

Tendencias temporales (1989–1999) en las poblaciones de *Haliotis fulgens* y *H. corrugata*
(Gastropoda: Haliotidae) de Isla de Cedros, Baja California, México

Temporal trends (1989–1999) in populations of *Haliotis fulgens* and *H. corrugata*
(Gastropoda: Haliotidae) from Cedros Island, Baja California, Mexico

J.A. Rodríguez-Valencia*

F. Caballero-Alegría

J. Castro-González.

Instituto Nacional de la Pesca

CRIP-Ensenada

Parque Industrial Fondeport

Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada

El Sauzal, Baja California, Mexico

* E-mail: alejandro.rodriguez@web.de

Recibido en septiembre de 2003; aceptado en abril de 2004

Resumen

Este trabajo, junto con publicaciones recientes sobre la abundancia del abulón en Isla Natividad y el Archipiélago San Benito, forma un cuadro que refleja el estado y la dinámica temporal de este recurso en la costa oeste de Baja California. Se analizaron las tendencias temporales (1989–1999) de las poblaciones de *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* de Isla de Cedros. La densidad total media de *H. fulgens* en el extremo norte (Punta Norte) y suroeste (San Agustín) de Isla de Cedros muestra tendencias decrecientes significativas, mientras que *H. corrugata* muestra esa tendencia sólo en San Agustín. Únicamente la densidad media del stock de talla legal de *H. fulgens* muestra tendencias significativas al decremento en la isla. La densidad extraída por pesca de *H. corrugata* en Punta Norte muestra una tendencia significativa al incremento, sin que la abundancia de su stock legal tenga una tendencia decreciente significativa. Los niveles de extracción autorizados para ambas especies en Isla de Cedros han sido menores al máximo permisible en México (30% del stock legal de cada especie en cada zona de captura). Los porcentajes de reclutamiento recientes en ambas especies son bajos y no mostraron tendencias temporales significativas. Aparentemente, el reclutamiento de ambas especies en Punta Norte decrece al incrementarse la temperatura del agua. En Punta Norte se encontró una relación negativa significativa entre la condición fisiológica de ambas especies y el incremento en la temperatura superficial del agua. Sin embargo, dicha relación estuvo ausente en San Agustín, sugiriendo que los efectos de los eventos cálidos pueden diferir entre localidades aledañas, o que sus poblacionales difieren en tolerancia fisiológica. La frecuencia y magnitud de las fluctuaciones en la condición fisiológica de ambas especies deberían ser tomadas en cuenta para la asignación de cuotas de captura, pues estas repercuten seguramente sobre la magnitud y calidad de los desoves y la mortalidad natural.

Palabras clave: abulón, dinámica temporal, abundancia, México.

Abstract

This work analyzes the temporal trends (1989–1999) of populations of *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* from Cedros Island, Baja California (Mexico). The mean total density of *H. fulgens* in the northern (Punta Norte) and southwestern (San Agustín) points of Cedros Island showed a significant decreasing trend, while *H. corrugata* showed that trend only at San Agustín. Only the mean density of the legal-sized stock of *H. fulgens* presented a significant decreasing trend at the island. The density extracted due to fishing of *H. corrugata* at Punta Norte showed a significant increasing trend, but the abundance of its legal-sized stock did not show a significant decreasing trend. Authorized extraction levels for both species at Cedros Island have been lower than the maximum allowed in Mexico (30% of the legal-sized stock of each species for each fishing zone). Recent percentages of recruitment of both species are low and show no significant temporal trends. Apparently, recruitment of both species at Punta Norte decreases when the water temperature increases. A significant negative relationship was found between the physiological condition of both species and increased water temperature at Punta Norte, but such a relationship was absent at San Agustín, suggesting that the effect of warm events may differ among neighboring locations or that the populations differ in physiological tolerance. The magnitude and frequency of fluctuations in the physiological condition of both species should be taken into account when fishing quotas are assigned, since they will surely influence the magnitude and quality of spawning and natural mortality.

Key words: abalone, temporal dynamics, abundance, Mexico.

Introducción

La principal zona de captura de abulón en México se localiza en las islas y el litoral occidental de Baja California. Allí destaca Isla de Cedros, por ser la isla más grande de la zona, y porque en sus alrededores se ha llevado a cabo la pesquería del abulón desde hace 60 años. Actualmente esta pesquería está sustentada por el abulón azul (*Haliotis fulgens* Philippi, 1854) y el amarillo (*H. corrugata* Gray, 1828).

Las cuantificaciones de abulón en México iniciaron a finales de los sesenta, cubriendo prácticamente toda la costa oeste de la Península de Baja California, pero la heterogeneidad del hábitat ocasionó que sus resultados fueran poco precisos (Guzmán-del Prío, 1992). Desde fines de los ochenta la pesquería se ha regulado mediante temporadas de veda y cuotas anuales de captura estimadas a partir de cuantificaciones poblacionales limitadas a cada zona de pesca (Ramade-Villanueva *et al.*, 1998). El diseño del método de cuantificación se dificulta por la distribución agregada de este recurso, lo que generalmente evita obtener estimaciones precisas (McShane, 1994, 1995). Los resultados publicados de las cuantificaciones mexicanas recientes comprenden la descripción de los patrones temporales de abundancia de 1988–1996 de *H. fulgens* y *H. corrugata* en Isla Natividad por Shepherd *et al.* (1998); los patrones temporales de abundancia (1989–1999) para las mismas especies en el Archipiélago San Benito por Rodríguez-Valencia y Caballero-Alegria (2002); y la estimación de la abundancia de *Haliotis* spp. en Isla San Jerónimo por Rodríguez-Valencia *et al.* (2002).

La intención del presente trabajo es analizar las tendencias temporales de 1989–1999 de las poblaciones de abulón azul y amarillo de Isla de Cedros, en términos de su densidad total, densidad del stock de talla legal, densidad extraída por pesca, reclutamiento, tallas, condición fisiológica, proporciones sexuales, y madurez gonadal. Estos resultados son importantes, porque completan un cuadro que refleja el estado y la dinámica temporal de las especies que soportan la pesquería mexicana del abulón en su principal zona de captura.

Materiales y métodos

Área de estudio

Isla de Cedros se localiza en el centro de la costa oeste de la Península de Baja California (fig. 1a). Allí ocurren fuertes surgencias estacionales que favorecen el crecimiento de macroalgas (González-Avilés y Shepherd, 1996). La Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Pescadores Nacionales de Abulón es el único concesionario para la captura de abulón y langosta alrededor de la isla. Esta cooperativa cuenta con dos campos pesqueros situados en los extremos norte y suroeste de la isla, llamados Punta Norte y San Agustín, respectivamente (fig. 1a). El abulón se captura en las inmediaciones de estos campos y, eventualmente, en algunos bancos localizados en mar abierto (20 km al oeste de la isla), pero los datos de esos

Introduction

Mexico's main abalone fishing area is located off the islands and west coastal fringe of Baja California. Cedros Island is particularly important because it is the largest island in the area and because the abalone fishery has been practiced there for almost 60 years. The fishery is supported by green abalone, *Haliotis fulgens* Philippi, 1854, and pink abalone, *H. corrugata* Gray, 1828.

Abalone surveys were first conducted in Mexico in the late 1960s and covered the whole west coast of the Baja California peninsula, but the results were not very accurate because of habitat heterogeneity (Guzmán-del Prío, 1992). Since the late 1980s, the fishery has been regulated by seasonal closures and yearly fishing quotas estimated from abundance surveys limited to each fishing zone (Ramade-Villanueva *et al.*, 1998). The design of the survey methodology is complicated by the natural patchy distribution of abalone, which usually makes it difficult to obtain precise estimations (McShane, 1994, 1995). Published results of recent Mexican abalone surveys include the description of temporal abundance patterns (1988–1996) of *H. fulgens* and *H. corrugata* at Natividad Island by Shepherd *et al.* (1998), temporal abundance patterns (1989–1999) for these species at the San Benito Archipelago by Rodríguez-Valencia and Caballero-Alegria (2002), and the estimation of abundance of *Haliotis* spp. at San Jerónimo Island by Rodríguez-Valencia *et al.* (2002).

The goal of this work is to analyze temporal trends (1989–1999) of green and pink abalone populations from Cedros Island, in terms of their total density, density of the legal-sized stock, density extracted by fishing, recruitment, size, physiological condition, sex ratio, and gonadal maturity. These results are important because they draw a picture that reflects the status and temporal dynamics of the species supporting the Mexican abalone fishery in the main fishing area.

Materials and methods

Study area

Cedros Island is located off the central part of the west coast of the Baja California peninsula (fig. 1a), where strong seasonal upwellings favor the growth of macroalgae (González-Aviles and Shepherd, 1996). The S.C.P.P. Pescadores Nacionales de Abulón fishermen cooperative is the only organization allowed to extract abalone and lobster around this island. This cooperative has two fishing grounds in the northern and southwestern points of the island, named Punta Norte and San Agustín, respectively (fig. 1a). Abalone is fished in the vicinity of these two grounds, and eventually at offshore shallow banks located 20 km to the west of the island, but data from these offshore banks are not included here. Catches are obtained between the coastline and the 30 m isobath. The fishing area at Punta Norte comprises ≈1000 ha and at San Agustín, ≈1350 ha (Rodríguez-Valencia *et al.*, 1998).

bancos de mar abierto no se incluyen en este trabajo. La captura de abulón se realiza entre la línea de costa y la isobata de 30 m de profundidad. El área de captura en Punta Norte es ≈ 1000 hectáreas y en San Agustín es ≈ 1350 hectáreas (Rodríguez-Valencia *et al.*, 1998).

