

Abundancia y asociaciones de dos gasterópodos (*Astraea* y *Haliotis*) comercialmente importantes en Isla San Jerónimo, Baja California, México

Abundance and associations of two commercially important gastropods (*Astraea* and *Haliotis*) in Isla San Jerónimo, Baja California, Mexico

J.A. Rodríguez-Valencia^{1,2*}
F. Caballero-Alegría¹
F. Uribe-Osorio¹
A. Arano-Castañón¹

¹ Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada (CRIP-Ensenada)
Instituto Nacional de la Pesca
Carretera Tijuana-Ensenada Km 107. Parque Industrial Fondepport
El Sauzal, Baja California, México

² Alfred-Wegener-Institut
Wattenmeerstation Sylt.
D-25992 List, Germany

* E-mail: jrodriguez@awi-bremerhaven.de

Recibido en diciembre de 2000; aceptado en noviembre de 2001

Resumen

Se presenta el estado de *Astraea* (*Lithopoma*) *undosa*, *A. (L.) turbanica*, y *Haliotis* spp. en Isla San Jerónimo, Baja California, México, y se describen las asociaciones entre la flora y fauna dominantes en sus hábitats. Hace cuarenta años ésta era una de las principales zonas de captura de *Astraea* y *Haliotis* en la península, pero ahora se encuentra sobre-explotada. La densidad media de *A. undosa* fue de 0.1 m⁻² y la de *A. turbanica* fue de 0.006 m⁻². Ambas especies presentan una baja proporción de organismos con tallas superiores a las legales de captura. No se encontraron abulones alrededor de la isla, pero se encontraron unos cuantos en la zona intermareal. La isla tiene una gran proporción de substrato rocoso y alimento para *Astraea* y *Haliotis*. Se detectaron asociaciones positivas significativas entre los macroinvertebrados y la flora dominantes. Las zonas rocosas con vegetación constituyen el hábitat común de *Kelletia* sp. y *Pisaster* sp. (depredadores); y de *Strongylocentrotus franciscanus*, *Tegula* spp. y *Megathura crenulata* (presas); los cuales están asociados positivamente. Los resultados sugieren una covariación negativa y segregación espacial entre *A. undosa* and *A. turbanica*.

Palabras clave: *Astraea*, *Haliotis*, Bahía del Rosario, Isla San Jerónimo, México.

Abstract

We present the status of *Astraea* (*Lithopoma*) *undosa*, *A. (L.) turbanica*, and *Haliotis* spp. in Isla San Jerónimo, Baja California, Mexico and describe the associations between the dominant flora and fauna in their habitat. Forty years ago this area was one of the main fishing areas for *Astraea* and *Haliotis* along the peninsula, but now it is overexploited. The mean density of *A. undosa* was 0.1 m⁻² and that of *A. turbanica* was 0.006 m⁻². Both species have a low proportion of organisms with the minimum legal size of capture. No abalones were found around the island, but few were found in the intertidal. There is a good proportion of suitable rocky habitat and food for *Astraea* and *Haliotis*. Positive associations between dominant macroinvertebrates and flora were detected. Rocky areas with vegetation are the common habitat of *Kelletia* sp. and *Pisaster* sp. (predators); and of *Strongylocentrotus franciscanus*, *Tegula* spp., and *Megathura crenulata* (prey); and they were positively associated. Our results suggest a negative covariation and spatial segregation between *A. undosa* and *A. turbanica*.

Key words: *Astraea*, *Haliotis*, Bahía del Rosario, Isla San Jerónimo, Mexico.

Introducción

La pesquería del abulón en México, actualmente compuesta por *Haliotis fulgens* y *H. corrugata*, es de alto valor comercial (Guzmán-del-Próo, 1992), al igual que la pesquería del caracol *Astraea*, compuesta por *A. (Lithopoma) undosa* y *A. (L.) turbanica* (Belmar-Pérez *et al.*, 1991; Cupul-Magaña y Torres-Moye, 1996).

La biología de *Haliotis* ha sido descrita por Guzmán-del-Próo (1992). *Astraea* es uno de los gasterópodos más grandes en las costas de California y Baja California (Alfaro y Carpenter, 1999). Es un herbívoro oportunista (Aguilar-Rosas *et al.*, 1990) con altas tasas de crecimiento y fecundidad que lo hacen un recurso atractivo para explotación (Schwalm, 1973).

Haliotis y *Astraea* comparten el mismo hábitat (Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998). Las poblaciones de abulón de Baja California se han evaluado regularmente desde finales de los años sesenta a fin de regular su pesquería (Guzmán-del-Próo *et al.*, 1976; Guzmán-del-Próo, 1992), pero las de *Astraea* se han explotado sin conocer su abundancia. La información sobre *Astraea* en México versa sobre su dieta (Aguilar-Rosas *et al.*, 1990), genética (De-la-Rosa-Vélez y Suárez-Vázquez, 1991), y crecimiento y edad (Cupul-Magaña y Torres-Moye, 1996).

Las cuantificaciones poblacionales de abulón en Baja California se justifican por la notoria reducción de su abundancia (Shepherd *et al.*, 1998), y las de *Astraea* por el desconocimiento de su abundancia.

El buen manejo de los recursos marinos implica el conocimiento de la heterogeneidad espacial del hábitat en la zona de explotación y la cuantificación de los hábitats reales y potenciales de las especies explotadas (Tilman y Lehman, 1997). En el caso del abulón, es necesario estudiar el macrobentos que cohabita en los bancos para determinar sus posibles relaciones (Ramírez-Granados, 1992).

Isla San Jerónimo ha sido uno de los principales puntos de captura de caracol y abulón de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera (S.C.P.P.) "Ensenada". Hasta principios de los años noventa ambos recursos aportaban más del 35% de los ingresos totales de la cooperativa, sin embargo, su captura se volvió no redituable, por lo que la cooperativa solicitó que evaluáramos el estado de las poblaciones. Nosotros estimamos la abundancia de *A. undosa*, *A. turbanica*, y *Haliotis* spp. en la zona somera (< 40 m) alrededor de la isla, describimos cualitativamente la flora y fauna dominantes, y determinamos los tipos de asociaciones existentes entre ellos.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Isla San Jerónimo se ubica en la parte central de la costa occidental de Baja California, México, dentro de la Bahía del Rosario (fig. 1). Su superficie estimada es de 376,000 m² y prácticamente toda su costa es rocosa. Solo se puede desembarcar en una playa protegida, de grava gruesa y

Introduction

The abalone fishery, currently composed by *H. fulgens* and *H. corrugata*, has a high commercial value in Mexico (Guzmán-del-Próo, 1992), as well as the fishery of the topshell *Astraea*, comprised by *A. (Lithopoma) undosa* and *A. (L.) turbanica* (Belmar-Pérez *et al.*, 1991; Cupul-Magaña and Torres-Moye, 1996).

The biology of *Haliotis* has been described by Guzmán-del-Próo (1992). *Astraea* is one of the largest gastropods found along the coasts of California and Baja California (Alfaro and Carpenter, 1999). As an opportunistic herbivore (Aguilar-Rosas *et al.*, 1990) with high growth and fecundity rates, it is an attractive resource (Schwalm 1973).

Haliotis and *Astraea* share the same habitat (Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998). Abalone populations of Baja California have been regularly surveyed since the late 1960's in order to regulate its fishery (Guzmán-del-Próo *et al.*, 1976; Guzmán-del-Próo, 1992), but those of *Astraea* have been exploited without knowing anything about its abundance. In Mexico, the knowledge about *Astraea* is referred to its diet (Aguilar-Rosas *et al.*, 1990), genetics (De-la-Rosa-Vélez and Suárez-Vázquez, 1991), as well as its growth and age (Cupul-Magaña and Torres-Moye, 1996).

Abalone quantifications in Baja California are justified because of its notorious abundance reduction (Shepherd *et al.*, 1998), and those of *Astraea* are because nothing is known about its abundance.

A proper management of marine resources implies the knowledge of the spatial heterogeneity in the exploited area and the quantification of real and potential habitats for the exploited species (Tilman and Lehman, 1997). In the case of the abalone, it is necessary to study the macrobenthos co-inhabiting the banks to determine their possible relationships (Ramírez-Granados, 1992).

Isla San Jerónimo has been one of the most important sites for fishing topshells and abalone by the fishing cooperative S.C.P.P. "Ensenada". Up to the early 1990's, both resources contributed more than 35% of the cooperative income. Nevertheless, their capture has become non-revenue-yielding, therefore, the cooperative asked us to survey the status of the populations. We estimated the abundance of *A. undosa*, *A. turbanica*, and *Haliotis* spp. in the shallow zone (< 40 m) around the island, qualitatively described the dominant flora and fauna, and determined their associations.

Materials and Methods

Study area

Isla San Jerónimo is located in the central west coast of Baja California, Mexico, inside Bahía del Rosario (fig. 1). Its estimated surface is 376,000 m² and rocky shores are dominant. It is only possible to land in a protected gravel-beach with steep slope at the east side of the island, where an

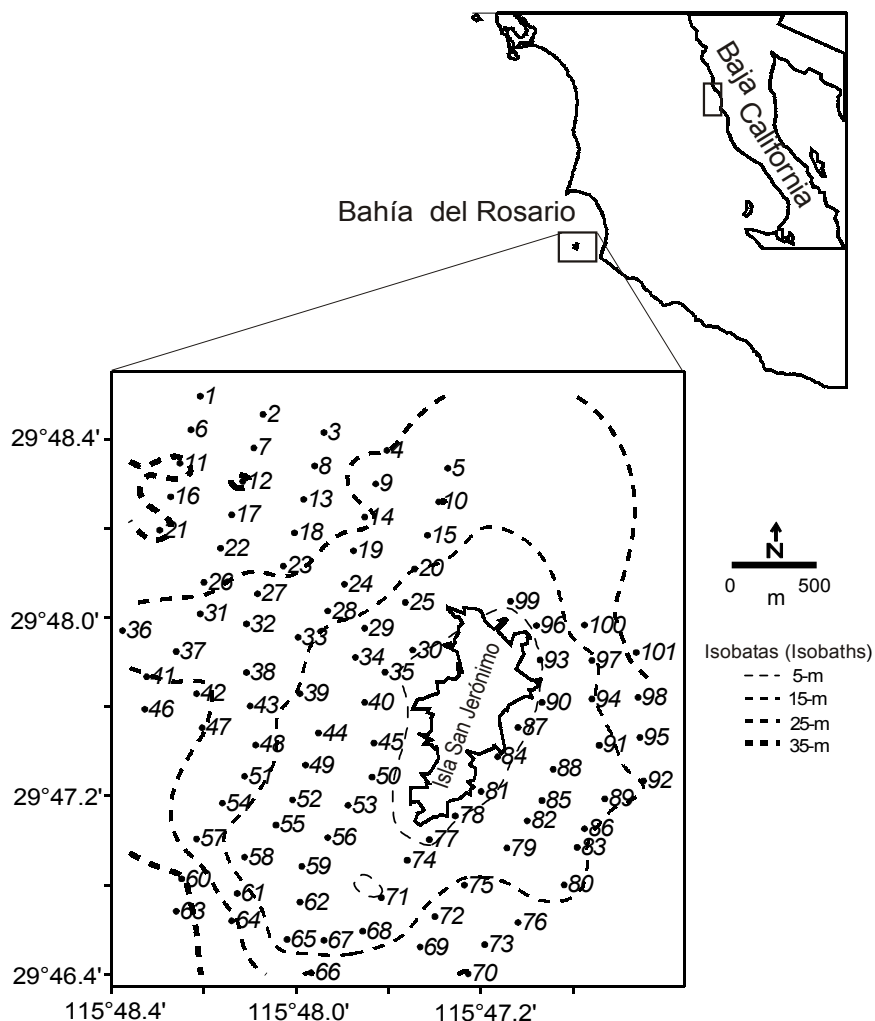


Figura 1. Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo.
Figure 1. Location of study area and location of sampling stations.

