

**EFFECTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES SOBRE  
LA MACROFAUNA BENTONICA DE PLAYAS ARENOSAS  
EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS**

**EFFECTS OF WASTE WATERS ON BENTHIC MACROFAUNA  
OF SANDY BEACHES IN TODOS SANTOS BAY**

Luis Clemente Jiménez Pérez  
Fernando Molina Peralta  
Esperanza Núñez Fernández

Secretaría de Marina  
Dirección de Oceanografía Naval  
Estación de Investigaciones Oceanográficas  
Vicente Guerrero 133, Fracc. Bahía  
Ensenada, Baja California, México

*Recibido en agosto de 1990; aceptado en mayo de 1991*

**RESUMEN**

El estudio estacional de la macrofauna bentónica de la Bahía de Todos Santos muestra los efectos de las descargas de aguas residuales sobre las comunidades bentónicas de la zona entremareas. El análisis de grupos de los datos separa la fauna en dos principales asociaciones: una formada por las poblaciones que habitan en las playas de la dársena portuaria y otra formada por las poblaciones que habitan en las playas municipales menos afectadas por la actividad antropogénica. La localización de una zona abiótica en las cercanías del arroyo "El Gallo" indica el impacto de las aguas residuales; sin embargo, la detección de algunos organismos de *Donax gouldi* (Mollusca: Bivalvia) y *Scolelepis squamata* (Annelida: Polychaeta) en la zona afectada durante el invierno y primavera muestra el inicio de un proceso de recuperación, que sugiere que el daño ecológico puede ser eliminado si se suspenden los vertimientos de aguas residuales.

**ABSTRACT**

The seasonal study of the benthic macrofauna in Todos Santos Bay shows the effects of waste waters on the benthic communities of the intertidal zone. The analysis of the data separates the fauna into two main associations: one made up of the populations that inhabit the beaches of the harbour and another made up of the populations that inhabit the municipal beaches which are less affected by anthropogenic activity. The location of an abiotic zone near the "El Gallo" stream indicates the impact of waste waters. However, the detection of some organisms of *Donax gouldi* (Mollusca: Bivalvia) and *Scolelepis squamata* (Annelida: Polychaeta) in the affected zone during winter and spring shows the beginning of a process of recuperation, indicating that the ecological damage can be eliminated if the discharge of waste waters is suspended.

**INTRODUCCION**

Las playas de la Bahía de Todos Santos constituyen un espacio valioso para el desarrollo de las actividades turísticas y recreativas de la población actual y futura del puerto de Ensenada; además, desempeñan un papel

**INTRODUCTION**

The beaches of Todos Santos Bay are important for the development of tourism and recreational activities of the present and future population of the port of Ensenada. They also play an important role in the life

importante en los ciclos de vida de muchas especies marinas de crustáceos, poliquetos y moluscos que habitan esta franja litoral y proporcionan alimento para una variedad de aves playeras.

En la actualidad, el acelerado crecimiento poblacional e industrial del puerto amenaza las condiciones naturales de la zona costera. Cada día aproximadamente 50,000 m<sup>3</sup> de aguas residuales son vertidas en diferentes puntos de la Bahía de Todos Santos; sin embargo, a pesar de la magnitud de estas descargas y su alarmante incremento en los últimos años, se conoce poco de los efectos sobre las comunidades marinas, ya que sólo se han publicado tres estudios sobre este tema (Lizárraga-Partida, 1974; Donath-Hernández y Loya-Salinas, 1989; Encalada-Fleites y Millán-Núñez, 1990).

La principal descarga de aguas residuales en términos de volumen es el efluente del arroyo "El Gallo", que vierte diariamente 23,000 m<sup>3</sup> de aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica y bacterias coliformes fecales sobre las playas. Actualmente se están investigando los efectos de esta descarga sobre la calidad del agua de las playas (Morales-Chávez *et al.*, en prensa), pero su impacto sobre las comunidades bentónicas de la zona intermareal aún no ha sido evaluado.

El objetivo de este estudio es identificar los efectos de las aguas residuales sobre los patrones de distribución y abundancia de las comunidades bentónicas de la zona intermareal de las playas arenosas de la Bahía de Todos Santos.

## AREA DE ESTUDIO

La Bahía de Todos Santos es un cuerpo de agua semi-protégido de más de 116 km<sup>2</sup> con un litoral de casi 50 km, del cual aproximadamente el 40% está constituido por playas de arena de pendiente suave (< 10%). Está ubicada en la costa noroccidental de la península de Baja California (México), aproximadamente a 100 km de la frontera México-Estados Unidos, entre los 31°40' y 31°56' de latitud Norte y los 116°36' y 116°50' de longitud Oeste (Secretaría de Marina, 1974).

Los vientos prevalecientes generalmente proceden del noroeste y fluyen paralelos a la línea de costa con un promedio que varía entre

cycles of several marine species of crustaceans, polychaetes and molluscs that live in this littoral zone and provide food for a variety of birds.

At present, the accelerated industrial and population growth of Ensenada threatens the natural condition of the coastal zone. Approximately 50,000 m<sup>3</sup> of waste waters are discharged into Todos Santos Bay every day. However, despite the magnitude of these discharges and their alarming increase in the last few years, little is known about the effects on the marine communities, since only three studies have been published on this subject (Lizárraga-Partida, 1974; Donath-Hernández and Loya-Salinas, 1989; Encalada-Fleites and Millán-Núñez, 1990).

The main effluent in terms of volume is the "El Gallo" stream, which discharges daily 23,000 m<sup>3</sup> of waste waters with a high content of organic matter and faecal coliform bacteria along the beaches. The effect of this effluent on the quality of the water of the beaches is under study at the present time (Morales-Chávez *et al.*, in press), but its impact on the benthic communities of the intertidal zone has not yet been evaluated.

The aim of this study is to identify the effects of waste waters on the abundance and distribution patterns of the benthic communities in the intertidal zone of the sandy beaches of Todos Santos Bay.

## STUDY AREA

Todos Santos Bay is a semi-protected body of water of more than 116 km<sup>2</sup> with a littoral of almost 50 km, of which approximately 40% is composed of sandy beaches with soft slopes (< 10%). It is located on the northwestern coast of the peninsula of Baja California (Mexico), approximately 100 km from the Mexico-United States border, between 31°40' and 31°56' N latitude and 116°36' and 116°50' W longitude (Secretaría de Marina, 1974).

Northwesterly winds predominate, moving parallel to the coastline with an average speed of 9.3 and 18.3 km/h (USA Coast Guard Pilot #7, 1975). Depending on the orientation of the coastline, the winds circulate locally following the topography. Recent studies on the circulation pattern of the coastal waters indicate the presence of two littoral currents

9.3 y 18.3 km/h (USA Coast Guard Pilot #7, 1975); dependiendo de la orientación de la línea de costa, los vientos giran localmente siguiendo la topografía. Estudios recientes del patrón de circulación de las aguas costeras indican la existencia de dos corrientes litorales que fluyen paralelas a la línea de costa en sentido contrario, y convergen en las proximidades de la desembocadura del arroyo "El Gallo" para posteriormente fluir hacia mar abierto (Aranda-Manteca, 1983; Durazo-Arvizu, 1983).

## MATERIALES Y METODOS

Se colectaron 380 muestras en la zona entremareas de la Bahía de Todos Santos, entre el 6 de octubre de 1983 y el 29 de agosto de 1984, en diez transectos perpendiculares a la línea de costa (Fig. 1).

Para caracterizar el impacto ambiental producido por la contaminación de las aguas del puerto de Ensenada, se situaron cuatro transectos en las playas de la rada portuaria, mientras que para evaluar los efectos de la descarga del arroyo "El Gallo" se ubicaron seis transectos en las playas municipales: dos cerca de la descarga del arroyo "El Gallo" y los cuatro restantes en la región denominada "Playa Hermosa" localizada hacia el sur de la bahía, más lejos del punto del disturbio.

En cada transecto se colectaron muestras de arena a cada 4 m, entre la marca de la marea alta anterior y la marea más baja, hasta donde la amplitud de la marea lo permitió. Para la toma de muestras se utilizaron cuadrantes de 20 cm de lado, y se extrajo el material hasta una profundidad de 25 cm. El material colectado fue cernido con agua de mar *in situ*, con tamices de una luz de malla de 1 mm, recolectado con pinzas y depositado en bolsas de polietileno de cierre hermético, previamente etiquetadas; a cada bolsa se le agregó una solución de formol al 4% para su preservación.