Método de cuantificación

Las cuantificaciones se han realizado en las áreas de pesca de Punta Norte y San Agustín, durante el periodo de veda del abulón (octubre a enero) en 1989, 1991, 1993, 1995, 1997, 1998 y 1999. Para cuantificar el abulón, estas áreas se dividieron en bloques de ≈ 500 m de ancho, con ayuda de boyas. Cada bloque se extiende desde la línea de costa hasta la isobata de 30 m de profundidad, por que su longitud perpendicular a la línea de costa varía entre 130–1286 m en Punta Norte y 144–2188 m en San Agustín. Este diseño involucra 37 bloques en Punta Norte y 27 bloques en San Agustín y su ubicación ha sido la misma en todas las cuantificaciones (fig. 1a). Dentro de cada bloque se han localizado sitios de muestreo al azar, donde los buzos abuloneros de la cooperativa han sido los encargados de localizar visualmente y recolectar manualmente al abulón azul y amarillo. El número de sitios de muestreo de cada bloque y la unidad de muestreo han variado a lo largo del tiempo (fig. 1b): (a) entre 1989 y 1995 se muestreaban de 6 a 12 sitios al azar dentro de cada bloque, dependiendo del número de buzos disponibles, y la unidad de muestreo era un cuadrante de 4 m²; y (b) entre 1997 y 1999 cada bloque se dividió en tres estratos batimétricos, de 0–10 m, de 10–20 m y de 20–30 m, dentro de los que se muestrearon tres, cinco y dos sitios al azar, respectivamente, utilizando como unidad de muestreo un cuadrante de 10 m².

Estimaciones de la densidad

Para estimar las densidades de abulón azul y amarillo únicamente se utilizaron los datos provenientes de sitios de muestreo con fondo rocoso. Se calcularon la densidad total media, obtenida considerando todas las tallas, y la densidad media del stock de talla legal (stock legal), obtenida considerando únicamente las tallas mayores a las talla mínimas legales de captura del abulón azul (150 mm de longitud de concha) y abulón amarillo (140 mm de longitud de concha).

Estimación del efecto de la pesquería sobre la abundancia

Las capturas comerciales de abulón azul y amarillo reportadas por la cooperativa para cada campo durante las temporadas de pesca 1989–1990, 1991–1992, 1993–1994, y 1995–1996 (tabla 1) se dividieron entre el promedio y los límites superior e inferior al 95% de confianza del peso del músculo (su obtención se explicará más adelante) de las evaluaciones de 1989, 1991, 1993 y 1995, respectivamente. Así se obtuvieron el promedio y los números máximo y mínimo de organismos de ambas especies que fueron extraídas durante dichas

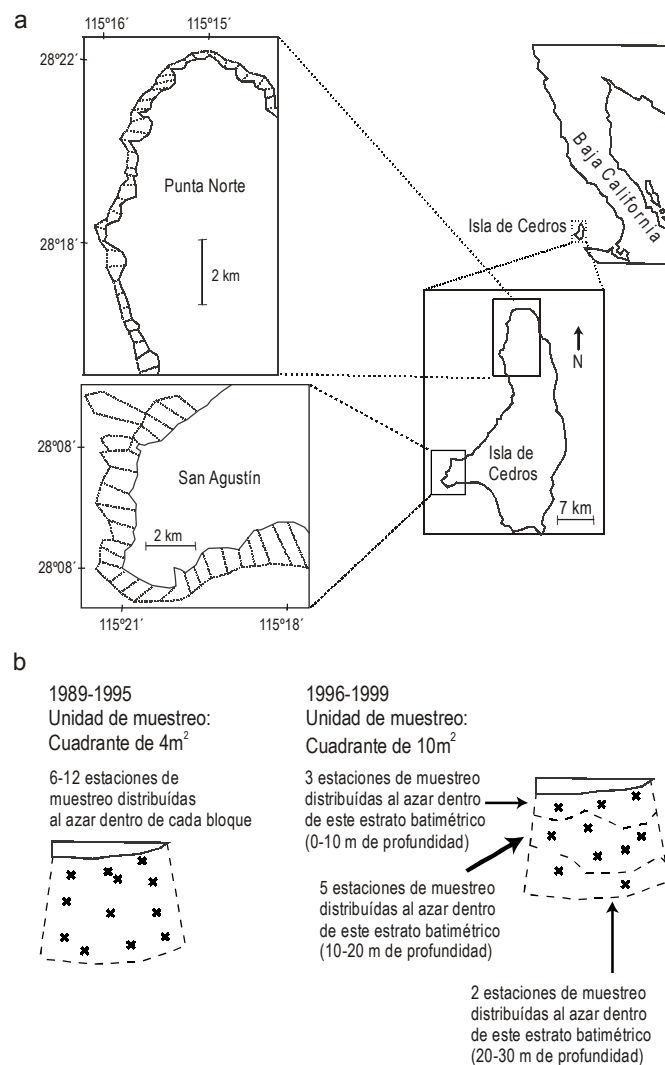


Figura 1. (a) Ubicación de Isla de Cedros, de las zonas de pesca Punta Norte y San Agustín, y de los bloques en los que se han dividido las áreas de captura en cada zona de pesca. (b) Descripción del esquema de muestreo.

Figure 1. (a) Location of Cedros Island, the Punta Norte and San Agustín fishing grounds, and the blocks into which the fishing areas of each ground were fractionated. (b) Description of the sampling scheme.

Survey methodology

Surveys were undertaken inside the fishing areas of Punta Norte and San Agustín during the closed season (October to January) in 1989, 1991, 1993, 1995, 1997, 1998, and 1999. In order to quantify abalone, the fishing areas of Punta Norte and San Agustín were physically fractionated into ≈ 500 -m wide blocks, using floats. The offshore extension of each block reached the 30-m isobath; therefore, their perpendicular length to the shoreline varied between 130 and 1286 m at Punta Norte and between 144 and 2188 m at San Agustín. This design comprised 37 blocks at Punta Norte and 27 at San Agustín, and their location has remained constant throughout the surveys (fig. 1a). Sampling stations were randomly located within each

Tabla 1. Capturas comerciales (toneladas de carne) de *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* en Punta Norte y San Agustín.**Table 1.** Commercial catches (tons of meat) of *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* at Punta Norte and San Agustín.

Temporada de pesca	<i>Haliotis fulgens</i>		<i>Haliotis corrugata</i>	
	Punta Norte	San Agustín	Punta Norte	San Agustín
1989–1990	75.5	38.7		
1990–1991	87.9	45.1		
1991–1992	64.3	65.5	4.0	
1992–1993	66.9	44.6	4.2	7.0
1993–1994	53.8	71.9	5.8	
1994–1995	66.7	49.9	17.8	4.1
1995–1996	44.6	54.0	9.9	5.7
1996–1997	60.4	43.6	10.0	5.6

temporadas de pesca. Éstos fueron divididos entre el área total de sustrato rocoso correspondiente a cada campo, de 6,130,233 m² en Punta Norte y 6,585,695 m² en San Agustín (Rodríguez-Valencia *et al.*, 1998), para obtener las densidades media, máxima, y mínima de organismos extraídos por pesca de cada especie.

Estimaciones del reclutamiento

Métodos de muestreo como el utilizado en este trabajo no proporcionan estimaciones precisas del reclutamiento, pero pueden reflejar fallas serias ocasionadas por la sobrepesca de reclutas y/o por cambios ambientales (Shepherd *et al.*, 1998). Con base en las frecuencias de tallas, estimamos el porcentaje de reclutas de ambas especies para cada cuantificación y campo pesquero, aplicando los criterios de tallas definidos por Shepherd *et al.* (1998) para Isla Natividad (50–100 mm de longitud de concha para *H. fulgens* y 40–110 mm de longitud de concha para *H. corrugata*).

Obtención de datos biométricos

Se midió la longitud de las conchas (al milímetro más cercano) y se pesaron los músculos (al gramo más cercano) de todos los abulones capturados, obteniendo datos de por lo menos tres individuos por cada intervalo de talla de 5 mm. Durante las mediciones los abulones se mantuvieron en lugares sombreados y cubiertos para evitar su desecación.

