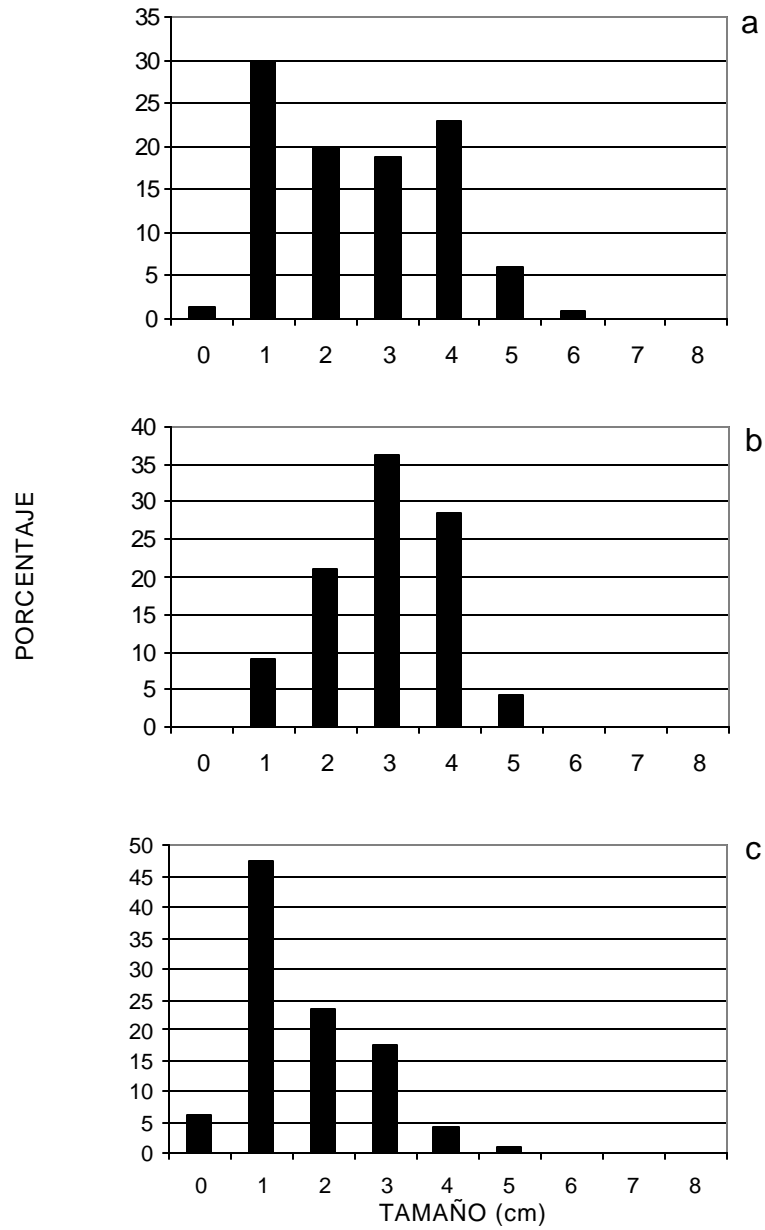


Figura 5a-c. Distribución temporal en el tamaño de las valvas en las tanatocenosis de Playa El Pelicano. (a) Marzo de 1993, (b) mayo de 1993 y (c) noviembre de 1993.
Figure 5a-c. Temporal distribution of valve sizes at Playa El Pelicano thanatocenoses. (a) March 1993, (b) May 1993 and (c) November 1993.