En forma simultánea al muestreo biológico, se realizó el levantamiento de los perfiles de playa para situar los censos dentro del gradiente ambiental. La ubicación de cada transecto fue establecida tomando como base las mojoneras de los programas de transporte litoral del Centro de Investigaciones Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y de las Secretarías de Marina y de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

that flow along the coastline in an opposite direction, converging near the outfall of the "El Gallo" stream, and then flowing out to sea (Aranda-Manteca, 1983; Durazo-Arvizu, 1983).

## MATERIALS AND METHODS

Between 6 October, 1983 and 29 August, 1984, 380 samples were collected from the intertidal zone, in ten transects perpendicular to the coastline (Fig. 1).

To characterize the environmental impact caused by the contamination of the waters of the port of Ensenada, four transects were located along the beaches of the harbour. To evaluate the effect of the waste waters discharged by "El Gallo", six transects were located along the municipal beaches: two near the outfall of the "El Gallo" stream and four in the region called "Playa Hermosa", to the south of the bay farther from the effluent.

In each transect, samples of sand were collected every 4 m, between the mark of the previous high tide and the lowest tide. For the taking of samples, 20 cm-side quadrants were used, and the material was extracted to a depth of 25 cm. The material was sieved with seawater *in situ*, through 1 mm-mesh sieves, and deposited in previously labeled polyethylene bags with hermetic seal. A 4% formol solution was added to each bag for its preservation.

At the same time as the biological sampling, a survey of the beach profiles was carried out in order to situate the census within the environmental gradient. The location of each transect was established based on the landmarks of the littoral transport projects of the Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) and of the Secretaría de Marina and Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

The macrofauna collected was separated into different taxonomic groups and placed in 5 ml glass bottles. The organisms were identified and counted with compound microscopes, using the identification keys of Hartman (1968, 1969), Allen (1977), Fauchald (1977) and Smith and Carlton (1975). The specimens of bivalve molluscs collected were identified and the length of their largest and smallest diameter was measured with a high precision vernier.

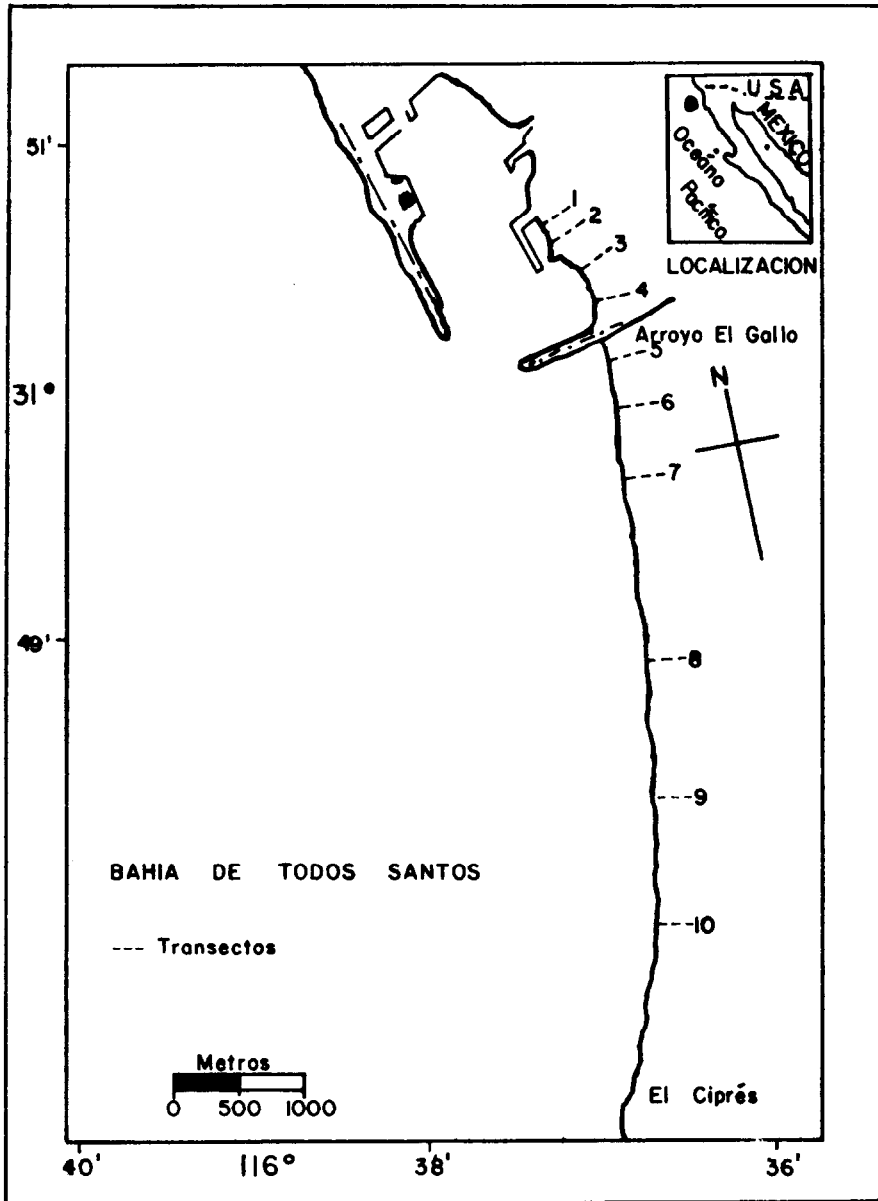


Figura 1. Localización de los transectos muestreados.  
Figure 1. Location of the transects.

La macrofauna recolectada fue separada en diferentes grupos taxonómicos y depositada en recipientes de vidrio de 5 ml; la identificación y conteo de los organismos se realizó con la ayuda de microscopios compuestos, utilizando las llaves de identificación de Hartman (1968, 1969), Allen (1977), Fauchald (1977) y Smith y Carlton (1975). Los especímenes de moluscos bivalvos que se colectaron se identificaron y se les midió la longitud tanto de su diámetro mayor como menor con un vernier de precisión de décimas de milímetro.

Para caracterizar las poblaciones por sus niveles de abundancia, las especies registradas en esta investigación se separaron en tres categorías; se consideraron especies abundantes aquellas que presentaron valores mayores de 100 ind/m<sup>2</sup>, comunes las que fueron capturadas frecuentemente, pero con valores de abundancia que variaron entre 10 y 100 ind/m<sup>2</sup>, y especies raras aquellas que se detectaron ocasionalmente y en densidades menores de 10 ind/m<sup>2</sup>.

Los efectos de la contaminación sobre las comunidades se determinaron mediante el análisis de los patrones de distribución espacial tanto vertical como a lo largo de la costa; asimismo, se determinaron las variaciones espacio-temporales de la estructura de las comunidades utilizando la técnica de análisis de grupos descrita por Davis (1973). Los efectos del rigor ambiental sobre las comunidades de ambos sistemas (playas de la dársena y playas municipales), se determinaron calculando las curvas de rarefacción utilizando la técnica de Sanders (1968).

Para conocer la variación estacional de la estructura de las comunidades, se calculó la diversidad de especies a través del índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y el complemento del índice de Simpson ( $1-\lambda$ ); el grado de distribución entre las especies fue estimado usando la  $J'$  de Pielou (Pielou, 1969). Los niveles de significancia de la variabilidad espacial y temporal de los principales grupos taxonómicos se estimó mediante el análisis de varianza de Friedman (Siegel, 1980).

## RESULTADOS

Se colectaron 10,162 organismos pertenecientes a 22 especies, once de las cuales fueron de la clase Polychaeta (Annelida), seis

In order to characterize the populations by their levels of abundance, the species recorded in this study were separated into three categories: abundant species were those with values higher than 100 ind/m<sup>2</sup>, common species those found frequently but with abundance values that varied between 10 and 100 ind/m<sup>2</sup>, and rare species those that were detected occasionally and with values lower than 10 ind/m<sup>2</sup>.

The effect of pollution on the communities was determined by the analysis of the patterns of spatial distribution, both vertical and along the coast. The spatiotemporal variations of the communities were determined based on the group analysis technique described by Davis (1973). The environmental effect on the communities at both sites (harbour and municipal beaches) was determined calculating the rarefaction curves, using the technique of Sanders (1968).

