

## Moluscos escafópodos de la campaña Atlas V (plataforma continental de Jalisco y Colima, México) a bordo del B/O El Puma

### Scaphopod mollusks from the Atlas V expedition (continental shelf of Jalisco and Colima, Mexico) on board of the R/V El Puma

Eduardo Ríos-Jara  
Martín Pérez-Peña  
Ernesto López-Uriarte  
Eduardo Juárez-Carrillo

Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura  
Departamento de Ecología  
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
Universidad de Guadalajara  
Apartado postal 52-114  
Zapopan 45030, Jalisco, México  
\*E-mail: [edurios@maiz.cucba.udg.mx](mailto:edurios@maiz.cucba.udg.mx)

*Recibido en enero de 2002; aceptado en diciembre de 2002*

#### Resumen

En la presente investigación se analiza la distribución y abundancia de 15 especies de moluscos escafópodos recolectados en la plataforma continental de los estados de Jalisco y Colima, México, en agosto de 1988. Los escafópodos fueron recolectados mediante una draga geológica tipo Van Veen en ocho estaciones de muestreo, a profundidades entre 23 y 75 metros en sustratos limo-arcilloso, limo con arena fina y arena media. Se identificó un total de 222 individuos pertenecientes a cuatro géneros y dos familias. La mayor abundancia se registró entre los 72 y 75 metros, en fondos limo-arcillosos. Ocho especies fueron las más abundantes, representando el 86% del total de individuos: *Fustiaria splendida* (21.3%), *Dentalium neohexagonum* (16.7%), *Cadulus perpusillus* (11.3%), *C. fusiformis* (10.4%), *D. sp.2* (8.6%), *C. albicomatus* (5.9%), *F. brevicornu* (5.9%) y *D. sp.1* (5.9%). La aplicación del análisis de ordenación de Bray-Curtis permitió que se definieran tres grupos que responden a la distribución y abundancia de las especies, y a la influencia de factores ambientales, entre los que destacan, la salinidad y la profundidad.

*Palabras clave:* escafópodos, moluscos, plataforma continental, Jalisco, Colima.

#### Abstract

The distribution and abundance of 15 scaphopod species collected in the continental shelf off Jalisco and Colima, Mexico, in August 1988 were analyzed. Scaphopods were collected with a geological Van Veen dredge in eight sampling stations at depths from 23 to 75 m in medium sand, sandy silt and silty clay substrata. A total of 222 individuals belonging to four genera and two families were recognized. The highest abundance was recorded between 72 and 75 m in silty clay substratum. The eight most abundant species represented 86% of all individuals: *Fustiaria splendida* (21.3%), *Dentalium neohexagonum* (16.7%), *Cadulus perpusillus* (11.3%), *C. fusiformis* (10.4%), *D. sp.2* (8.6%), *C. albicomatus* (5.9%), *F. brevicornu* (5.9%) and *D. sp.1* (5.9%). The Bray-Curtis ordination analysis allowed the recognition of three groups responding to the distribution and abundance of species, and to the influence of environmental factors of which salinity and depth were the most important in this analysis.

*Key words:* scaphopods, mollusks, continental shelf, Jalisco, Colima.

#### Introducción

Los trabajos orientados al conocimiento de la malacofauna bentónica del Pacífico mexicano son escasos, particularmente aquellos realizados en las zonas más profundas de la plataforma continental. La mayoría se refieren a gastrópodos y bivalvos, que son los dos grupos de moluscos de mayor

#### Introduction

The works directed to the knowledge of benthic malacofauna of the Mexican Pacific are scarce, particularly those carried out in the deepest zones of the continental shelf. Most of those studies refer to gastropods and bivalves, which are the two most diverse and economically important groups of

diversidad e importancia económica. Pocos estudios consideran a los escafópodos debido a que éste es un grupo inconspicuo, poco numeroso y, aparentemente, sin importancia para el hombre. En consecuencia, se sabe poco de las especies de la región y de sus características biológicas y ecológicas. Recientemente, Ríos-Jara *et al.* (1996, 2001), Pérez-Peña y Ríos-Jara (1998) y Esqueda *et al.* (2000) presentaron listados de estas investigaciones en los que es evidente la escasez de información sobre los escafópodos de la región.

Los escafópodos aparecen ocasionalmente en las muestras de sedimento marino ya que se trata de organismos excavadores semi-sésiles de tamaño pequeño cuyas conchas difícilmente llegan a medir más de 6 centímetros de longitud. Entre los estudios que reportan especies de escafópodos del Pacífico mexicano podemos citar los realizados por Dushane y Poorman (1967), Draper (1972), Poorman y Poorman (1978, 1988), Herrera-Peña (1981) y García-Cubas y Reguero-Reza (1987) en las costas de Baja California, Sonora y Sinaloa; Reguero-Reza y García-Cubas (1989) en Nayarit; y Lesser-Hiriart (1984) en Guerrero. En todos ellos el número de especies reportadas fue reducido (entre 1 y 9 especies), además de que pocos ofrecen estimaciones de sus abundancias. En el catálogo de moluscos de la colección de referencia de la Estación Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) de la UNAM están registradas siete especies de escafópodos del Golfo de California y Punta Mita, en Nayarit (Hendrickx y Toledano-Granados, 1994). Recientemente, Hendrickx y Brusca (2002) enlistan 20 especies de escafópodos para la región del Golfo de California.

La presente investigación formó parte de la Campaña Oceanográfica Atlas V, realizada en la plataforma continental de los estados de Jalisco y Colima, México. El principal objetivo de la misma fue caracterizar oceanográficamente esta importante región desde los puntos de vista biológico, geológico, físico y económico. Entre sus objetivos específicos destaca el conocimiento de los patrones de distribución y abundancia de los organismos bénticos con relación a diferentes factores ambientales.

Los moluscos constituyeron uno de los grupos más numerosos en las muestras obtenidas del fondo marino. Entre ellos, aunque menos abundantes que gastrópodos y bivalvos, los escafópodos fueron también analizados. El estudio de su distribución y abundancia respecto a la profundidad y tipo de sustrato representa una contribución importante al conocimiento de este grupo, particularmente en un área geográfica de gran interés y potencialidad hasta ahora carente de investigaciones sobre escafópodos.

