

## Composición por tallas y edades de las poblaciones de abulón *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* de la zona de Bahía Tortugas, Baja California Sur, México

### Size and age composition of the populations of abalone *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* of Bahía Tortugas, Baja California Sur, Mexico

María Georgina Gluyas-Millán\*  
Jesús Talavera-Maya

Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz  
Instituto Nacional de la Pesca-SAGARPA  
Carretera a Pichilingue km. 1 s/n  
La Paz, CP 23020, Baja California Sur, México  
E-mail: gmillan@balandra.uabcs.mx

Recibido en agosto de 2002; aceptado en diciembre de 2002

#### Resumen

Se estimó la biomasa del abulón amarillo *Haliotis corrugata* y abulón azul *H. fulgens*, y se determinó su composición por tallas y edades para la zona de Bahía Tortugas, en la costa occidental de la Península de Baja California en octubre de 1997. Se usó un muestreo al azar estratificado. Por medio de buceo semiautónomo tipo Hooka se colectaron abulones entre 1 y 18 m de profundidad con una unidad muestral de 10 m<sup>2</sup>. Los abulones se midieron y se tomó una submuestra para medir longitud y peso, determinar el sexo y el estadio de madurez, y colectar las conchas para determinar la edad en los anillos de la espira. Los promedios de la talla y la edad de la población accesible de *H. corrugata* fueron 135.8 mm y 6.6 años, y los intervalos de tallas y edades encontrados fueron de 55 a 180 mm en individuos de 2+ a 16+ años. Para *H. fulgens* los promedios fueron 154.1 mm y 5 años, con un intervalo de tallas de 57 a 206 mm en individuos de 1+ a 20+ años de edad. Se discuten las posibles causas de la diferencia en reclutamiento entre el abulón azul y el abulón amarillo, la disminución de grupos de edad respecto a años anteriores, y el adelanto del desove de *H. corrugata* a la luz del estatus del recurso y de las condiciones ambientales que prevalecieron durante de El Niño 1997-98.

*Palabras clave:* abulón, *Haliotis fulgens*, *H. corrugata*, tallas, edad, Bahía Tortugas, Baja California Sur.

#### Abstract

The size and age composition was determined for pink abalone *Haliotis corrugata* and green abalone *H. fulgens* populations of Bahía Tortugas in the western coast of the Baja California Peninsula, Mexico, in October 1997. The biomass was estimated by means of a stratified random design using semiautonomous Hooka diving. The abalones were collected from 1 to 18 m of depth with a 10-m<sup>2</sup> sampling unit. All shell lengths were measured and a subsample was taken to measure shell length, to weigh, to identify sex and maturity stage and to collect the shells to determine the age in the rings of the spire. The size interval of the population accessible of *H. corrugata* was 55 to 180 mm for individuals 2+ to 16+ years old, with a mean length of 135.8 mm and mean age of 6.6 years. For *H. fulgens*, organism sizes ranged from 57 to 206 mm for individuals 1+ to 20+ years old, with a mean length of 154 mm and mean age of 5 years. Possible causes are discussed regarding the difference in recruitment between *H. fulgens* and *H. corrugata*, the decrease of the oldest year class in both species, and the earlier spawning of *H. corrugata* to the light of the status of the resource and of the environmental conditions that prevailed during El Niño 1997-98.

*Key words:* abalone, *Haliotis fulgens*, *H. corrugata*, age, size, Bahía Tortugas, Baja California Sur.

#### Introducción

El abulón es un molusco gasterópodo de la familia Haliotidae que habita zonas rocosas asociado a mantos de *Macrocystis pyrifera* y otras algas. Este recurso ha sostenido una pesquería por más de 100 años en la costa occidental la Península de Baja California. Fue aprovechado por extranjeros desde finales del siglo XIX hasta los años cuarenta, y por pescadores mexicanos en los últimos 50 años (Ponce-Díaz *et al.*,

#### Introduction

The abalone is a gastropod mollusk from the family Haliotidae that inhabits rocky areas in which it associated to *Macrocystis pyrifera* beds and other algae. This resource has supported a fishery for more than 100 years in the west coast of Baja California. It was exploited by foreigners since the end of the XIX century until the 1940's, and by Mexican fishermen during the last 50 years (Ponce-Díaz, *et al.*, 1988). It is a highly

1998). Es un recurso de alto valor y demanda en el mercado internacional que ocupa el cuarto lugar en generación de divisas, después del camarón, el atún y la langosta (SEMARNAP, 1996). Las dos especies que soportan la pesquería son el abulón azul, *Haliotis fulgens*, y el abulón amarillo, *H. corrugata* (Muciño Díaz *et al.*, 2000). No obstante los esfuerzos de investigación y las medidas de manejo como talla mínima de captura, veda y cuotas de captura (Diario Oficial de la Federación, 1981; 1987; 1993a; 1993b; 1999), la producción ha disminuido de 6000 t en 1950 (León y Muciño, 1996) a 467 t en 1997 (SEMARNAP, 1997). La Carta Nacional Pesquera (CNP) señala el estatus del abulón como un recurso deteriorado, sus poblaciones se encuentran a un nivel abajo del óptimo y bajo una estrategia de recuperación (Diario Oficial de la Federación, 2000) que consiste en incrementar el tamaño de la población, no permitir que disminuya y llevarla al nivel donde se obtenga el mayor rendimiento (Muciño Díaz *et al.*, 2000). Como parte de esa estrategia, el Instituto Nacional de La Pesca (INP) recomendó orientar la investigación al análisis de la dinámica de la población con un modelo estructurado por edades, además del modelo de producción excedente que actualmente se usa. La información básica necesaria para ello es conocer la composición de la biomasa, esto es, el número de organismos por tamaños y edades que la componen. Esta información la proporciona la estructura por tallas y edades que es necesaria para reconstruir la historia de la población. Los cambios en el tiempo de esa estructura reflejarían: (1) los efectos del reemplazamiento, el crecimiento y la mortalidad; (2) la variación del vigor de las clases anuales; y (3) los cambios del promedio de edad reflejarían el incremento o disminución del reclutamiento por efecto de clases anuales vigorosas o débiles, o por la pesca entre otros. La estructura de tallas y edades es específica de cada población, refleja la relación de la especie con el ambiente y los efectos de la extracción por pesca. Una especie existe bajo condiciones continuamente cambiantes, la estructura refleja tales condiciones con ciertos límites y, por consiguiente, representa las adaptaciones de las poblaciones a esas condiciones (Nikolskii, 1969).

El presente trabajo tiene por objeto, determinar la estructura de tallas y edades de las poblaciones de abulón *H. fulgens* y *H. corrugata* de la zona de Bahía Tortugas por medio de la determinación de la edad de manera directa. Los resultados se discuten a la luz del estado del recurso y las condiciones ambientales durante el evento El Niño 1997-98. La composición por edades de las poblaciones de abulón se considera una información representativa y única en su tipo a la fecha, ya que para su obtención se han seguido los procedimientos recomendados para ser aplicados a la evaluación de poblaciones (Ricker, 1975; Lin Lai *et al.*, 1996).