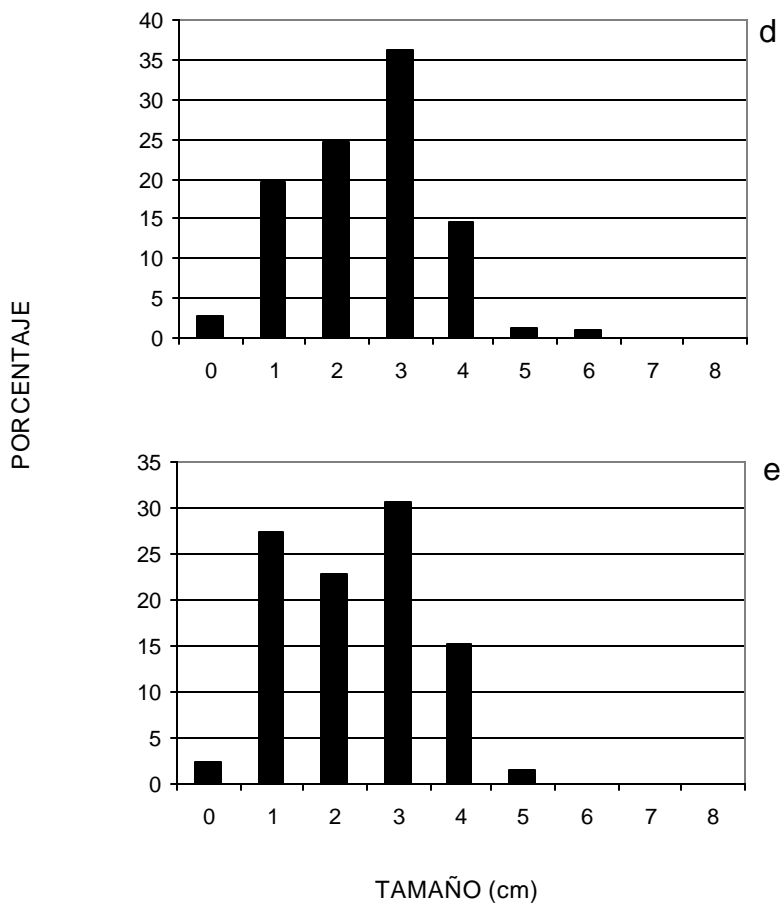


Figura 5d-e. Distribución temporal en el tamaño de las valvas en las tanatocenosis de Playa El Pelicano. (d) Marzo de 1994 y (e) noviembre de 1994.

Figure 5d-e. Temporal distribution of valve sizes at Playa El Pelicano thanatocenoses. (d) March 1994 and (e) November 1994.

largo del perfil de playa. Sólo *D. navicula* apareció en las tanatocenosis, siendo notable que las especies más abundantes, *Glycymeris gigantea* y *Chione fluctifraga*, no aparecieron en la fauna viva. Sin embargo, muy raramente se encontraron fuera de los transectos de muestreo. Por ello, la fuente de las conchas es de la zona intermareal media a submareal, posteriormente transportadas y acumuladas en el intermareal superior. Ya en esta zona, el transporte

the occurrence of *M. coloradoensis* suggests a considerable transport from the north of San Felipe, because its distribution is restricted to the delta of the Colorado River. In that area, cheniers exist made up almost exclusively of shells of this species (Thompson, 1968; Kowalewski, 1994).

The great abundance of shells at Playa El Pelicano can only be explained by time averaging. Thanatocenoses at this beach are

es sólo local, como lo indica el número aproximadamente igual de valvas derechas e izquierdas de *C. fluctifraga* (Téllez y Avila, en preparación).

Aunque la diversidad es baja, existen algunas especies que muestran evidencias de haber sido transportadas de otros hábitats. Tal es el caso de *Crucibulum spinosum*, *Cardita affinis* y *Mulinia coloradoensis*. *Crucibulum* y *Cardita* viven en sustratos firmes existentes en áreas cercanas de las cuales pudieron ser transportadas. Sólo la presencia de *M. coloradoensis* implica un transporte considerable desde el norte de San Felipe, ya que su distribución se restringe al delta del Río Colorado. En esa área existen cordilleras constituidas casi exclusivamente de conchas de esta especie (Thompson, 1968; Kowalewski, 1994).

La gran abundancia de conchas en las tanatocenosis sólo puede ser explicada por un promediado en el tiempo. En este aspecto, los elementos faunísticos en la tanatocenosis de Playa El Pelicano son comparables a los de Bahía La Choya, Sonora, localizada en el lado opuesto del Golfo de California, donde se ha estimado que el tiempo de residencia de las conchas es de alrededor de 3230 años (Fürsich y Flessa, 1987; Meldahl, 1987). Kidwell (1991) confirma esta observación en distintos escenarios, observando que las evidencias actualísticas sugieren un mínimo de varias décadas a miles de años de promediado en el tiempo en la mayoría de los ambientes. Por lo anterior, es razonable pensar que la acumulación de conchas en Playa El Pelicano envuelve al menos varias centenas de años.

La disposición de las conchas, predominantemente orientadas con la concavidad hacia abajo, que es la posición hidrodinámicamente más estable, presenta orientaciones polimodales de los ejes mayores, probablemente debido a que el transporte de las conchas es por movimientos rotacionales y en zigzag en la cara de la playa (Téllez y Avila, en preparación). Sin

comparable to those of Bahía La Choya in Sonora, located on the opposite side of the Gulf of California, where it has been estimated that the residence time of the shells is approximately 3230 years (Fürsich and Flessa, 1987; Meldahl, 1987). Kidwell (1991) corroborates this observation in different scenarios, observing that actualistic evidence suggests a minimum of several decades or thousands of years of time averaging in most settings. Therefore, it is reasonable to think that the great abundance of shells at Playa El Pelicano encompasses at least many hundreds of years.