El cociente de la división entre el peso del músculo y la longitud de la concha de cada organismo se utilizó como factor de condición, obteniéndose un promedio por cada especie, evaluación y campo pesquero. Durante cada evaluación se determinaron el sexo y la madurez gonadal de algunos organismos seleccionados. Vega *et al.* (1997) propusieron que períodos con agua cálida pueden causar variaciones en la

block, and commercial abalone divers from the fishermen's cooperative were responsible for visually detecting and manually collecting green and pink abalone. The number of sampling stations located inside each block and the sampling unit differed in time, as follows (fig. 1b): (a) between 1989 and 1995, six to twelve sampling stations were randomly distributed inside each block, depending on the available number of divers, and a 4-m² quadrat was used as sampling unit; and (b) between 1997 and 1999, each block was divided into three bathymetric strata of 0–10 m, 10–20 m and 20–30 m, and three, five and two sampling stations were randomly located inside each strata, respectively, using a 10-m² quadrat as sampling unit.

Density estimations

Only sampling stations located on rocky bottoms were used to estimate densities of green and pink abalone. We estimated total mean density, obtained considering all sizes, and mean density of the legal-sized stock, obtained considering only sizes beyond the minimum legal size of capture of green abalone (150 mm of shell length) and pink abalone (140 mm of shell length).

Assessing the effect of the fishery on abundance

Commercial catches of green and pink abalone reported by the fishermen's cooperative for each fishing ground during the 1989–1990, 1991–1992, 1993–1994, and 1995–1996 fishing seasons (table 1) were divided by the mean value and the upper and lower limits (95% of confidence) of the weight of muscle (obtained as explained below) for the 1989, 1991, 1993, and 1995 surveys, respectively. In this way, the mean, maximum, and minimum numbers of organisms of both species extracted during these fishing seasons were obtained. They were divided by the extension of rocky bottom at each fishing ground (Punta Norte: 6,130,233 m²; San Agustín: 6,585,695 m²; Rodríguez-Valencia *et al.*, 1998) to obtain the mean, maximum, and minimum densities extracted by fishing for each species.

Recruitment estimates

Sampling methods like the one used here do not produce accurate recruitment estimates, but can reflect serious failures caused by recruitment overfishing and/or environmental changes (Shepherd *et al.*, 1998). Based on the size-frequency data, the percentage of recruits of both species was estimated for each survey and fishing ground, applying the size criteria defined by Shepherd *et al.* (1998) for Natividad Island: 50–100 mm of shell length for *H. fulgens*, and 40–110 mm of shell length for *H. corrugata*.

Biometric data

Shell lengths of all captured abalone were measured to the nearest millimeter and their muscles were weighed to the

dinámica reproductiva, y debilitamiento del abulón, repercutiendo ambos en la reducción de la abundancia. Por esta razón, probamos la relación entre los porcentajes de reclutamiento, la condición fisiológica y la madurez gonadal de ambas especies con datos de la temperatura media superficial local del agua de la *National Oceanographic and Atmospheric Administration* (NOAA) de los EUA (<http://www.epic.noaa.gov/cgi-bin/NOAAserver>) mediante regresión lineal simple. Los datos de la NOAA muestran que la temperatura se incrementó 2°C durante el período de estudio.

Análisis de los datos

Se detectaron las tendencias visuales (incremento y decremento) de las variables antes descritas, y su validez se definió mediante el análisis de varianza de regresiones lineales simples, en las cuales las variables antes descritas actuaron como variables dependientes y el tiempo actuó como variable independiente.

Resultados

Tendencias temporales de la densidad total

En general, las densidades totales de ambas especies en los dos campos han disminuido durante el período 1989–1999. La densidad total media del abulón azul en ambos campos muestra tendencias significativas al decremento (Punta Norte: $F_{(1,5)} = 16.2$, $P < 0.05$; San Agustín: $F_{(1,5)} = 79.1$, $P < 0.01$), pero la del abulón amarillo sólo ha mostrado esta tendencia en San Agustín ($F_{(1,5)} = 14.2$, $P < 0.05$) (figs. 2a, 3a). El método de evaluación ha permitido obtener promedios con errores estándar estrechos y estables (tabla 2). Hasta 1993 los niveles de densidad total del abulón azul estaban por arriba de los del abulón amarillo en ambos campos, posteriormente ambas especies alcanzaron niveles similares.

Tendencias temporales de la densidad del stock con talla legal

Únicamente las densidades medias del stock legal de abulón azul han mostrado tendencias decrecientes significativas en ambos campamentos (Punta Norte: $F_{(1,5)} = 16.4$, $P < 0.01$; San Agustín: $F_{(1,5)} = 114.3$, $P < 0.01$), mientras que las del abulón amarillo no muestran esta tendencia (Punta Norte: $F_{(1,5)} = 3.3$, $P > 0.05$; San Agustín: $F_{(1,5)} = 0.35$, $P > 0.05$) (figs. 2b, 3b).

Tendencias temporales de la densidad extraída por pesca

Durante el período estudiado la pesquería extrajo, en promedio, 22% y 18% del stock legal del abulón azul presente en Punta Norte y San Agustín, respectivamente, correspondiendo a promedios de 17% y 13% de la densidad total de cada localidad. La extracción de abulón amarillo ha sido notoriamente

nearest gram, obtaining data for at least three individuals for each 5-mm size category. During the measurements, abalone were maintained covered in shaded places to prevent desiccation.

The quotient obtained when dividing the muscle weight by the shell length of each organism was used as condition factor, obtaining a mean value for each species, survey, and fishing ground. Sexes and gonadal maturity were determined for randomly selected organisms of both species during each survey. Vega *et al.* (1997) reported that periods with warm water may cause fluctuations in the reproductive dynamics and weakening of abalone, resulting in reductions of abundance. For this reason, we tested the relationship between percentages of recruitment, physiological condition, and gonadal maturity of both species with the local mean temperature of surface water (NOAA data, available at <http://www.epic.noaa.gov/cgi-bin/NOAAserver>) using simple linear regression. The NOAA data show that temperature increased 2°C during the study period.

Data analysis

Visual trends (increasing or decreasing) for the previously described variables were detected and their validity was defined by analysis of variance of simple linear regressions, in which the previously described variables acted as dependent variables and time acted as an independent variable.

Results

Temporal trends of total density

In general terms, total densities of both species at both fishing grounds decreased during the 1989–1999 period. The total mean density of green abalone at both fishing grounds

Tabla 2. Errores estándar de las densidades totales promedio de Punta Norte y San Agustín.

Table 2. Standard errors of the total mean density estimates for Punta Norte and San Agustín.

Temporada de pesca	Punta Norte		San Agustín	
	<i>Haliotis fulgens</i>	<i>Haliotis corrugata</i>	<i>Haliotis fulgens</i>	<i>Haliotis corrugata</i>
1989	0.05	0.02	0.05	0.02
1991	0.04	0.03	0.05	0.03
1993	0.02	0.01	0.06	0.02
1995	0.01	0.02	0.02	0.01
1997	0.02	0.01	0.01	0.01
1998	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	0.01	0.01	0.01	0.01
1989	0.05	0.02	0.05	0.02

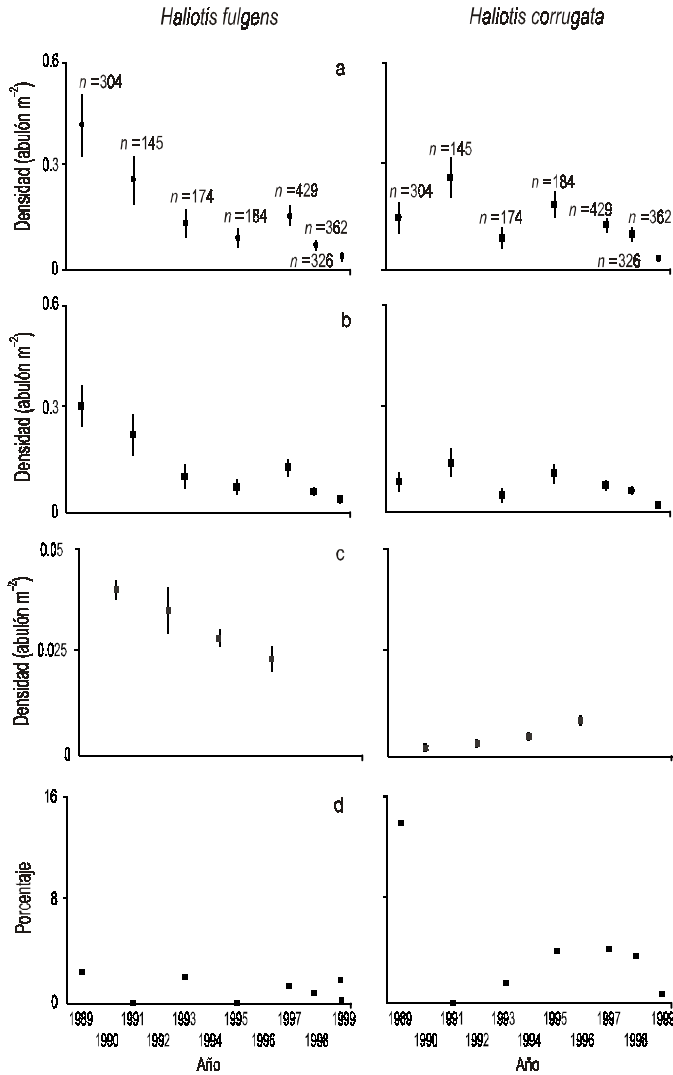


Figura 2. Patrones temporales de *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* en Punta Norte. (a) Densidad total (medias y errores estándar), *n* indica el número de muestras obtenidas sobre fondo rocoso. (b) Densidad del stock con talla legal (medias y errores estándar) (c) Densidad extraída por pesca (promedio, máxima, y mínima). (d) Porcentaje de reclutas.