pendiente inclinada, en el lado este de la isla, donde se localiza un campo pesquero habitado intermitentemente por pescadores de la S.C.P.P. “Ensenada”. En la isla se produce guano que es aprovechado por la industria química regional.

Red de muestreo

Buzos abuloneros de la S.C.P.P. “Ensenada” buscaron visualmente caracol y abulón en 101 estaciones de muestreo distribuidas alrededor de la isla, entre la línea de costa y la isobata de 35 m, usando como unidad de muestreo un transecto de 5 m de longitud y 2 m de ancho (fig. 1). Los buzos informaron sobre la profundidad y tipo de fondo de cada estación y, manualmente, tomaron muestras de la flora y macroinvertebrados visualmente dominantes.

Otras cuatro personas a pie y dos buzos buscaron abulón en la intermareal del extremo sur de la isla durante la marea baja

intermittently inhabited fishing camp of the S.C.P.P. “Ensenada” is located. The island provides guano to the regional chemical industry.

Sampling stations

Abalone divers of the S.C.P.P. “Ensenada” visually searched for topshells and abalone at 101 sampling stations located around the island, between the coastline and the 35-m isobath, using a 5-m-long and 2-m-wide transect as sampling unit (fig. 1). Divers recorded depth and type of substratum at each station, and manually took samples of the visually dominant flora and macroinvertebrates.

Four other persons by walking and two divers searched abalone in the intertidal zone, inside a 1.5-km-long and 20-m-wide area in the southern end of the island. Divers searched at maximal depths of 2 m under the low tide line.

en una franja de 1.5 km de largo y 20 m de ancho. Los buzos buscaron a profundidades máximas de 2 m bajo la línea de bajamar.

Análisis de los datos

Con los datos de densidad de caracol y abulón (individuos m^{-2}) definimos su distribución espacial mediante una interpolación lineal entre puntos. Se analizó la covariación interespecifica con el coeficiente de correlación por rangos de Spearman (Ludwig y Reynolds, 1988).

Definimos conjuntos de estaciones con composición similar de vegetación y macroinvertebrados mediante análisis de agrupamiento, usando el índice de asociación de Jaccard y asociación simple como método de agrupamiento (Ludwig y Reynolds, 1988). En cada conjunto de estaciones con composición similar se identificó la flora e invertebrados más frecuentes y se asignó el nombre de esas especies a los conjuntos.

Se determinó la asociación multiespecifica global entre flora y macroinvertebrados usando la proporción varianza/media (VR) como índice de asociación (Ludwig y Reynolds, 1988). Si $VR > 1$ se sugiere una asociación global positiva, si $VR < 1$ se sugiere una asociación global negativa, si $VR = 1$ no existe ningún tipo de asociación entre las especies. El estadístico W probó desviaciones significativas del valor esperado de ausencia de asociación entre las especies (Ludwig y Reynolds, 1988). Las asociaciones positivas o negativas entre cada par de especies vegetales, de macroinvertebrados, y de las combinaciones de ambos se probaron mediante una tabla de contingencia de 2×2 (Ludwig y Reynolds, 1988). Aquí presentaremos sólo aquellas asociaciones que fueron significativas y las que estuvieron cerca de serlo.

Resultados

Proporcionalidad de los fondos

El área explorada alrededor de la isla cubrió aproximadamente 4,179,500 m^2 . Diferenciamos cinco tipos de fondo: peñascos altos con canales de grava entre ellos (44% del área total); arena (26%); roca plana corrida (25%); grava (3%); y arena/grava (2%). Los fondos arenosos dominaron el este de la isla y los fondos rocosos dominaron al oeste y al sur (fig. 2). La profundidad media explorada fue 17.7 m (min = 3.6 m, max = 38.4 m).

Tallas y abundancia de *Astraea* y *Haliotis*

Encontramos 219 ejemplares de *A. undosa* con una altura de concha promedio de 60 mm (min = 21 mm, max = 106 mm) y 16 ejemplares de *A. turbanica* con una altura media de concha de 57 mm (min = 22 mm, max = 97 mm) (fig. 3). El diámetro basal medio en *A. undosa* fue de 68.4 mm y en *A. turbanica* fue de 61.2 mm (fig. 4). Solo 12% de los ejemplares de *A. undosa* y 19% de los de *A. turbanica* tuvieron tallas

Data analysis

Using the density data of top shells and abalone (individuals m^{-2}), we defined their spatial distribution through a linear interpolation between sampling stations. We analyzed the interspecific covariation using the Spearman rank correlation coefficient (Ludwig and Reynolds, 1988). Groups of stations with similar vegetation and macroinvertebrates composition were defined through cluster analysis, using the Jaccard association index and single linkage as cluster method (Ludwig and Reynolds, 1988). We identified the dominant flora and invertebrates at each group of stations and assigned the names of those species to the groups.

The overall multiple-specific association between flora and macroinvertebrates was determined using the variance/mean (VR) as association index (Ludwig and Reynolds, 1988). If $VR > 1$, there is an overall-positive association; if $VR < 1$, there is an overall-negative association; and if $VR = 1$, there is no overall association between species. The W -statistic tested significant deviations from the expected value of lack of association between species (Ludwig and Reynolds, 1988). Positive or negative associations between each pair of vegetal species, macroinvertebrates, and combinations of both were tested using a 2×2 contingency table (Ludwig and Reynolds, 1988). We will present only those significant associations and those that were nearly significant.

Results

Substratum

The surveyed area around the island was about 4,179,500 m^2 . Five types of substratum were differentiated: large boulders with gravel channels between them (44% of the total area); sand (26%); flat-rock terrace (25%); gravel (3%); and sand/gravel (2%). Sandy substratum dominated to the east of the island and rocky bottoms dominated in the west and south (fig. 2). Mean explored depth was 17.7 m, ranging from 3.6 m to 38.4 m.

Size and abundance of *Astraea* and *Haliotis*

A total of 219 organisms of *A. undosa* with a mean shell height of 60 mm (min = 21 mm, max = 106 mm) and 16 organisms of *A. turbanica* with a mean shell height of 57 mm (min = 22 mm, max = 97 mm) were found (fig. 3). The mean basal diameter of *A. undosa* was 68.4 mm and that of *A. turbanica* was 61.2 mm (fig. 4). Only 12% of *A. undosa* and 19% of *A. turbanica* were larger than their minimum capture size (80 mm of shell height for both species). *A. undosa* occurred between 4 and 29 m depth, topshells between 28–58 mm of basal diameter were abundant at a 14-m depth, those between 59–88 mm were abundant at an 11.5-m depth, and those between 89–118 mm were abundant at a 13.4-m depth.

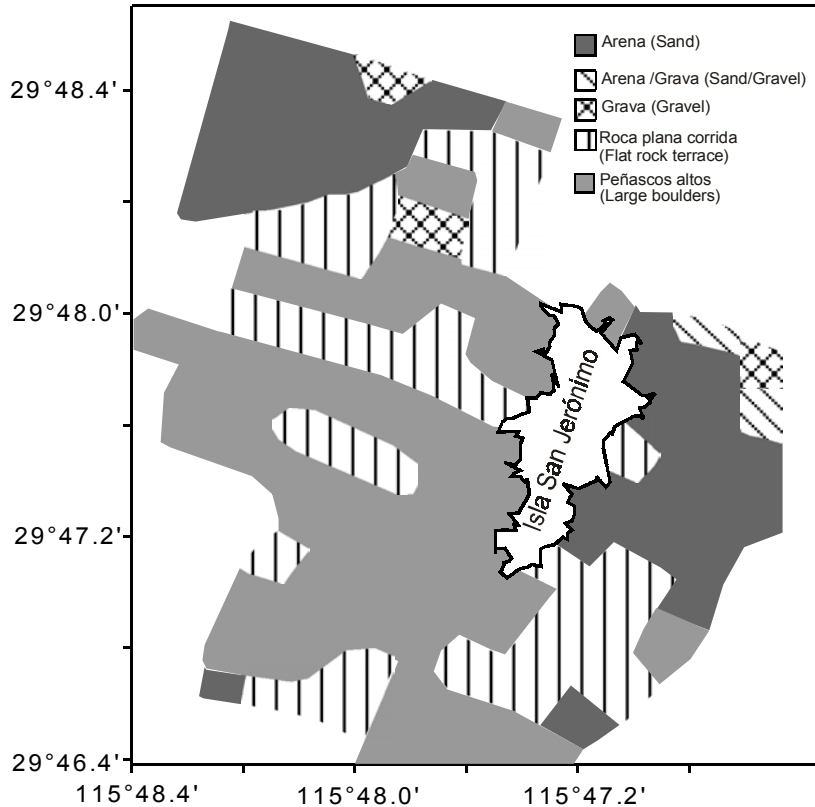


Figura 2. Distribución de los tipos de fondos alrededor de Isla San Jerónimo.
Figure 2. Distribution of the substratum types around Isla San Jerónimo.

mayores a la mínima legal de captura (80 mm de alto de concha para ambas especies). *A. undosa* ocurrió entre 4 y 29 m de profundidad, los caracoles entre 28 y 58 mm de diámetro basal fueron abundantes a 14 m de profundidad, aquellos entre 59 y 88 mm lo fueron a 11.5 m de profundidad, y aquellos entre 89 y 118 mm lo fueron a 13.4 m de profundidad. Todas las tallas se distribuyeron a profundidades con solo 2.5 m de diferencia entre sí. *A. turbanica* ocurrió entre los 4 y los 27 m, los caracoles entre 20 y 42 mm de diámetro basal fueron abundantes a 17 m de profundidad, aquellos entre 48 y 72 mm lo fueron a 11 m de profundidad, y aquellos entre 80 y 98 mm lo fueron a 15 m de profundidad. Todas las tallas se distribuyeron a profundidades con 6 m de diferencia entre sí.