## Materiales y métodos

Se llevó a cabo una evaluación cuantitativa y cualitativa de abulón entre La Lobera y el punto medio del playón de Clam Bay (fig. 1), en la costa noroccidental de Baja California Sur

valuable resource with an international market demand, being the the fourth most important in currency generation for Mexico after shrimp, tuna and lobster (SEMARNAP, 1996). The two species that support the fishery are the pink abalone *H. corrugata*, and the green abalone *H. fulgens*, (Muciño-Díaz *et al.*, 2000). In spite of the research efforts and management measures such as size limits, season closure and catch-quotas (Diario Oficial de la Federación, 1981; 1987; 1993a; 1993b; 1999), the production has reduced from 6000 t in 1950 (León and Muciño, 1996) to 467 t in 1997 (SEMARNAP, 1997). The *Carta Nacional Pesquera* (CNP) considers abalone as a damaged resource, being their populations below the optimum level and under a recovery strategy (Diario Oficial de la Federación, 2000). As part of this strategy, the *Instituto Nacional de la Pesca* (INP) recommended orienting the research to the analysis of the population dynamics with an age-structured model, besides the surplus production model already in use. The basic information required for this is the biomass composition, that is, the number of organisms of each size and age that form the population. This information is given by the size-age structure necessary to reconstruct the population's history. The changes in time of this structure would show: (1) the effects of replacement, growth and mortality; (2) the variation of the strength of the annual classes; (3) the changes in the mean age would reflect the recruitment increase or reduction due to strong or weak annual classes; or those caused by fishing, among others. The structure by sizes and ages is specific for each population, and shows the relationship of the species with the environment and the removal by fishing. A species exists under continuously changing conditions, the structure shows such conditions with certain limits and, therefore, it represents the adaptations of the populations to such conditions (Nikolskii, 1969).

The present work has the aim of determining the size and age structures of the populations of abalones *H. fulgens* and *H. corrugata* from the Bahía Tortugas area by means of direct age determination. The results are discussed in regard of the status of the resource and the environmental conditions during the 1997-98 El Niño event. This age composition of the abalone populations is currently considered as a representative and unique kind of information since the recommended procedures for the population assessments have been followed (Ricker, 1975; Lin-Lai *et al.*, 1996).

## Material and methods

A quantitative and qualitative evaluation of abalone was carried out between La Lobera and the middle point of the Clam Bay beach, in the northwest coast of Baja California Sur (BCS), Mexico, (fig. 1) from October 18-29 1997. The standard methodology implemented by the INP to evaluate the resource was used (Muciño-Díaz *et al.*, 2000) that consists in a stratified random sampling (Cochran, 1978; Anonymous, 1998). Five strata were determined (IA, IB, II, III and Bajos) according to the horizontal distribution of the resource that is

(BCS), del 18 al 29 octubre de 1997. Se utilizó la metodología estándar implementada por el INP para evaluar el recurso (Muciño-Díaz *et al.*, 2000) que consiste en un muestreo al azar estratificado (Cochran, 1978; Anonymous, 1998). Se determinaron cinco estratos (IA, IB, II, III y Bajos), de acuerdo a la distribución horizontal del recurso que está en función de la presencia de sustrato rocoso. De esta manera los estratos quedaron definidos naturalmente, aislados por zonas de arena que mantienen una menor diversidad biológica que aquellas donde se distribuye el abulón, y que se caracterizan por la presencia de grandes laminarias (*Macrocystis piryfera* y *Eisenia*), algas coralinas calcáreas articuladas y costrosas, y densos pastos de *Phyllospadix torreyii* en la zona de rompiente (Guzmán del Proo *et al.*, 1991). Se midieron las dimensiones de los estratos considerando el hábitat efectivo para el abulón, descartando el área de arena. Se definieron bloques de 500 m de largo, paralelos a la costa, por la correspondiente distancia del ancho hasta donde se presenta el sustrato rocoso o a la isobata de 18 m. En cada bloque se realizaron de 8 a 10 inmersiones por medio de buceo semiautónomo tipo Hooka, en cada inmersión se colectaron los abulones presentes por unidad muestral de 10 m<sup>2</sup>, se midieron y se regresaron al sitio original con el mínimo disturbio (tabla 1). Con esta información se determinó la composición por tallas. Se tomó una submuestra seleccionando al azar hasta cinco individuos por intervalo de talla, se midió su longitud, el peso del callo, se determinó el sexo y la madurez de la gónada, y se colectó la concha para determinar edad. La madurez gonádica se determinó con una escala morfocromática (García-Juárez y Ortiz-Quintanilla, 1992; Reinecke-Rodríguez, 1997) con los siguientes estadios: (I) Incipiente o Inmaduro, (II) Madurando, (III) Maduro, (IV) Desove o desovando, y (V) Desovado o en reposo. El sexo se determinó con el color de las gónadas, en los machos color crema y blanco y, en las hembras, verde olivo y café oscuro (Belmar y Guzmán del Proo, 1992).

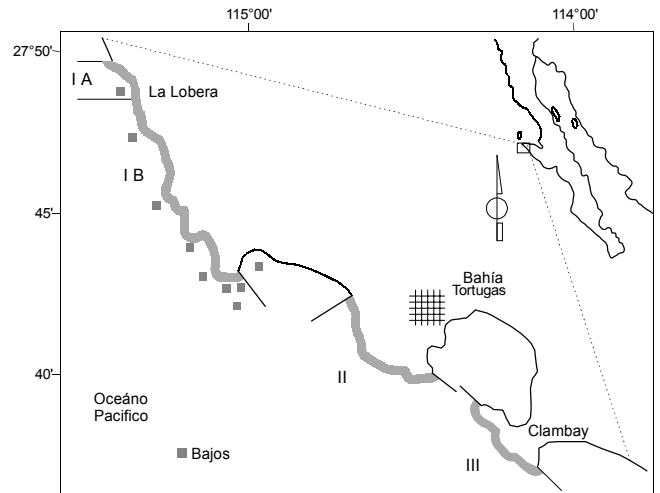
La biomasa de la población se estimó utilizando el muestreo estratificado aleatorio (Cochran, 1978; Anónimo, 1998) de acuerdo a los siguientes estimadores:

$$\text{Biomasa media de la población por estrato} = \bar{X}_{st} = \frac{\sum_{i=1}^L N_i \bar{X}_i}{N}$$

$$\text{Varianza de } \bar{X}_{st} = V(\bar{X}_{st}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^L N_i^2 \left( \frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left( \frac{s_i^2}{n_i} \right)$$

$$\text{Estimador de la biomasa poblacional} = N \bar{X}_{st} = \sum_{i=1}^L N_i \bar{X}_i$$

$$\text{Varianza de } N \bar{X}_{st} = V(N \bar{X}_{st}) = \sum_{i=1}^L N_i^2 \left( \frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left( \frac{s_i^2}{n_i} \right)$$



**Figura 1.** Área de estudio, Bahía Tortugas en la costa occidental de la Península de Baja California.

**Figure 1.** Study area, Bahía Tortugas in the west coast of the Baja California Peninsula.

in function of the rocky substratum presence. In this way, strata were defined naturally, isolated by sandy areas which sustain less biological diversity than those where abalone distributes, characterized by the presence of great laminariales (*Macrocystis piryfera* and *Eisenia*), calcareous articulated or incrusting coralline algae and dense sea grasses *Phyllospadix torreyii* in the breaking zone (Guzmán del Proo *et al.*, 1991). The sizes of the strata were measured considering the effective habitat for the abalone, discarding the sandy area. Blocks were defined of 500 m in length, parallel to the coast, times their corresponding width distance to the rocky substratum or to the 18 m isobath. At each block 8 or 10 immersions were carried out by means of semiautonomous Hooka diving in which every abalone present in each 10-m<sup>2</sup> sampling unit were collected, measured and returned to its original location with the minimum disturbance (table 1). With this information the composition by sizes was determined. A subsample was taken by selecting at random up to five individuals per size interval,

**Tabla 1.** Distribución de estratos, unidades muestrales y número de organismos de la evaluación cuantitativa de abulón en la zona de Bahía Tortugas, B.C.S., México, en octubre de 1997.

**Table 1.** Distribution of strata, sampling units and number of organisms of the quantitative evaluation of abalone in the zone of Bahía Tortugas, B.C.S., Mexico, in October 1997.