To determine the seasonal variation of the structure of the communities, species diversity was calculated with the Shannon-Wiener ( $H'$ ) index and the complement of Simpson's index ( $1-\lambda$ ). The degree of distribution among the species was estimated using Pielou's  $J'$  (Pielou, 1969). The significance levels of the spatial and temporal variability of the main taxonomic groups was calculated by means of the Friedman analysis of variance (Siegel, 1980).

## RESULTS

A total of 10,162 organisms were collected, belonging to 22 species of which 11 were polychaetes (Annelida), six crustaceans (Arthropoda), four pelecypods (Mollusca), one pycnogonoid, and another of the phylum Nemertea (Table 1). In terms of abundance, the bivalve molluscs were the most abundant with 63.34%, followed by the polychaetes and crustaceans with 31.54% and 4.32%, respectively; the pycnogonoid and nemerteans together only represented 0.80%.

The analysis of spatial distribution along the coast shows that the highest abundance of organisms was detected with greater frequency in transects 8, 9 and 10, farthest from the effluent (Fig. 2). An area lacking macroscopic life was observed in transect 5, located near the outfall of "El Gallo" (Fig. 2a). The colonization of this area was recorded the

de la clase Crustacea (Arthropoda), cuatro de la clase Pelecypoda (Mollusca), una de la clase Pycnogonida, y la otra del phylum Nemertea (Tabla 1). En términos de abundancias, los moluscos bivalvos fueron los organismos más abundantes con el 63.34%, mientras que poliquetos y crustáceos le siguieron con porcentajes de 31.54 y 4.32%, respectivamente; la abundancia de pignogónidos y nemertinos representó en conjunto sólo el 0.80%.

El análisis de la distribución espacial a lo largo de la costa muestra que la mayor abundancia de organismos se detectó con mayor frecuencia en los transectos 8, 9 y 10, ubicados más lejos de la descarga de aguas residuales (Fig. 2); asimismo, se observó una zona carente de vida macroscópica en el transecto 5, localizado en las cercanías del effluente del arroyo "El Gallo" (Fig. 2a). Durante el invierno siguiente se registró la colonización de esa zona por parte de poblaciones de la almeja frijol (*Donax gouldi*) y del poliqueto *Scolecopsis squamata* (Fig. 2b), los cuales incrementaron sus abundancias durante la primavera (Fig. 2c).

La distribución vertical del bentos global a través del ciclo anual muestra que la mayor abundancia de organismos se registró en los niveles medio e inferior de la zona entremareas; tal es el caso de los transectos 9 y 10, tanto del muestreo de otoño como del de invierno (Fig. 2a, b), así como de los transectos 3 y 4 de la primavera (Fig. 2c) y 8 y 10 del verano (Fig. 2d).

El resultado de los análisis de grupos muestra la diferenciación de dos asociaciones faunísticas que persisten a lo largo del ciclo anual estudiado (Fig. 3). El primero (A), formado por los organismos que habitan las playas ubicadas dentro de la dársena portuaria (transectos 1 al 4), incluyendo aquellos que colonizan la zona de influencia de la descarga de aguas residuales durante el invierno (transecto 5), y el segundo (B), formado por los organismos que generalmente habitan las playas municipales más alejadas del disturbio (transectos 6 al 10).

En los resultados obtenidos de los cálculos de las curvas de rarefacción se puede observar la existencia de cambios temporales importantes en la estructura de las comunidades, que reflejan las variaciones relativas del rigor ambiental; durante los muestreos de otoño e invierno las curvas de los grupos de las playas de la dársena y las playas municipales

following winter by populations of the bean clam (*Donax gouldi*) and the polychaete *Scolecopsis squamata* (Fig. 2b), increasing in abundance during the spring (Fig. 2c).

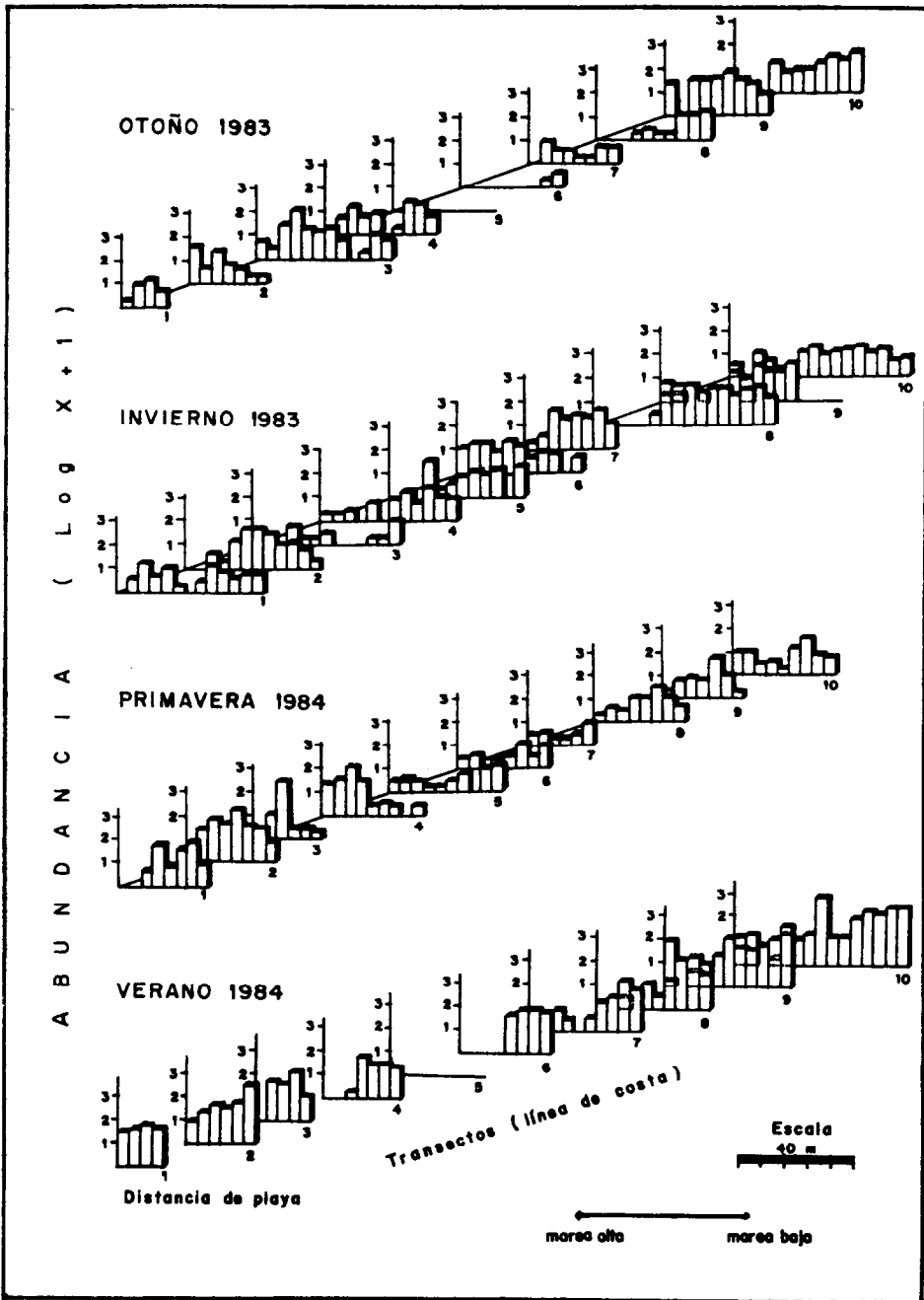
The vertical distribution of all the benthos throughout the annual cycle shows that the highest abundance of organisms was recorded in the middle and low intertidal zones. This is the case for transects 9 and 10 in the autumn and winter samplings (Fig. 2a, b), for transects 3 and 4 in spring (Fig. 2c) and for transects 8 and 10 in summer (Fig. 2d).

The result of the group analysis shows the differentiation of two faunistic associations that occur throughout the annual cycle studied (Fig. 3). The first one (A), is made up of organisms that inhabit the beaches located within the harbour (transects 1 to 4), including those that colonize the area affected by waste waters during the winter (transect 5). The second one (B), is made up of organisms that generally inhabit the municipal beaches farther from the effluent (transects 6 to 10).