The arrangement of the shells, with the prevailing orientation of downward concavity (the most stable hydrodynamic position), shows polymodal orientations of the major axes, due to the fact that the shell transport is by rotational movements on the face of the beach (Téllez and Avila, in preparation). However, the main modes roughly coincide with the direction of transport along the beach towards the northwest. This is coincident with the direction of the currents noticed during the field work. An orientation perpendicular to the coastline was only found in a few cases, probably due to tide currents generated during the ebb and flow.

Shell size in the thanatocenoses is controlled by the species composition and energy level. Shell sizes ranged from 0.3 to 8.5 cm, with a bimodal distribution in two of the sample months, with modes of 1 and 3 cm in November 1994 (fig. 5e) and of 1 and 4 cm in March 1993 (fig. 5a). The smallest mode in November 1994 was due to the abundance of the small bivalve *Lucina lampra*. All the specimens measured were adult organisms that had reached their maximum size of approximately 1 cm (Keen, 1971). In March 1993, the smallest mode was due to the presence of *Diplodonta inezensis*, a bivalve whose maximum adult size is approximately 1.8 cm (Keen, 1971). The above implies that during the

embargo, las modas principales burdamente se alinean en dirección paralela con la cara de la playa, lo cual coincide con la dirección del movimiento de las corrientes observadas a lo largo de la playa durante el trabajo de campo. Sólo en algunos casos se encontró una orientación preferencial perpendicular a la línea de costa, lo cual probablemente se deba a las corrientes de marea generadas durante el flujo y reflujos.

El tamaño de las conchas en las tanatocenosis está controlado tanto por la composición de especies como por el nivel de energía. Los tamaños de las valvas fueron de 0.3 a 8.5cm, encontrándose una distribución bimodal en dos de los meses de muestreo, con modas de 1y3cm en noviembre de 1994 (fig. 5e) y de 1y 4 cm en marzo de 1993 (fig. 5a). La moda más pequeña en noviembre de 1994 se debió a la presencia abundante del pequeño bivalvo *Lucina lampra*. Sin embargo, todos los ejemplares medidos correspondían a organismos adultos que habían alcanzado su talla máxima de aproximadamente 1 cm (Keen, 1971). En el caso de marzo de 1993, la moda más pequeña se debió a la presencia de *Diplodonta inezensis*, bivalvo cuya talla máxima es alrededor de 1.8 cm (Keen, 1971). En ambos casos, la moda corresponde a organismos adultos. Lo anterior implica que durante la acumulación de las conchas, su sepultamiento y posterior exhumación se deben a la remoción y depositación periódica de arena en el perfil de playa (Cupul-Magaña y Téllez-Duarte, 1997), ocasionando con esto que se acumulen organismos adultos y que las concentraciones de conchas y el número de especies varíen a lo largo del año. Las variaciones en el perfil de playa se deben a las fuertes corrientes de marea y los cambios en la energía del oleaje. Este último se observó que mayormente es de baja energía durante todo el año, incrementándose durante verano y otoño cuando soplan vientos fuertes del sur. El efecto neto del transporte de arena durante los

accumulation of the shells, their burial and exhumation is given by sand erosion and deposition in the beach profile (Cupul-Magaña and Téllez-Duarte, 1997); as a result, the adult organisms accumulate and the shell concentrations and number of species vary throughout the year. Beach profile variation is due to strong tide currents and wave energy changes. The latter was of low energy most of the year, increasing during summer and fall when strong winds blow from the south. The net effect of sand transport during the beach cycles is to accumulate the biggest and heavy shells at the base of the beach face. This means that changes in the beach profile and transport influence the changes in size distribution.

In the case of *Glycymeris gigantea*, the species that dominated the thanatocenoses (69% to 83% of the total individuals), the organisms that reached the maximum size of 8 cm were exceptionally rare. This species and *Chione fluctifraga* have thick shells and formed the mode of 3 and 4 cm. This suggests that these two species rarely reach sizes greater than 4 cm in this area and that the energy of the environment tends to concentrate the maximum sizes of the most abundant organisms, whereas it eliminates or transports the rare, fragile and smaller-sized species. This is particularly noticeable considering that about 172 species of bivalves have been reported for the area of San Felipe, most of them collected in the intertidal zones (Gemmell *et al.*, 1987). However, this high number of species comes from the sampling of more diverse habitats along the coastline.