Estratos	No. de Bloques	No. de UM*	No. total de abulones	% del área total**
I	18	176	137	27.5
II	12	120	266	31.2
III	15	132	345	33.6
Bajos	9	76	674	7.7
Total	54	504	1549	100

\*UM: Unidades muestrales o inmersiones de 10 m<sup>2</sup> (sampling units or 10-m<sup>2</sup> immersions).

\*\*Área total evaluada = 6'146,745 m<sup>2</sup> (total area assessed).

Los límites de confianza ( $\alpha = 0.05$ ) de la biomasa se calcularon de acuerdo a:

$$\sqrt{V(N\bar{X}_{st})} = \sqrt{\sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i}\right) \left(\frac{s_i^2}{n_i}\right)}$$

donde  $N_i$  es el tamaño del estrato en número de unidades muestrales de 10 m<sup>2</sup>,  $N$  es la suma del tamaño de todos los estratos en unidades muestrales,  $L$  es el número de estratos (IA, IB, II, III y Bajos),  $n_i$  es el número de unidades muestrales o número de inmersiones efectuadas en cada estrato,  $X_i$  es la biomasa promedio por estrato para las  $i$ -ésimas observaciones de  $n_i$ , y  $s_i^2$  es la varianza por estrato para las  $i$ -ésimas observaciones de  $n_i$ .

La edad se determinó en la espira de la concha del abulón, una vez desbastada con un pulidor eléctrico y posteriormente con lija de grano fino, hasta que los anillos quedaron descubiertos y apareció un orificio en una sección horizontal (Muñoz-López, 1976; Shepherd *et al.*, 1995). En un microscopio estereoscópico se contaron los anillos expuestos desde el margen al orificio. El conteo se hizo tres veces por dos lectores, hasta llegar a un acuerdo en el número de anillos observados. Para la identificación de los anillos en *H. fulgens* se siguieron las recomendaciones de Shepherd y Turrubiates-Morales (1997), quienes validaron la periodicidad anual de formación de los anillos oscuros hasta los 5 años, y para *H. corrugata* se siguieron las recomendaciones de Shepherd y Ávalos-Borja (1997), quienes validaron los anillos de pigmentación oscura hasta los 12 años. En este trabajo se asumió que después del sexto anillo pigmentado en *H. fulgens* y del décimo tercer anillo en *H. corrugata*, éstos continúan teniendo una periodicidad anual en su formación. Esta suposición es común después de validar la periodicidad de formación de una o dos marca(s) de crecimiento en especies de peces o moluscos, principalmente en las longevas. Sin embargo, nosotros apoyamos esta suposición en que: (1) tanto para el abulón azul como para el amarillo, se siguieron los mismos criterios de lectura de Shepherd y Turrubiates-Morales (1997), y Shepherd y Ávalos-Borja (1997); (2) se mantuvo consistencia en tales criterios; (3) en la zona de estudio se mantiene una marcada estacionalidad del ambiente físico (Guzmán del Proo *et al.*, 1991; Turrubiates-Morales y Castro-Ortiz, 1992), especialmente de la temperatura del mar, presumiblemente uno de los factores que promueven la formación de la marca anual y que influye en la reproducción, la cual continua ocurriendo en *H. fulgens* > 5 años y en *H. corrugata* > 12 años. La composición por edades de cada especie se determinó a partir de una clave edad-longitud siguiendo las recomendaciones de Ricker (1975) y Lin Lai *et al.* (1996) para su aplicación en la evaluación de poblaciones.

their length and muscle weight were measured, and sex and maturity stage of the gonad were determined, besides the shell being collected to determine the age. The gonadic maturity was determined with a morphochromatic scale (García-Juárez and Ortiz-Quintanilla, 1992; Reinecke-Rodríguez, 1997) with the following stages: (I) incipient or immature, (II) maturing, (III) mature, (IV) ready to spawn or spawning, and (V) spawned or resting. Sex was determined by the color of the gonads, which in males is white or cream colored, and in females is olive-green and dark-brown (Belmar and Guzmán del Proo, 1992).

The biomass of the population was estimated by using a random stratified sampling (Cochran, 1978; Anonymous, 1998) according to the following estimators:

$$\text{Mean biomass of the population per stratum} = \bar{X}_{st} = \frac{\sum_{i=1}^L N_i \bar{X}_i}{N}$$

$$\text{Variance of } \bar{X}_{st} = V(\bar{X}_{st}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i}\right) \left(\frac{s_i^2}{n_i}\right)$$

$$\text{Estimator of the population biomass} = N\bar{X}_{st} = \sum_{i=1}^L N_i \bar{X}_i$$

$$\text{Variance of } N\bar{X}_{st} = V(N\bar{X}_{st}) = \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i}\right) \left(\frac{s_i^2}{n_i}\right)$$

The confidence limits ( $\alpha = 0.05$ ) of the biomass were calculated according to:

$$\sqrt{V(N\bar{X}_{st})} = \sqrt{\sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i}\right) \left(\frac{s_i^2}{n_i}\right)}$$

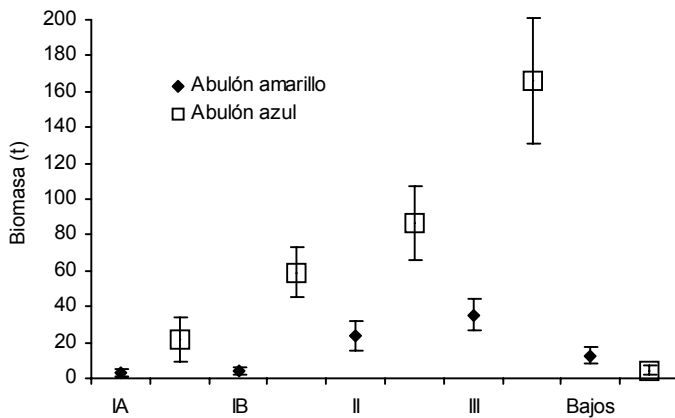
where  $N_i$  is the size of the stratum in number of 10-m<sup>2</sup> sampling units,  $N$  is the sum of the size of all strata in sampling units,  $L$  is the number of strata (IA, IB, II, III and Bajo),  $N_i$  is the number of sampling units or number of immersions done at each stratum,  $X_i$  is the mean biomass per stratum for the  $i$ -th observations of  $n_i$ , and  $s_i^2$  is the variance per stratum for the  $i$ -th observations of  $n_i$ .

The age was determined in the espire of the abalone shell once it was ground down with an electrical grinder and polished with fine-grain sandpaper until a minute hole appeared in the horizontal section (Muñoz-López, 1976; Shepherd *et al.*, 1995). The exposed rings were counted from the margin to the opening under a stereoscopic microscope. The count was done three times by two readers until agreeing in the number of rings observed. For the identification of the rings in *H. fulgens*, the recommendations by Shepherd and Turrubiates-Morales (1997), who validated the annual periodicity of the formation of dark rings until abalones are 5 years old, were followed, and for the case of *H. corrugata*, the recommendations by

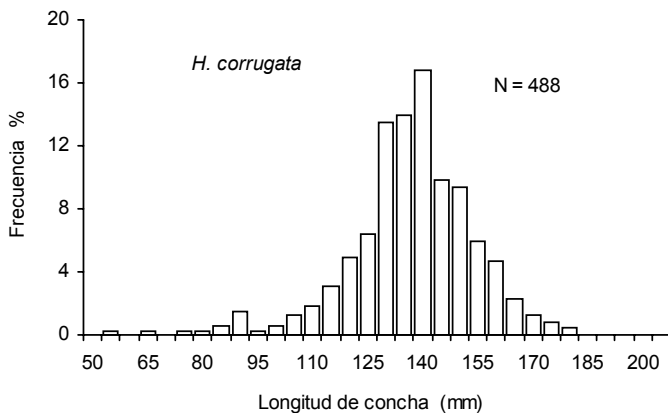
**Resultados**

La composición por tallas y edades se determinó para una área de 6,146,745 m<sup>2</sup> en la franja litoral entre 1 y 18 m de profundidad. Se definieron 54 bloques en los cuales se realizaron 504 inmersiones, se obtuvo un total de 1549 abulones distribuidos en cuatro estratos (tabla 1), y se definió el porcentaje de cada estrato respecto al área total. El 31.6% correspondió a *H. corrugata* y 68.4% a *H. fulgens*. En la franja de 1 a 7 m se realizaron el 53% de las inmersiones, en la de 7.1 a 14 m el 35.2%, y en la de 14.1 a 18 m el 11.7%. El tipo de sustrato o hábitat efectivo del abulón fue roca alta, roca plana de grandes extensiones (de 15 a 40 m), grava, y roca con cuevas.