In the results obtained from the calculation of the rarefaction curves, the existence of important seasonal changes in the community structures can be observed. The curves for the groups from the harbour and municipal beaches are similar for the autumn and winter samplings (Fig. 4a, b). However, the behaviour is different for the following spring and summer, since the curve for the beaches in the harbour is more level in spring (Fig. 4c) and more elevated in summer (Fig. 4d), relative to the curves for the municipal beaches.

Of the 22 species recorded in this study, nine showed a preference for the beaches in the harbour, 11 for the municipal beaches and two were common at both sites (Table 2). The polychaetes *S. squamata*, *Euzonus mucronata*, *Pseudopolydora kemp* and *Capitella capitata* were more abundant at the beaches in the harbour, whereas the bean clam (*D. gouldi*) was the most abundant at the municipal beaches (Fig. 5).

Among the less abundant species, differences were also detected in the patterns of spatial distribution along the coast. The Chinese clam (*Chione californiensis*) was observed exclusively in the transects of the beaches in the harbour, whereas the polychaete *Nephtys caecoides* and juveniles of the pismo clam (*Tivela stultorum*) were only detected in the transects of the municipal beaches (Table 2).



**Figura 2.** Distribución espacial del bentos global de la zona entremareas de playas arenosas en la Bahía de Todos Santos.  
**Figure 2.** Spatial distribution of all the benthos in the intertidal zone of sandy beaches in Todos Santos Bay.

**Tabla 1.** Variación temporal de la abundancia (ind/m<sup>2</sup>) de los principales grupos taxonómicos de la macrofauna bentónica de las playas arenosas en la Bahía de Todos Santos.

**Table 1.** Temporal variation of the abundance (ind/m<sup>2</sup>) of the main taxonomic groups of the benthic macrofauna of the sandy beaches in Todos Santos Bay.

Taxa	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Poliquetos	96	75	386	541
Nemertinos	1	3	2	5
Moluscos	133	179	76	968
Anfípodos	1	22	-	1
Isópodos	5	8	36	44
Misidáceos	-	2	3	-
Decápodos	3	1	5	1
Copépodos	-	-	1	-
Pycnogónidos	1	-	-	3
Total	239	290	509	1563

tienen un comportamiento similar (Fig. 4a, b), mientras que en la primavera y en el verano siguiente, el comportamiento es opuesto, al encontrarse la curva de las playas de la dársena más aplanada en la primavera (Fig. 4c) y durante el verano más erguida (Fig. 4d), en relación a la curva de las playas municipales.

De las 22 especies registradas en esta investigación, nueve mostraron preferencia por habitar en las playas de la dársena portuaria, once en las playas municipales y las dos restantes fueron comunes en ambos sistemas (Tabla 2). Las especies que presentaron una mayor abundancia en las playas de la dársena fueron los poliquetos *S. squamata*, *Euzonus mucronata*, *Pseudopolydora kempi* y *Capitella capitata*, mientras que en las playas municipales, la almeja frijol (*D. gouldi*) fue la más abundante (Fig. 5).

Entre las especies menos abundantes también se detectaron diferencias en los patrones de distribución espacial a lo largo de la costa; se observó la presencia de la almeja china (*Chione californiensis*) exclusivamente en los transectos ubicados en las playas de la dársena, mientras que el poliqueto *Nephtys caecoides* y juveniles de la almeja pismo (*Tivela stultorum*) solamente se detectaron en los transectos de las playas municipales (Tabla 2).

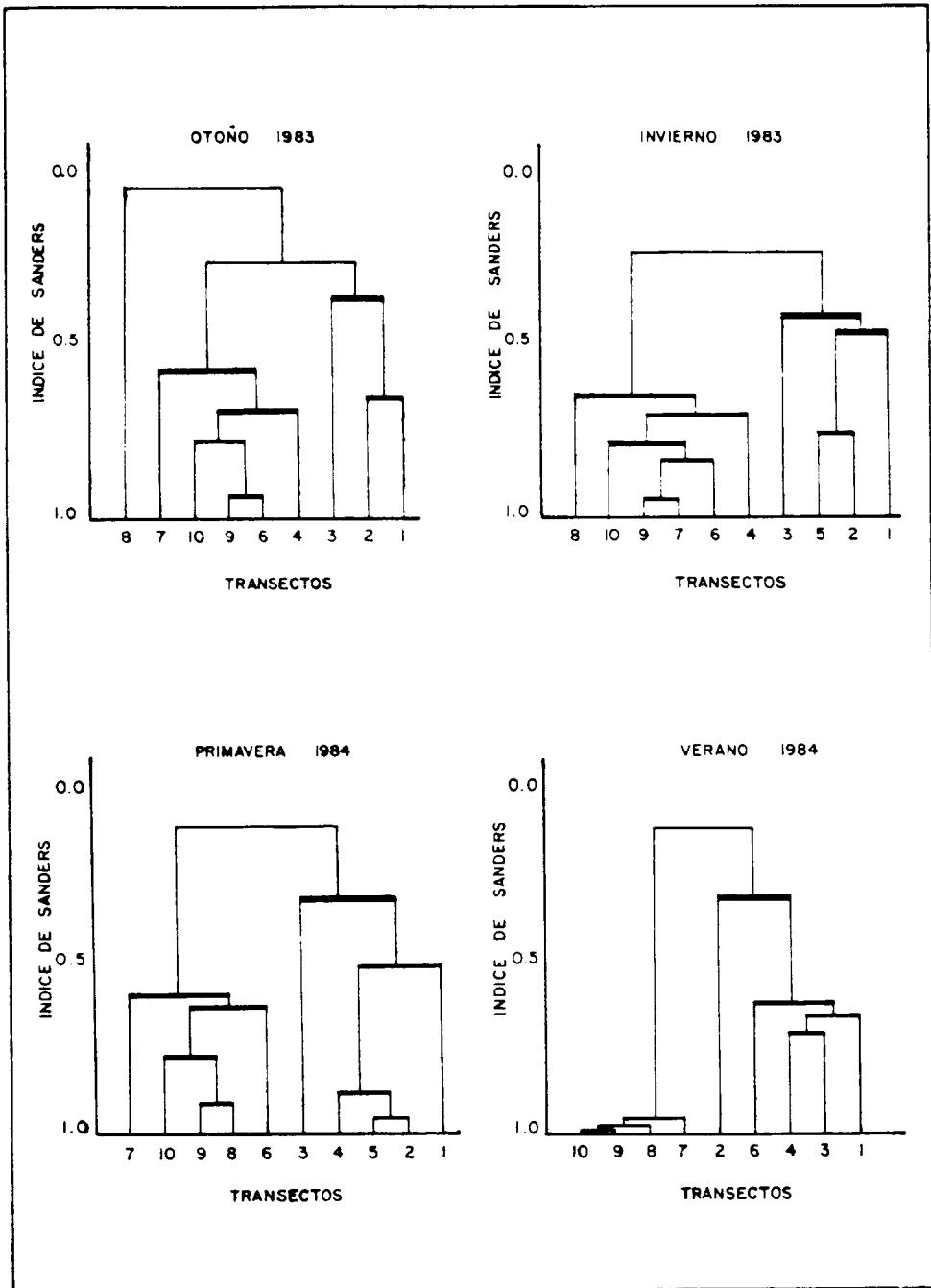
A total of 17 specimens of the pismo clam were caught, of which 14 were collected in winter, two in spring and one in summer. The population structure of the individuals collected in the winter shows that the most frequent sizes were between 6 and 8 mm (Fig. 6a), whereas the few specimens collected in the spring and autumn were slightly bigger (Fig. 6b and 6c, respectively).

In general, the beaches in the harbour had an average of five species per transect, the beaches located in the area influenced by waste waters had an average of only three species per transect, and those located farther from the effluent had an average of seven species per transect. The calculations of the diversity indices were similar to the one recorded for species richness, except for the summer sampling.

Maximum H' values of 2.80 bits for the diversity index of the beaches in the harbour (transect 3, Table 3) and of 3.17 bits for the municipal beaches (transect 10, Table 4) were detected in this study. The minimum values corresponded to transect 3 of the harbour (Table 3) and to transects 8 and 10 of the municipal beaches (Table 4).

In the autumn, the species diversity index (H') varied between 1.0 and 2.5 bits in most of the transects (Tables 3 and 4), although an absence of organisms was detected





**Figura 3.** Dendrogramas de similitud entre la macrofauna de las playas arenosas de la Bahía de Todos Santos.  
**Figure 3.** Dendrograms of similarity among the macrofauna of the sandy beaches of Todos Santos Bay.