## Área de estudio

La plataforma continental de los estados de Jalisco y Colima, localizada en la porción central del Pacífico mexicano, comprende desde los 20°40'N (límite entre Nayarit y Jalisco) hasta los 18°42'N (límite entre Colima y Michoacán), extendiéndose aproximadamente 364 km. La plataforma es angosta

mollusks. Few studies consider scaphopods due to the fact that they are an inconspicuous group, few in number and apparently without importance to humankind. Therefore, little is known about the species from the region and about their biological and ecological characteristics. Recently, Ríos-Jara *et al.* (1996, 2001), Pérez-Peña and Ríos-Jara (1998) and Esqueda *et al.* (2000) presented lists of researches where the lack of information about scaphopods in the region is evident.

Scaphopods appear occasionally in samples of marine sediment since they are small semi-sessile burrowing organisms with shells that hardly get longer than 6 centimeters. Among the studies that report scaphopod species from the Mexican Pacific can be cited those by Dushane and Poorman (1967); Draper (1972); Poorman and Poorman (1978, 1988), Herrera-Peña (1981) and García-Cubas and Reguero-Reza (1987) in the coasts of Baja California, Sonora and Sinaloa; Reguero-Reza and García-Cubas (1989), in Nayarit, and Lesser-Hiriart (1984), in Guerrero. In all of them the number of species is low (between 1 and 9) besides that few of them offer abundance estimations. In the catalog of mollusks from the reference collection of the *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* de la UNAM (ICMyL-UNAM) Mazatlan Station, seven species of scaphopods from the Gulf of California and Punta Mita, Nayarit are registered (Hendrickx and Toledano-Granados, 1994). Recently, Hendrickx and Brusca (2002) listed 20 species of scaphopods for the Gulf of California region.

The present research was part of the oceanographic expedition Atlas V carried out in the continental shelf off the Mexican states of Jalisco and Colima. The main objective of the expedition was to characterize oceanographically this important region, from the biological, geological, physical and economical points of view. Among the specific objectives highlights the knowledge of distribution and abundance patterns of benthic organisms, with relation to different environmental factors.

Mollusks constituted one of the most numerous groups in the samples obtained from the sea bottom and, among them, scaphopods were analyzed too despite being less abundant than gastropods and bivalves. The study about their distribution and abundance in respect of depth and substratum type represents an important contribution to the knowledge of this group, particularly in a geographical area of great interest and potentiality so far lacking of researchs about scaphopods.

## Study area

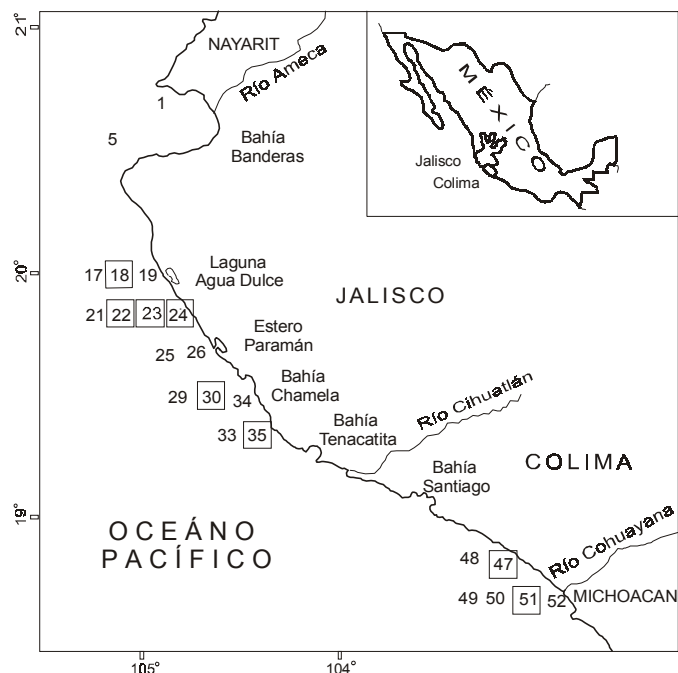
The continental shelf off the States of Jalisco and Colima, located in the central portion of the Mexican Pacific, extends from 20°40'N (limit between Nayarit and Jalisco) to 18°42'N (limit between Colima and Michoacán), with approximately 364 km. The shelf is narrow and mainly rocky with an area of about 5,315 km<sup>2</sup> (Ruíz-Durá, 1985). The coast of Jalisco and Colima characterizes by its irregular and mountainous orography, with frequent cliffs, bays and beaches of diverse length and conformation. In its north portion, the coast of Jalisco is abrupt, with intense marine erosion (Galavíz-Solís and

y mayormente rocosa con un área de cerca de 5,315 km<sup>2</sup> (Ruíz-Durá, 1985). La costa de Jalisco y Colima se caracteriza por su orografía irregular y montañosa, con frecuentes acantilados, bahías y playas de diversa longitud y conformación. En su porción norte, la costa de Jalisco es abrupta con erosión marina intensa (Galaviz-Solis y Gutiérrez-Estrada, 1978). Esta característica se refleja en el fondo marino donde están presentes zonas de topografía accidentada intercaladas con fondos relativamente planos (Guzmán-Arroyo y Flores-Rosas, 1988). El sistema hidrológico incluye ríos, lagunas costeras y estuarios. Un listado y la localización de estos cuerpos de agua pueden consultarse en el trabajo de Lankford (1977), además de ser mencionados por Pérez-Peña y Ríos-Jara (1998).

### Materiales y métodos

La campaña oceanográfica Atlas V se realizó en agosto de 1988 a bordo del B/O El Puma de la UNAM, en la plataforma continental de ambos estados. Se determinaron las características topográficas y la profundidad del fondo marino mediante registro continuo con ecosonda, además de la anchura de la plataforma continental y la posición de las isobatas de los 20, 40, 60, 80 y 120 metros. Se establecieron 13 transectos perpendiculares a la costa, a intervalos de 10' de latitud. En cada transecto se establecieron entre una y cuatro estaciones de muestreo, sumando 29 en total, sin embargo, únicamente en 25 se obtuvieron muestras de sedimento para el estudio de los organismos del bentos. La ubicación de las estaciones se determinó mediante geoposicionador satelital. La profundidad de las estaciones fue entre 19 y 142 metros (fig. 1). En cada estación se realizaron determinaciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH del agua adyacente al fondo. Las muestras de agua se obtuvieron con botellas tipo Niskin. La temperatura fue estimada utilizando termómetros de inversión con 0.1°C de precisión, instalados en las botellas. La salinidad se estimó con un salinómetro con precisión de 0.1 ppm, y la concentración de oxígeno disuelto mediante el método de Winkler. El pH fue determinado con un potenciómetro. Las muestras de sedimento fueron obtenidas con una draga geológica tipo Van Veen con capacidad de 20 L y 0.1 m<sup>2</sup> de superficie de muestreo. En cada estación de muestreo se realizaron uno o dos lances de draga hasta conseguir un mínimo de 15 L de sedimento por lance. El sedimento fue tamizado (10, 3 y 1 mm de luz de malla) y los moluscos separados y fijados en alcohol al 70%. Los escafópodos fueron identificados usando claves taxonómicas (Emerson, 1962; Abbott, 1974; Morris 1966; Keen, 1971) y posteriormente cuantificados. Se consideraron únicamente organismos vivos y aquellas conchas que permitían una identificación precisa. El tipo de sedimento marino de cada estación fue analizado en el Instituto de Geografía de la Universidad de Guadalajara en la ciudad de Guadalajara, México. Los escafópodos están depositados en la colección malacológica del Departamento de Ecología de la misma Universidad.