La biomasa total estimada en peso de callo fresco fue mayor para *H. fulgens* 337,653 con un intervalo de confianza de  $\pm 44,712$  kg, y menor para *H. corrugata* 79,123.5  $\pm 11,792$ , que representan 81% y 19% de la biomasa total, respectivamente. Los estratos más productivos de abulón en términos de biomasa fue el estrato III y II (fig. 2).



**Figura 2.** Biomasa de abulón amarillo *H. corrugata* y abulón azul *H. fulgens* e intervalo de confianza (95%) por estrato.  
**Figure 2.** Pink abalone *H. corrugata* and green abalone *H. fulgens* biomass and confidence interval (95%) by stratum.



**Figura 3.** Composición por tallas del abulón amarillo *H. corrugata* de la zona de La Lobera a Clam Bay (octubre de 1997). TMC = 135 mm.  
**Figure 3.** Size composition of the pink abalone *H. corrugata* from the zone from La Lobera to Clam Bay (October 1997). MLS = 135 mm.

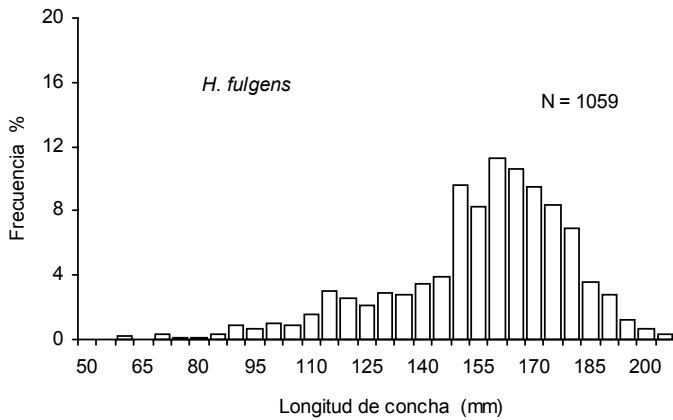
Shepherd and Ávalos-Borja (1997) were followed, who validated the dark pigmentation rings until 12 years old. We assumed that after the sixth pigmented ring in *H. fulgens* and the thirteenth one in *H. corrugata*, they continue forming with a one-year periodicity. This assumption is common after validating the periodicity of the formation of one or two growth marks in species of fishes and mollusks, mainly those longevous. However, this assumption was based on the following: (1) either for the green abalone as for the pink abalone the same reading criteria by Shepherd and Turrubiates-Morales (1997) and Shepherd and Ávalos-Borja (1997) were followed; (2) consistency was kept in such criteria; (3) there is a marked environmental seasonality in the study zone (Guzmán del Proo *et al.*, 1991; Turrubiates-Morales and Castro-Ortiz, 1992), especially the sea temperature that is presumably one of the factors that promote the formation of annual marks and influence reproduction that continues happening in *H. fulgens* > 5 years old and in *H. corrugata* > 12 years old. The age composition of each species was determined from an age-length key, following the recommendations by Ricker (1975) and Lin-Lai *et al.* (1996) to apply it in population assessments.

**Results**

The composition by sizes and ages was determined for an area of 6,146,745 m<sup>2</sup> in the litoral fringe between 1- and 8-m depth. Fifty four blocks were defined where 504 immersions were carried out, obtaining a total of 1549 abalones distributed in four strata (table 1) and the percentage of each stratum was defined in relation to the total area. The 31.6% belonged to *H. corrugata* and 68.4% to *H. fulgens*. Fifty-three percent of immersions were performed in the 1- to 7-m depth fringe, 35.2% between 7.1- to 14-m depth, while 11.7% were done from 14.1 to 18 m of depth. The kind of substrata or effective habitat for the abalone was high rock, extended flat rock (from 15 to 40 m), gravel and rock with crevices.

The total biomass estimated in fresh muscle weight was higher for *H. fulgens* (337,653  $\pm 44,712$  kg) than for *H. corrugata* (79,123.5  $\pm 11,792$ ), representing 81% and 19% of the total biomass respectively. The most productive strata of abalone in terms of biomass were strata III and II (fig. 2).

The size composition of *H. corrugata* showed an interval of 55 to 180 mm and a 135.8-mm mean size (fig. 3), while the size interval for *H. fulgens* was 57–206 mm the mean size was 154.1 mm (fig. 4). If recruitment is defined as the fraction of the accessible population ranging from the minimum legal size (MLS) to the minimum size recorded in the present evaluation, the *H. fulgens* recruits would be individuals between 145 to 57 mm while those of *H. corrugata* would be between 135 to 55 mm. From this definition, the mean recruitment for *H. fulgens* was 27% and, for *H. corrugata* 48% (figs. 3 and 4; table 2), despite the difference in the biomass magnitude (fig. 2). Exceptionally, the area II has a 70% recruitment for *H. fulgens* (table 2).



**Figura 4.** Composición por tallas del abulón azul *H. fulgens* de la zona de La Lobera a Clam Bay (octubre de 1997). TMC = 145 mm.  
**Figure 4.** Size-composition of the green abalone *H. fulgens* from the zone from La Lobera to Clam Bay (October 1997). MLS = 145 mm.

La composición por tallas de *H. corrugata* presentó un intervalo de 55 a 180 mm y una talla media de 135.8 mm (fig. 3). Para las tallas de *H. fulgens* el intervalo fue de 57 a 206 mm y la talla media de 154.1 (fig. 4). Si definimos el reclutamiento como la fracción de la población accesible, a partir de la talla mínima de captura (TMC) hasta la talla mínima registrada en la presente evaluación, para *H. fulgens* éste correspondería a individuos de 145 a 57 mm, y en *H. corrugata* a individuos de 135 a 55 mm. A partir de esta definición, el reclutamiento promedio de *H. fulgens* fue 27% y el de *H. corrugata* 48% (figs. 3 y 4; tabla 2), no obstante la diferencia del tamaño de la biomasa (fig. 2). Excepcionalmente, la zona II presenta un reclutamiento de 70% para *H. fulgens* (tabla 2).

Se determinó la edad de manera directa en 105 conchas de *H. corrugata* y 192 de *H. fulgens*, se contaron las marcas y se obtuvo la edad cronológica. El intervalo de edades para *H. corrugata* fue de 2+ a 16+ años y para *H. fulgens* fue de 1+ a 20+ años. El 10% de las conchas registraron perforaciones superficiales de parásitos gasterópodos, en organismos con edades a partir de los 4+ años, siendo en su mayoría individuos de > 7 años. Estos organismos se encontraron aparentemente en buenas condiciones.

Más del 50% de la población de *H. corrugata* estuvo representada por individuos de 2+ a 6+ años de edad (fig. 5), el resto fueron individuos de 7+ a 16+ años. La edad media fue 6.6 años. Las edades más abundantes fueron 6+, 5+ y 4+ años, que corresponden a las clases anuales 1991, 1992 y 1993, respectivamente. En *H. fulgens*, el 51% de la población fueron individuos de 1+ a 5+ años, la edad media fue de 5 años y sobresalieron las edades de 3+, 2+, 4+ y 6+ años que corresponden a las clases anuales 1994, 1995, 1993 y 1991 respectivamente (fig. 6).