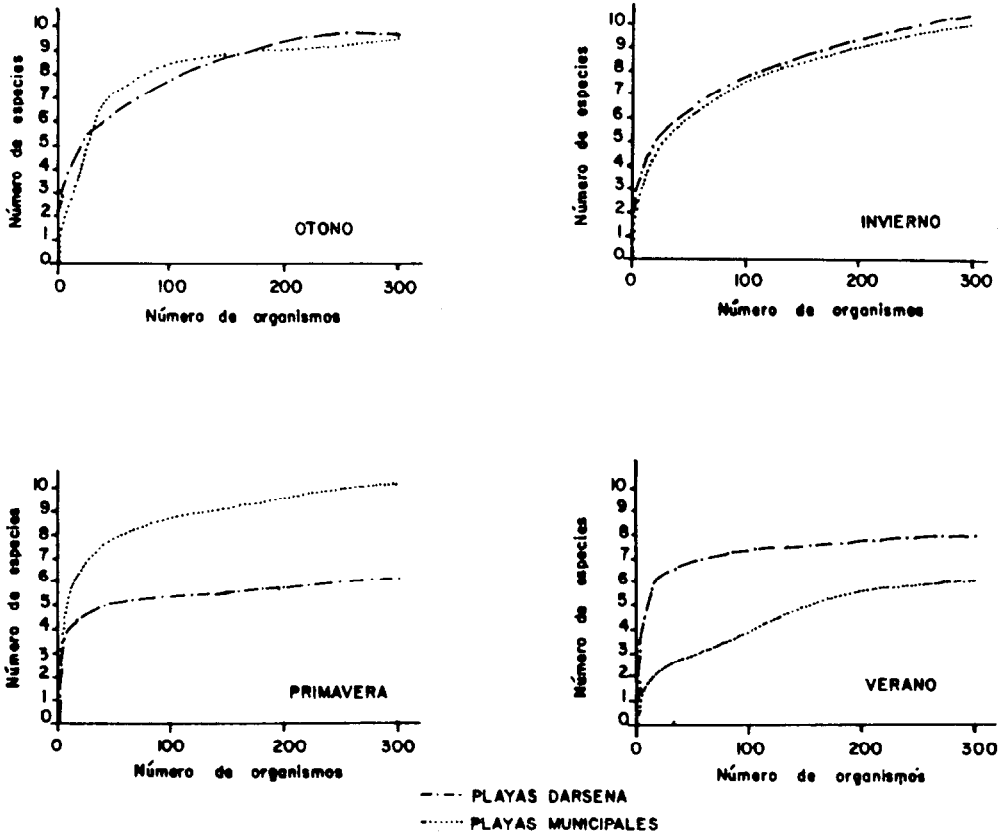


Figura 4. Curvas de rarefacción de las comunidades bentónicas de playas arenosas en la Bahía de Todos Santos.

Figure 4. Rarefaction curves of the benthic communities of sandy beaches in Todos Santos Bay.

El total de especímenes de la almeja pismo capturados fue de 17 individuos, de los cuales 14 se colectaron en invierno, dos en primavera y uno en verano. La estructura poblacional de los individuos colectados en el invierno muestra que la mayor frecuencia de tallas se registró entre los 6 y 8 mm (Fig. 6a), mientras que los pocos especímenes capturados en primavera y otoño presentaron tallas ligeramente más grandes (Fig. 6b y 6c, respectivamente).

En general, las playas de la dársena presentaron un promedio de cinco especies por transecto, mientras que para las ubicadas en la zona de influencia de la descarga de aguas residuales, el promedio fue de sólo tres especies por transecto y el de las playas municipales

in transect 5 and a slight decrease, caused by the presence of a shoal of *Donax*, in transect 9. In the winter, the values of species diversity were similar for both ecosystems, whereas in the spring a higher diversity was recorded in the transects of the municipal beaches (Tables 3 and 4), where a slight increase was observed in transect 5 (0.67; Table 3). The structure of the communities in the summer was totally different to the previous ones, since the transects located in the harbour presented high diversity indices (Table 3) but the rest had very low values (Table 4).

The diversity ( $1-H'$ ) and equitability values were usually lower than 0.5 throughout the cycle studied (Tables 3 and 4). The lowest values were recorded for the transects located

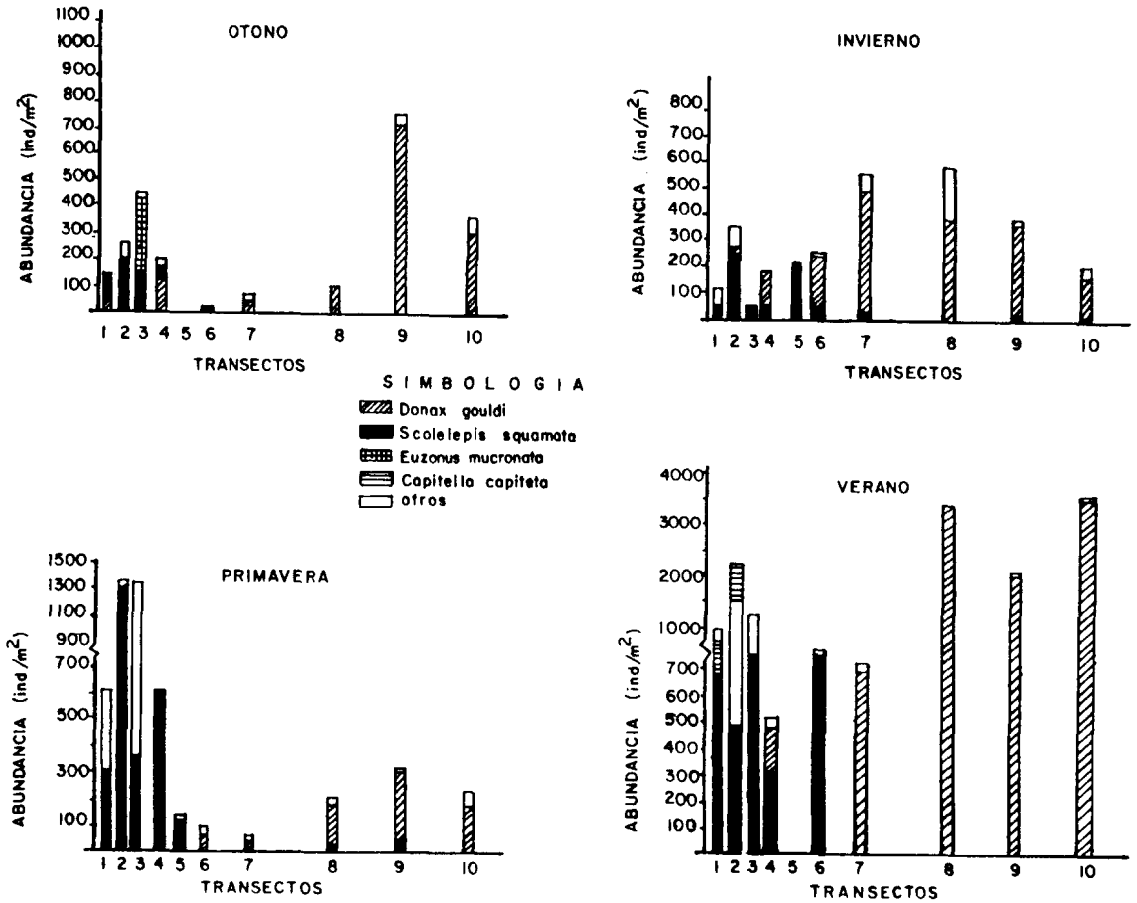
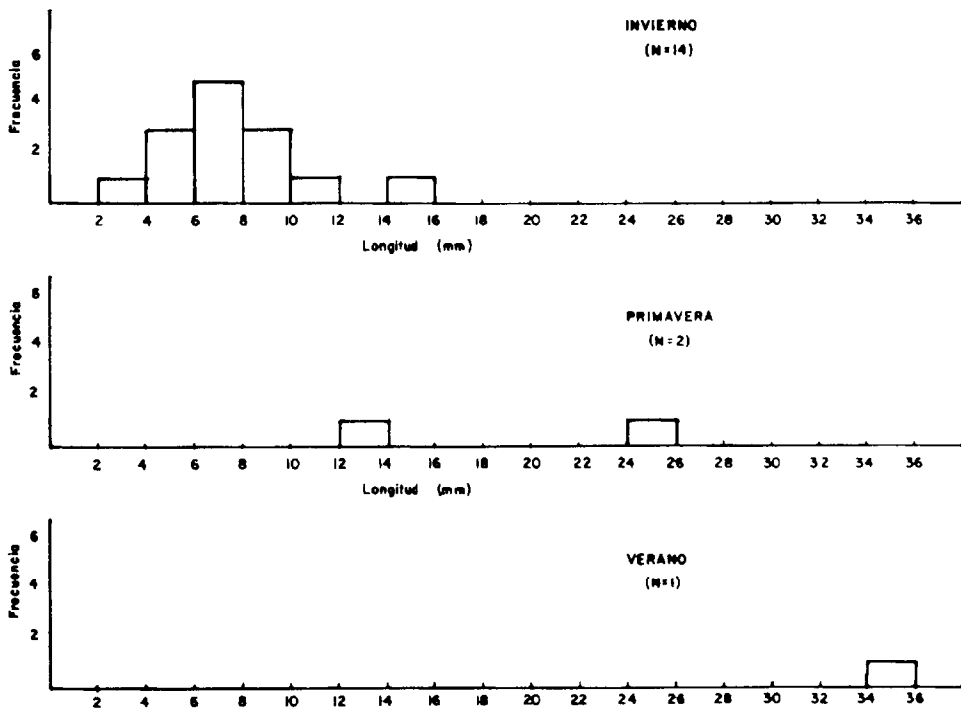