Figure 2. Temporal patterns of *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* at Punta Norte. (a) Total density (mean and standard error); *n* indicates the number of samples obtained from rocky bottoms. (b) Mean density of the legal-sized stock (mean and standard error). (c) Density extracted by fishing (mean, maximum, and minimum). (d) Percentage of recruits.

menor: 5% y 9% del stock legal de Punta Norte y San Agustín, respectivamente, correspondiendo a promedios de 3% y 5% de la densidad total de cada localidad. En Punta Norte, la densidad de abulón azul extraída por pesca muestra una tendencia significativa al decremento ($F_{(1,3)} = 527.6$, $P < 0.01$), mientras que la de abulón amarillo se ha incrementado significativamente ($F_{(1,3)} = 22.4$, $P < 0.05$) (fig. 2c). En San Agustín, la densidad de abulón azul extraída por pesca aparentemente se incrementó entre 1989–1993 y se redujo después, sin embargo no existe una tendencia significativa al incremento ($F_{(1,3)} = 2.0$, $P >$

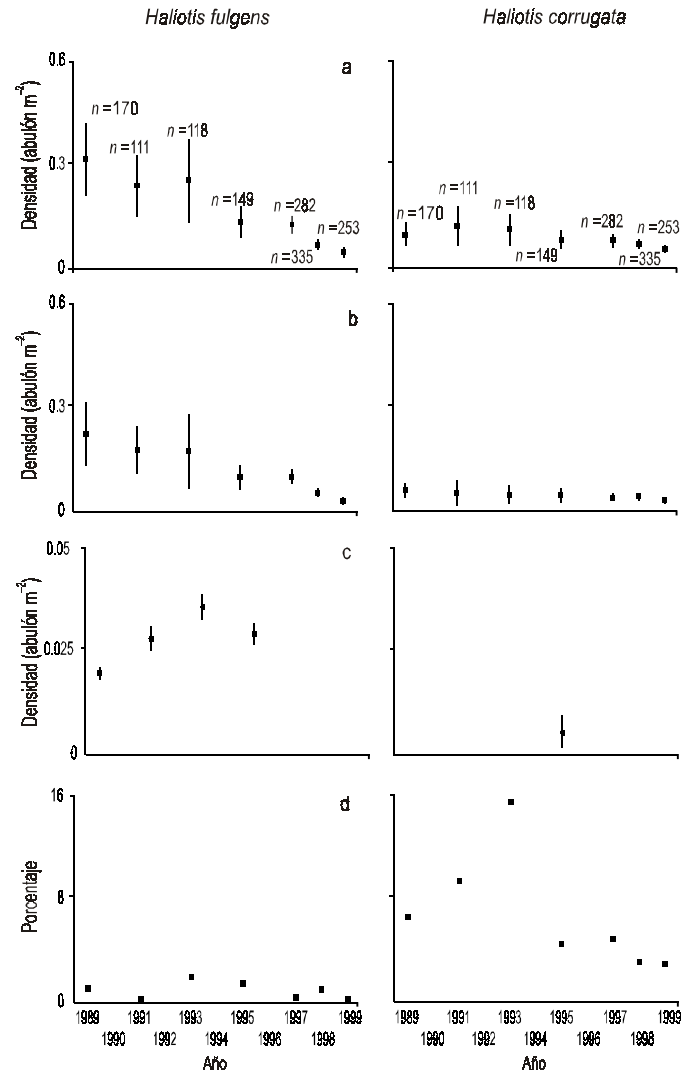


Figura 3. Patrones temporales de *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* en San Agustín. (a) Densidad total (medias y errores estándar), *n* indica el número de muestras obtenidas sobre fondo rocoso. (b) Densidad del stock con talla legal (media y errores estándar). (c) Densidad extraída por pesca (promedio, máxima, y mínima). (d) Porcentaje de reclutas.

Figure 3. Temporal patterns of *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* at San Agustín. (a) Total density (mean and standard error); *n* indicates the number of samples obtained from rocky bottoms. (b) Density of the legal-sized stock (mean and standard error). (c) Density extracted by fishing (mean, maximum, and minimum). (d) Percentage of recruits.

presented significant decreasing trends (Punta Norte: $F_{(1,5)} = 16.2$, $P < 0.05$; San Agustín: $F_{(1,5)} = 79.1$, $P < 0.01$), but that of pink abalone presented this trend only at San Agustín ($F_{(1,5)} = 14.2$, $P < 0.05$) (figs. 2a, 3a). Mean values with narrow and stable standard errors were obtained with the methodology used (table 2). Until 1993, the levels of total density of green abalone were higher than those of pink abalone at both fishing grounds; afterwards, both species showed similar abundance levels.

0.05) (fig. 3c). No tenemos datos suficientes para evaluar la tendencia en la extracción por pesca del abulón amarillo en San Agustín, sin embargo, la densidad extraída por pesca en 1995 fue notoriamente menor a la de abulón azul (fig. 3c).

Tendencias temporales en el porcentaje de reclutamiento

En ambos campos los porcentajes de reclutamiento del abulón amarillo muestran niveles más altos que los del abulón azul (figs. 2d, 3d). El reclutamiento del abulón amarillo muestra períodos de incremento, en momentos diferentes, en ambos campos: 1993–1998 en Punta Norte y 1991–1995 en San Agustín. Los porcentajes de reclutamiento recientes de ambas especies son bajos y ningún caso mostró tendencias temporales significativas (abulón azul: $F_{(1,6)} = 0.07$, $P > 0.05$ en Punta Norte y $F_{(1,6)} = 0.4$, $P > 0.05$ en San Agustín; abulón amarillo: $F_{(1,6)} = 1.7$, $P > 0.05$ en Punta Norte y $F_{(1,6)} = 2.4$, $P > 0.05$ en San Agustín).

El reclutamiento de ambas especies no está significativamente relacionado con la temperatura del agua en ambos campos. Sin embargo, dichas relaciones para el abulón azul y amarillo en Punta Norte fueron sugestivas. En estos casos, aparentemente el reclutamiento puede reducirse al incrementarse la temperatura del agua (fig. 4).

Tendencias temporales de tallas y condición fisiológica

La tabla 3 muestra la magnitud de las tallas de abulón azul y amarillo en ambos campos. La tabla también muestra la tendencia visual y su significancia estadística en cada medición. Llama la atención que las tallas de ambas especies en San Agustín muestran, principalmente, constancia temporal en sus valores. En Punta Norte, los casos con tendencias al decremento e incremento fueron más frecuentes. No obstante, únicamente las tendencias al incremento en la talla media del abulón azul de Punta Norte y en la talla máxima del abulón amarillo de San Agustín fueron estadísticamente significativas. El abulón azul siempre ha mostrado mayores porcentajes de ejemplares por encima de la talla mínima legal de captura en ambos campos pesqueros (tabla 3).

La condición fisiológica del abulón azul siempre ha mostrado niveles más altos que los del abulón amarillo en ambos campos (Punta Norte: abulón azul vs amarillo $F_{(1,1574)} = 322.2$, $P < 0.01$; San Agustín: abulón azul vs amarillo $F_{(1,1154)} = 72.2$, $P < 0.01$) (fig. 5 a, b). Ningún caso mostró tendencias temporales significativas (Punta Norte, abulón azul y amarillo, respectivamente: $F_{(1,5)} = 0.007$, $P > 0.05$ y $F_{(1,5)} = 2.5$, $P > 0.05$; San Agustín, abulón azul y amarillo, respectivamente: $F_{(1,5)} = 2.9$, $P > 0.05$ y $F_{(1,5)} = 0.5$, $P > 0.05$).

La condición fisiológica de ambas especies en Punta Norte se reduce significativamente al incrementarse la temperatura superficial del agua (fig. 5c). Sin embargo, esto no fue válido para las especies de San Agustín (abulón azul: $r^2 = 0.1$, $F_{(1,6)} = 0.4$, $P > 0.05$; abulón amarillo: $r^2 = 0.1$, $F_{(1,6)} = 0.1$, $P > 0.05$).