El 78% de *H. corrugata* > 110 mm estaba desovando (estadio IV), mientras que el 70% de *H. fulgens* > 115 mm se encontró maduro (estadio III) próximo a desovar, y el 30% estaba desovando (estadio IV) (tabla 3). La proporción de machos por hembra fue de 1:1.7 en *H. corrugata* y de 1:1.4 en *H. fulgens*. El desove coincidió con un descenso de la

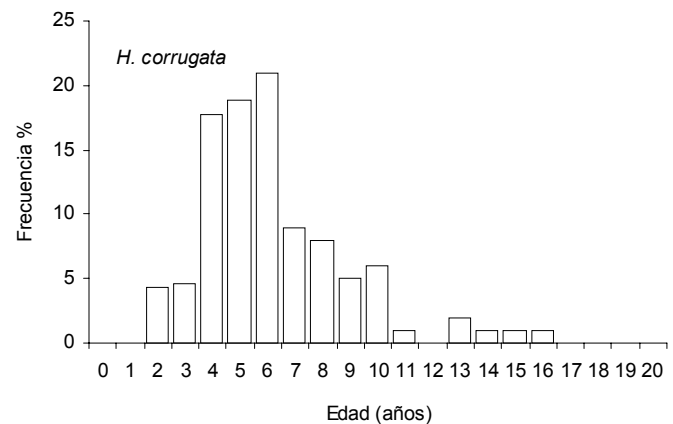
**Tabla 2.** Frecuencia relativa de abulón amarillo *H. corrugata* y abulón azul *H. fulgens* < la talla mínima de captura.  
**Table 2.** Relative frequency of the pink abalone *H. corrugata* and green abalone *H. fulgens* < the minimum legal size.

Zona o Estratos	% abulón amarillo <135 mm	% abulón azul <145 mm
I	47.5	31.4
II	45.0	70.0
III	53.8	27.9
Bajos	43.0	7.8
Todos	48.5	27.0

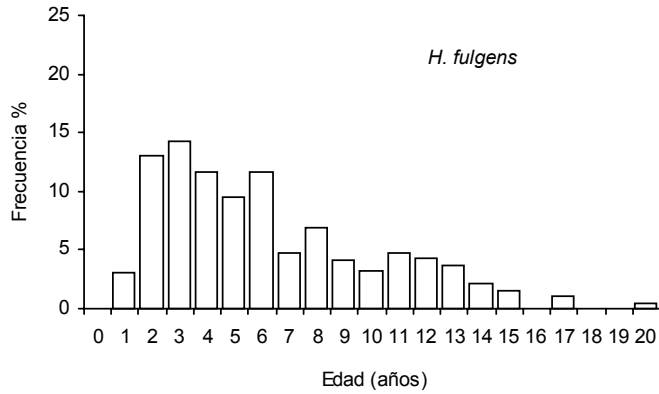
Age was determined directly in 105 shells of *H. corrugata* and 192 of *H. fulgens* in which the marks were counted and the chronological age was obtained. The age interval for *H. corrugata* was from 2+ to 16+ years whereas for *H. fulgens* it was from 1+ to 20+ years. Ten percent of the shells had little holes in their surface produced by gastropod parasites. This situation was present in shells from individuals aged 4+ but most of them were from individuals > 7+ years. Apparently, these organisms were in good conditions.

Individuals aged 2+ to 6+ years old represented more than 50% of the *H. corrugata* population (fig. 5) while the rest were individuals 7+ to 16+ years old; the mean age was 6.6 years old. The most abundant ages were 6+, 5+ and 4+ years belonging to the annual classes 1991, 1992 and 1993 respectively. In *H. fulgens*, 51% of the population were individuals from 1+ to 5+ years old, the mean age was 5 years old, outstanding ages 3+, 2+, 4+ and 6+ years old that belong to the annual classes 1994, 1995, 1993 and 1991, respectively (fig. 6).

Seventy-eight percent of the *H. corrugata* population was spawning (stage IV), while 70% of the population in *H. fulgens* > 115 mm was mature about to spawn (stage III) and 30% was already spawning (stage IV) (table 3). The male:female



**Figura 5.** Composición por edad del abulón amarillo *H. corrugata* de la zona de La Lobera a Clam Bay (octubre de 1997).  
**Figure 5.** Age-composition of the pink abalone *H. corrugata* from the zone from La Lobera to Clam Bay (October 1997).



**Figura 6.** Composición por edad del abulón azul *H. fulgens* de la zona de La Lobera a Clam Bay (octubre de 1997).

**Figure 6.** Age-composition of the green abalone *H. fulgens* from the zone from La Lobera to Clam Bay (October 1997).

temperatura superficial del mar de 25 a 23°C durante el periodo de estudio.

Durante las inmersiones se observó un hábitat totalmente descubierto del alga *M. pyrifera*, quedando la población completamente expuesta a la vista del buzo. El sustrato rocoso donde se adhiere el abulón, y donde ocurre el asentamiento de sus larvas, se observó con escasa flora que normalmente cubre las rocas en años de condiciones climáticas normales (en que no se manifiesta en fenómeno de El Niño). Los abulones mostraron condiciones aparentemente sanas, con escaso alimento en el estómago, el cual consistió en algas coralinas calcáreas articuladas y costrosas, y partículas de sedimento.

**Discusión**

La naturaleza sedentaria del abulón permite realizar evaluaciones directas que pueden utilizarse como un método que provee estimaciones independientes de la pesquería. Esta metodología ha sido utilizada por el INP desde principios de los años noventa. En esta ocasión la evaluación se realizó en condiciones en que las poblaciones de abulón estuvieron completamente expuestas y accesibles, debido a la ausencia de *M. pyrifera*, lo que permitió obtener un amplio intervalo de tallas y edades de *H. corrugata* y *H. fulgens*. Consideramos que esta información es adecuada, ya que representa una extensa área, con una amplia variedad de hábitats, y a pesar de que se generó de un periodo corto.

La utilización de marcas de crecimiento, previa validación de su periodicidad anual de formación, hace que el método utilizado en el presente trabajo sea potencialmente útil para las necesidades de investigación actuales. La edad mínima encontrada para *H. corrugata* fue 2 + años en individuos de 55 mm y de 1+ años para *H. fulgens*, en individuos de 57 mm. Aunque el propósito de este trabajo no es determinar el crecimiento individual del abulón, los antecedentes señalan una gran variabilidad en el crecimiento individual entre zonas y, dentro de las zonas, variación estacional en el crecimiento y, por consiguiente, una amplia distribución de longitudes alrededor

**Tabla 3.** Frecuencia relativa de los estadios de madurez gonádica del abulón azul *H. fulgens* y el abulón amarillo *H. corrugata* en la zona de Bahía Tortugas, B.C.S.

**Table 3.** Relative frequency of the gonadic maturity stages of the green abalone *H. fulgens* and pink abalone *H. corrugata* in the zone of Bahía Tortugas, B.C.S.

Estadio	Abulón amarillo % N = 50	Abulón azul % N = 94
I	0	0
II	0	6.3
III	14	70.2
IV	78	22.3
V	8	1.1

proportion was 1:1.7 in *H. corrugata* while in *H. fulgens* it was 1:1.4. Spawning coincided with a decrease in the sea surface temperature from 25 to 23°C during the study period.

During the immersions the abalone habitat was completely bare of the alga *M. pyrifera*, leaving the population entirely exposed to the diver’s sight. The rocky substratum where the abalone attaches and larval settlement occurs was observed with less flora normally covering the rocks in non-El Niño years. Abalones in appearance showed healthy conditions with little food in the stomach that was calcareous articulated and incrusting corallines and sediment particles.