La densidad media de *A. undosa* fue $0.1 \text{ m}^{-2} (\pm 0.06)$ y la de *A. turbanica* fue $0.006 \text{ m}^{-2} (\pm 0.004)$. La distribución espacial de la abundancia de *A. turbanica* fue fragmentada, con los puntos de mayor densidad repartidos en toda la extensión del fondo rocoso, mientras que los de *A. undosa* se restringieron al fondo rocoso del lado este de la isla (fig. 5). Los puntos con las mayores densidades de *A. undosa* se limitaron a zonas someras ($< 15 \text{ m}$), mientras que los de *A. turbanica* ocurrieron hasta 25 m de profundidad. Sólo encontramos organismos de tallas intermedias en los lugares donde ocurrieron las mayores densidades de ambas especies.

No encontramos abulón en ninguna de las estaciones alrededor de Isla San Jerónimo. Solo encontramos abulón en la

All sizes were distributed in depths only 2.5-m different among them. *A. turbanica* occurred between 4- and 27-m depths, topshells between 20–42 mm of basal diameter were abundant at a 17-m depth, those between 48–72 mm were abundant at an 11-m depth, and those between 80–98 mm were abundant at a 15-m depth. All sizes were distributed in depths 6-m different among them.

The mean density of *A. undosa* was $0.1 \text{ m}^{-2} (\pm 0.06)$ and that of *A. turbanica* was $0.006 \text{ m}^{-2} (\pm 0.004)$. The density of *A. turbanica* showed a scattered spatial distribution with high density spots distributed along the whole extension of the rocky bottom, while those of *A. undosa* were restricted to the rocky bottom east of the island (fig. 5). Points with the highest densities of *A. undosa* were limited to shallow water ($< 15 \text{ m}$), while those of *A. turbanica* occurred up to a 25-m depth. Only medium-size topshells were found at places where the highest densities of both species occurred.

No abalone was found at any of the sampling stations around Isla San Jerónimo. Abalone was found only in the intertidal at the southern end of the island. A total of 29 adults of *H. fulgens* (maximum size = 208 mm; minimum size = 109 mm; mean size = 152.5 mm) and one adult of *H. corrugata* (size = 170 mm) were collected. The density of *H. fulgens* in the intertidal was $0.001 \text{ organisms m}^{-2}$. It is not possible to extrapolate that of *H. corrugata* from a single organism. After

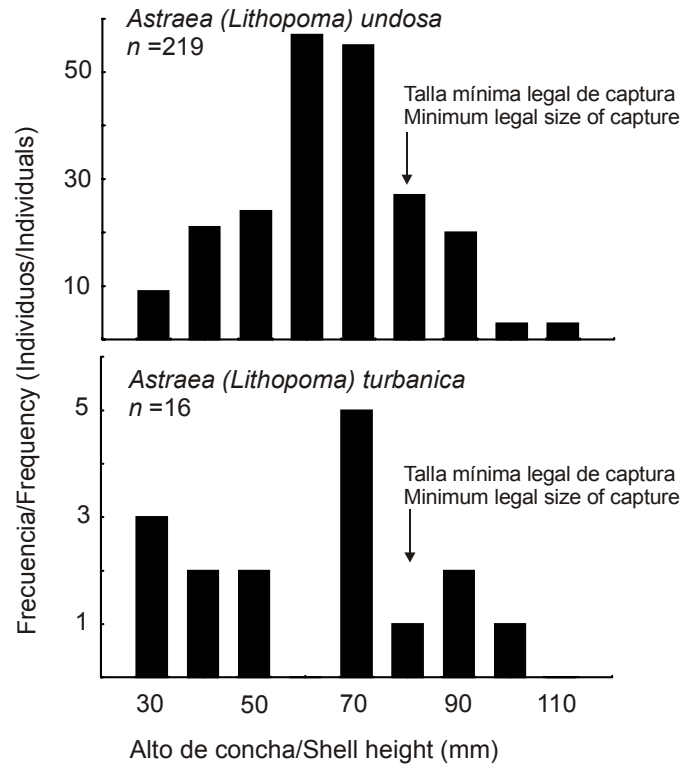


Figura 3. Frecuencia de tallas (alto de concha) de *Astraea (Lithopoma) undosa* y *A. (L.) turbanica* capturados en Isla San Jerónimo.
Figure 3. Size frequencies (shell height) of *Astraea (Lithopoma) undosa* and *A. (L.) turbanica* captured at Isla San Jerónimo.

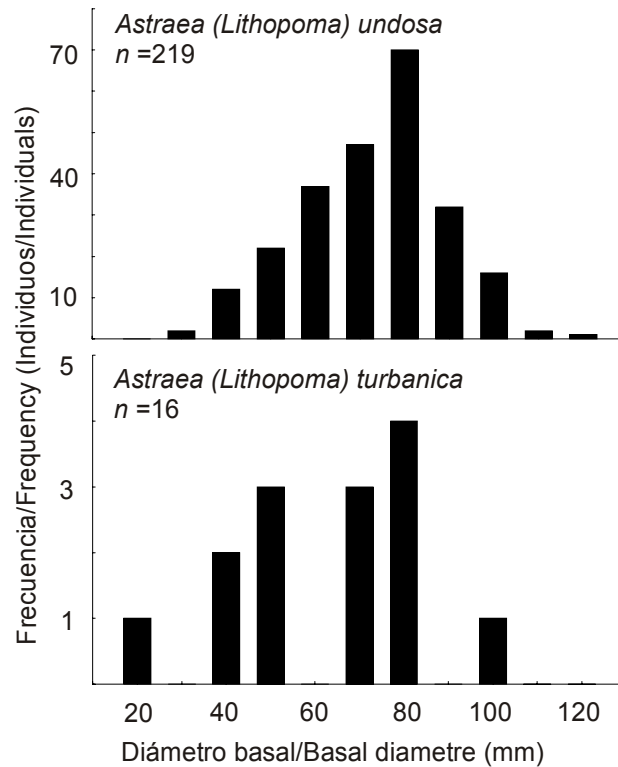


Figura 4. Frecuencia de tallas (diámetro basal) de *Astraea (Lithopoma) undosa* y *A. (L.) turbanica* capturados en Isla San Jerónimo.
Figure 4. Size frequencies (basal diameter) of *Astraea (Lithopoma) undosa* and *A. (L.) turbanica* from Isla San Jerónimo.

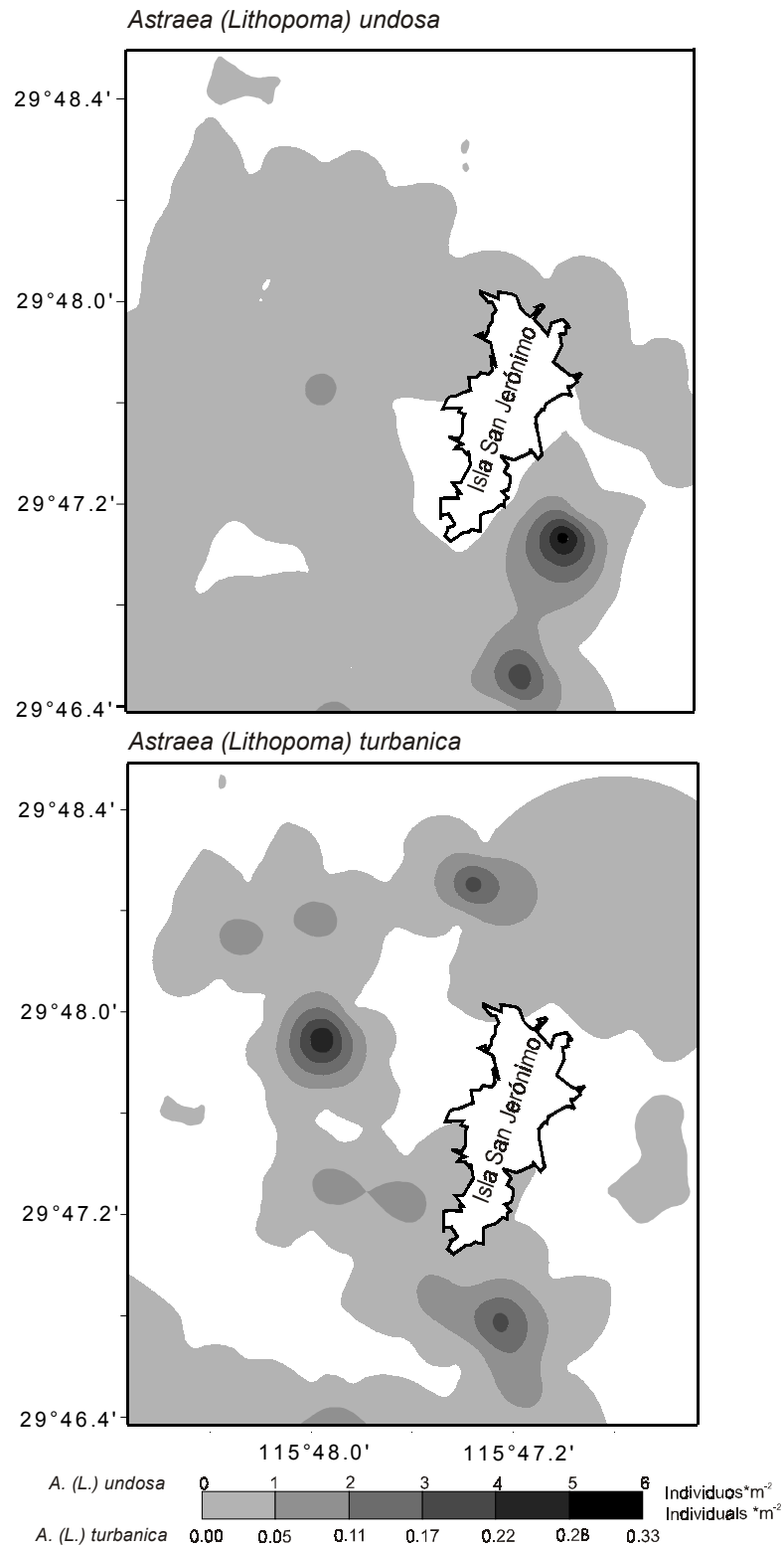


Figura 5. Distribución espacial de la densidad de *Astraea (Lithopoma) undosa* y *A. (L.) undosa* alrededor de Isla San Jerónimo.
Figure 5. Spatial distribution of the density of *Astraea (Lithopoma) undosa* and *A. (L.) turbanica* around Isla San Jerónimo.