La abundancia de escafópodos fue expresada como número de individuos por cada 0.1 metros cuadrados (ind./0.1m<sup>2</sup>) y la



**Figura 1.** Costa de Jalisco y Colima. Los números señalan la localización de las estaciones de muestreo, los cuadros indican las estaciones en las que se recolectaron escafópodos.

**Figure 1.** Coast of Jalisco and Colima. Numbers indicate the location of the sampling stations; squares indicate the stations where scaphopods were collected.

Gutiérrez-Estrada, 1978). This characteristic is exhibited in the marine bottom where zones of accidental topography are mixed with relatively flat bottoms (Guzmán-Arroyo and Flores-Rosas, 1988). The hydrological system includes rivers, coastal lagoons and estuaries. A list and the location of these water bodies can be consulted in Lankford (1977), furthermore they are mentioned by Pérez-Peña and Ríos-Jara (1998).

### Materials and methods

The oceanographic expedition Atlas V was carried out in August 1988 on board of the R/V El Puma from the UNAM, in the continental shelf of both States. The topographic characteristics as well as the depth of the marine bottom were determined through a continuous record with an echo sounder; similarly, the width of the continental shelf and the position of the 20-, 40-, 60-, 80- and 120-m isobaths were established too. Thirteen transects perpendicular to the coast were set at intervals of 10' of latitude. Between one and four samplings were done in each transect for a total of 29. However, only in 25 stations sediment samples could be obtained for the study of benthic organisms. The location of the sampling sites was determined by satellite geopositioner. The depth of the stations ranged from 19–142 meters (fig. 1). Determinations of temperature, salinity, dissolved oxygen and near-bottom water pH were carried out at each station. Water samples were obtained with Niskin bottles. Temperature was estimated using

**Tabla 1.** Distribución y abundancia (ind./0.1 m<sup>2</sup>) de las especies de escafópodos recolectadas en el área de estudio.  
**Table 1.** Distribution and abundance (ind./0.1 m<sup>2</sup>) of the species of scaphopods collected in the study area.

Especie	Estación										Total de individuos	% Abundancia (Abundancia acumulativa)	% Frecuencia en las estaciones						
	24	47	35	23	51	18	30	22	LM	LA									
<i>Fustiaria splendida</i> (Sowerby, 1832)						7	38	2	47	21.3 (21.3)	37.5								
<i>Dentalium neohexagonum</i> Pilsbry y Sharp, 1897						6	29	2	37	16.7 (38.0)	37.5								
<i>Cadulus perpusillus</i> (Sowerby, 1832)	12	3	3				7		25	11.3 (49.3)	50.0								
<i>Cadulus fusciformis</i> Pilsbry y Sharp, 1898		5					18		23	10.4 (59.7)	25.0								
<i>Dentalium</i> sp. 2						1	8	10	19	8.6 (68.3)	37.5								
<i>Cadulus albicomatus</i> Dall, 1890		5	1				7		13	5.9 (74.2)	37.5								
<i>Fustiaria brevicornu</i> (Pilsbry y Sharp, 1897)	10						3		13	5.9 (80.1)	25.0								
<i>Dentalium</i> sp. 1				2	1		4		13	5.9 (86.0)	50.0								
<i>Dentalium oerstedii</i> Mörch, 1860						4	3	5	12	5.4 (91.4)	37.5								
<i>Siphonodentalium quadrifissatum</i> (Pilsbry y Sharp, 1898)		6		1					7	3.2 (94.6)	25.0								
<i>Fustiaria</i> sp.							2	2	4	1.8 (96.4)	25.0								
<i>Cadulus californicus</i> Pilsbry y Sharp, 1898							4		4	1.8 (98.2)	12.5								
<i>Dentalium tessragonum</i> Sowerby, 1832				2					2	0.9 (99.1)	12.5								
<i>Dentalium</i> sp. 3							1		1	0.5 (99.5)	12.5								
<i>Dentalium</i> sp. 4								1	1	0.5 (100)	12.5								
Total de individuos											22	19	4	5	1	24	124	22	221
Total de especies											2	4	2	3	1	5	12	6	15

AM = arena media, LM = limo arenoso, LA = limo arcilloso.

diversidad como el número de especies por estación. Se determinó también el porcentaje de abundancia, la abundancia acumulativa y el porcentaje de ocurrencia de cada especie en las estaciones de muestreo. Con el propósito de realizar inferencias válidas de una forma gráfica y numérica, utilizando los datos biológicos y ambientales, se tomó la decisión de utilizar un método de análisis multivariado, en este caso el propuesto por Bray y Curtis (1959).

## Resultados

### Tipos de sedimentos

El análisis sedimentológico indicó la presencia de tres tipos de sustrato principales en la plataforma continental de Jalisco y Colima: (1) limo-arcilloso (con la mayoría de las partículas < 0.020 mm), (2) limo-arenoso (0.020–0.015 mm), y (3) arena media (> 0.2 mm) (tabla 1). La mayor heterogeneidad de sedimentos se presentó en las estaciones someras (18–60 m). En las estaciones más profundas, el sedimento fue más homogéneo y con menor tamaño de partícula, siendo más frecuentes los limos de tipo arcilloso y arenoso.