**Discussion**

The sedentary nature of the abalone allows direct evaluations that can be used as a method that provides estimations which are independent from the fishery. The INP has used this methodology since the early 1990’s. This time the evaluation was done in such conditions that the abalone populations were completely exposed and accessible because of the absence of *M. pyrifera*. Such situation allowed obtaining a wide interval of sizes and ages of *H. corrugata* and *H. fulgens*. We consider that this information is adequate since it represents a great area with a wide variety of habitats, nevertheless it comes from a short period.

The use of growth marks with a previous validation of their annual formation period makes the method used in this work potentially useful for the current research needs. The minimum age found for *H. corrugata* was 2+ years old in 55-mm individuals, and for *H. fulgens* it was of 1+ year old in 57-mm individuals. Even though the purpose of this work was not to determine the individual growth of the abalone, the backgrounds point out a great variability in the individual growth among and within zones, seasonal growth variation and, therefore, a wide distribution of lengths around the mean length per age class, especially in the first years (Shepherd *et al.*, 1991; Turrubiates-Morales and Castro-Ortiz, 1992; Day *et al.*, 1995; Wells and Mulvay, 1995; Worthington *et al.*, 1995; Troynikov *et al.*, 1998). The following results illustrate the above: for 2+

del promedio de longitud por edad, especialmente en los primeros años (Shepherd *et al.*, 1991; Turrubiates-Morales y Castro-Ortiz 1992; Day *et al.*, 1995; Wells y Mulvay, 1995; Worthington *et al.*, 1995; Troynikov *et al.*, 1998). Los resultados siguientes ilustran lo anterior: para *H. corrugata* de 2+ años, Marín (1981) estima una talla media de 83 mm; Shepherd y Ávalos Borja (1997), con la misma técnica del presente trabajo, reportan una talla de 50 mm para individuos de 2+ años semejante a la de nuestros resultados. *Haliotis fulgens* en Bahía Tortugas logra alcanzar una talla media de 45 mm a la edad 0+ años (Turrubiates-Morales, com. pers., INP-SAGARPA). Shepherd *et al.* (1991) reportan 70 mm en individuos de 2+ años. Shepherd *et al.* (1998) encuentran en Isla Natividad, BCS, individuos de 40 a 110 mm, con edades de 2+ y 3+ años. Guzmán del Proo *et al.* (2001) estima un crecimiento medio de  $55.4 \pm 5.1$  mm/año en abulones silvestres de 25–70 mm, de tal manera que individuos > 1+ y < 2+ años medirían aproximadamente 100 mm. Nosotros encontramos en *H. fulgens* individuos de 1+ años de 57 mm, lo cual es consistente con algunos antecedentes considerando la amplia variación de tallas por edad.

#### Composición por tallas y edades

En especies longevas como el abulón *Haliotis* spp., las determinaciones directas de edad tienen algunas ventajas respecto a los métodos de distribuciones de frecuencia de tallas: se distinguen los grupos de edad más viejos; se identifica el tiempo de vida del primer grupo de edad y se distinguen los organismos de lento y rápido crecimiento, entre y dentro de zonas, entre otros.

Los resultados indican que la composición de tallas está cargada hacia la derecha donde predominan varias clases anuales acumuladas, y pocos organismos pequeños y jóvenes (figs. 3, 4, 5 y 6), tal como se observa en otras especies de abulón (Wells y Keesing, 1990; Tegner *et al.*, 1992; Day y Fleming, 1992; Wells y Mulvay, 1995). La baja frecuencia de abulones chicos sugiere su hábitat críptico (McShane, 1992; Prince, 1992). El abulón empieza a salir de su hábitat críptico cuando alcanza la madurez (Prince, 1992). Posiblemente el método utilizado no sea el más adecuado para evaluar esa fracción de la población, si consideramos la complejidad del hábitat natural del molusco (McShane, 1992). Otro escenario sería que la abundancia de juveniles fuera realmente baja, pero que tuvieran una alta tasa de crecimiento que les permita rápidamente alcanzar la talla adulta y sobrevivir varios años como adultos (Wells y Keesing, 1997), o una combinación de los anteriores. Tal situación aún no es completamente clara. Una revisión sobre reclutamiento de varias especies de abulón concluye que las diferencias en el reclutamiento pueden ser grandes (McShane, 1995). A partir de lo anterior y considerando el método de evaluación, se reconsideró la definición de reclutamiento, que sería la fracción de la población accesible, entre 145 mm (TMC) y 80 mm. Los individuos < 80 mm no están completamente accesibles por su condición críptica y

years old *H. corrugata*, Marín (1981) estimates an 83-mm mean size; Shepherd and Ávalos-Borja (1997) with the same technique used in this work report 50 mm-size for 2+ years old individuals, similar to our results. For *H. fulgens* a mean size of 45 mm is achieved at 0+ years old in Bahía Tortugas (Turrubiates-Morales, pers. comm., from INP-SAGARPA). Shepherd *et al.* (1991) report 70 mm in 2+ years old individuals; Shepherd *et al.* (1998) found individuals from 40 to 110 mm and ages between 2+ and 3+ years old in Isla Natividad, BCS; Guzmán del Proo *et al.* (2001) estimate a mean growth of  $55.4 \text{ mm} \pm 5.1 \text{ mm/year}$  in wild abalones of 25–70 mm in such a way that individuals > 1+ and < 2+ years old would measure approximately 100 mm. We found 1+ year old *H. fulgens* individuals of 57 mm, which is consistent with some of the backgrounds mentioned, considering the wide variation of sizes at each age.

#### Composition by sizes and ages

In longevous species such as the abalone *Haliotis* spp., the direct age determinations have some advantages in regard of the size-frequency distribution methods: oldest groups are distinguished, the life-time of the first group of age is identified, and slow- and fast-growing organisms are distinguished among and within zones, among other advantages.

The results indicate that the size composition is skewed to right where several accumulated annual classes and few small and young organisms predominate (figs. 3, 4, 5 and 6) as in other species of abalone (Wells and Keesing, 1990; Tegner *et al.*, 1992; Day and Fleming, 1992; Wells and Mulvay, 1995). The low frequency of small abalones suggests their cryptic habitat (McShane, 1992; Prince, 1992). The abalone starts leaving its cryptic habitat when reaching maturity (Prince, 1992). Possibly, the method used is not the adequate to evaluate this fraction of the population if the complexity of the natural habitat of this mollusk is considered (McShane, 1992). Another scenario would be that the abundance of juveniles was in fact low, but these had a high growth rate that allow them reaching the adult size and survive several years as adults (Wells and Keesing, 1997) or a combination of the previous. Such situation is not completely clear yet. A review about the recruitment of several species of abalone concludes that the differences in recruitment could be huge (McShane, 1995). From all the above and considering the evaluation method, we reconsidered the definition of recruitment, which would be the fraction of the accessible population from 145 mm (MLS) to 80 mm. Individuals < 80 mm would not be completely accessible due to their cryptic condition, and they represent < 0.8% of the population when using the methodology herein described. Similar results have been observed in several abalone distribution areas in the west coast of BCS since the end of the 1990's (Muciño-Díaz *et al.*, 2000; Turrubiates-Morales, pers. comm.) and is a common situation in other populations of abalone in the world (Prince and Guzmán del Proo, 1993).



representan < 0.8% de la población utilizando la metodología aquí descrita. Resultados similares se han observado en distintas áreas de distribución del abulón en la costa occidental de BCS desde finales de los años noventa (Muciño Díaz *et al.*, 2000; Turrubiates-Morales com. pers), y es una situación común en otras poblaciones de abulón del mundo (Prince y Guzmán del Proo, 1993).