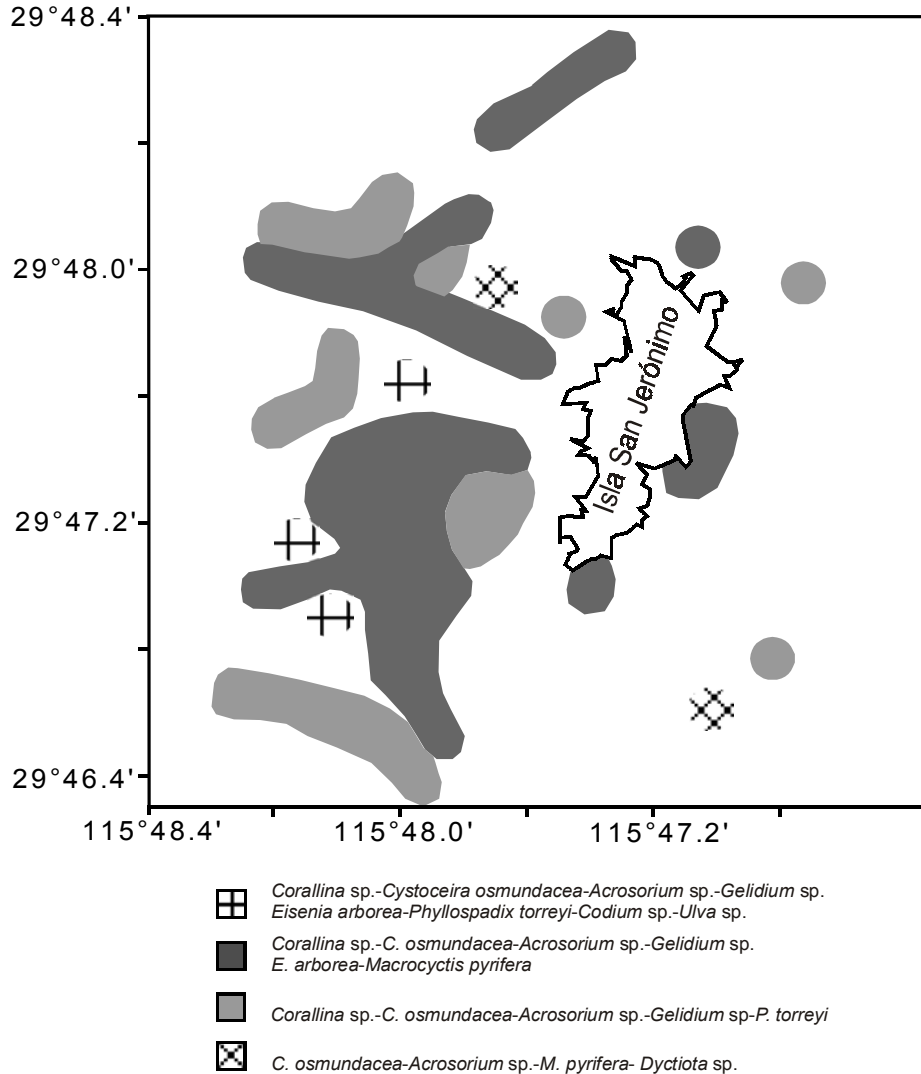


Figura 6. Conjuntos de especies vegetales conspicuas alrededor de Isla San Jerónimo.
Figure 6. Groups of conspicuous vegetal species around Isla San Jerónimo.

zona intermareal del extremo sur de la isla. Ahí colectamos 29 adultos de *H. fulgens* (talla max. = 208 mm; talla min. = 109 mm; talla media = 152.5 mm) y un adulto de *H. corrugata* (talla = 170 mm). La densidad estimada para *H. fulgens* en la zona intermareal es de 0.001 abulones m⁻². No es posible extrapolar la de *H. corrugata*, a partir de un solo organismo. Todos los abulones fueron transplantados, excepto el ejemplar de *H. corrugata* (hembra), que fue sacrificado por presentar atrofia muscular y debilitamiento. Las conchas de todos los abulones estaban libres de otros organismos y sólidas. Solo tres conchas de *H. fulgens* estaban perforadas por *Cliona* sp.

Asociaciones vegetales

La flora más frecuente fueron *Corallina* sp., *Gelidium* sp., *Cystoseira osmundacea* y *Acrosorium* sp. (tabla 1). Estas especies acumularon el 71% del total de frecuencias de

being measured, all individuals were transplanted to the places they were collected from. The single *H. corrugata* (female) was sacrificed as for it showed muscular atrophy and a weak appearance. All individuals had clean and solid shells. Only three shells of *H. fulgens* were drilled by *Cliona* sp.

Flora associations

The most frequent flora were *Corallina* sp., *Gelidium* sp., *Cystoseira osmundacea* and *Acrosorium* sp. (table 1). They accounted for 71% of the frequency. The remaining 29% was contributed by *Eisenia arborea*, *Macrocystis pyrifera*, *Phyllospadix torreyi*, *Dyctiota* sp., *Codium* sp. and *Ulva* sp. The west side of the island showed greater complexity of groups, coinciding with a larger extension of rocky bottom (fig. 6). Almost all the rocky bottom showed a group composed by *E. arborea* – *Corallina* sp. – *C. osmundacea* – *Acrosorium*

Tabla 1. Presencia (1) y ausencia (0) de la flora colectada alrededor de Isla San Jerónimo. F, frecuencia.
Table 1. Presence (1) and absence (0) of the flora collected around Isla San Jerónimo. F, frequency.

	ESTACIÓN																												F
	5	14	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	37	38	39	43	44	45	47	48	49					
<i>Corallina</i> sp.	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	25			
<i>Gelidium</i> sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	21			
<i>Cystoseira osmundacea</i>	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	16			
<i>Acrosorium</i> sp.	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	16			
<i>Eisenia arborea</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8			
<i>Macrocystis pyriferá</i>	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8			
<i>Phyllospadix torreyi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	8			
<i>Dyctiota</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5			
<i>Codium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
<i>Ulva</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			

	ESTACIÓN																												F
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	65	67	76	77	80	84	87	88	99	100	100	F				
<i>Corallina</i> sp.	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	25			
<i>Gelidium</i> sp.	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	21			
<i>Cystoseira osmundacea</i>	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	16			
<i>Acrosorium</i> sp.	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	16			
<i>Eisenia arborea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8			
<i>Macrocystis pyriferá</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8			
<i>Phyllospadix torreyi</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8			
<i>Dyctiota</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	5			
<i>Codium</i> sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
<i>Ulva</i> sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			

Tabla 2. Asociaciones entre pares de especies vegetales y de macroinvertebrados colectados alrededor de Isla San Jerónimo (* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$).

Table 2. Associations between pairs of vegetal and macroinvertebrate species collected around Isla San Jeronimo (* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$).

Asociaciones entre pares de especies vegetales			
Especies	Tipo de asociación	χ^2	Significancia
<i>Acrosorium</i> sp. – <i>Dyctiota</i> sp.	+	5.1	*
<i>M. pyrifer</i> a – <i>Gelidium</i> sp.	+	7.4	**
<i>Gelidium</i> sp. – <i>P. torreyi</i>	+	7.4	**
<i>Codium</i> sp. – <i>Ulva</i> sp.	+	64.0	**
Asociaciones entre pares de especies de macroinvertebrados			
Especies	Tipo de asociación	χ^2	Significancia
<i>Kelletia</i> sp. – <i>Megathura crenulata</i>	–	3.2	
<i>M. crenulata</i> – <i>Strongylocentrotus franciscanus</i>	+	3.2	
<i>Kelletia</i> sp. – <i>Pisaster</i> sp.	+	3.1	
<i>Kelletia</i> sp. – <i>S. franciscanus</i>	+	3.1	
<i>A. undosa</i> – <i>Gorgonia</i> sp.	–	6.0	*
<i>Geodia gibberosa</i> – <i>Pisaster</i> sp.	+	28.9	**
<i>A. undosa</i> – <i>A. turbanica</i>	+	3.8	*
<i>Kelletia</i> sp. – <i>Tegula aureotincta</i>	+	3.8	*
<i>Pisaster</i> sp. – <i>M. crenulata</i>	+	4.9	*
<i>Cyprea</i> sp. – <i>Prionotis</i> sp.	+	20.7	**
Asociaciones entre pares de especies de macroinvertebrados y flora			
Especies	Tipo de asociación	χ^2	Significancia
<i>Gorgonia</i> sp. – <i>Gelidium</i> sp.	–	3.2	
<i>G. gibberosa</i> – <i>C. osmundacea</i>	+	3.0	
<i>Pisaster</i> sp. – <i>C. osmundacea</i>	+	6.2	*
<i>G. gibberosa</i> – <i>E. arborea</i>	+	7.1	**
<i>Prionotis</i> sp. – <i>M. pyrifer</i> a	+	7.1	**
<i>Tegula</i> sp. – <i>Acrosorium</i> sp.	–	7.7	**
<i>A. turbanica</i> – <i>Gelidium</i> sp.	–	4.7	*
<i>A. undosa</i> – <i>E. arborea</i>	–	6.5	*

aparición. El 29% restante fue acumulado por *Eisenia arborea*, *Macrocystis pyrifer*a, *Phyllospadix torreyi*, *Dyctiota* sp., *Codium* sp. y *Ulva* sp. El lado oeste de la isla presentó la mayor complejidad de conjuntos, correspondiendo a una mayor extensión de fondos rocosos (fig. 6). En la mayor parte del fondo rocoso se presentó el conjunto compuesto por *E. arborea* – *Corallina* sp. – *C. osmundacea* – *Acrosorium* sp. – *M. pyrifer*a – *Gelidium* sp. La flora estuvo globalmente asociada de forma positiva y significativa entre sí ($VR = 1.4$; $W = 82.0$, $P < 0.01$). Las asociaciones significativas detectadas entre pares de especies siempre fueron positivas: *Acrosorium* sp. – *Dyctiota* sp., *M. pyrifer*a – *Gelidium* sp., *Gelidium* sp. – *P. torreyi*, y *Codium* sp. – *Ulva* sp. (tabla 2).

sp. – *M. pyrifer*a – *Gelidium* sp. Flora was overall positively and significantly associated ($VR = 1.4$; $W = 82.0$, $P < 0.01$). Significant positive associations were detected between *Acrosorium* sp. – *Dyctiota* sp., *M. pyrifer*a – *Gelidium* sp.; *Gelidium* sp. – *P. torreyi*, and *Codium* sp. – *Ulva* sp. (table 2).