Figura 5. Estructura global de la macrofauna a lo largo de la costa en la Bahía de Todos Santos.  
 Figure 5. Overall structure of the macrofauna along the coast in Todos Santos Bay.

**Tabla 2.** Principales poblaciones del bentos de las playas arenosas en la Bahía de Todos Santos.  
**Table 2.** Main populations of the benthos of the sandy beaches in Todos Santos Bay.

Especies	Abundancia	Zona de preferencia
<b>Nemertea</b>		
<i>Amphiporus</i> sp. ?	Común	Ambas
<b>Mollusca</b>		
<b>Bivalvia</b>		
<i>Chione californiensis</i>	Rara	Dársena
<i>Mytilus edulis</i>	Rara	Accidental
<i>Donax gouldi</i>	Abundante	Playas municipales
<i>Tivela stultorum</i>	Rara	Playas municipales
<b>Annelida</b>		
<b>Polychaeta</b>		
<i>Scolelepis squamata</i>	Abundante	Dársena
<i>Capitella capitata</i>	Común	Dársena
<i>Nephtys caecoides</i>	Común	Playas municipales
<i>Pseudopolydora kemp</i>	Rara	Dársena
<i>Glycera</i> sp.	Común	Playas municipales
<i>Diopatra ornata</i>	Rara	Dársena
<i>Neanthes arenaceodentata</i>	Rara	Dársena
<i>Euzonus mucronata</i>	Común	Dársena
Poliqueto A	Rara	Playas municipales
Poliqueto B	Rara	Playas municipales
Poliqueto C	Rara	Dársena
<b>Arthropoda</b>		
<b>Isopoda</b>		
<i>Cirolana harfordi</i>	Común	Ambas
<b>Anfipoda</b>		
<i>Jassa falcata</i>	Rara	Playas municipales
<b>Decapoda</b>		
<i>Emerita analoga</i>	Común	Playas municipales
<i>Blepharipoda occidentalis</i>	Común	Playas municipales
<b>Copepoda</b>		
<i>Harpacticus</i> sp.	Rara	Playas municipales
<b>Mysidacea</b>		
<i>Acanthomysis costata</i>	Común	Playas municipales
<b>Pycnogonida</b>		
<i>Pycnogonum stearnsi</i>	Rara	Dársena



**Figura 6.** Distribución de tallas de las poblaciones de la almeja pismo (*Tivela stultorum*) en la zona entremareas de la Bahía de Todos Santos, B.C., México.

**Figure 6.** Distribution of sizes of the populations of the pismo clam (*Tivela stultorum*) in the intertidal zone of Todos Santos Bay, B.C., Mexico.

más alejadas de las descargas fue de siete. Con excepción de la campaña de verano, las estimaciones de los índices de diversidad mostraron un comportamiento similar al registrado por la riqueza de especies.

En este estudio se detectaron valores máximos de  $H'$  de 2.80 bits para los índices de diversidad de las playas de la dársena portuaria (transecto 3, Tabla 3), y de 3.17 bits para las playas municipales (transecto 10, Tabla 4); los valores mínimos correspondieron al transecto 3 de las playas de la dársena (Tabla 3), y al 8 y 10 de las playas municipales (Tabla 4).

En el otoño, los índices de diversidad ( $H'$ ) de especies variaron entre 1.0 y 2.5 bits en la mayoría de los transectos (Tablas 3 y 4), aunque en el transecto 5 se detectó la ausencia de organismos y en el transecto 9, una ligera disminución causada por la presencia de un

along the municipal beaches, particularly during the summer (Table 4).

## DISCUSSION

The results obtained in this study show the existence of clear tendencies in the spatial distribution patterns of the macrofauna, indicating the effects of pollution in the bay. The detection of an area lacking macroscopic life near the outfall of the "El Gallo" stream and the low diversity values estimated for the transects close to this site, indicate that the waste waters discharged into Todos Santos Bay by the "El Gallo" stream strongly affect the ecology of the municipal beaches. Likewise, the presence of the polychaete *Capitella capitata* recorded at the beaches of the harbour indicates the high degree of contamination of the port.

**Tabla 3.** Parámetros estructurales de la comunidad macrobentónica de playas arenosas en la dársena del puerto de Ensenada, B.C., México  
**Table 3.** Structural parameters of the macrobenthic community of sandy beaches in the harbour of Ensenada, B.C., Mexico.

Fecha y transecto muestreado	No. de especies (N)	Indices de diversidad				Equitabilidad (J)
		1-λ	H'	H'min	H'max	
<b>Otoño</b>						
T1	5	0.56	1.45	0.832	2.32	0.62
T2	4	0.40	0.98	0.302	2.00	0.49
T3	5	0.51	1.24	0.169	2.32	0.535
T4	6	0.54	1.49	0.482	2.58	0.58
T5		Ausencia de organismos				
<b>Invierno</b>						
T1	5	0.47	1.35	0.794	2.32	0.58
T2	6	0.49	1.45	0.260	2.58	0.56
T3	3	0.56	1.22	0.530	1.58	0.77
T4	4	0.53	1.27	0.271	2.00	0.63
T5	2	(Número de datos insuficientes)				
<b>Primavera</b>						
T1	3	0.62	1.45	0.092	1.58	0.91
T2	4	0.11	0.35	0.069	2.00	0.18
T3	4	0.41	0.94	0.089	2.00	0.27
T4	4	0.25	0.64	0.124	2.00	0.32
T5	5	0.020	0.67	0.50	2.32	0.90
<b>Verano</b>						
T1	4	0.55	1.47	0.157	2.00	0.73
T2	7	0.66	1.79	0.118	2.80	0.64
T3	4	0.55	1.38	0.111	2.00	0.69
T4	6	0.55	1.44	0.290	2.58	0.56
T5		Ausencia de organismos				

banco de *Donax*. En el invierno la diversidad de especies presentó valores similares en ambos sistemas, mientras que en la primavera se registró una mayor diversidad de especies en los transectos de las playas municipales (Tablas 3 y 4), donde se observó un ligero incremento en el transecto 5 (0.67; Tabla 3). La estructura de las comunidades del verano fue totalmente diferente de las anteriores, ya que mientras los transectos ubicados dentro de la rada portuaria presentaron índices de diversidad altos (Tabla 3), los demás presentaron valores muy bajos (Tabla 4).

Los valores de diversidad ( $H'$ ) y de equitabilidad fueron usualmente menores de 0.5 en todo el ciclo estudiado (Tablas 3 y 4), siendo los transectos ubicados en las playas municipales los que presentaron los valores más bajos, particularmente durante el verano (Tabla 4).