On the other hand, the biotic associations preserved in the shell deposits also represent an average of the living communities in the adjacent zones. However, the dominant fauna of bivalves is composed of species that presently live in the intertidal zone, although in very low abundance (Cupul-Magaña, 1994). Time-averaged shell deposits in beach

ciclos de playa es acumular las conchas más grandes y pesadas en la base de la cara de la playa. Esto significa que los cambios en el perfil de playa y el transporte influyen en los cambios en distribución de tamaños.

En el caso de *Glycymeris gigantea*, la especie que dominó las tanatocenosis por comprender del 69% al 83% del total de individuos, los organismos que alcanzaron la talla máxima de 8 cm fueron excepcionalmente raros. Esta especie y *Chione fluctifraga* son las de concha más gruesa y denotaron la moda de 3 y 4 cm. Lo anterior sugiere que las poblaciones de estas dos especies raramente alcanzan tallas mayores que 4 cm en esta área, y que la energía del ambiente tiende a concentrar las tallas máximas de los organismos más abundantes, mientras que elimina o transporta las especies raras, frágiles y de tamaño pequeño. Esto es particularmente notable considerando que para el área de San Felipe la diversidad de especies de bivalvos en las tanatocenosis es notablemente baja comparada con las 172 especies reportadas para las zonas intermareales (Gemmell *et al.*, 1987). Sin embargo, este alto número de especies proviene de muestreos en hábitats más diversos asociados con toda la línea de costa.

Por otro lado, las asociaciones bióticas preservadas en los depósitos de conchas también representan un promedio de las comunidades vivas de áreas adyacentes. Sin embargo, la fauna dominante de bivalvos se compone de especies que actualmente viven en la zona intermareal, no obstante en una abundancia muy baja (Cupul-Magaña, 1994). Depósitos de conchas promediadas en el tiempo en ambientes de playa pueden ser buenos indicadores de las condiciones paleoambientales y paleoecológicas de ambientes costeros, pero no son apropiados para estudios al nivel de poblaciones o comunidades por el sesgo causado por la remoción selectiva de los individuos de tallas pequeñas. En general, la acumulación en la playa tiende a concentrar organismos adultos

environments may be good indicators of the paleoenvironmental and paleoecological conditions of coastal environments, but may not be appropriate for studies at the level of populations or communities because of the bias caused by the selective removal of small-sized individuals. In general, the beach accumulation tends to concentrate adult organisms that have reached their maximum size, even when these are small, as for example, in the case of *L. lampra* and *D. inezensi*, species that generated a mode in the size of 1 cm, the approximate maximum size of those species.

This work suggests that coastal processes in beach environments contribute to the survival of strong shells in a defined area. On exposed beaches, where the energy level is high, a fast shell destruction is expected. However, shells can survive as a result of the dynamics of the beach profile, which contributes to the conservation of the shells by periodic burial and exhumation, by erosive and depositional processes at the beach face, or seasonal migration of sand bars, which contribute to time averaging.

In spite of the reworking of skeletal remains, the shell deposits of beach environments may provide information about the coastal oceanographic conditions. In addition to the environmental preferences of the dominant fauna, taphonomic features indicate the physical conditions that can be diagnostic for this environment, as the azimuthal and concavity orientations, apart from the fact that the accumulations form strings parallel to the beach face.

CONCLUSIONS

1. Although time averaging may encompass thousands of years, the taxonomic composition of shell beds at high-energy sandy beaches is an important source of ecological information, because the dominant

que han alcanzado su tamaño máximo, aun cuando éste sea pequeño; por ejemplo, como en el caso de *L. lampra* y *D. inezensi*, especies que generaron una moda en la talla de 1 cm, que es la talla máxima aproximada para estas especies.

El presente estudio sugiere que los procesos costeros en ambientes de playa expuesta contribuyen a la supervivencia de las conchas más fuertes en un área definida. En playas expuestas, donde el nivel de energía es alto, es razonable esperar una rápida destrucción de las conchas. Sin embargo, las conchas pueden sobrevivir como resultado de la dinámica del perfil de playa, que contribuye a la conservación de las conchas por sepultamientos y exhumaciones periódicas, ya sea por los procesos erosivos y depositacionales en la cara de la playa o por la migración estacional de las barras de arena, a lo cual contribuye el promediado en el tiempo.