Associations between macroinvertebrates

All sampling stations with rocky substratum had adult and juvenile purple sea-urchin *Strongylocentrotus franciscanus* (table 3). Other frequent macroinvertebrates were *A. undosa*, *Kelletia* sp., *Megathura crenulata*, *Tegula* sp., and *A. turbanica*, they accounted for 89% of the frequencies. The

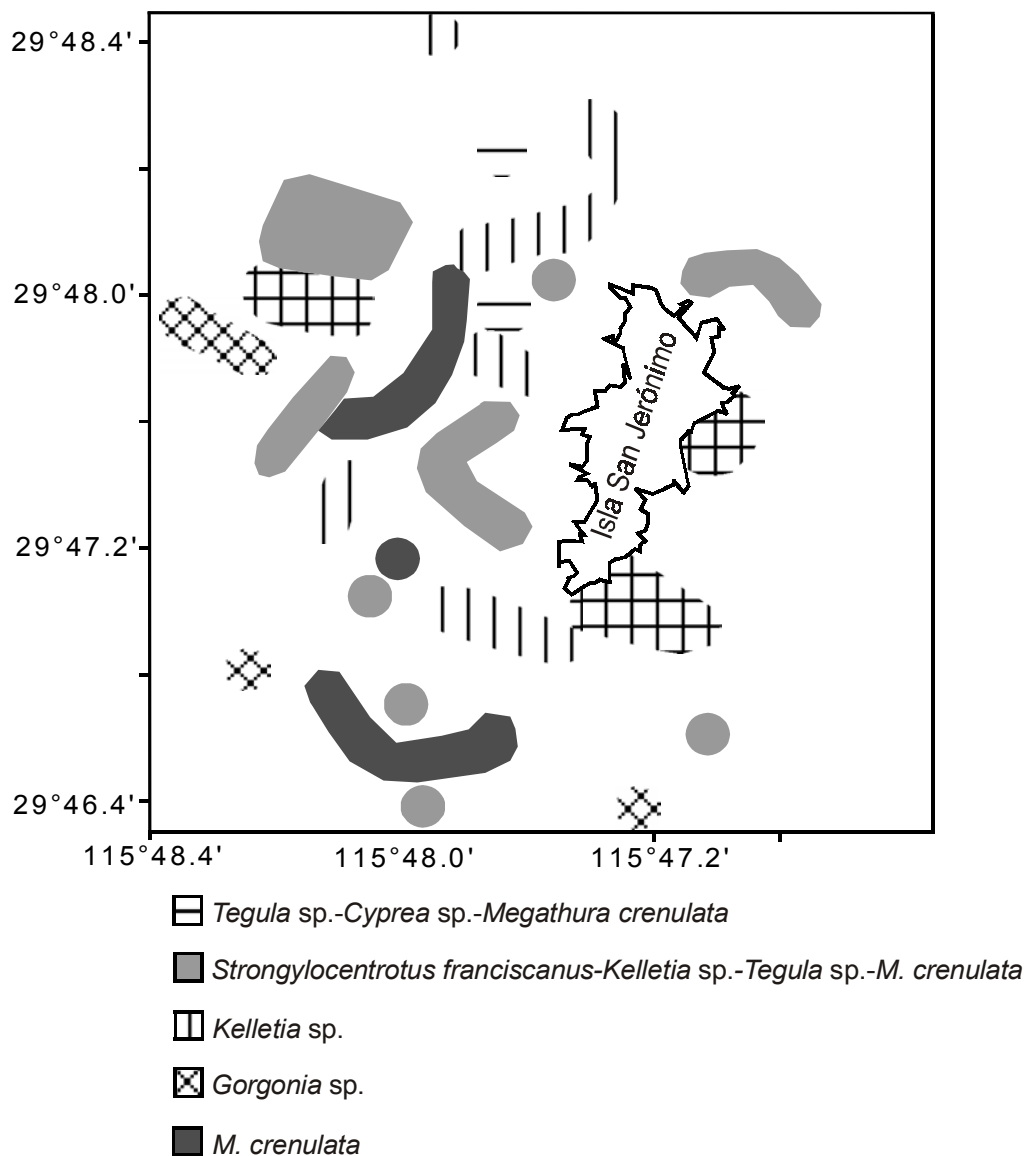


Figura 7. Conjuntos de macroinvertebrados conspicuos alrededor de Isla San Jerónimo.
Figure 7. Groups of conspicuous macroinvertebrates around Isla San Jerónimo.

Asociaciones entre macroinvertebrados

En todas las estaciones de muestreo con fondo rocoso hubo adultos y juveniles del erizo *Strongylocentrotus franciscanus* (tabla 3). Además del erizo, los otros macroinvertebrados más frecuentes fueron *A. undosa*, *Kelletia* sp., *Megathura crenulata*, *Tegula* sp., y *A. turbanica*, acumulando el 89% de la frecuencia de aparición. El 11% restante lo acumularon *Gorgonia* sp., *Cyprea* sp., *Pisaster* sp., *T. aureotincta*, Sclerospongiae, *Geodia gibberosa*, y *Prionotis* sp. Los

remaining 11% was composed by *Gorgonia* sp., *Cyprea* sp., *Pisaster* sp., *T. aureotincta*, Sclerospongiae, *Geodia gibberosa* and *Prionotis* sp. The groups of macroinvertebrates were spatially fragmented (fig. 7). A higher variety of groups occurred west of the island. Areas of *Kelletia* sp. and the group *S. franciscanus* – *Kelletia* sp. – *Tegula* sp. – *M. crenulata* were spatially dominant. The areas of *Gorgonia* sp. were limited to the deep regions west and southwest of the island. The *VR* index suggested a negative overall-association among the macroinvertebrates ($VR = 0.85$). However, its value does not

conjuntos de macroinvertebrados estuvieron espacialmente muy fragmentados (fig. 7). La mayor variedad de asociaciones ocurrió en el lado oeste de la isla. Las extensiones de *Kelletia* sp. y el conjunto *S. franciscanus* – *Kelletia* sp. – *Tegula* sp. – *M. crenulata* fueron espacialmente dominantes. Las extensiones de *Gorgonia* sp. estuvieron limitadas a las zonas profundas del oeste y sudoeste de la isla. El índice de asociación *VR* sugiere una asociación global negativa entre los macroinvertebrados ($VR = 0.85$). Sin embargo, su valor no es diferente de 1 ($W = 50.4$). Es muy probable que exista una asociación negativa entre *Kelletia* sp. y *M. crenulata*, debido a que su valor de χ^2 es cercano a ser significativo (tabla 2). También son probables las asociaciones positivas entre *Kelletia* sp. – *Pisaster* sp.; *Kelletia* sp. – *S. franciscanus*; y *M. crenulata* – *S. franciscanus* (tabla 2). *A. undosa* y *Gorgonia* sp. presentaron una asociación negativa significativa. Hubo asociaciones positivas significativas entre *Pisaster* sp. – *M. crenulata*, *G. gibberosa* – *Pisaster* sp., *Kelletia* sp. – *Tegula aureotincta*, y *Cyprea* sp. – *Prionotis* sp. (tabla 2). Las dos especies de *Astraea* estuvieron asociadas positiva y significativamente entre sí. La covariación entre las dos especies es negativa ($r = -0.34$), pero no significativa. La covariación negativa concuerda con la segregación espacial entre las zonas de mayor abundancia de ambas especies.

Asociaciones entre macroinvertebrados y flora

Los macroinvertebrados y la flora estuvieron globalmente asociados, positiva y significativamente, entre sí ($VR = 1.6$; $W = 101.8$, $P < 0.01$). Es probable que exista una asociación negativa *Gorgonia* sp. – *Gelidium* sp. y una asociación positiva *G. gibberosa* – *C. osmundacea*, debido a que sus valores de χ^2 son cercanos a ser significativos (tabla 2). Encontramos asociaciones negativas significativas entre *Tegula* sp. – *Acrosorium* sp., *A. undosa* – *E. arborea*, *A. turbanica* – *Gelidium* sp. Hubo asociaciones positivas significativas entre *Pisaster* sp. – *C. osmundacea*, y *G. gibberosa* – *E. arborea*.

Discusión

Situación de *Astraea* en Isla San Jerónimo

Existen muchas localidades a lo largo de Baja California donde *Astraea* es explotada, sin un registro de las capturas, ni de la abundancia por especie. Nuestros datos son los primeros para la Bahía del Rosario y sirven como futura referencia.

Es notoria la baja proporción de organismos con tallas legales de captura. Los diámetros basales nos sugieren que las poblaciones alrededor de Isla San Jerónimo estuvieron compuestas por organismos menores a cinco años de edad (Gluyas-Millán *et al.*, 1999). Es posible que exista segregación espacial por tallas y que nuestros puntos de muestreo hayan coincidido con las zonas de concentración de pre-adultos. Alfaro y Carpenter (1999) encontraron segregación espacial por tallas en *A. (L.) undosa* a lo largo del gradiente de profundidad en Isla Santa Catalina, California. Las tallas

significanamente difieren de 1 ($W = 50.4$). Una asociación negativa entre *Kelletia* sp. and *M. crenulata* es probable, since its χ^2 value is close to be significant (table 2). Other probable positive associations are those between *Kelletia* sp. – *Pisaster* sp., *Kelletia* sp. – *S. franciscanus*, and *M. crenulata* – *S. franciscanus* (table 2). A significant negative association existed between *A. undosa* and *Gorgonia* sp. Significant positive associations occurred between *Pisaster* sp. – *M. crenulata*, *G. gibberosa* – *Pisaster* sp., *Kelletia* sp. – *Tegula aureotincta*, and *Cyprea* sp. – *Prionotis* sp (table 2). Both species of *Astraea* were significantly and positively associated. A negative, but not significant covariation ($r = -0.34$), occurred between them. This negative covariation agrees with the spatial segregation between their high-abundance areas.