Después de esta consideración, la diferencia en la proporción de reclutas de *H. fulgens* (27%) respecto a *H. corrugata* (48%) (figs. 3 y 4) se intenta explicar de la siguiente manera: (1) si consideramos que la distribución de *H. fulgens* es desde la zona entre mareas hasta aproximadamente 24 m de profundidad, una zona de alta energía de oleaje y corrientes donde los individuos expuestos serán los más fuertes para resistir esas condiciones, los menos fuertes tenderían a ocultarse. Sin embargo, durante El Niño 1997-98 la temperatura superficial del mar aumentó 3°C o más por al menos seis meses, y desaparecieron los mantos de *M. pyrifer* (Ladha *et al.*, 1999), una de las principales fuentes de alimento y protección del abulón (Guzmán del Proo *et al.*, 1991). Esta situación podría provocar una disminución en la condición del molusco que se reflejaría en adoptar un comportamiento críptico para protegerse; (2) sin embargo, la ausencia de *M. pyrifer* promovió que la población de abulón estuviera completamente expuesta y en busca de alimento, encontrándose en su tracto digestivo algas coralinas y costrosas, y gran cantidad de partículas de sedimento, que eran los únicos alimentos disponibles entonces, reduciéndose así la posibilidad de una subestimación de la proporción de los reclutas aquí definidos; (3) por otro lado, la remoción histórica de agregaciones de reproductores afectaría la magnitud del reclutamiento y, por lo tanto, la composición por tallas y edades; (4) además, el reclutamiento a la pesquería puede depender de un exitoso asentamiento de larvas en un sustrato apropiado (McShane, 1995), sin embargo, aún hay incertidumbre en la relación entre el suministro de larvas y el reclutamiento del abulón (McShane 1995), indicando la necesidad de mayor información sobre las estrategias de la historia de vida de *H. fulgens* y *H. corrugata*. Finalmente, consideramos que la reducida proporción de reclutas en *H. fulgens* sería una evidencia del estado en deterioro del recurso, específicamente, de una sobrepesca del reclutamiento. Esta situación cambiará conforme se cumpla con la estrategia de recuperación del recurso.

Para *H. corrugata* la población estuvo completamente expuesta en busca de alimento (fig. 3) igual que *H. fulgens* (fig. 4), por lo que también es poco probable una subestimación de la proporción de reclutas. Sin embargo, *H. corrugata* se distribuye a mayor profundidad, aproximadamente a 44 m, donde la accesibilidad por buceo semiautónomo tipo Hooka tiene riesgos. En esas profundidades podrían encontrarse los individuos más viejos que estarían aportando reclutas a la población, lo cual podría ser el origen de la mayor proporción de reclutas, y confirma la evidencia de una ligera recuperación de *H. corrugata* señalada por Muciño-Díaz *et al.* (2000). Las profundidades > 24 m se consideran un refugio para

After this consideration, we tried to explain the different proportions of recruits between *H. fulgens* (27%) and *H. corrugata* (48%) (figs. 3 and 4) by the following: (1) If we consider that the *H. fulgens* distribution is from the intertidal zone to approximately 24 m depth, a high wave and current energy zone, where the exposed individuals would be the strongest to resist those conditions, the weakest ones would tend to hide. However, during the 1997–98 El Niño, the sea surface temperature increased 3°C or more during at least six months, and the beds of *M. pyrifer* disappeared (Ladha *et al.*, 1999) which are one of the main food and shelter sources for abalone (Guzmán del Proo *et al.*, 1991). This situation would cause a reduction in the mollusk condition that would result in adopting a cryptic behavior for protection. (2) Nevertheless, the absence of *M. pyrifer* promoted the population of abalone to be completely exposed and in search for food, for what coralline and incrusting algae were found in their digestive tracts as well as a high amount of sediment particles, being these the only available food then. In this context, the possibility of under-estimating the proportion of recruits just defined here is reduced. (3) On the other hand, the historic removal of reproductive aggregations would affect the magnitude of recruitment and therefore the size and age composition. (4) Moreover, the recruitment to the fishery could depend on a successful settlement of larvae in an appropriate substratum (McShane, 1995). However, there is still uncertainty in the relationship between the larval supply of larvae and abalone recruitment (McShane, 1995), indicating the need of more information about the life-history strategies of *H. fulgens* and *H. corrugata*. Finally, we consider that the reduced proportion of recruits in *H. fulgens* would be an evidence of the damage to the resource, specifically an over-fishing of recruits. This situation will change as the recovery strategy for the resource is accomplished.

For *H. corrugata* the population was completely exposed and in search for food (fig. 3) like *H. fulgens* (fig. 4), so an under-estimation of the recruit proportion is unlikely. However, *H. corrugata* distributes deeper, approximately at 44 m depth, where access by Hooka diving is risky. The oldest individuals could be found at those depths that would be supplying recruits to the population, and could be the origin of the higher proportion of recruits besides confirming the evidence of a slight recovery of *H. corrugata* mentioned by Muciño-Díaz *et al.* (2000). Depths > 24 m are considered as refuge for *H. corrugata* because of the poor accessibility. Refuge can play an important role in the abalone conservation and recovery strategy by maintaining the egg production and genetic diversity (Shepherd and Brown, 1993).

The previous also explains why we found less than 5% of individuals > 11 years old and a maximum age of 16 years. Another explanation would be an actual decrease of older age groups since, historically, the studied sites are traditional fishing zones; this decrease is an evidence of the deterioration to the population. We found in 1997 a maximum age of 16 years for *H. corrugata*, while Muñoz-López (1976) reported

*H. corrugata*, por su baja accesibilidad. El refugio puede jugar un rol importante en la estrategia de conservación y recuperación del recurso, manteniendo una producción de huevos y diversidad genética (Shepherd y Brown, 1993).

Lo anterior explica también por qué encontramos menos de 5% de individuos > 11 años y una edad máxima de 16 años. Otra explicación sería una disminución real de los grupos de edad más viejos y, tratándose de zonas de pesca históricas tradicionales, esta disminución es una evidencia del deterioro de la población. Nosotros encontramos en 1997 una edad máxima de 16 años para *H. corrugata*, mientras que Muñoz López (1976) reportó individuos de hasta 21 años antes de 1976, y Shepherd y Ávalos-Borja (1997) individuos de 18 años en 1970 para Isla Natividad, BCS, México, ambos usando la técnica de los anillos de la espira. Marín (1981), usando distribuciones de frecuencia de tallas, reporta un grupo de edad de 20 años.

Una situación similar ocurre con *H. fulgens*. En este trabajo se encontró una edad máxima de 20 años, que es una cantidad menor de grupos de edad respecto a 1982 y 1985 cuando Turrubiates-Morales y Castro-Ortiz (1992) reportan, para la misma zona y usando la técnica del presente trabajo, individuos de hasta 25 años. Esta situación podría ser una evidencia de sobrepesca del reclutamiento, que sería la disminución de adultos de una manera tal que no se producen suficientes huevecillos para remplazar el reclutamiento. La pesca retira los organismos más viejos, que es una de las principales características de las poblaciones explotadas a niveles de intensidad importantes. Al inicio de la pesquería, cuando la producción alcanzó cerca de 5000 t, *H. corrugata* predominaba en las capturas, después, a partir de los años ochenta *H. fulgens* empezó a predominar pero sin alcanzar la producción de *H. corrugata* (León y Muciño, 1996).