A pesar del retrabajo de los restos esqueléticos, los depósitos de conchas de ambientes de playa pueden proveer información de las condiciones oceanográficas costeras. Además de la información de las preferencias ambientales de los componentes faunísticos dominantes, las características tafonómicas de las conchas indican las condiciones físicas del medio que pueden ser diagnósticas para estos ambientes, como la orientación azimutal y de la concavidad, además de que las acumulaciones forman cordones paralelos a la cara de la playa.

CONCLUSIONES

1. No obstante que el promediado en el tiempo puede envolver hasta miles de años, la composición taxonómica de las capas de conchas es una importante fuente de información ecológica, debido a que dominan las especies que tipifican las comunidades bentónicas del área adyacente. Sin embargo, la abundancia y distribución de

species are those which typify the benthic communities of the area. However, the abundance and size distribution of species do not reflect the structure of the original communities due to the selective destruction of small and juvenile organisms.

2. The size distribution of the whole shell assemblage shows variability from unimodal to bimodal due to burial/exhumation cycles associated with seasonal changes in the wave energy regime.
3. At high-energy sandy beaches with a steeply-sloped beach face, shell deposits form parallel strings that tend to concentrate in the upper and lower part of the beach face.
4. A high energy sandy beach is characterized by polymodal orientations in the long axes of the shells in bivalves such as *Glycymeris* spp. and *Chione* spp. The main orientation is parallel to the transport direction.
5. Most valves in the beach face are oriented concave-down, being the most stable hydrodynamic position.

ACKNOWLEDGEMENTS

We appreciate the valuable collaboration of Rigoberto Guardado and Luis A. Cupul during the field work, and thank the reviewers for their comments and suggestions that helped to improve the manuscript. This work was done with the support of the Universidad Autónoma de Baja California, at the Facultad de Ciencias Marinas, as part of project 272 "Fósiles de Baja California".

English translation by the authors.

tamaños no refleja la estructura de las comunidades que les dieron origen debido a la destrucción selectiva de organismos juveniles y de tamaño pequeño.

2. La distribución de tamaños del conjunto total de conchas mostró una variación de unimodal a bimodal debido a los ciclos estacionales de sepultamiento y exhumación asociados con los cambios estacionales en el régimen de oleaje y las corrientes de marea.
3. En playas arenosas de alta energía con pendiente pronunciada en la cara de la playa, los depósitos de conchas forman cordones paralelos que tienden a concentrarse en la parte superior e inferior de la cara de la playa.
4. Una playa arenosa de alta energía se caracteriza por presentar orientaciones polimodales en los ejes mayores de las conchas de bivalvos tales como *Glycymeris* spp. y *Chione* spp. La orientación principal es paralela a la dirección del transporte.
5. La mayoría de las valvas en la cara de la playa se orientan con la concavidad hacia abajo, por ser la posición hidrodinámica más estable.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la valiosa colaboración de Rigoberto Guardado y Luis A. Cupul durante el trabajo de campo, así como las sugerencias y comentarios de los revisores, los cuales contribuyeron a mejorar notablemente este trabajo. Esta investigación se realizó con el apoyo de la Universidad Autónoma de Baja California en la Facultad de Ciencias Marinas, dentro del proyecto 272 "Fósiles de Baja California".

REFERENCIAS

- Bailey, L.T. and Erickson, M.J. (1990). Preferred orientation of bivalve shells in the Upper Timber Lake Member, Fox Hills Formation in North Dakota: Preliminary interpretations. *Palaios*, 5: 23–37.
- Behrenes, W.E. and Watson, R.L. (1969). Differential classification of pellicipod valves in the swash zone. *J. Sedimen. Petrol.*, 39(1): 159–165.
- Behrensmeyer, A.K. and Kidwell, S.M. (1985). Taphonomy's contributions to paleobiology. *Paleobiology*, 11(1): 105–119.
- Bray, N.A. and Robles, J.M. (1991). Physical oceanography of the Gulf of California. In: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit (eds.), *The Gulf of California and Peninsular Provinces of the Californias*. Mem. Am. Assoc. Petroleum Geologists, 47: 511–553.
- Cupul-Magaña, L.A. (1994). Zonación de la biocenosis macrobentónicas en tres playas del NW del Golfo de California: Sus implicaciones paleoecológicas. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México, 57pp.
- Cupul-Magaña, L.A. y Téllez-Duarte, M.A. (1997). Variaciones espaciotemporales de la fauna macrobentónica de una playa arenosa y su relación con los cambios del perfil de playa y el tamaño de grano de los sedimentos, en Playa El Pelicano, Baja California. *Ciencias Marinas*, 23(4): 419–434.
- Dent, S.R. and Uhens, M.D. (1993). Tidal reorientation and transport of recent bivalves on a temperate tidal flat, northwestern US. *Palaios*, 8(2): 244–249.
- Dodd, J.R. and Stanton Jr., R.J. (1981). *Paleoecology, Concepts and Applications*. John Wiley, New York, pp. 223–276.
- Fürsich, F.T. and Flessa, K.W. (1987). Taphonomy of tidal flat molluscs in the northern Gulf of California: Paleoenvironmental analysis despite the perils of preservation. *Palaios*, 2: 543–559.
- Gemmell, J., Myers, W.B. and Hertz, C.M. (1987). A faunal study of the bivalves of San Felipe environs, Gulf of California, from the Gemmell