## DISCUSION

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron la existencia de claras tendencias en los patrones de distribución espacial de la macrofauna, que indican los efectos de la contaminación de la bahía. La detección de una zona carente de vida macroscópica en las cercanías del effluente del arroyo "El Gallo" y los bajos valores de diversidad estimados en los transectos cercanos a ese sitio, muestran que las aguas residuales que son vertidas a la Bahía de Todos Santos, a través del arroyo "El Gallo", afectan fuertemente la ecología de las playas municipales; asimismo, la presencia del poliqueto *Capitella capitata* registrada en las playas de la dársena indica el alto grado de contaminación del puerto.

El proceso de formación de zonas abióticas en áreas fuertemente contaminadas por materia orgánica ha sido reportado en la literatura, y es explicado por la reducción en el contenido de oxígeno del agua intersticial de los sedimentos, que obliga a los organismos macrobentónicos a escapar hacia otros sitios (Perés, 1980) o a impedir el asentamiento de sus larvas. En el caso de la Bahía de Todos Santos, Lizárraga-Partida (1974) reportó la ausencia de vida macroscópica en una pequeña zona de la dársena, como un efecto de las aguas residuales (sanguaza y pedacería de pescado) que caen al mar durante las maniobras de descarga de la industria pesquera; los resultados obtenidos en esta investigación

The process of formation of abiotic zones in areas highly contaminated by organic matter has been reported in the literature. This is explained by the reduction in the content of oxygen in the interstitial water of the sediments, forcing the macrobenthic organisms to escape to other sites (Perés, 1980) or preventing the larvae from settling. Lizárraga-Partida (1974) reported that the absence of macroscopic life in a small area of the harbour of Todos Santos Bay, is an effect of the waste waters discharged by the fishery industry. The results obtained in this study show that the intertidal zone is strongly affected by domestic waters and by the waste waters discharged by the fishery industry, located on the banks of the "El Gallo" stream.

The presence, in the winter, of the bean clam *D. gouldi* and the polychaete *S. squamata* in transect 5, located near the effluent, as well as the presence of other species at this site during the spring sampling, indicate the occurrence of a colonization period that could be related to the mechanism of sediment transport reported by Cruz-Falcón and Mancilla-Peraza (1987), since the process of erosion of the beach and deposition behind the surf zone that occurs in the winter and spring could remove the polluted sand and allow the settling of planktonic larvae that will begin the recolonization period.

The biotic diversity of the ecosystems has generally been evaluated by calculating diversity indices or elaborating rarefaction curves (Sanders, 1968). The application of these methods allows the comparison in time and space of the structure of the marine communities, facilitating the evaluation of the effects of pollution (Herrera and Alcolado, 1982; Persson, 1983).

The existence of two faunistic groups (harbour and municipal beaches) detected in this study and the fact that the rarefaction curves show a smoother curve for the beaches of the harbour in the spring, suggest that the communities that inhabit the beaches of the harbour could be subjected to greater environmental impact, compared to the populations that inhabit the municipal beaches. However, the structural analysis of the communities did not show evidence supporting this idea, since the diversity indices as well as the rarefaction curves for both faunistic groups have a very variable behaviour that is determined by the variations of the abundance

**Tabla 4.** Parámetros estructurales de la comunidad macrobentónica de las playas municipales de la Bahía de Todos Santos, B.C., México.

**Table 4.** Structural parameters of the macrobenthic community of the municipal beaches of Todos Santos Bay, B.C., Mexico.

Fecha y transecto muestreado	No. de especies (N)	Indices de diversidad				Equitabilidad (J)
		$1-d$	H'	H'min	H'max	
<b>Otoño</b>						
T6	1	(Número de datos insuficientes)				
T7	4	0.68	1.66	0.74	2.00	0.83
T8	6	0.35	1.08	0.75	2.58	0.42
T9	7	0.13	0.47	0.17	2.80	0.16
T10	9	0.43	1.33	0.43	3.17	0.46
<b>Invierno</b>						
T6	5	0.39	1.07	0.274	2.32	0.46
T7	5	0.25	0.82	0.200	2.32	0.35
T8	5	0.47	1.12	0.107	2.32	0.48
T9	8	0.23	0.86	0.334	3.00	0.28
T10	7	0.53	1.69	0.387	2.80	0.60
<b>Primavera</b>						
T6	6	0.67	1.88	0.944	2.58	0.72
T7	4	0.68	1.66	0.952	2.00	0.82
T8	6	0.43	1.33	0.550	2.58	0.51
T9	7	0.34	1.08	0.526	2.80	0.38
T10	8	0.51	1.58	0.650	3.00	0.53
<b>Verano</b>						
T6	2	(Número de datos insuficientes)				
T7	5	0.08	0.32	0.131	2.32	0.14
T8	5	0.02	0.10	0.03	2.32	0.04
T9	7	0.06	0.26	0.07	2.80	0.06



muestran que la zona intermareal es fuertemente afectada por las descargas de las aguas domésticas municipales y residuales de la industria pesquera, asentada en los márgenes del arroyo "El Gallo".

La presencia de la almeja frijol *D. gouldi* y del poliqueto *S. squamata* durante el invierno en el transecto 5, ubicado en las cercanías de la descarga de aguas residuales, así como la aparición de otras especies en ese lugar durante los muestreos de primavera, indican la ocurrencia de un período de colonización que podría estar relacionado con el mecanismo de transporte de sedimentos reportado por Cruz-Falcón y Mancilla-Peraza (1987), ya que el proceso de erosión sobre la playa y depositación atrás de la zona de rompiente que ocurre durante invierno y primavera, podría remover la arena contaminada y permitir el asentamiento de larvas planctónicas que den inicio a la etapa de recolonización.

La diversidad biótica de los ecosistemas ha sido evaluada comúnmente mediante la estimación de índices de diversidad o la elaboración de curvas de rarefacción (Sanders, 1968). La aplicación de estos métodos hace posible comparar en tiempo y espacio la estructura de las comunidades marinas, facilitando la evaluación de los efectos de la contaminación (Herrera y Alcolado, 1982; Persson, 1983).

La existencia de los dos grandes grupos faunísticos (dársena y playas municipales) detectados en este estudio, y el hecho de que las curvas de rarefacción mostraran una curva más plana en las playas de la dársena durante la primavera, sugieren que las comunidades que habitan las playas de la dársena podrían estar sujetas a un mayor efecto del rigor ambiental, en comparación con las poblaciones que habitan las playas municipales. Sin embargo, los análisis estructurales de las comunidades no mostraron evidencias que apoyen esta idea, pues tanto los índices de diversidad como las curvas de rarefacción de ambas unidades faunísticas tienen un comportamiento muy variable que es determinado por las variaciones de los patrones de abundancia de *Donax* en las playas municipales y del poliqueto *S. squamata* en las playas de la dársena portuaria.

La dominancia de *S. squamata* en las playas de la dársena del puerto y de *D. gouldi* en las playas municipales muestra el efecto

patterns of *Donax* at the municipal beaches and by the polychaete *S. squamata* at the beaches of the harbour.

The dominance of *S. squamata* at the beaches of the harbour and of *D. gouldi* at the municipal beaches shows the selective effect of the physical conditions of the environment. A low wave energy environment allows greater sedimentation of detritic organic matter that could favour the settling and predominance of populations of detritus feeding organisms such as *S. squamata* (Word, 1979), whereas in a high wave energy environment there is less sedimentation of organic matter favouring the settling and survival of filter-feeding organisms, as in the case of *Donax*.

The low values recorded both for species diversity and the estimates of Pielou's  $J'$ , indicate the ecological importance of the dominant species in the determination of the structural parameters of the communities, since they were caused by the low uniformity between the relative abundances of the species and the predominance of the bean clam (*D. gouldi*) and the polychaete *S. squamata*. The increase in the values of species diversity ( $H'$ ) detected in transect 5 during the spring, is attributed to the presence of organisms of *E. mucronata* (polychaete), *Cirolana hardsfordi* (amphipod) and *Blepharipoda occidentalis* (anomuran decapod), in addition to the populations of *D. gouldi* and *S. squamata* detected in the previous campaign.

Most of the species identified in this study have been reported for the beaches of southern California (Hedgepeth and Hinton, 1961) and Todos Santos Bay (Pamplona-Salazar, 1977). However, the presence of juveniles of the pismo clam (*Tivela stultorum* Mawe) was surprising, since even though there is evidence that this species could be found in abundance on all the sandy beaches of the region (Fitch, 1950; Granados, 1970), the adult populations disappeared from the beaches of Todos Santos Bay several decades ago, apparently due to the irrational capture of this resource (Sautto and Searcy, 1981).