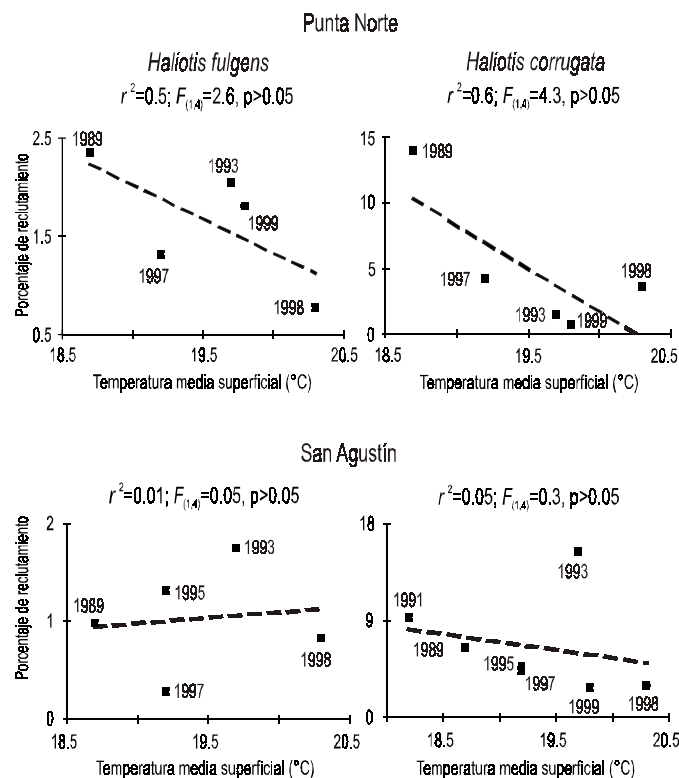


Figura 4. Relaciones entre los porcentajes de reclutamiento del abulón azul y amarillo de Punta Norte y San Agustín, con la temperatura media superficial del agua de esas localidades.

Figure 4. Relationships between percentages of recruitment of green and pink abalone from Punta Norte and San Agustín and the mean temperature of surface water at these locations.

Temporal trends in the density of legal-sized stock

Densities of the legal-sized stock of green abalone presented significant decreasing trends at both fishing grounds (Punta Norte: $F_{(1,5)} = 16.4$, $P < 0.01$; San Agustín: $F_{(1,5)} = 114.3$, $P < 0.01$), while those of pink abalone did not show this trend (Punta Norte: $F_{(1,5)} = 3.3$, $P > 0.05$; San Agustín: $F_{(1,5)} = 0.35$, $P > 0.05$) (figs. 2b, 3b).

Temporal trends in the density extracted by fishing

On average, the fishery has extracted 22% and 18% of the legal-sized stocks of green abalone from Punta Norte and San Agustín, respectively, corresponding to 17% and 13% of their total density at each ground. The extraction of pink abalone, however, has been considerably lower: on average, the fishery has extracted 5% and 9% of the legal-sized stocks of Punta Norte and San Agustín, respectively, corresponding to 3% and 5% of the total density of pink abalone at each fishing ground. At Punta Norte, the density of green abalone extracted by fishing shows a significant decreasing trend ($F_{(1,3)} = 527.6$, $P < 0.01$), while that of pink abalone has a significant increasing trend ($F_{(1,3)} = 22.4$, $P < 0.05$) (fig. 2c). At San Agustín, the

Tabla 3. Tendencias temporales en las tallas (mínima, máxima, media y error estándar, moda) del abulón azul y amarillo de Punta Norte y San Agustín. *n* indica el número de abulones muestreados. TMC = Talla mínima legal de captura. En el renglón de tendencia visual: D = Decremento, I = Incremento, C = Constante. Los valores de *F* indican la significancia de la tendencia visual (todos los casos con grados de libertad = 1,6; * = $P < 0.05$, los casos sin asterisco no son significativos).

Table 3. Temporal trends in sizes (minimum, maximum, mean and standard error, and mode) of green and pink abalone from Punta Norte and San Agustín; *n* indicates the number of abalone sampled. TMC = minimum legal size of capture. In the eighth row (*tendencia visual* = visual trend): D = decrease, I = increase, and C = constant. *F*-values refer to the significance of the visual trend (all cases with degrees of freedom = 1,6; * = $P < 0.05$, and those without asterisk were non-significant).

Año	<i>Haliotis fulgens</i>						<i>Haliotis corrugata</i>					
	<i>n</i>	Mín. (mm)	Máx. (mm)	Media (mm)	Moda (mm)	% > TMC	<i>n</i>	Mín. (mm)	Máx. (mm)	Media (mm)	Moda (mm)	% > TMC
Punta Norte												
1989	509	44	205	157.9 ± 2.0	152	70.9	180	25	197	136.4 ± 4.5	113	53.3
1991	144	120	197	161.6 ± 2.2	156	84	134	92	186	135.7 ± 2.6	135	41.8
1993	98	80	230	161.6 ± 4.5	175	75.5	68	100	196	142.8 ± 4.4	136	51.5
1995	64	110	194	159.6 ± 5.0	160	71.8	125	91	174	139.8 ± 3.0	130	49.6
1997	685	66	205	162.8 ± 2.4	160	81.3	547	70	222	140.4 ± 1.8	140	53.9
1998	259	77	200	163.9 ± 2.4	170	79.9	358	85	189	140.5 ± 1.7	140	56.4
1999	164	56	200	163.0 ± 2.8	150	84.1	137	97	184	141.0 ± 2.3	136	51.8
Tendencia visual		D	D	I	C	I		I	C	I	C	C
Significancia		$F = 0.2$	$F = 0.2$	$F = 7.6^*$	$F = 0.0$	$F = 1.8$		$F = 1.7$	$F = 0.0$	$F = 3.4$	$F = 4.3$	$F = 1.3$
San Agustín												
1989	204	74	201	159.5 ± 2.6	162	76	62	81	178	143.2 ± 5.5	155	62.9
1991	105	127	230	160.8 ± 3.2	166	74.3	54	96	171	136.1 ± 5.2	120	44.4
1993	116	86	200	159.9 ± 4.4	159	68.1	52	47	181	135.0 ± 7.0	140	50.0
1995	76	79	191	159.9 ± 4.3	170	80.3	46	106	170	142.0 ± 5.1	136	54.3
1997	359	98	198	163.1 ± 1.7	160	81.6	231	67	182	140.9 ± 2.4	150	54.1
1998	241	88	206	164.2 ± 2.4	165	81.3	237	84	194	145.2 ± 2.4	150	62.9
1999	118	106	192	158.5 ± 3.2	163	71.2	145	94	193	145.4 ± 3.0	133	63.4
Tendencia visual		C	C	C	C	C		C	I	I	C	C
Significancia		$F = 0.1$	$F = 1.3$	$F = 1.3$	$F = 0.1$	$F = 0.2$		$F = 0.1$	$F = 6.9^*$	$F = 2.4$	$F = 0.0$	$F = 1.2$

Tendencias temporales de la proporción sexual y madurez gonadal

La tabla 4 muestra las tendencias temporales en los porcentajes de hembras y machos de ambas especies en los dos campos. En la mayoría de los casos las tendencias visuales fueron prácticamente constantes, observándose tendencias aparentemente decrecientes sólo en los porcentajes de hembras del abulón azul de Punta Norte y de machos del abulón azul de San Agustín. No obstante, las tendencias visuales de todos los casos no fueron significativas.

La tabla 5 muestra las tendencias temporales en los porcentajes de organismos sexualmente maduros de abulón azul y amarillo en ambos campos. En 1995 se observó un pico en el

density of green abalone extracted by fishing apparently increased from 1989 to 1993 and decreased afterwards; nevertheless, an overall significant increasing trend is absent ($F_{(1,3)} = 2.0$, $P > 0.05$) (fig. 3c). We do not have enough data to determine a trend in the extraction by fishing of pink abalone at San Agustín, but the density extracted by fishing in 1995 was considerably lower than that of green abalone (fig. 3c).

Temporal trends in the percentage of recruitment

At both fishing grounds, the percentages of recruitment of pink abalone are higher than those of green abalone (figs. 2d, 3d). Increases were observed in the recruitment of pink abalone at different moments, at both fishing grounds: 1993–1998 at

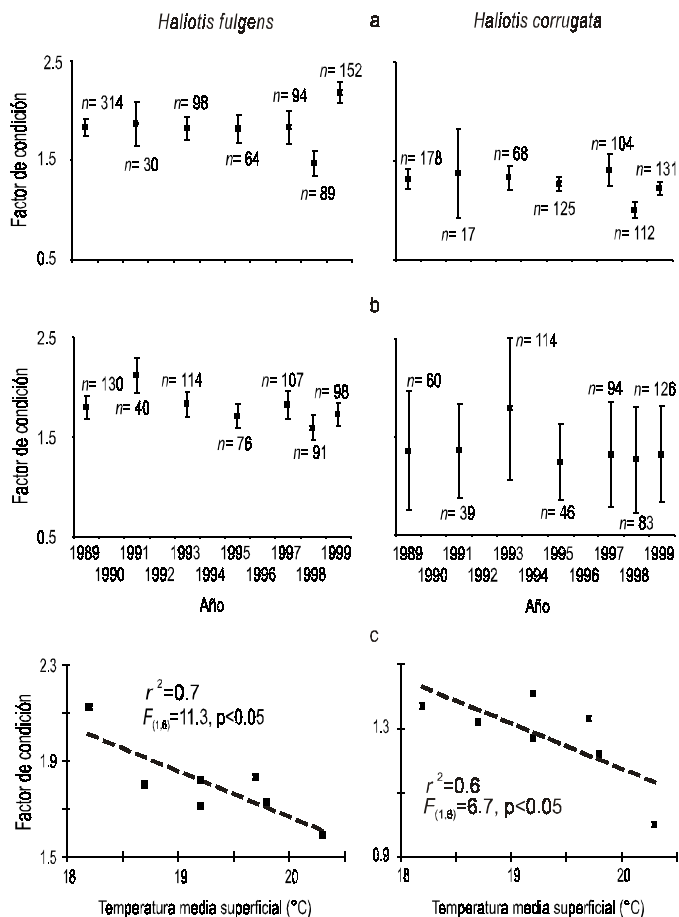


Figura 5. Factores de condición (media y error estándar) del abulón azul y amarillo en: (a) Punta Norte y (b) San Agustín (*n* indica el número de abulones analizados). (c) Relación entre la condición fisiológica del abulón azul y amarillo de Punta Norte con la temperatura media superficial del agua en esa localidad.