- Collection (1965 to 1976). *Festivus*, XVIII (Suppl.): 1–72.
- Keen, A.M. (1971). *Sea Shells of Tropical West America: Marine Mollusks from Baja California to Peru*. 2nd ed. Stanford Univ. Press, Stanford, California, 1064 pp.
- Keen, A.M. and Coan, E. (1974). *Marine Molluscan Genera of Western North America: An Illustrated Key*. 2nd ed. Stanford Univ. Press, Stanford, California, 208 pp.
- Kelling, G. and Williams, P.F. (1967). Study of orientation of shell and gravels in channel. *Paleontol. J.*, 2(1): 31–43.
- Kidwell, S.M. (1986). Taphonomic feedback in Miocene assemblages: Testing the role of dead hardparts in benthic communities. *Palaios*, 1: 239–255.
- Kidwell, S.M. (1991). The stratigraphy of shell concentrations. In: P.A. Allison and D.E.G. Briggs (eds.), *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record*. Plenum Press, New York, pp. 211–289.
- Kowalewski, M., Flessa, K.W. and Aggen, J.A. (1994). Taphofacies analysis of recent shelly cheniers (beach ridges), northeastern Baja California. *Facies*, 31: 209–242.
- Lawrence, D.R. (1968). Taphonomy and information losses in fossil communities. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 79: 1315–1330.
- Lever, J. (1958). Quantitative beach research. The left-right-phenomenon sorting of Lamellibranch valves on sandy beaches. *Basteria*, 22(2): 21–68.
- Lutaenko, K.L. (1994). An actupaleontological study of beach thanatocenoses of bivalved mollusks on the Sea of Japan. *Paleontol. J.*, 28(2): 21–33.
- Martín-Barajas, A., Téllez-Duarte, M.A. y Rendón-Márquez, G. (1993). Estratigrafía y ambientes de depósito de la secuencia marina de Puertecitos, NE de Baja California: Implicaciones sobre la evolución de la margen occidental de la depresión del golfo. En: L. Delgado y A.M. Barajas (eds.), *Contribuciones a la Tectónica del Occidente de México*. Monografías de la Unión Geofísica Mexicana, pp. 90–114.
- Martin-Kaye, P. (1951). Sorting of Lamellibranch on beaches in Trinidad. *Geol. Mag.*, 88: 432–434.
- Meldahl, K.H. (1987). Biogenic and physical modes of stratification and shell bed formation in the recent intertidal environments of Bahía La Choya, northern Gulf of California. In: K.W. Flessa (ed.), *Paleoecology and Taphonomy of Recent to Pleistocene Intertidal Deposits Gulf of California*. Paleontological Society Spec. Publ., No. 2, pp. 177–188.
- Meldahl, K.H. and Flessa, K.W. (1990). Taphonomic pathways and comparative biofacies and taphofacies in a recent intertidal/shallow shelf environment. *Lethania*, 23: 43–59.
- Menard, H.W. and Boucot, A.J. (1951). Experiments on the movement of shells by water. *Am. J. Sci.*, 2(9): 131–151.
- Reyes-Coca, S. y Vogel, G. (1984). Estudio preliminar de las condiciones meteorológicas y climáticas alrededor del Golfo de California. 2da parte. Análisis de los parámetros termodinámicos. *Ciencias Marinas*, 10(2): 45–64.
- Thompson, R.W. (1968). Tidal flat sedimentation on the Colorado River Delta, northwestern Gulf of California. *Geol. Soc. Am. Mem.*, 107: 1–133.