### Distribución y abundancia de especies

Únicamente en ocho estaciones de muestreo se registraron moluscos escafópodos vivos (fig. 1, tabla 1), destacando la ausencia de estos organismos en las estaciones más profundas (> 75 m). Los escafópodos recolectados correspondieron a un total de 221 individuos pertenecientes a 15 especies, cuatro géneros y dos familias.

Ocho especies representaron el 86% del total de individuos: *Fustiaria splendida* (21.3%), *Dentalium neohexagonum* (16.7%), *Cadulus perpusillus* (11.3%), *C. fusiformis* (10.4%), *D. sp. 2* (8.6%), *C. albicomatus* (5.9%), *F. brevicornu* (5.9%) y *D. sp. 1* (5.9%).

Los escafópodos estuvieron distribuidos heterogéneamente en las estaciones de muestreo. Las mayores riqueza específica y abundancia se presentaron en las estaciones E18, E30 y E22 con profundidad intermedia (72–75 m); fue precisamente en estas tres estaciones donde se registró el 77% de la abundancia relativa y el 80% de la riqueza de especies. Además, ocho especies (53%) aparecieron exclusivamente en estas estaciones. La mayor abundancia y riqueza de especies se registró en la estación E30, situada frente a Bahía Chamela, Jalisco, con el 56% de los individuos (124) y el 80% de las especies (12) identificadas.

Todas las especies presentaron porcentajes bajos de ocurrencia en las estaciones. Sin embargo, al menos dos especies, *Cadulus perpusillus* y *Fustiaria brevicornu*, se recolectaron en un intervalo relativamente amplio de profundidad (23–73 m).

Los escafópodos se encontraron en los tres diferentes tipos de sustrato reconocidos en la zona de estudio, aunque sus mayores abundancia (57%) y riqueza de especies (80%) se

inversion thermometers with 0.1°C of precision that were installed in the bottles.

Salinity was estimated with a salinometer with precision of 0.1 ppt while the concentration of dissolved oxygen was evaluated by the Winkler method. The pH was determined with a pH meter. The sediment samples were obtained with a 20-L geological Van Veen dredge with 0.1-m<sup>2</sup> sampling surface. One or two shots of the dredge were done at each sampling station until getting, at least, a 15-L volume of sediment per shot. The sediment was sieved (10-, 3- and 1-mm mesh sizes) and mollusks were separated and fixed in 70% alcohol. Scaphopods were identified using taxonomic keys (Emerson, 1962; Abbott, 1974; Morris, 1966; Keen, 1971) and then quantified. Only alive organisms were considered as well as shells allowing their precise identification. The type of marine sediment of each station was analyzed in the Instituto de Geografía of the Universidad de Guadalajara in the city of Guadalajara, Mexico. The scaphopods were donated to the malacological collection of the Department of Ecology from the same institution.

The abundance of scaphopods was expressed as the number of individuals per each 0.1 squared meters (ind./0.1 m<sup>2</sup>) and the diversity as the number of species by station. The percentage of abundance, the accumulative abundance and the percentage of occurrence of each species in the sampling stations were calculated too. With the aim of doing valid inferences in a graphic and numeric way using the biological and environmental data, a multivariate analysis method was chosen, in this case that proposed by Bray and Curtis (1959).

## Results

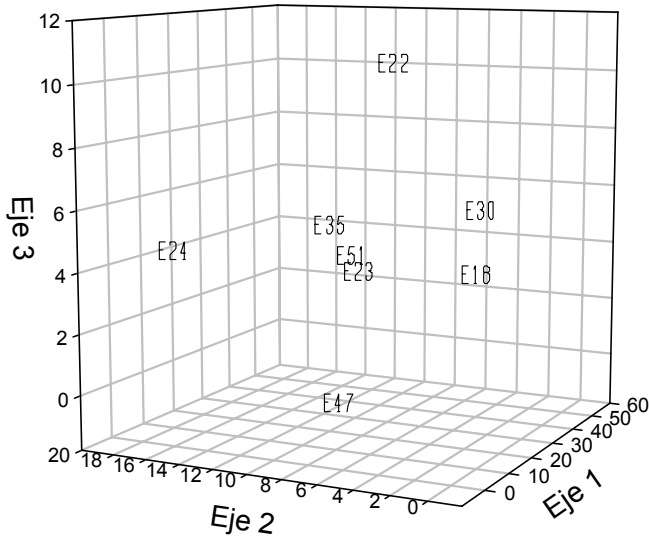
### Types of sediments

The analysis of sediments indicated the presence of three main types of substrata in the continental shelf of Jalisco and Colima: (1) silty clay (with most of particles < 0.020 mm), (2) sandy silt (0.020–0.015 mm), and (3) medium-grained sand (> 0.2 mm) (table 1). The highest heterogeneity of sediments was found in shallow stations (18–60 m). In deeper stations, the sediment was more homogeneous and with a smaller particle size, being more frequent the clay and sandy silts.

### Distribution and abundance of species

Alive scaphopods were recorded only at eight sampling stations (fig. 1, table 1), outstanding the absence of these organisms in deeper stations (> 75 m). The scaphopods collected were 221 individuals in total, belonging to 15 species, four genera and two families.

Eight species represented 86% of the total: *Fustiaria splendida* (21.3%), *Dentalium neohexagonum* (16.7%), *Cadulus perpusillus* (11.3%), *C. fusiformis* (10.4%), *D. sp. 2* (8.6%), *C. albicomatus* (5.9%), *F. brevicornu* (5.9%) and *D. sp. 1* (5.9%).



**Figura 2.** Ordenación de las estaciones en el espacio de especies relacionadas con las variables ambientales.

**Figure 2.** Ordination of the stations in the space of species related to environmental variables.

registró en limo-arcilla. La mayoría de las especies se encontró en más de un tipo de sedimento, indicando poca selectividad de sustrato.

Los valores de salinidad del agua adyacente al fondo marino en las ocho estaciones del área de estudio donde se recolectaron escafópodos vivos se mantuvieron en el intervalo de los 33–35 ppm y los de pH de 8.0–9.1. El oxígeno disuelto y la temperatura tuvieron mayor variabilidad entre las estaciones. Ambos factores ambientales tienden a disminuir sus valores hacia las estaciones más profundas; las temperaturas registradas estuvieron entre los 15 y 30°C, mientras que el oxígeno disuelto entre los 5.6 y 0.2 mg L<sup>-1</sup>.