## CONCLUSIONS

The results of the analysis of the spatial patterns of the macrofauna as well as the structure of the communities, indicate that the fauna of the intertidal zone of the sandy beaches is strongly affected by the waste

selectivo de las condiciones físicas del ambiente; un ambiente de baja energía de oleaje permite una mayor sedimentación de materia orgánica detrítica que puede favorecer el asentamiento y predominio de las poblaciones de organismos alimentadores de detritus, tales como *S. squamata* (Word, 1979), mientras que en un ambiente de alta energía de oleaje la sedimentación de materia orgánica es menor y puede favorecer el establecimiento y supervivencia de formas filtro-alimentadoras, como es el caso de *Donax*.

Los bajos valores registrados tanto en la diversidad de especies como en las estimaciones de la *J'* de Pielou, indican la importancia ecológica de las especies dominantes en la determinación de los parámetros estructurales de las comunidades, ya que fueron causados por la baja uniformidad entre las abundancias relativas de las especies y el predominio de la almeja frijol (*D. gouldi*) y del poliqueto *S. squamata*. El incremento en los valores de diversidad de especies ( $H'$ ), detectado en el transecto 5, durante la primavera se atribuye a la presencia de organismos de *E. mucronata* (poliqueto), *Cirolana hardfordi* (anfípodo) y de *Blepharipoda occidentalis* (decápodo anomuro), en adición a las poblaciones de *D. gouldi* y *S. squamata*, detectadas en la campaña anterior.

La mayoría de las especies identificadas en esta investigación han sido reportadas en las playas del sur de California (Hedgepeth y Hinton, 1961) y de la Bahía de Todos Santos (Pamplona-Salazar, 1977); sin embargo, la presencia de juveniles de la almeja pismo (*Tivela stultorum* Mawe) fue un hallazgo sorpresivo, pues aunque existen evidencias de que esta especie se podría encontrar en abundancia en todas las playas arenosas de la región (Fitch, 1950; Granados, 1970), hace varias décadas que las poblaciones adultas desaparecieron de las playas de la Bahía de Todos Santos, aparentemente debido a la captura irracional de este recurso (Sautto y Searcy, 1981).

## CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de los patrones espaciales de la macrofauna así como de la estructura de las comunidades, indican que la fauna de la zona entremareal de las playas arenosas es fuertemente afectada por los vertimientos de aguas residuales del arroyo "El

waters discharged by the "El Gallo" stream. However, the detection of a process of colonization in the affected area suggests that the ecological damage could be eliminated in a short time if the discharge of waste waters is suspended.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the personnel of the Estación de Investigación Oceanográfica for their participation in the sampling campaigns, Rubí Encalada Fleites for her collaboration in the identification of the polychaetes and Anamaria Escofet for her valuable advise in the analysis of the data. The Prime 400 computer system of CICESE and the programs of the "Librería para Ecología" (Liprec), implemented by Daniel Loya Salinas, were of great help in the processing of the data and manuscript.

English translation by Ana Luz Quintanilla M.

---

Gallo"; sin embargo, la detección de un proceso de colonización en la zona dañada sugiere que el daño ecológico puede ser eliminado en un período de tiempo corto, si se suspenden los vertimientos de aguas residuales.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la valiosa participación del personal de la Estación de Investigación Oceanográfica en el desarrollo de las campañas de muestreo, así como la colaboración de Rubí Encalada Fleites en la identificación de los poliquetos y la valiosa asesoría de Anamaria Escofet en el análisis de los datos. Para el procesamiento de datos y redacción del escrito, fue de gran ayuda el sistema de cómputo Prime 400 del CICESE, así como de los programas de la Librería para Ecología (Liprec), implementados por Daniel Loya Salinas.

## LITERATURA CITADA

- Allen, K.R. (1977). Common Intertidal Invertebrates of Southern California. Peek Publ., Palo Alto, Calif., 316 pp.
- Aranda Manteca, F.J. (1983). Estudio de minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos

- Santos, B.C. Tesis Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B.C., México.
- Cruz Falcón, A. y Mancilla Peraza, M. (1987). Variación estacional de perfiles de playa al sur del puerto de Ensenada, Baja California. En: "Reporte final del estudio oceanográfico para la instalación de emisores submarinos de aguas residuales en las zonas costeras de Ensenada y Tijuana, B.C." Dir. Gral. de Oceanogr. Naval, Secretaría de Marina, 18 pp.
- Davis, E.C. (1973). Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley and Sons Inc., New York, 500 pp.
- Donath Hernández, E. y Loya Salinas, D. (1989). Contribución al estudio de la contaminación orgánica marina de la Bahía de Todos Santos, B.C. Ciencias Marinas, 15(1): 73-88.
- Durazo Arvizu, R. (1983). Circulación superficial y cinemática de la región sur de la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B.C., México.
- Encalada Fleites, R. y Millán Núñez, E. (1990). Impacto de las aguas residuales industriales y domésticas sobre las comunidades bentónicas de la Bahía de Todos Santos. Ciencias Marinas, 16(4): 121-139.
- Fauchald, K. (1977). The polychaete worms. Natural History Museum of Los Angeles County, Science Serv., 28, 188 pp.
- Fitch, J.E. (1950). The pismo clam. Calif. Fish and Game, 36(3): 285-312.
- Granados, J.L. (1970). Estructura de la población y crecimiento de la almeja pismo (*Tivela stultorum* Mawe, 1823) en San Quintín, Baja California. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B.C., México, 47 pp.
- Hartman, O. (1968). Atlas of the Errantia Polychaetous Annelids from California. Allan Hancock Found., Univ. South. Calif., 828 pp.
- Hartman, O. (1969). Atlas of the Sedentary Polychaetous Annelids from California. Los Angeles: Allan Hancock Found., Univ. South. Calif., 812 pp.
- Hedgepeth, J. and Hinton, S. (1961). Common Seashore Life of Southern California. Naturegraph Publ. Inc., Happy Camp., California, 63 pp.
- Herrera, A. y Alcolado, P.M. (1982). Efecto de la contaminación sobre las comunidades de gorgonáceos en el litoral habanero. III Simposium sobre Contaminación Marina, La Habana, Cuba, septiembre de 1982.
- Lizárraga Partida, M.L. (1974). Organic pollution in Ensenada Bay, Mexico. Marine Pollution Bull., 5(7): 109-113.
- Morales Chávez, R., Martínez García, G. y Juárez Romero, R. (en prensa). Estadísticas básicas de algunos contaminantes en la zona costera de la Bahía de Todos Santos. En: Primer reporte preliminar del proyecto "Monitoreo de la contaminación de la Bahía de Todos Santos, B.C.", Dir. Gral. de Oceanogr. Naval, México, D.F., 27 pp.
- Pamplona Salazar, M.H. (1977). Estructura de una comunidad de invertebrados en una playa arenosa de la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B.C., México, 46 pp.
- Perés, J.M. (1980). Polución de las aguas marinas. Ed. Omega, Barcelona, España, 250 pp.
- Persson, L.E. (1983). Temporal and spatial variations in coastal macrobenthic community structure, Hand Bay (Southern Baltic). J. Expl. Mar. Biol. Ecol., 68(1): 277-293.
- Pielou, E.C. (1969). An Introduction to Mathematical Ecology. Wiley Interscience, New York, 268 pp.
- Sanders, H.L. (1968). Marine benthic diversity: a comparative study. Amer. Natur., 102: 243-282.
- Sautto, V.L. y Searcy, R. (1981). Estudios de la almeja pismo (*Tivela stultorum* Mawe). En: "Proyecto bivalvos de Baja California en vías de extinción, Sección Almeja Pismo". Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC. Reporte Final.
- Secretaría de Marina (1974). Estudio geográfico de la región de Ensenada, B.C. Secretaría de Marina, 465 pp.

- Siegel, S. (1980). *Estadística no paramétrica*. Ed. Trillas, México, D.F., 345 pp.
- Smith, R.I. and Carlton, J.T. (1975). *Lights Manual: Intertidal Invertebrates of the Central California Coast*. Univ. of Los Angeles Press, 716 pp.
- U.S.A. Coast Guard Pilot #7 (1975). United States Government Printing Office.
- Word, J.Q. (1979). The Infaunal Trophic Index. In: *Annual Report 1978*. Coastal Water Research Project, El Segundo, Calif., pp. 19-41.