Associations between macroinvertebrates and flora

Macroinvertebrates and flora were positively and significantly overall-associated ($VR = 1.6$; $W = 101.8$, $P < 0.01$). A negative association between *Gorgonia* sp. – *Gelidium* sp. and a positive association between *G. gibberosa* – *C. osmundacea* are probable, since their χ^2 value are close to be significant (table 2). Significant negative associations between *Tegula* sp. – *Acrosorium* sp., *A. undosa* – *E. arborea*, and *A. turbanica* – *Gelidium* sp. were found. Positive significant associations existed between *Pisaster* sp. – *C. osmundacea*, and *G. gibberosa* – *E. arborea*.

Discussion

Status of *Astraea* at Isla San Jerónimo

There are many locations along Baja California where *Astraea* is exploited without recording neither the captures nor the abundance for each species. Our data are the first for Bahía del Rosario and are useful as future reference.

The low proportion of organisms with legal sizes for capture is notorious. The basal diameters suggested that organisms younger than five years old composed the populations around Isla San Jerónimo (Gluyas-Millán *et al.*, 1999). It is possible that a spatial segregation between size-groups exists, and that our sampling stations coincided with those areas where pre-adults concentrate. Alfaro and Carpenter (1999) detected spatial segregation between size-groups of *A. undosa* along a bathymetric gradient at Santa Catalina Island, California. Large sizes concentrated at shallow and deep areas, while medium and small sizes concentrated in the intermediate zone. This could be caused by differences in water movement, interspecific competition, and predation. Areas where small sizes concentrated had the highest densities. We observed that all sizes of *A. undosa* concentrate in a short bathymetric range and, although *A. turbanica* showed clues of bathymetric segregation between sizes, its patterns do not agree with those described by Alfaro and Carpenter (1999). We found organisms of *A. undosa* with sizes larger than those reported for

grandes se concentraron en zonas someras y profundas, mientras que las medianas y pequeñas, en la zona intermedia. Esto pudo deberse a diferencias en el movimiento del agua, competencia intra-específica, y predación. Las zonas con tallas pequeñas tuvieron la mayor densidad poblacional. Nosotros observamos que todas las tallas de *A. undosa* se concentran en un rango batimétrico estrecho, y aunque *A. turbanica* mostró indicios de segregación batimétrica por tallas, sus patrones tampoco coinciden con los descritos por Alfaro y Carpenter (1999). Nosotros encontramos ejemplares de *A. undosa* con tallas mayores a las de Isla Santa Catalina y la talla media en Isla San Jerónimo es igual a la talla máxima reportada por Alfaro y Carpenter (1999). Ellos detectaron las mayores tallas en zonas de *M. pyrifera*, pero en nuestro caso estuvieron en áreas sin *M. pyrifera*. En Isla Santa Catalina las áreas con mayor densidad estuvieron dominadas por tallas pequeñas, pero en nuestro caso las áreas de mayor densidad de *A. undosa* y *A. turbanica* estuvieron conformadas por tallas intermedias.

Estas diferencias pueden deberse al efecto de la captura comercial sobre los patrones espaciales. Los patrones de Alfaro y Carpenter (1999) son más cercanos a los que debe ocurrir sin explotación, ya que en Isla Santa Catalina sólo hay extracción por buceo deportivo, mientras que Isla San Jerónimo ha soportado una pesquería intensiva durante más de 30 años. Esto se refleja claramente en la densidad. La densidad media de *A. undosa* en Isla Santa Catalina es mucho mayor (9.4 m^{-2}) a las de *A. undosa* (0.1 m^{-2}) y *A. turbanica* (0.006 m^{-2}) en Isla San Jerónimo. La segregación espacial por tallas en *Astraea* debe investigarse en cada punto importante de extracción para limitar el buceo solo a las profundidades donde se concentra la fracción explotable.

Estado de *Haliotis* en Isla San Jerónimo

La Bahía del Rosario era una buena zona para la captura de abulón hasta inicios de los años ochenta. Las capturas eran abundantes y estaban compuestas por *H. fulgens*, *H. corrugata*, *H. rufescens*, *H. sorenseni* y *H. cracherodii* (Delegación Estatal de Pesca). Aquí convergían los rangos de distribución de todas las especies de abulón de Baja California (Guzmán-del-Próo, 1992). Los rangos batimétricos explorados en nuestro trabajo incluyen los de todas esas especies.

Nosotros hemos encontrado *H. cracherodii* en el intermareal de Isla de Cedros e Islas San Benito (Rodríguez-Valencia *et al.*, 1998) a pesar de que ahí la pesquería es intensa. Pero al contrario de Isla San Jerónimo, la vigilancia por parte de la cooperativa local mantiene una baja incidencia de captura ilegal.

Haliotis sorenseni y *H. rufescens* eran abundantes entre San Quintín y Bahía del Rosario en los años setenta y ochenta (datos no publicados, CRIP-Ensenada). Uribe-Osorio *et al.* (1998) exploraron 48 localidades entre Isla San Martín y el extremo sur de Bahía del Rosario usando una cámara de vídeo submarina a profundidades < 40 m y solo encontraron un ejemplar de *H. sorenseni*. Davis *et al.* (1996, 1998)

Santa Catalina Island and the mean size at Isla San Jerónimo is comparable to the maximum size reported by Alfaro and Carpenter (1999). They found the largest sizes concentrated in zones with *M. pyrifera*, but we found them at zones without *M. pyrifera*. At Santa Catalina Island the areas with highest density were dominated by small sizes but, in our case, the highest density areas of *A. undosa* and *A. turbanica* were composed by medium sizes.

These differences could be caused by the effect of commercial captures on spatial patterns. Patterns reported by Alfaro and Carpenter (1999) are more related to non-exploitation situations, since at Santa Catalina Island only extraction by sport-diving occurs, while Isla San Jerónimo has supported an intensive fishery for more than 30 years. This is clearly reflected in the density. The mean density of *A. undosa* at Santa Catalina Island is much higher (9.4 m^{-2}) than that of *A. undosa* (0.1 m^{-2}) and *A. turbanica* (0.006 m^{-2}) at Isla San Jerónimo. The spatial segregation between sizes of *Astraea* should be investigated at each important extraction area, in order to limit diving to those depths where the exploitable fraction is concentrated.

Status of *Haliotis* at Isla San Jerónimo

Bahía del Rosario was a good fishing area until the 1980's. Captures were abundant and were composed by *H. fulgens*, *H. corrugata*, *H. rufescens*, *H. sorenseni*, and *H. cracherodii* (State Delegation of Fisheries).

This was the convergence area in the distribution ranges of all the Baja Californian species of abalone (Guzmán-del-Próo, 1992). The bathymetric ranges explored by us included those of all these species.

We have found *H. cracherodii* in the intertidal of Isla de Cedros and Islas San Benito (Rodríguez-Valencia *et al.*, 1998), although the fishery is intensive there but, contrary to what happens in Isla San Jerónimo, the surveillance of the local cooperative restricts illegal fishing.

Haliotis sorenseni and *H. rufescens* were abundant between San Quintín and Bahía del Rosario during the 1970's and 1980's (unpublished data, CRIP-Ensenada). Uribe-Osorio *et al.* (1998) surveyed 48 locations between Isla San Martín and the southern tip of Bahía del Rosario using a submarine video camera at depths < 40 m and found only one organism of *H. sorenseni*. Davis *et al.* (1996 and 1998) found only three organisms of *H. sorenseni* in $30,600 \text{ m}^2$ at the California Channel Islands (26–65 m depth) and in other occasion, they found only nine organisms exploring $77,050 \text{ m}^2$ (30–67-m-depth). The abundance of *H. rufescens* in Bahía del Rosario could have been particularly harmed by the use of diving-compressors. Deep refuges are harmed when diving-compressors are used and recruitment increases prohibiting their use (Karpov *et al.*, 1998).

The 5-year abalone fishery closure established in 1997 in Bahía del Rosario may help in the recovery; nevertheless,

encontraron sólo tres organismos de *H. sorenseni* explorando 30,600 m² en las islas del *California Channel* (26–65 m de profundidad) y, en otra ocasión encontraron solo nueve ejemplares explorando 77,050 m² (30–67 m de profundidad). La abundancia de *H. rufescens* en Bahía del Rosario pudo haber sido especialmente perjudicada por el uso de compresores de aire. En las zonas donde se usan compresores de aire se perjudica a los refugios profundos y el reclutamiento se incrementa prohibiendo su uso (Karpov *et al.*, 1998).

La veda de cinco años establecida en 1997 para el abulón de Bahía del Rosario puede ayudar a que se recupere, sin embargo, las densidades de *H. fulgens* y *H. corrugata* en la zona intermareal están muy por abajo del nivel mínimo requerido para asegurar éxito en la fecundación (0.2 m⁻²) (Clavier, 1992; Shepherd y Partington, 1995).

La problemática pesquera en la zona es fuerte y se ha ocasionado por la falta de cumplimiento en la normatividad del abulón y el traslape de las áreas de captura de erizo y pepino de mar. Se sospecha que algunos equipos capturan caracol y abulón sin permiso y sin respetar las tallas mínimas permitidas. La falta de vigilancia continua en Isla San Jerónimo favorece la incidencia de captura ilegal.

Estado del hábitat de *Astraea* y *Haliotis* en Isla San Jerónimo

La isla tiene una amplia proporción de substrato rocoso donde se puede intentar repoblar el abulón mediante siembra de semillas. La clara separación entre los fondos rocosos y arenosos resulta favorable porque las semillas pueden tener mayor sobrevivencia en zonas rocosas alejadas del movimiento de arena (Schiel, 1993). Se necesitan más investigaciones para determinar si ocurren inundaciones estacionales de arena que cubran las áreas rocosas (Litter *et al.*, 1983).

Podría evaluarse si la transferencia del erizo a otra zona acarrea efectos positivos para el abulón, pues existe una asociación negativa significativa entre ambos (Searcy-Bernal, 1986; Ramírez-Granados, 1992). El erizo también compite con *Astraea* por alimento y puede limitar su aparición (Aguilar-Rosas *et al.*, 1990).

Las mejores condiciones de hábitat para *Astraea* y *Haliotis* están en el lado oeste y el extremo sur de la isla. Ahí hay la mayor disponibilidad de fondos rocosos y alimento para *A. undosa*: *Gelidium* y *Corallina* (Aguilar-Rosas *et al.*, 1990); y *Cystoceira* y *Dyctiota* (Alfaro y Carpenter, 1999). También son frecuentes *P. torreyi*, *E. arborea*, y *M. pyrifer*, que son el alimento preferido de *H. fulgens* (González-Avilés y Shepherd, 1996; Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998). Áreas similares sirven a *Astraea* como refugio contra predadores (Schaeffer y Carpenter, 1996).