#### Análisis de ordenación de Bray-Curtis

El análisis de ordenación de Bray-Curtis prevé la representación gráfica y algebraica de los ejes mayores de la variación de la composición específica o usa esa variación como recurso. Se seleccionaron los puntos o estaciones de referencia mediante el método de varianza-regresión utilizando como medida de distancia la euclidiana; para la obtención del gráfico, se realizó la proyección geométrica denominada *city-block* (Beals, 1984).

De acuerdo con este análisis, cada grupo de estaciones se posiciona en el espacio de especies respondiendo a distancias euclidianas calculadas, que corresponden a valores de disimilitud en un plano cartesiano (Krebs, 1998). Sin embargo, al correlacionar estas distancias con las variables ambientales, que en este caso no presentaron grandes intervalos de variación excepto por la profundidad, temperatura y oxígeno (tabla 1), se identifican tres entidades o grupos de estaciones con cierta similitud (fig. 2).

Scaphopods were distributed heterogeneously in the sampling stations. The highest species richness and abundance were recorded in stations E18, E30 and E22 with an intermediate depth (72–75 m). It was precisely in this three stations where 77% of the relative abundance was recorded, as well as 80% of the species richness. Moreover, eight species (53%) occurred exclusively in these stations. The highest abundance and species richness were recorded in station E30, located in front of Bahía Chamela, Jalisco, with 56% of the individuals (124) and 80% of the identified species (12).

All species showed low occurrence percentages in the stations. However, at least two species, *Cadulus poerpusillus* and *Fustiaria brevicornu*, were collected in a relatively wide depth interval (23–73 m).

Scaphopods were found in the three different types of substrata recognized for this study zone, although the highest abundance (57%) and species richness (80%) were found in silty clay substratum. Most of the species were found in more than one kind of sediment, indicating poor selectivity of substrate.

The salinity values in the water next to the marine bottom at each of the eight stations where living scaphopods were collected remained in the range of 33–35ppt and pH ranged from 8.0–9.1. Dissolved oxygen and temperature had the highest variability among stations. Both environmental factors tend to reduce their values towards deeper stations; the recorded temperatures were between 15 and 30°C, while dissolved oxygen was between 5.6 and 0.2 mg L<sup>-1</sup>.

#### Bray-Curtis ordination analysis

The Bray-Curtis ordination analysis foresees the graphic and algebraic representations of the major axes of the species composition's variation or uses it as a resource. The reference points or stations were chosen by the variance-regression method using the Euclidian one as a distance measure; the city-block geometric projection was used to obtain the plot (Beals, 1984).

According to this analysis, each group of stations is located in the species' space according to the estimated Euclidian distances that correspond to dissimilarity variables in a Cartesian plane (Krebs, 1998). However, when correlating these distances with environmental variables, which in this case did not have large variation intervals except for the depth, temperature and oxygen (table 1), three entities or groups of stations with certain similarity are identified (fig. 2).

The first entity is composed by station E24 and characterizes by being the shallowest and having the highest near-bottom water temperature. The dissolved oxygen is relatively high, while pH and salinity do not show any apparent trend. This first entity has low richness with 13.3% of the species (2) and an abundance of 22 scaphopods, representing 9.9% of all individuals.

**Tabla 2.** Coeficiente de determinación para la correlación entre las distancias de ordenación (variables ambientales) y la distancia en el espacio original n-dimensional (especies).

**Table 2.** Determination coefficient for the correlation between the ordination distances (environmental variables) and the distance in the original n-dimensional space (species).

Eje	Incremento	Acumulativo
1	0.934	0.934
2	0.042	0.976
3	0.014	0.990

La primera entidad está formada por la estación E24 y se caracteriza por ser la de menor profundidad y mayor temperatura en el agua adyacente al fondo. El oxígeno disuelto es relativamente alto, mientras que el pH y la salinidad no muestran tendencia aparente. Esta primera entidad presenta una baja riqueza con 13.3% de las especies (2) y una abundancia de 22 escafópodos, representando el 9.9% de todos los individuos.

El segundo agrupamiento corresponde a las estaciones E23, E35, E47 y E51, con un intervalo de profundidad que va de los 41m a los 59m, con aguas menos cálidas que la anterior y presentando variación en las concentraciones de oxígeno disuelto con 0.6 mg L<sup>-1</sup> en las estaciones E35 y E23, y 3.6 y 5.6 mg L<sup>-1</sup> en las estaciones E47 y E51 de manera respectiva. Este grupo tiene una abundancia baja y una riqueza de especies intermedia, ya que cuenta con 29 individuos que representan el 13.1% del total de individuos y 6 especies que representan un 40% del total de especies.

El tercer agrupamiento contiene las estaciones E22, E18 y E30, con profundidades mayores que van de los 72 a los 75m, bajas temperaturas de 15 a 16°C y bajas concentraciones de oxígeno de 0.2 a 0.3 mg L<sup>-1</sup>. Este grupo presenta la mayor riqueza, con 13 especies que representan un 86.6% del total, y una abundancia alta con 170 individuos que representan el 76.9% del total de individuos.

Finalmente, observamos que los valores del coeficiente de determinación correspondientes a cada eje explican el porcentaje de varianza de la ordenación de las estaciones, donde el eje 1 explica más del 90 % de tal variación (tabla 2).

En la tabla 3 se presentan los valores correspondientes al coeficiente de correlación de Pearson y Kendall para cada variable con respecto a los tres ejes. Se observa que la salinidad tiene el mayor valor de correlación con relación al eje 1. Enseguida, en la profundidad se observa el valor de correlación más alto con respecto al eje 2, para el eje 3 se observan valores bajos, y el valor más alto corresponde a la profundidad.

## Discusión

Las especies de escafópodos registradas en la costa de Jalisco y Colima tienen abundancia variable y distribución restringida. Algunas pueden considerarse abundantes como es el caso de *Fustiaria splendida* y *Dentalium neohexagonum*, mientras que otras como *Dentalium tesseragonum*, *D. sp. 3* y

**Tabla 3.** Valores de  $r^2$  obtenidos de la correlación de Pearson y Kendall para las variables ambientales con respecto a los ejes de ordenación.

**Table 3.** Values of  $r^2$  obtained from the Pearson and Kendall correlations for the environmental variables in respect to the ordination axes.