Figure 5. Condition factors (mean and standard error) of green and pink abalone at: (a) Punta Norte and (b) San Agustín (*n* indicates the number of abalone analyzed). (c) Relationship between the physiological condition of green and pink abalone from Punta Norte and the mean temperature of surface water at that location.

porcentaje de organismos sexualmente maduros en todos los casos, el cual introdujo una gran dispersión en los valores. La gran mayoría de los casos mostraron tendencias visuales decrecientes, con excepción del porcentaje de hembras sexualmente maduras de abulón amarillo en San Agustín, en el cual se nota una tendencia aparentemente constante al ignorarse el pico de 1995. Las tendencias visuales en ningún caso fueron significativas.

En ningún caso la temperatura superficial del agua tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de organismos sexualmente maduros (abulón azul de Punta Norte: $r^2 = 0.2$, $F_{(1,6)} = 1.0$, $P > 0.05$; abulón amarillo de Punta Norte: $r^2 = 0.1$, $F_{(1,6)} = 0.7$, $P > 0.05$; abulón azul de San Agustín: $r^2 = 0.1$, $F_{(1,6)} = 0.4$, $P > 0.05$; abulón amarillo de San Agustín: $r^2 = 0.0$, $F_{(1,6)} = 0.0$, $P > 0.05$).

Punta Norte and 1991–1995 at San Agustín. Recent percentages of recruitment are low for both species and no case showed significant temporal trends (green abalone: $F_{(1,6)} = 0.07$, $P > 0.05$, at Punta Norte, and $F_{(1,6)} = 0.4$, $P > 0.05$, at San Agustín; pink abalone: $F_{(1,6)} = 1.7$, $P > 0.05$, at Punta Norte, and $F_{(1,6)} = 2.4$, $P > 0.05$, at San Agustín).

Recruitment of both species was not significantly related to water temperature at both fishing grounds. Nevertheless, relationships for green and pink abalone from Punta Norte were suggestive. In these cases, it was apparent that recruitment may decrease when water temperature increases (fig. 4).

Temporal trends of size and physiological condition

Table 3 shows the magnitude of sizes of green and pink abalone at both fishing grounds. This table also shows the visual trend and its statistical significance for each measurement. The sizes of both species at San Agustín mainly show temporal constancy. At Punta Norte, the cases with decreasing or increasing trends were more frequent. Nevertheless, only increasing trends in the mean length of green abalone from Punta Norte and in the maximum length of pink abalone from San Agustín were statistically significant. The percentages of green abalone with sizes beyond the minimum legal size of capture were higher at both fishing grounds.

The physiological condition of green abalone showed higher levels than those of pink abalone at both fishing grounds (Punta Norte: green vs pink abalone $F_{(1,1574)} = 322.2$, $P < 0.01$; San Agustín: green vs pink abalone $F_{(1,1154)} = 72.2$, $P < 0.01$) (fig. 5a, b). No case showed significant temporal trends (Punta Norte, green and pink abalone, respectively: $F_{(1,5)} = 0.007$, $P > 0.05$ and $F_{(1,5)} = 2.5$, $P > 0.05$; San Agustín, green and pink abalone, respectively: $F_{(1,5)} = 2.9$, $P > 0.05$ and $F_{(1,5)} = 0.5$, $P > 0.05$).

The physiological condition of both species at Punta Norte is significantly reduced when the mean temperature of surface water increases (fig. 5c). However, this was not valid for both species at San Agustín (green abalone: $r^2 = 0.1$, $F_{(1,6)} = 0.4$, $P > 0.05$; pink abalone: $r^2 = 0.1$, $F_{(1,6)} = 0.1$, $P > 0.05$).

Temporal trends of sex ratios and gonadal maturity

Table 4 shows the temporal trends in percentages of females and males of both species at both fishing grounds. In most of the cases, visual trends were practically constant, showing apparent decreasing trends in percentages of females of green abalone from Punta Norte and males of green abalone from San Agustín. Nevertheless, all cases had non-significant visual trends.

Table 5 shows the temporal trends in percentages of sexually mature organisms of green and pink abalone at both fishing grounds. In 1995, a peak in the percentage of sexually mature organisms occurred in all cases, introducing a large dispersion. Most of the cases showed visually decreasing trends, except for the percentage of sexually mature females of pink

Tabla 4. Tendencias temporales en los porcentajes de hembras (H) y machos (M) de abulón azul y amarillo de Punta Norte y San Agustín. En el renglón de tendencia visual: D = Decreciente, C = Constante. Los valores de *F* indican la significancia en la tendencia visual (todos los casos fueron no significativos, con grados de libertad = 1,6).

Table 4. Temporal trends in percentages of females (H) and males (M) of green and pink abalone from Punta Norte and San Agustín. In the eighth row (*tendencia visual* = visual trend): D = decrease and C = constant. *F*-values refer to the significance of the visual trend (all cases were non-significant with degrees of freedom = 1,6).

Año	Punta Norte				San Agustín			
	<i>Haliotis fulgens</i>		<i>Haliotis corrugata</i>		<i>Haliotis fulgens</i>		<i>Haliotis corrugata</i>	
	H	M	H	M	H	M	H	M
1989	55	45	59	41	47	53	52	48
1991	61	39	38	62	53	48	53	47
1993	60	40	52	48	69	31	51	49
1995	68	32	51	49	56	44	47	53
1997	53	47	47	53	62	38	56	44
1998	55	45	53	47	52	48	49	51
1999	55	45	57	43	56	44	57	43
Tendencia visual	D	C	C	C	C	D	C	C
Significancia	<i>F</i> = 0.1	<i>F</i> = 0.1	<i>F</i> = 0.2	<i>F</i> = 0.2	<i>F</i> = 0.4	<i>F</i> = 0.4	<i>F</i> = 0.4	<i>F</i> = 0.4

Tabla 5. Tendencias temporales en los porcentajes de organismos sexualmente maduros de abulón azul y amarillo de Punta Norte y San Agustín (H = hembras, M = machos). En el renglón de tendencia visual: D = Decreciente, C = Constante. Los valores de *F* indican la significancia en la tendencia visual (todos los casos fueron no significativos, con los grados de libertad = 1,6).

Table 5. Temporal trends in percentages of sexually mature organisms of green and pink abalone from Punta Norte and San Agustín (H = females, M = males). In the eighth row (*tendencia visual* = visual trend): D = decrease and C = constant. *F*-values refer to the significance of the visual trend (all cases were non-significant with degrees of freedom = 1,6).

Año	Punta Norte				San Agustín			
	<i>Haliotis fulgens</i>		<i>Haliotis corrugata</i>		<i>Haliotis fulgens</i>		<i>Haliotis corrugata</i>	
	M	H	M	H	M	H	H	M
1989	45.9	31.1	53.1	44.0	50.0	26.3	53.6	17.2
1991	36.4	41.2	36.4	60.0	36.8	28.6	27.8	5.0
1993	24.3	5.4	34.4	47.1	0	1.4	0	0.0
1995	100.0	100.0	98.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1997	26.5	7.7	31.9	16.7	30.8	3.1	30	2.0
1998	17.2	5.6	10.5	4.7	53.3	3.1	48	20.8
1999	7.6	7.3	11.5	7.2	18.4	12.2	14.3	10.6
Tendencia visual	D	D	D	D	D	D	D	C
Significancia	<i>F</i> = 0.8	<i>F</i> = 0.5	<i>F</i> = 1.3	<i>F</i> = 2.4	<i>F</i> = 0.0	<i>F</i> = 0.2	<i>F</i> = 0.1	<i>F</i> = 0.0

Discusión

El método de cuantificación aplicado en Isla de Cedros ha producido estimaciones de densidad con precisión aceptable. Las desventajas de este tipo de metodologías han sido comentadas por Shepherd *et al.* (1998) y Rodríguez-Valencia y Caballero-Alegría (2002). En el presente trabajo, sus desventajas radican en la baja proporción de hábitat potencial cubierto (Punta Norte: 0.01–0.02% del hábitat potencial entre 1989–

abalone from San Agustín. In this case, if the peak that occurred in 1995 is ignored, an apparently constant trend is noted. Visual trends of all cases were non-significant.