A pesar de que la exploración se realizó después del “El Niño” 1997-98, los buzos reportaron amplia cobertura vegetal. Corona-Grajales (1985) mencionó que la Bahía del Rosario puede recuperarse rápidamente de eventos climáticos adversos y tormentas fuertes debido a que es altamente productiva. Simultáneamente, la cobertura algal en Isla de Cedros se

densities of *H. fulgens* and *H. corrugata* in the intertidal area are lower than the minimum density level required for successful fecundation (0.2 m⁻²) (Clavier, 1992; Shepherd and Partington, 1995).

The problem in this area is difficult and has been mainly caused to the lack of observance of the regulations for abalone and an overlap in the fishing areas for sea urchin and sea cucumber. It is suspected that some fishing-teams capture top shells and abalone without permission and without respecting the minimum sizes allowed. The absence of continuous surveillance at Isla San Jerónimo favors the incidence of illegal fishing.

Status of the habitat of *Astraea* and *Haliotis* at Isla San Jerónimo

The island has a large proportion of rocky substratum where the recovery of abalone could be tried by introducing seeds from hatcheries. The clear separation between rocky and sandy bottoms is favorable because higher survival rates for the seeds can be reached in rocky areas located away from places with sand flow (Schiel, 1993). More research is needed to determine if there could be seasonal sand floods that could partially cover the rocky areas (Litter *et al.*, 1983).

The transference of sea urchins to other locations could be evaluated for if it brings positive effects to abalone, since a negative association between both has been found significant (Searcy-Bernal, 1986; Ramírez-Granados, 1992). Sea urchins also compete with *Astraea* for food and can limit its distribution (Aguilar-Rosas *et al.*, 1990).

The best habitat conditions for *Astraea* and *Haliotis* are in the west side and south tip of the island. There are larger extensions of rocky substratum and food availability for *A. undosa*: *Gelidium*, *Corallina*, *Cystoceira*, and *Dyctiota* (Aguilar-Rosas *et al.*, 1990; Alfaro and Carpenter, 1999). *P. torreyi*, *E. arborea* and *M. pyrifer* are also frequent there, and they are the most common food for *H. fulgens* (González-Avilés and Shepherd, 1996; Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998). *Astraea* uses similar areas as refuge against predators (Schaeffer and Carpenter, 1996).

Although the survey was done after the 1997-98 “El Niño”, divers reported a wide vegetal cover. Corona-Grajales (1985) mentioned that Bahía del Rosario could recover rapidly from adverse climatic events and strong storms because it is highly productive. Simultaneously, algal cover in Isla de Cedros was reduced to such an extent that the mean muscle weight of *H. fulgens* and *H. corrugata* decreased 20% and its volume was reduced notoriously (Rodríguez-Valencia *et al.*, 1998).

Food availability at Isla San Jerónimo could favor a higher growth rate for *Astraea*, which could explain why we found larger sizes there than those reported for Santa Catalina Island. Food availability also explains why most of the abalone collected in Isla San Jerónimo had healthy muscles.

redujo a tal grado que el peso promedio del músculo de *H. fulgens* y *H. corrugata* disminuyó 20% y su volumen se redujo notoriamente (Rodríguez-Valencia *et al.*, 1998).

La disponibilidad de alimento en Isla San Jerónimo podría favorecer una mayor tasa de crecimiento individual en *Astraea*, lo que podría explicar porque las tallas encontradas por nosotros fueron mayores a las reportadas en Isla Santa Catalina. La disponibilidad de alimento explica también porque la mayoría de los abulones capturados en Isla San Jerónimo presentaron músculos sanos.

Asociaciones entre flora y fauna

Los macroinvertebrados encontrados alrededor de Isla San Jerónimo son representativos del submareal rocoso de California y Baja California (Schmitt, 1981; Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998) y la flora encontrada es típica de éste hábitat (Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998). Guzmán-del-Prío *et al.* (1991) reportaron más de 50 especies de algas asociadas a hábitats de abulón en Bahía Tortugas, pero el número de macroalgas importantes para el caracol y abulón puede ser menor. Aguilar-Rosas *et al.* (1990) encontraron que sólo seis especies son los principales componentes de la dieta de *A. undosa* y Serviere-Zaragoza *et al.* (1998) reportaron sólo 12 especies como parte de la dieta natural de *H. fulgens*. Es necesario estudiar si la composición de especies varía estacionalmente. En el sur de la península la mayor diversidad se presenta durante el invierno (Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998), pero en Isla Santa Catalina la composición algal no varía a lo largo del año (Alfaro y Carpenter, 1999).

La distribución espacial de los macroinvertebrados fue muy fragmentada. Schmitt (1981) señaló que esto es necesario para reducir la probabilidad de encuentro con predadores. *Kelletia* spp. y *Pisaster* spp. son los predadores más comunes del submareal rocoso (Schmitt, 1981) y *S. franciscanus*, *Tegula* spp., y *M. crenulata* son sus presas preferidas (Schmitt, 1982; Herrman, 1998). Las presas (*S. franciscanus*, *Tegula* spp., y *M. crenulata*) y predadores (*Kelletia* spp. y *Pisaster* sp.) se asociaron positiva y significativamente porque comparten el mismo hábitat (zonas rocosas con vegetación) (Schaeffer y Carpenter, 1996).

La asociación positiva encontrada entre *Kelletia* sp. y *T. aurotinca* se debe a que *Kelletia* se asocia positivamente con sus presas (Schmitt, 1987), y esta relación explica las asociaciones positivas entre *Kelletia* sp. – *S. franciscanus* y *Pisaster* sp. – *M. crenulata*. La asociación negativa detectada entre *A. undosa* y *E. arborea* se debe, probablemente, a que en las zonas de *Eisenia* hay mayor predación por *Panulirus* y/o *Kelletia* (Alfaro y Carpenter, 1999). Los puntos con mayor densidad de *Astraea* deben corresponder a los puntos con menor densidad de sus predadores (*Kelletia*, *Pisaster*, *Panulirus* y *Octopus*) (Alfaro y Carpenter, 1999).

Aunque no pudimos comprobar una covariación negativa entre *A. undosa* y *A. turbanica*, la segregación espacial de sus áreas de mayor densidad lo sugiere fuertemente. *Gelidium*

Associations between flora and fauna

The macroinvertebrates found around Isla San Jerónimo are representative of the Californian and Baja Californian rocky subtidal (Schmitt, 1981; Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998) and the flora is characteristic of this habitat (Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998). Guzmán-del-Prío *et al.* (1991) reported more than 50 algal species associated to the abalone habitats in Bahía Tortugas, but the number of species important for topshells and abalone may be lower. Aguilar-Rosas *et al.* (1990) found that only six algal species are the main components of the diet of *A. undosa* and Serviere-Zaragoza *et al.* (1998) reported only 12 species as part of the natural diet of *H. fulgens*. It is necessary to investigate if the algal diversity has seasonal changes. In the south of the peninsula, the highest diversity occurs in winter (Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998), but at Santa Catalina Island the algal composition does not change throughout the year (Alfaro and Carpenter, 1999).

The spatial distribution of macroinvertebrates was very fragmented. Schmitt (1981) stated that this is necessary to reduce the probability of an encounter with predators. *Kelletia* spp. and *Pisaster* spp. are the most common predators in the rocky subtidal (Schmitt, 1981); and *S. franciscanus*, *Tegula* spp., and *M. crenulata* are their preferred prey (Schmitt, 1982; Herrman, 1998). Prey (*S. franciscanus*, *Tegula* spp., and *M. crenulata*) and predators (*Kelletia* spp. and *Pisaster* sp.) were significantly positively associated because they share the same habitat (rocky areas with vegetation) (Schaeffer and Carpenter, 1996).

The significant positive association detected between *Kelletia* sp. and *T. aurotinca* occurred because *Kelletia* is positively associated with its prey (Schmitt, 1987), and this relation explains the positive associations between *Kelletia* sp. – *S. franciscanus* and *Pisaster* sp. – *M. crenulata*. The negative association detected between *A. undosa* and *E. arborea* was probably caused because in areas with *Eisenia* a higher predation by *Panulirus* and/or *Kelletia* occurs (Alfaro and Carpenter, 1999). The high-density spots of *Astraea* should correspond with the low-density spots of its predators (*Kelletia*, *Pisaster*, *Panulirus* and *Octopus*) (Alfaro and Carpenter, 1999).

Although we could not prove a negative covariation between *A. undosa* and *A. turbanica*, the spatial segregation between their high-density spots strongly suggests this. *Gelidium* is part of the diet of *A. undosa* (Aguilar-Rosas *et al.* 1990), but the negative association between this macroalgae and *A. turbanica* suggests that the latter does not feed on it.

Inherent dynamics in the relationships between species can sometimes make them meaningless (K. Reise, pers. comm.); e.g. when prey attract predators, a positive association is detected, but, when predators eliminate prey a negative association is detected, and so on. We believe that associations have an ecological meaning and are not artificial. Until now the kind of associations existing between those macroinvertebrates and macroalgae co-inhabiting with *Astraea* y *Haliotis* at Isla San Jerónimo was unknown.

forma parte de la dieta de *A. undosa* (Aguilar-Rosas *et al.*, 1990), pero la asociación negativa entre ella y *A. turbanica* sugiere que esta última no la usa como alimento.

La dinámica inherente a las asociaciones entre especies puede hacer que a veces éstas no tengan sentido (K. Reise, com. pers.): por ejemplo, las presas atraen a los predadores y se detecta una asociación positiva, pero cuando los predadores eliminan a las presas se obtiene una asociación negativa, y así consecutivamente. Nosotros creemos que las asociaciones tienen un significado ecológico y que no son artificiales. Hasta ahora se desconocía que asociaciones existen entre los macroinvertebrados y macroalgas que co-habitan con *Astraea* y *Haliotis* en Isla San Jerónimo.