Variables ambientales	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Tipo de sustrato	.266	.012	.070
Profundidad	.166	.722	.262
Temperatura	.146	.462	.215
Oxígeno disuelto	.113	.365	.161
pH	.079	.407	.231
Salinidad	.618	.053	.006

The second cluster corresponds to stations E23, E35, E47 and E51, with a depth interval ranging from 41 to 59 m, with less warm waters than the first entity. This cluster shows variations in the dissolved oxygen concentrations, with 0.6 mg L<sup>-1</sup> at stations E35 and E23, and 3.6 and 5.6 mg L<sup>-1</sup> at stations E47 and E51, respectively. This group has low abundance and intermediate species richness, since it counts 29 individuals that represent 13.1% of the total and 6 species that represent 40% of the total.

The third cluster includes stations E22, E18 and E30, with depths ranging from 72 to 75 m, low temperatures (15–16°C) and low oxygen concentrations (0.2–0.3 mg L<sup>-1</sup>). This group has the highest richness with 13 species, that represents 86.6% of the total and a high abundance with 170 individuals that represent 76.9% of the total of individuals.

Finally, we observed that the determination coefficient values corresponding to each axis explain the variance percentage of the station's ordination in which axis 1 explains more than 90% of the variation (table 2).

In table 3 are shown the values of the Pearson and Kendall correlation coefficients for each variable in respect of the three axes. It is observed that the salinity has the highest correlation value with relation to the axis 1; then, the depth has the highest correlation value in respect of the axis 2. For the axis 3, low values were observed but the highest one belongs to depth.

## Discussion

The species of scaphopods recorded in the coast of Jalisco and Colima have variable abundance and limited distribution. Some species can be considered abundant, as is the case of *Fustiaria splendida* and *Dentalium neohexagonum*, while others as *Dentalium tesseragonum*, *D. sp. 3* and *D. sp. 4* were rare since only one or two individuals were recorded in the samples. Besides, scaphopods were an important component of the benthic malacological fauna obtained in the dredged samples; their abundance represented 65.6% of all mollusks,

*D. sp. 4*, fueron raras al registrarse sólo uno o dos individuos en las muestras. Además, los escafópodos fueron un componente importante de la fauna malacológica béntica obtenida en las muestras de draga; su abundancia representó el 65.6% de todos los moluscos, y el resto correspondió a gastrópodos y bivalvos (Pérez-Peña y Ríos Jara, 1998; López-Uriarte, 1989). Los escafópodos contribuyeron también de forma importante a la riqueza de especies de moluscos, con el 25.4% de las especies. Sin embargo, los escafópodos tuvieron una distribución más restringida que las otras clases de moluscos ya que fueron recolectados únicamente en ocho estaciones, mientras que gastrópodos y bivalvos se encontraron en 15 de las 29 estaciones realizadas.

Destaca la riqueza de especies de escafópodos para la zona de estudio ya que se identificaron 15 (60%) de las 25 especies reconocidas por Keen (1971) para las costas de América tropical occidental. Estas especies pertenecen a la Provincia Panámica, siendo frecuente encontrar registros de ellas desde California o el Golfo de California hasta Panamá, la costa de Ecuador o las Islas Galápagos (Keen, 1971; Abbott, 1974).

Los bajos porcentajes de ocurrencia en las estaciones sugieren que estas especies presentan distribuciones limitadas en la zona de estudio. Su distribución batimétrica fue también restringida (23–73m), aunque la abundancia y número de especies aumentó hacia las estaciones más profundas. La ausencia de organismos vivos en estaciones más profundas está relacionada con un marcado descenso en las concentraciones de oxígeno disuelto ( $< 0.8 \text{ mg L}^{-1}$ ), el cual fue registrado en aguas de profundidades mayores a 100 m en esta región (Guzmán-Arroyo y Flores-Rosas, 1988). Esta disminución en las concentraciones de oxígeno esta relacionada con el surgimiento de aguas profundas sobre el margen continental, lo que ocasiona una masa de agua casi anóxica sobre la plataforma continental media. Este fenómeno ha sido documentado en otras regiones del Pacífico mexicano, específicamente en la plataforma continental sur del Estado de Sinaloa (Hendrickx *et al.*, 1984). Allí se reporta una brusca caída en las concentraciones de oxígeno a partir de las isobatas de 60 a 65 m, donde empieza a manifestarse una zona de mínimo oxígeno durante los meses de abril, agosto y enero, hasta llegar a valores inferiores a  $0.75 \text{ ml L}^{-1}$  a partir de los 100 m de profundidad. En el Golfo de California, Parker (1964) informa sobre un marcado descenso en las concentraciones de oxígeno desde los 100–200 m hasta alcanzar concentraciones inferiores a  $0.5 \text{ ml L}^{-1}$ . Ambos trabajos señalan una disminución de la captura de invertebrados y peces en condiciones de oxigenación bajas por debajo de los 100 metros de profundidad.

De acuerdo a la representación gráfica de los agrupamientos observados mediante el método de Bray-Curtis, y a los datos presentados en la tabla 1, estos agrupamientos responden principalmente a la distribución de especies y su abundancia respecto a la salinidad y a la profundidad observada, dado que las demás variables no presentan variaciones que pudieran influir en el resultado final de este análisis de ordenación. Esto queda confirmado por el valor alto del coeficiente de

the rest corresponding to gastropods and bivalves (Pérez-Peña and Ríos-Jara, 1998; López-Uriarte, 1989). Scaphopods also contributed in an important way to the mollusk species richness, with 25.4% of the species. However, scaphopods had a more limited distribution than the other classes of mollusks since they were collected only in eight sites while gastropods and bivalves were in 15 out of the 29 stations done.

The scaphopod species richness outstands for the study area since there 15 (60%) were identified out of the 25 species recognized by Keen (1971) for the coasts of tropical West America. These species belong to the Panamic Province, being frequent their records from California or the Gulf of California to Panama, the coast of Ecuador or the Galapagos Islands (Keen, 1971; Abbott, 1974).

The low percentages of occurrence in the stations suggest that these species have limited distributions in the study zone. Their bathimetric distribution was limited too (23–73 m), although the abundance and number of species increased towards deeper stations. The absence of living organisms in deeper stations is related to a marked decrease in the dissolved oxygen concentrations ( $< 0.8 \text{ mg L}^{-1}$ ) which was recorded in waters deeper than 100 m in this region (Guzmán-Arroyo and Flores-Rosas, 1988). This reduction is related to upwelling on the continental margin that causes an almost anoxic water mass over the middle continental shelf. This has been documented in other regions of the Mexican Pacific, specifically in the southern continental shelf of Sinaloa (Hendrickx *et al.*, 1984) where an abrupt drop in the oxygen concentrations is reported. This drop is noticeable from the 60–65-m isobaths where a minimum oxygen zone occurs during April, August and January, reaching values lower than  $0.75 \text{ ml L}^{-1}$  below 100 m depth. In the Gulf of California, Parker (1964) informs about a marked drop in the oxygen concentrations from 100–200 m depth until reaching concentrations less than  $0.5 \text{ ml L}^{-1}$ . Both works point out a decrease in the catch of invertebrates and fishes in conditions of low oxygenation below 100 m depth.