Water temperature had no significant effect on the percentages of sexually mature organisms (green abalone from Punta Norte: $r^2 = 0.2$, $F_{(1,6)} = 1.0$, $P > 0.05$; pink abalone from Punta Norte: $r^2 = 0.1$, $F_{(1,6)} = 0.7$, $P > 0.05$; green abalone from San Agustín: $r^2 = 0.1$, $F_{(1,6)} = 0.4$, $P > 0.05$; pink abalone from San Agustín: $r^2 = 0.0$, $F_{(1,6)} = 0.0$, $P > 0.05$).

1995 y 0.05–0.07% entre 1995–1999; San Agustín: 0.01% del hábitat potencial entre 1989–1995 y 0.04–0.05% entre 1995–1999) y la ausencia de un método específico para cuantificar juveniles. Las cuantificaciones son frecuentemente criticadas por ser de naturaleza destructiva y tener altos costos, pero pensamos que esos argumentos son injustificados pues el porcentaje de hábitat potencial que se perturba es muy bajo y los costos de las cuantificaciones apenas representan un 4% del costo total de producción de las cooperativas (Ponce-Díaz *et al.*, 1998).

Desafortunadamente, los datos muestran claras tendencias a la reducción de la abundancia en ambos campos, igual a las mostradas por los datos publicados para Isla Natividad y el Archipiélago San Benito. El decaimiento general de la abundancia, detectado desde 1984 por Guzmán-del Prío (1992), sigue predominando, y los niveles de densidad son cercanos a aquellos en los que pueden darse fallas en el reclutamiento (Shepherd y Partington 1995). Únicamente el abulón amarillo ha mostrado algunos indicios de recuperación en la región, reflejados en leves repuntes en su abundancia detectados en 1996 en Isla Natividad (Shepherd *et al.*, 1998) y en 1999 en el Archipiélago San Benito (Rodríguez-Valencia y Caballero-Alegria 2002), así como por la ausencia de tendencias decrecientes significativas en su densidad total en Punta Norte y su densidad del stock legal en ambas zonas de pesca de Isla de Cedros. Aquí se muestra que la extracción del abulón amarillo por la pesquería ha sido notablemente menor que la de abulón azul, y es posible que esto haya contribuido a las leves muestras de recuperación del primero.

Al analizar las tendencias de las densidades extraídas por pesca observamos que únicamente la del abulón amarillo en Punta Norte se ha incrementado significativamente. Sin embargo, los niveles de extracción autorizados para ambas especies en Isla de Cedros se han mantenido por debajo del máximo permisible para las cuotas de captura (30% del stock legal de cada especie, ver Shepherd *et al.*, 1998). Aparentemente el incremento en la densidad extraída por pesca del abulón amarillo no ha afectado la abundancia de su stock legal, ya que ésta no muestra tendencias al decremento en ninguno de las zonas de pesca de Isla de Cedros.

El fácil acceso a Isla de Cedros por vía marina y aérea incrementa el riesgo de la captura ilegal. Legalmente, sólo la cooperativa local de pescadores está autorizada para extraer abulón, pero los miembros del equipo de vigilancia de esta cooperativa han detectado casos de pesca ilegal. Escuelas y clubes de buceo mexicanos y estadounidenses también visitan frecuentemente la zona, y aunque no existen datos oficiales, hay testimonios de que ocasionalmente ellos también extraen abulón.

Desafortunadamente, no se cuenta con estimaciones de la mortalidad por pesca, pero podríamos esperar que éstas fueran menores a las reportadas para Isla Natividad por Shepherd *et al.* (1998), pues ahí las capturas comerciales de ambas especies han sido notoriamente mayores a las de Isla de Cedros (fig. 6). Con base en las capturas comerciales esperaríamos que la

Discussion

The survey methodology applied at Cedros Island has produced acceptably accurate density estimates. The disadvantages of this kind of methods have been discussed by Shepherd *et al.* (1998) and Rodríguez-Valencia and Caballero-Alegria (2002). In the present work, the disadvantages lie in the absence of a specific method for the quantification of juveniles and the low proportion of potential habitat covered (Punta Norte: 0.01–0.02% of the potential habitat during 1989–1995 and 0.05–0.07% during 1995–1999; San Agustín: 0.01% of the potential habitat during 1989–1995 and 0.04–0.05% during 1995–1999). Surveys are frequently criticized for their destructive nature and high costs; however, we believe that these arguments are not valid because the proportion of disturbed habitat is low and the costs represent only 4% of the total production costs of the cooperatives (Ponce-Díaz *et al.*, 1998).

Unfortunately, our data show clear decreasing trends in the abundance at both fishing grounds, similar to the data published for Natividad Island and San Benito Archipelago. The overall decrease in abundance, observed since 1984 by Guzmán-del Prío (1992), still dominates and density levels are close to those where recruitment failures may occur (Shepherd and Partington, 1995). Only the pink abalone has shown signs of recovery in this region, reflected by slight increases in abundance detected in 1996 at Natividad Island (Shepherd *et al.*, 1998) and in 1999 at San Benito Archipelago (Rodríguez-Valencia and Caballero-Alegria, 2002), as well as by the absence of significant decreasing trends in its total density at Punta Norte and in the density of its legal-sized stock at both fishing grounds of Cedros Island. We have shown that the extraction of pink abalone by the fishery has been considerably lower than that of green abalone, and this has probably contributed to its recovery.

After analyzing the trends in densities extracted by fishing, we note that only that of pink abalone at Punta Norte has significantly increased. Nevertheless, the extraction levels authorized for both species at Cedros Island have remained below the maximum allowed for fishing quotas (30% of the legal-sized stock of each species; see Shepherd *et al.*, 1998). Apparently, the increase in density extracted by fishing of pink abalone has not affected the abundance of its legal-sized stock, since it did not show significant decreasing trends at both fishing grounds.

The easy access to Cedros Island by air and sea increases the risk of illegal fishing. Legally, only the local fishermen's cooperative is authorized to catch abalone, but survey programs applied by the cooperative have detected poaching. Mexican and American diving schools and clubs frequently visit this area, and although official data are unavailable, there are testimonies affirming that they also extract abalone.

Unfortunately, we do not have estimations of fishing mortality, but we would expect them to be lower than those reported for Natividad Island by Shepherd *et al.* (1998), since

mortalidad por pesca en Isla de Cedros y el Archipiélago San Benito fueran similares. Ya hemos visto que la pesquería ejerce mayor presión sobre el abulón azul, y por ello deberíamos esperar que la mortalidad por pesca fuera mayor para esa especie. La preferencia por el abulón azul se debe a su mayor abundancia en tallas legales, a que se obtiene mayor cantidad de carne por pieza, y a que su concha tiene mayor precio.

Los patrones temporales de los porcentajes de reclutamiento de ambas especies son similares a los reportados para el Archipiélago San Benito por Rodríguez-Valencia y Caballero-Alegria (2002). Las relaciones entre el porcentaje de reclutamiento de ambas especies y la temperatura del agua no fueron significativas, pero las sugestivas relaciones observadas para el abulón amarillo y azul de Punta Norte apoyan la propuesta de Vega *et al.* (1997), acerca de un posible efecto negativo de los eventos cálidos sobre el reclutamiento del abulón. Por otro lado, los patrones de reclutamiento observados para el abulón amarillo apoyan la propuesta de Shepherd *et al.* (1989) en el sentido de que los eventos cálidos no intensos pueden afectar positivamente su reclutamiento: En términos generales, el reclutamiento del abulón amarillo en Isla de Cedros pudo haberse incrementado hasta 1995 porque sus larvas se asentaron durante condiciones “El Niño” no severas, mientras que éste se redujo a partir de 1996 porque los asentamientos ocurrieron durante frecuentes eventos “El Niño” severos. Rodríguez-Valencia y Caballero-Alegria (2002) también encontraron estos patrones en el Archipiélago San Benito. Asimismo, la aparente diferencia detectada aquí entre las respuestas del reclutamiento del abulón azul y amarillo al incremento en la temperatura del agua coincide con los resultados de Rodríguez-Valencia y Caballero-Alegria (2002) para el Archipiélago San Benito, sugiriendo que los eventos cálidos afectan en mayor grado el reclutamiento del abulón azul.

La detección de una relación negativa significativa entre la condición fisiológica de ambas especies con el incremento en la temperatura del agua en Punta Norte también coincide con los resultados de Rodríguez-Valencia y Caballero-Alegria (2002) en el Archipiélago San Benito. La ausencia de estos efectos en San Agustín sugiere que los efectos de los eventos cálidos pueden diferir entre localidades aledañas, o bien, que sus poblacionales difieren en tolerancia fisiológica. Del Río-Portilla (2000) y Del Río-Portilla y González-Aviles (2001) demostraron diferencias genéticas entre las poblaciones de abulón amarillo del Archipiélago San Benito e Isla de Cedros.

Las propuestas de Vega *et al.* (1997) y Shepherd *et al.* (1998) sugieren que la reducción en la abundancia del abulón puede deberse, parcialmente, al deterioro en su condición fisiológica durante los eventos “El Niño”. Nosotros pensamos, al igual que Rodríguez-Valencia y Caballero-Alegria (2002), que la frecuencia y magnitud de las fluctuaciones en condición deben ser tomadas en cuenta al momento de asignar las cuotas de captura, ya que éstas seguramente repercuten en la magnitud y calidad de los desoves, así como en la mortalidad natural.