Conclusiones

Nuestros resultados muestran el estado actual de *Astraea* y *Haliotis* en una zona que, hace 40 años, era una de las más productivas de la península. La zona está sobre-explotada: la densidades de *A. (L.) undosa* y *A. (L.) turbanica* son mucho menores que las de Isla Santa Catalina, la frecuencia de organismos con tallas mayores a la mínima legal es baja, y el abulón está prácticamente ausente. La falta de cumplimiento en la normatividad del abulón, el traslape en las áreas de captura de erizo y pepino de mar, y la falta de vigilancia en la zona han agudizado esta situación. No obstante, Isla San Jerónimo tiene una amplia proporción de hábitat apropiado para *Astraea* y *Haliotis* y vegetación útil para su alimentación, por lo que sería posible tener éxito en esfuerzos de repoblamiento. Detectamos asociaciones positivas significativas entre predadores (*Pisaster* sp. y *Kelletia* sp.) y presas (*Tegula* spp., *S. franciscanus*, y *Astraea* spp.) en zonas rocosas con vegetación. *Astraea* tuvo baja incidencia en zonas con *Eisenia*, posiblemente porque ahí ocurre mayor predación, por lo que es probable que los puntos donde tuvo mayor densidad correspondan a los de menor incidencia de predadores. Nuestros resultados sugieren covariación negativa y segregación espacial entre *A. undosa* y *A. turbanica*.

Agradecimientos

Agradecemos a J.L. Rivera, G. Pérez, J. Castro, R. Sánchez y M. Navarrete su ayuda durante la exploración. La S.C.P.P. "Ensenada" apoyó logística y económicamente la exploración. O. Pedrín negoció el resto de los recursos necesarios. Agradecemos las críticas constructivas de dos revisores anónimos, de N. Hernández-Guevara, y de K. Reise.

Referencias

Aguilar-Rosas, R., Torres-Moye, G., y Almanza-Heredia, A. (1990). Qualitative analysis of the macroalgal diet of the snail *Astraea undosa* Wood 1828 in Punta Baja, Baja California, Mexico. *Cienc. Mar.* 16(4): 111–120.

Conclusions

Our results show the actual status of *Astraea* and *Haliotis*, in an area that 40 years ago was one of the most productive along the peninsula. This area is over-exploited: densities of *A. (L.) undosa* and *A. (L.) turbanica* are much lower than those at Santa Catalina Island, the frequency of organisms with legal sizes of capture is low, and abalone is practically absent. The lack of observance to the regulations for abalone, overlap between fishing areas of sea urchin and sea cucumber, and the lack of surveillance have turned the situation more difficult. Nevertheless, Isla San Jerónimo has a large proportion of suitable habitat for *Astraea* and *Haliotis* and vegetation for the feeding of both; therefore, it would be possible to succeed if recovery efforts were applied. We detected significant positive associations between predators (*Pisaster* sp. and *Kelletia* sp.) and prey (*Tegula* spp., *S. franciscanus*, and *Astraea* spp.) in areas with rocky bottom and vegetation. *Astraea* had a low incidence in zones of *Eisenia*, probably because a higher predation occurs there; therefore, its high-density spots may correspond to low-density spots of its predators. Our results suggest negative covariation and spatial segregation between *A. undosa* and *A. turbanica*.

Acknowledgments

We thank J.L. Rivera, G. Pérez, J. Castro, R. Sánchez and M. Navarrete for their help during the survey. The fishing cooperative S.C.P.P. "Ensenada" offered the logistic and economic support and O. Pedrín negotiated the rest of necessary resources. We thank the constructive criticism of two anonymous reviewers, N. Hernández-Guevara, and K. Reise.

English translation by the authors.

-
- Alfaro, A.C. y Carpenter, R.C. (1999). Physical and biological processes influencing zonation patterns of a subtidal population of the marine snail, *Astraea (Lithopoma) undosa* Wood 1828. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 240: 259–283.
- Belmar-Pérez, J.; Guzmán-del-Prío, S.A. y Martínez-Morales, I. (1991). Gonadic maturity and reproductive cycle of wavy turban snail (*Astraea undosa* Wood 1828; Gastropoda:Turbinidae) in Bahía Tortugas, Baja California Sur. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nac. Autón. Méx.* 18(2): 169–187.
- Clavier, J. (1992). Fecundity and optimal sperm density for fertilization in the ormer (*Haliotis tuberculata* L.). En: (S.A. Shepherd, M. J. Tegner, y S. A. Guzmán del Proo (eds.), *Abalone of the World*. Fishing News Books, 86–92 p.
- Corona-Grajales, R. (1985). Estudio de la producción de *Macrocystis pyrifera* en la costa noroccidental de Baja California. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 57 p.
- Cupul-Magaña, F.G. y Torres-Moye, G. (1996). Age and growth of *Astraea undosa* Wood (Mollusca:Gastropoda) in Baja California, Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 59(3): 490–497.

- Davis, G.E., Haaker, P.L. y Richards, R.V. (1996). Status and trends of white abalone at the California Channel Islands. *Trans. Am. Fish. Soc.* 125(1): 42–48.
- Davis, G.E., Haaker, P.L. y Richards, R.V. (1998). The perilous condition of white abalone *Haliotis sorenseni*, Bartch, 1940. *J. Shellfish Res.* 17(3): 871–875.
- De-la-Rosa-Vélez, J. y Suárez-Vázquez, A. (1991). Genetic variability of the snail *Astraea undosa* Wood, from Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Invest.-Mar. CICIMAR* 6(1): 165–173.
- Gluyas-Millán, M.G., Quiñones-Velázquez, C., Masso-Rojas, J.A. y Melo-Barrera, F.N. (1999). Differences in the length-age relationship of the snail *Astraea undosa* (Wood 1828) between two localities of Tortugas Bay, Baja California. *Ciencias Marinas* 25(1): 91–106.
- Gonzalez-Aviles, J.G. y Shepherd, S.A. (1996). Growth and survival of the blue abalone *Haliotis fulgens* in barrels at Cedros Island, Baja California, with review of abalone barrel culture. *Aquaculture*. 140: 169–76.
- Guzmán-del-Próo, S. A. (1992). A review of the biology of abalone and its fishery in Mexico. En: S.A. Shepherd, M. J. Tegner y S. A. Guzmán-del-Proo (eds.), *Abalone of the World*. Fishing News Books, 341–360 p.
- Guzmán-del-Próo, S. A., Marín, A.V. y Castro, C. (1976). Estructura y abundancia de la población de abulón (*Haliotis* spp.) de Baja California, en 1968–1970. *Mem. 1er. Simp. Nac. Rec. Pesq. Masivos Méx. Vol. Esp. Abulón/Langosta*. 219–278 p.
- Guzmán-del-Próo, S. A., Mille, P.S.R., Guadarrá, G.R., de-la-Campa, G.S., Carrillo, L.J., Pereira, C.A., Belmar, P.J., Parra, A.M.J. y Luque, G.A.C. (1991). La comunidad bentónica de los bancos de abulón (*Haliotis* spp. Mollusca:Gastropoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx.* 36: 27–59.
- Herrman, R. (1998). Focus on mollusks (predation on mollusks by sea stars). *Festivus* 30(2): 31.
- Karpov, K.A., Haaker, P.L., Albin, D., Taniguchi, I.K. y Kushner, D. (1998). The red abalone, *Haliotis rufescens*, in California: Importance of depth refuge to abalone management. *J. Shellfish Res.* 17(3):863–870.
- Litter, M.M., Martz, D.R. y Litter, D. S. (1983). Effects of recurrent sand deposition on rocky intertidal organisms: importance of substrate heterogeneity in a fluctuating environment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 11: 129–139.
- Ludwig, A. y Reynolds, J.F. (1988). *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 337 p.
- Ramírez-Granados, R. (1992). Alternativas científicas para la recuperación de los recursos abaloneros de la Baja California, México: administración biológico-pesquera y acuicultura. En: S.A. Shepherd, M.J. Tegner y S. A. Guzmán-del-Proo (eds.), *Abalone of the World*. Fishing News Books, 361–368 p.
- Rodríguez-Valencia, J.A., Caballero-Alegria, F., Castro-González, J., Sánchez-Romero, R. y Navarrete-Gutiérrez, M. (1998). Evaluación del abulón (*Haliotis* spp.) en los campos de Punta Norte, San Agustín, y el Bajo del Coloradito; Isla de Cedros, B.C. (6 al 16 de marzo de 1998). Informe Técnico CRIP-Ensenada (CRIP/335/98) 34 p.
- Schaeffer, T. N. y Carpenter, R.C. (1996). Patterns of predation on the gastropod *Astraea undosa* at Santa Catalina Island, California. En: S.A. Wooding, D.M. Allen, S.E. Stancyk, J. Williams-Howze, R.J. Fell, D.S. Wetthey, N.D. Pentcheff, G.T. Chandler, A.W. Decho y B.C. Coull (eds.), 24th Ann. Benthic Ecology Meeting. 73 p.
- Schiel, D.R. (1993). Experimental evaluation of commercial-scale enhancement of abalone *Haliotis iris* populations in New Zealand. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 97: 167–181.
- Schmitt, R.J. (1981). Contrasting antipredator defenses of sympatric marine gastropods (Family Trochidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 54(3): 251–263.
- Schmitt, R.J. (1982). Consequences of dissimilar defenses against predation in a subtidal community. *Ecology* 63(5): 1588–1601.
- Schmitt, R.J. (1987). Indirect interactions between prey: Apparent competition, predator aggregation, and habitat segregation. *Ecology* 68(6): 1887–1897.
- Schwalm, C.C. (1973). Population dynamics and energetics of *Astraea undosa*. M. Sc. Thesis. California State University. San Diego. 113 p.
- Searcy-Bernal, R. (1986). Abundancia de juveniles de abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) en relación con factores abióticos y bióticos de la bahía del Rosario, B.C. Tesis Posgrado. CICESE. 106 p.
- Serviere-Zaragoza, E., Gómez-López, D. y Ponce-Díaz, G. (1998). The natural diet of the green abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the southern part of its range, Baja California Sur, Mexico, assessed by an analysis of gut contents. *J. Shellfish Res.* 17(3): 777–782
- Shepherd, S.A. y Partington, D. (1995). Studies on southern abalone (Genus *Haliotis*). XVI. Recruitment, habitat and stock relations. *Mar. Freshwater Res.* 46: 669–680.
- Shepherd, S.A., Turrubiates, J.R. y Hall, K. (1998). Decline of the abalone fishery at La Natividad, Mexico: Overfishing or climate change. *J. Shellfish Res.* 17(3):839–846.
- Tilman, D. y Lehman, C.L. (1997). Habitat destruction and species extinctions. En: D. Tilman y P. Kareiva (eds.), *Spatial Ecology*. Princeton Univ. Press. Princeton, New Jersey. 233–249 p.
- Uribe-Osorio, F., Rivera-Ulloa, J.L., Espinoza, M.A., Arano-Castañón, A. y Rodríguez-Valencia, J.A. (1998). Exploración de abulón de profundidad en la zona aledaña a Bahía del Rosario, B.C. del 9 al 15 de Noviembre de 1996. Informe Técnico CRIP-Ensenada (CRIP/349/98). 12 p.