According to the graphic representation of clusters observed in the Bray-Curtis analysis and to the data presented in table 1, clusters respond mainly to the distribution of species and to their relative abundance for the salinity and depth observed given that the rest of the variables do not have variations that can influence the final result of this analysis. This is confirmed by the high determination coefficient value for the axis 1 (0.934) (table 2). This analysis does not identify the oxygen as an important factor in the shallowest zone ( $< 75 \text{ m}$  depth) of the continental shelf of Jalisco and Colima. However, the absence of living scaphopods in deeper sampling stations indicates that this factor limits the bathimetric distribution of these organisms.

In the entity formed by station 24, two species, *Cadulus perpusillus* and *Fustinaria brevicornu*, are present having both



determinación para el eje 1 (0.934; tabla 2). Este análisis no identifica al oxígeno como factor importante en la zona más somera (inferior a los 75 m de profundidad) de la plataforma continental de Jalisco y Colima. Sin embargo, la ausencia de escafópodos vivos, en las estaciones de muestreo con mayor profundidad, indica que este factor limita la distribución batimétrica de estos organismos.

En la entidad conformada por la estación 24 están presentes 2 especies, *Cadulus perpusillus* y *Fustinaria brevicornu*, que han sido ambas registradas a mucho mayores profundidades (> 1000 m; Keen, 1971). Dentro del segundo grupo (E47, E35, E23 y E52) la especie más abundante es *Siphonodentalium quadrifissatum* con 7 individuos, seguida por dos especies más, *Cadulus perpusillu* y *C. albicornatus*, con seis individuos cada una. En este grupo la distribución de las especies es muy heterogénea. De acuerdo con los valores del coeficiente de correlación de Pearson y Kendall, la variable ambiental más correlacionada con el eje 1 es la salinidad. Esto coincide con lo antes comentado sobre la importante influencia de la salinidad en los agrupamientos observados. Sin embargo, la profundidad es la variable con el valor de correlación más alto en los ejes 2 y 3, por lo que ambas variables se relacionan con el ordenamiento espacial de las estaciones, correlacionada a su vez con la presencia y distribución de las especies. La presencia de estas especies se corrobora con el intervalo de distribución en profundidad reportado por Keen (1971).

Finalmente, en el tercer grupo, conformado por las estaciones E18, E30 y E22, la especie más abundante es *Fustinaria splendida* con 47 individuos, seguida por *Dentalium neohexagonum* con 37, *Dentalium* sp. con 19, y *D. oerstedii* con 12 individuos. La distribución de las especies de este grupo es más homogénea pues las cuatro están presentes en las estaciones que conforman este grupo. La presencia de las especies coincide con el intervalo de distribución en profundidad reportado por Keen (1971).

En diversos trabajos citados por Ríos-Jara *et al.* (1996), Pérez-Peña y Ríos-Jara (1998) y Esqueda *et al.* (2000), es evidente la escasa información sobre los escafópodos de la región, constatándose que no existe registro alguno de estas especies para la costa de Jalisco y Colima. La carencia de información se evidencia en los vacíos presentes en la extensión de distribución de las especies. Es necesario realizar más recolectas que permitan conocer la biodiversidad, abundancia y distribución de las especies escafópodos del Pacífico mexicano empleando metodologías apropiadas para la revisión microscópica de los sedimentos marinos. Esto es especialmente importante para el estudio de las especies infaunales o semi-infaunales, debido a que los instrumentos de muestreo tienen eficiencia y selectividad limitadas.

### Agradecimientos

La campaña oceanográfica Atlas V fue realizada con el apoyo técnico y financiero de la Universidad de Guadalajara (UdeG) y la Universidad Nacional Autónoma de México, y

been recorded at deeper zones (> 100 m; Keen, 1971). Within the second group (E47, E35, E23 and E52) the most abundant species is *Siphonodentalium quadrifissatum*, with 7 individuals, followed by two species, *Cadulus perpusillu* and *C. albicornatus*, with six individuals each. In this group the distribution of species is quite heterogeneous. According to the values of the Pearson's and Kendall's correlation coefficients, the environmental variable that most correlated with the axis 1 is salinity. This coincides with the previously discussed about the important influence of salinity on the clusters observed. However, depth is the variable that had the highest correlation value on axes 2 and 3, therefore both variables correlate with the species' spatial ordination which is correlated in its turn with the presence and distribution of species. The presence of these species is corroborated with the deep depth distribution interval reported by Keen (1971).

Finally, in the third group formed by stations E18, E30 and E22, the most abundant species is *Fustinaria splendida* with 47 individuals, followed by *Dentalium neohexagonum* with 37, *Dentalium* sp. with 19 and *D. oerstedii* with 12 individuals. The distribution of the species in this group is more homogeneous given the presence of the four of them in the stations forming this group. The presence of these species coincides with the deep depth distribution interval reported by Keen (1971).

In several works cited by Ríos-Jara *et al.* (1996), Pérez-Peña and Ríos-Jara (1998) and Esqueda *et al.* (2000) the scarcity of information about scaphopods in the region is evident, remarking the lack of a scaphopod species record for the coast of Jalisco and Colima which is also evident in the gaps that exist in the extent of the distribution of species. It is necessary to do more collections that allow knowing the biodiversity, abundance and distribution of the species of scaphopods from the Mexican Pacific, using appropriate technologies for the microscopic evaluation of marine sediments. This is especially important for the study of infaunal or semi-infaunal species, due to the fact that sampling instruments have limited efficiency and selectivity.

### Acknowledgements

The oceanographic cruise Atlas V was done with the technical and financial support from the Universidad de Guadalajara (U de G) and the Universidad Nacional Autónoma de México, with Manuel Guzmán Arroyo in charge. We thank the support by Celina Castellanos, Lucía Lizárraga and Samuel Rentería during the laboratory work with the scaphopods and to David Barrera (Institute of Geography, U de G) for the determination of the type of substrata from the study area.