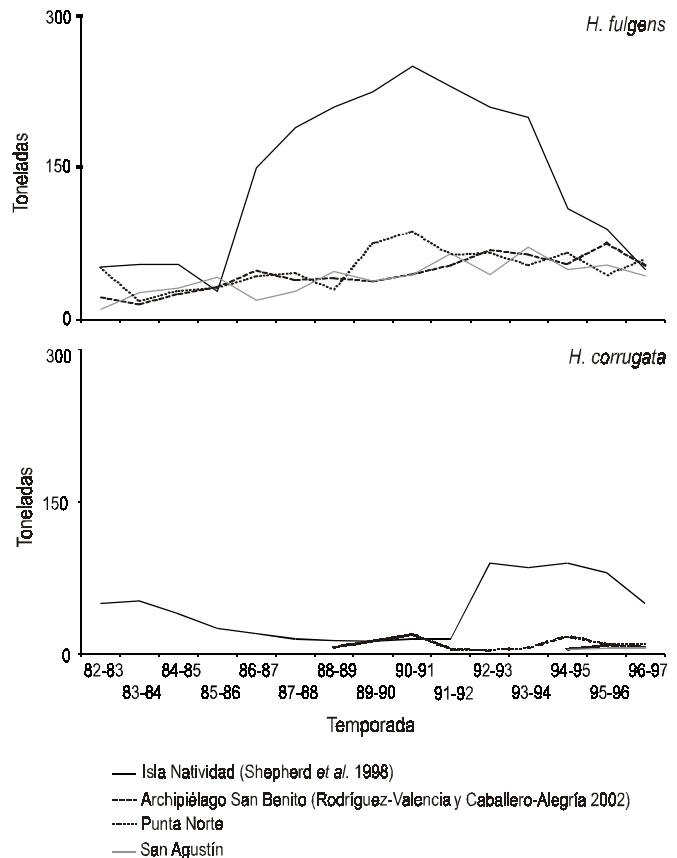


Figura 6. Capturas comerciales de *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* en la región.

Figure 6. Commercial catches of *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* in the region.

commercial catches for both species have been significantly higher there than those at Cedros Island (fig. 6). Based on commercial catches, we would expect that fishing mortality at Cedros Island and the San Benito Archipelago would be similar. We have shown that the fishery applies more pressure on the green abalone; therefore, it is to be expected that fishing mortality would be higher for that species. The green abalone is preferred because its legal sizes are more abundant, the amount of meat obtained per individual is larger and its shell has a higher value.

The temporal patterns of percentages of recruitment of both species are similar to those reported for the San Benito Archipelago by Rodríguez-Valencia and Caballero-Alegria (2002). The relationships between the percentages of recruitment of both species and water temperature were not statistically significant, but the suggestive relationships observed for pink and green abalone at Punta Norte support Vega *et al.*'s (1997) proposal regarding a probable negative effect of warm events on the recruitment of abalone. On the other hand, the recruitment patterns observed for pink abalone support Shepherd *et al.*'s (1989) proposal about potential positive effects of non-severe warm events on recruitment. In general terms, recruitment of pink abalone at Cedros Island may have

Agradecimientos

Dedicamos este trabajo a la memoria de F. Salgado, G. Pérez, y A. Lelevier. La ayuda de todos los miembros de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera “Pescadores Nacionales de Abulón”, y en especial de D.G. Romero-Árce, ha sido fundamental para poder realizar las evaluaciones. Nuestros colegas F. Uribe, J. Cordova, J.L. Rivera, J. Castro, R. Sánchez, L. Vélez, M. Navarrete, J. Talavera, y O. Pedrín-Osuna apoyaron de forma importante la realización de las evaluaciones. Agradecemos las mejoras al manuscrito propuestas por cuatro revisores anónimos.

Referencias

- Del Río-Portilla, M.A. (2000). Population genetics of the yellow abalone, *Haliotis corrugata*, in Cedros and San Benito Islands. *J. Shellfish Res.*, 19(1): 508.
- Del Río-Portilla, M.A. and González-Aviles, J.G. (2001). Population genetics of the yellow abalone, *Haliotis corrugata*, in Cedros and San Benito Islands: A preliminary survey. *J. Shellfish Res.*, 20(2): 765–770.
- González-Aviles, J.G. and S.A. Shepherd. (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. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner and S.A. Guzmán-del-Proo (eds.), *Abalone of the World*. Fishing News Books, pp. 341–360.
- McShane, P.E. (1994). Estimating the abundance of abalone (*Haliotis* spp.): Stock examples from Victorian and southern New Zealand. *Fish. Res.*, 19: 379–394.
- McShane, P.E. (1995). Estimating the abundance of abalone: The importance of patch size. *Mar. Freshwater Res.*, 46: 657–662.
- Ponce-Díaz, G., Vega-Velázquez, A., Ramade-Villanueva, M., León-Carballo, G. and Franco-Santiago, R. (1998). Socioeconomic characteristics of the abalone fishery along the west coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 853–857.
- Ramade-Villanueva, M., Luch-Cota, D.B., Lluch-Cota, S.E., Hernández-Vázquez, S., Espinoza-Montes, A. and Vega-Velázquez, A. (1998). An evaluation of the annual quota mechanisms as a management tool in the Mexican abalone fishery. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 847–851.
- Rodríguez-Valencia, J.A. and Caballero-Alegria, F. (2002). Temporal fluctuations (1989–1999) in the populations of *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* (Gastropoda: Haliotidae) at Islas San Benito (Baja California, Mexico). *J. Shellfish Res.*, 21(1): 163–172.
- 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). Rep. Téc. CRIP-Ensenada (CRIP/335/98).
- Rodríguez-Valencia, J.A., Caballero-Alegria, F., Uribe-Osorio, F. and Arano-Castañón, A. (2002). Abundance and associations of two commercially important gastropods (*Astraea* and *Haliotis*) in Isla San Jeronimo, Baja California, Mexico. *Cienc. Mar.*, 28(1): 49–66.
- Shepherd, S.A. and Partington, D. (1995). Studies on southern Australian abalone (Genus *Haliotis*). XVI. Recruitment, habitat and stock relations. *Mar. Freshwater Res.*, 46: 669–80.
- increased until 1995 because the larvae settled during non-severe El Niño conditions, while recruitment decreased after 1996 because settlements occurred during frequent, strong El Niño conditions. Rodríguez-Valencia and Caballero-Alegria (2002) found similar patterns at the San Benito Archipelago, and the apparent difference detected here in the response of recruitment of green and pink abalone to increased water temperatures agrees with these authors. This suggests that warm events have a greater effect on the recruitment of green abalone.
- The detection of a significant negative relationship between the physiological condition of both species with the increase in water temperature at Punta Norte agrees with findings of Rodríguez-Valencia and Caballero-Alegria (2002) at the San Benito Archipelago. The absence of this effect at San Agustín suggests that the influence of warm events may differ among neighboring locations, or that their populations differ in physiological tolerance. Genetic differences between populations of pink abalone from the San Benito Archipelago and Cedros Island were demonstrated by Del Río-Portilla (2000) and Del Río-Portilla and González-Aviles (2001).
- Proposals of Vega *et al.* (1997) and Shepherd *et al.* (1998) suggest that impoverished physiological conditions during El Niño periods could have contributed to the decline in the abundance of abalone. We believe, just like Rodríguez-Valencia and Caballero-Alegria (2002), that the frequency and magnitude of fluctuations in the physiological condition should be taken into account for the assignment of fishing quotas, since they surely influence the magnitude and quality of spawning and natural mortality.

Acknowledgements

We dedicate this work to the memory of our colleagues F. Salgado, G. Pérez, and A. Lelevier. The help provided by all members of the cooperative S.C.P.P. Pescadores Nacionales de Abulón, and especially D.G. Romero-Árce, has been fundamental for the surveys. Our colleagues F. Uribe, J. Cordova, J.L. Rivera, J. Castro, R. Sánchez, L. Vélez, M. Navarrete, J. Talavera, and O. Pedrín-Osuna contributed significantly to the surveys. We thank four anonymous reviewers for their valuable comments to the manuscript.

English translation by the authors.

Shepherd, S.A., Turrubiates-Morales, J.R. and Hall, H. (1998). Decline of the abalone fishery at La Natividad, Mexico: Overfishing or climate change? *J. Shellfish Res.*, 17(3): 839–846.

Vega, A., Luch-Belda, D., Muciño, M., León, G., Hernández, S., Luch-Cota, D., Ramade, M. and Espinoza, G. (1997). Development, perspectives, and management of lobster and abalone fisheries off northwest Mexico under a limited access system. In: D.A. Hancock, D.C. Smith, A. Grant and J.P. Beumer (eds.), *Developing and Sustaining World Fisheries Resources*. CSIRO, Collingwood, Victoria, Australia, pp. 136–142.