English translation by Adrián R. López-González.

estuvo a cargo de Manuel Guzmán Arroyo. Agradecemos el apoyo de Celina Castellanos, Lucía Lizárraga y Samuel Rentería durante el trabajo de laboratorio con los escafópodos y a David Barrera (Instituto de Geografía, U de G) por la determinación de los tipos de sustrato del área de estudio.

## Referencias

- Abbott, R.T. (1974). *American seashells*. Van Nostrand Reinhold Co. New York, N.Y. 663 pp.
- Beals, W.E. (1984). *Advances in ecological research*, Academic Press, Inc. vol. 14: 1–47.
- Draper, B.C. (1972). Checklist of shells found in scrapings from *Spondylus princeps* taken at a depth of 40 feet, southeast of Santa Rosalía, Baja California, 1969. *The Festivus*, 3(4): 5–7.
- Dushane, H. and Poorman, R. (1967). A checklist of mollusks for Guaymas, Sonora, México. *The Veliger*, 9(4): 413–422.
- Emerson, W.K. (1962). A classification of the scaphopod mollusks. *J. Paleontology* 36(3): 461–482.
- Esqueda, M.C., Ríos-Jara, E., Michel-Morfin, J.E. and Landa-Jaime, V. (2000). The vertical distribution and abundance of gastropods and bivalves from rocky beaches of Cuastecomate Bay, Jalisco. *Rev. Biol. Trop.*, 48(4): 765–775.
- Galavíz-Solis, A. y Gutiérrez-Estrada, M. (1978). Características costeras y litorales de Nayarit y norte de Jalisco, México. *Memorias del VI Congreso Nacional de Oceanografía*. Ensenada, Baja California, México. pp. 46–54.
- García-Cubas, A., Castillo-Rodríguez, Z.G., Álvarez-Herrera, A. y Muñoz Chaguín, M. (1986). Moluscos comestibles de las costas de México. *Memorias de la III Reunión Nacional de Malacología y Conquiliología*. Monterrey, N.L., México. pp. 43–56.
- García-Cubas, A. y Reguero-Reza, M. (1987). Caracterización Ecológica de moluscos en lagunas costeras de Sonora y Sinaloa. *Memorias de la III Reunión Nacional de Malacología y Conquiliología*. Sociedad Mexicana de Malacología y Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Nuevo León. 546 pp.
- Guerrero-Pelcastre, V.M. (1986). Sistemática y ecología de los moluscos bentónicos del Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Plantel Zaragoza (U.N.A.M.). México, D.F. 186 pp.
- Guzmán-Arroyo, M. y Flores-Rosas, E. (1988). Campaña Oceanográfica “Atlas V” Jalisco-Colima: Informe de actividades del Instituto de Limnología, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México. 9 pp.
- Hendrickx, M.E. y Brusca, R.C. (2002). Mollusca. p. 159–273. In: M.E. Hendrickx y R.C. Brusca (eds.), *Distributional checklist of the macrofauna of the Gulf of California*, México. Vol. 1: 410 p.
- Hendrickx, M.E., Vander Heiden, M.N. y Toledano-Granados, A. (1984). Resultados de las Campañas SIPCO (sur de Sinaloa, México) a bordo del B/O “El Puma”: Hidrología y composición de las capturas efectuadas en los arrastres. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol.*, U.N.A.M. 2(2): 107–122.
- Hendrickx, M.E. y Toledano-Granados, A. (1994). Catálogo de moluscos. Colección de referencia de la Estación Mazatlán, ICML, UNAM. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. México. 71 pp.
- Herrera-Peña, J. (1981). Moluscos de la región noroeste del Golfo de California. *Dir. Gral. Ocean. y Señal. Mar.*, Secretaría de Marina. México D.F. 35 pp.
- Keen, M.A. (1971). *Sea Shells of Tropical Western America*. Stanford Univ. Press. Stanford, California. 1064 pp.
- Krebs J.C. (1998) *Ecological Methodology*. 2nd Ed. Benjamin/Cummings. 620 pp.
- Lankford, R.R. (1977). Coastal lagoons of México: their origin and classification. *Mar. Geologist.*, 182–215.
- Lesser-Hiriart, H. (1984). *Prospección sistemática y ecológica de los moluscos bentónicos de la plataforma continental del Estado de Guerrero, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México, D.F. 107 pp.
- Morris, P.A. (1966). *A field guide to shells of the Pacific coast and Hawaii*. Houghton Mifflin Co. Boston, Massachusetts. 297 pp.
- Parker, R.H. (1964) *Zoogeography and ecology of macroinvertebrates, particularly mollusks, in the Gulf of California and the continental slope off México*. *Vidensk. Medd. Fra. Dansk. Naturhist. Foren.* 126: 1–178.
- Pérez-Peña, M. and Ríos-Jara, E. (1998). Gastropod mollusks from the continental shelf off Jalisco and Colima, México: species collected with a trawling net. *Ciencias Marinas* 24(4): 425–442.
- Poorman, F.L. and Poorman, L.H. (1978). Additional molluscan records from Bahía de Los Angeles, Baja California Norte. *The Veliger*, 20(4): 369–374.
- Poorman, F. L. and Poorman, L.H. (1988). A report of the molluscan species in the San Carlos rectangle, Sonora, México, collected by Forrest L. and Leroy H. Poorman from December 1953 to December 1983. *The Festivus*, XX(6): 47–63.
- Ríos-Jara, E., Pérez-Peña, M., Lizárraga-Chávez, L. and Michel-Morfin, J.E. (1996). Additional gastropod records from the continental shelf off Jalisco and Colima, México. *Ciencias Marinas* 22(3): 347–359.
- Ríos-Jara, E., Pérez-Peña, M., Beas-Luna, R., López-Urriarte, E. and Juárez-Carrillo, E. (2001). Gastropods and bivalves of commercial interest from the continental shelf of Jalisco and Colima, México. *Rev. Biol. Trop.*, 49(3): 785–789.
- Reguero-Reza, M. y García-Cubas, A. (1989). Moluscos de la plataforma continental de Nayarit: sistemática y ecología (cuatro campañas oceanográficas). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, U.N.A.M. 16(1): 33–58.
- Ruiz-Durá, M.F. (1985). *Recursos pesqueros de las costas de México*. Limusa. México, D.F. 135 pp.