## Desove

Si consideramos que de 1990 a 1995 el máximo del desove de *H. fulgens* se registró en diciembre-enero, y el de *H. corrugata* de octubre a diciembre (Muciño-Díaz *et al.*, 1996), la presencia de más de 70% de *H. corrugata* en estadio de desove y 70% de *H. fulgens* a punto de desovar en octubre de 1997, indicó un adelanto del desove en *H. corrugata*. Una situación similar se observó durante los eventos El Niño de 1982-83 y 1991-92 en la misma zona (Espinoza-Castro y Turrubiates-Morales, com. pers., INP-SAGARPA). Desde finales del verano de 1997 hasta el verano de 1998, las aguas costeras de California y la Península de Baja California estuvieron influenciadas fuertemente por condiciones El Niño (Lynn *et al.*, 1998), con un amplio periodo de calentamiento del mar (Ladah *et al.*, 1999), situación que, aunada a un descenso brusco de la temperatura superficial del mar de 25 a 23°C en octubre 1997, pudo promover el adelanto del desove. No obstante, el evento reproductivo está protegido con un periodo de veda del 1 de agosto al 31 de diciembre (Diario Oficial de la Federación, 1981).

individuals up to 21 years old before 1976 and Shepherd and Ávalos-Borja (1997) report individuals 18 years old in 1970 for Isla Navidad, B.C.S, both using the technique of rings in the espire. Marín (1981), using frequency distributions of sizes, reports a 20-year age group.

A similar situation occurs in *H. fulgens*. We found a maximum age of 20 years, that is a lower quantity of age groups compared to 1982 and 1985 when Turrubiates-Morales (1982) and Castro-Ortiz (1992) report for the same study area, and using the same technique in this work, individuals of up to 25 years old. This situation could be an evidence of over-fishing on recruits that would result in reducing adults, in such a way that not enough eggs are produced to replace the recruitment. Fishing removes older organisms which is one of the main characteristics of the populations exploited at important intensity levels. At the beginning of the fishery, when the production was about 5000 t, *H. corrugata* prevailed in the catches, afterwards, from the 1980's *H. fulgens* began to predominate but without reaching the *H. corrugata* production (León and Muciño, 1996).

## Spawning

If we consider that from 1990 to 1995 the peak spawning of *H. fulgens* was recorded in December-January, and for *H. corrugata* from October to December (Muciño-Díaz *et al.*, 1996), the presence of more than 70% of *H. corrugata* in spawning stage and 70% of *H. fulgens* about to spawn in October 1997, indicated an advanced spawning in *H. corrugata*. A similar situation was observed during the El Niño events in 1982-83 and 1991-92 at the same zone (Espinoza-Castro and Turrubiates-Morales, pers. comm., INP-SAGARPA). From the end of summer 1997 to summer 1998, the coastal waters off California and the Baja California Peninsula were strongly influenced by El Niño conditions (Lynn *et al.*, 1998) with a wide sea-warming period (Ladah *et al.*, 1999). This situation and an abrupt decrease of the sea surface temperature from 25 to 23°C in October 1997, could have promoted the early spawning. Nevertheless, the reproductive event is protected with a close season from August 1 to December 31 (Diario Oficial de la Federación, 1981).

The following observed and documented situations for the study area could affect the strength of the 1997 abalone cohort: (1) a long sea-warming period due to El Niño 1997-98 (Lynn *et al.*, 1998) advanced the spawning of *H. corrugata*, which is in function of a sea temperature increase (Cox, 1962), meaning different environmental conditions to those in normal years, not favoring the survival; (2) a change in the dietary elements of the abalone suggests a change in the energetic content and nutritional value that would affect the quality of gametes, given that during El Niño 1997-98 a predominance was observed of articulated coralline algae *Bossiella* and *Corallina* spp., as well as sediment particles; these algae are not reported in the diet of *H. fulgens* during non-Niño years (Servier *et al.*, 1998), despite being part of the habitat of

Las siguientes situaciones observadas y documentadas para la zona de estudio podrían afectar el vigor de la cohorte de abulón de 1997: (1) un amplio periodo de calentamiento del mar debido a El Niño 1997-98 (Lynn *et al.*, 1998) adelantó el desove de *H. corrugata*, evento que está en función del incremento de la temperatura del mar (Cox 1962), encontrando así condiciones ambientales distintas a las de años normales que pudieran no favorecer la sobrevivencia; (2) un cambio de los elementos que componen la dieta del abulón sugiere un cambio de su contenido energético y valor nutritivo (lo que afectaría la calidad de los gametos), ya que durante el Niño 1997-98 se observó en el tracto digestivo predominancia de las algas coralinas articuladas *Bossiella* y *Corallina* spp. y partículas de sedimento. Estas algas no se reportan en la dieta de *H. fulgens* en años en los que no se presenta El Niño (Servier *et al.*, 1998), no obstante que forman parte del hábitat de *Haliotis* spp. (Guzmán del Proo *et al.*, 1991). No obstante, algunas observaciones en años No Niño señalan escasa presencia de esas algas en el tracto digestivo de *H. fulgens* de Bahía Tortugas (Turrubiates Morales, com. pers.); (3) la ausencia de *M. pyrifera* afectaría el proceso de asentamiento de la larva y por consiguiente la sobrevivencia, ya que sus bosques sirven de protección y constituyen una barrera que disminuye la velocidad de la corriente y evita el transporte de larvas fuera de las zonas de producción o arrecifes (Guzmán del Proo *et al.*, 2000); (4) un cambio en la composición cuantitativa y cualitativa de la flora del sustrato, por las condiciones ambientales que prevalecieron durante El Niño 1997-98, afectaría la naturaleza del sustrato de asentamiento. Esta situación significaría ausencia de alimento adecuado durante el asentamiento de la larva, afectando el crecimiento individual, la sobrevivencia y, por consiguiente, el reclutamiento. No obstante que aún no se define la etapa de vida o periodo crítico en el cual se determina el reclutamiento en el abulón, el inicio de la primera alimentación exógena tiene relación con la etapa de asentamiento de la larva; para el caso del abulón éste podría ser el periodo crítico señalado por Hjort (1926) y citado por Ricker (1975).

El conocimiento de la composición por tallas y edades de las poblaciones de abulón en la costa occidental de la Península Baja California proporciona evidencias del estado del recurso, constituye un avance para su análisis cuantitativo, y aporta elementos biológicos que, junto con otra información de parámetros poblacionales y fecundidad por edad, permitirán definir nuevos puntos de referencia y probar otras alternativas para el análisis de la dinámica de la población.

### Agradecimientos

A los socios, directivos y a Mario Andrade Patrón de la SCPP Bahía Tortugas, SCL, por su valioso apoyo en el trabajo logístico y de buceo; a Miguel Ángel Reinecke, Agustín del Valle y Ramón Ayala por su participación en el trabajo de campo; a Felipe Neri Melo y Armando Hernández por su apoyo en el laboratorio. Un agradecimiento especial a José

*Haliotis* spp. (Guzmán del Proo *et al.*, 1991). Nevertheless observations during non-Niño years point out a low presence of these algae in the digestive tract of *H. fulgens* from Bahía Tortugas (Turrubiates-Morales, pers. comm.); (3) the absence of *M. pyrifera* would affect the larval settlement process and therefore its survival since those forests serve as refuge and constitute a barrier that reduces the speed of the current and avoids the transport of larvae out of the production zones or reefs (Guzmán del Proo *et al.*, 2000); (4) a change in the quantitative and qualitative composition of the substratum's flora due to the environmental conditions that prevailed during the El Niño 1997-98 would affect the substratum nature for settlement. Even though the life stage or critic period in which abalone recruitment occurs is not defined yet, the beginning of the first exogenous feeding is related with the settlement stage of the larva. For the case of abalone, this could be the critical period proposed by Hjort (1926) cited by Ricker (1975).

The knowledge of the sizes and ages composition of abalone populations in the west coast of the Baja California Peninsula gives evidence of the state of the resource, constitutes an advance for its quantitative analysis, and supplies biological elements that, together with other information about population parameters and fecundity per age class, would allow defining new reference points and test other alternatives for the analysis of the population dynamics.

### Acknowledgements

To the members, directors and to Mario Andrade Patrón from the SCPP Bahía Tortugas, SCL, for their valuable support in the logistics and diving; to Miguel Ángel Reinecke, Agustín del Valle and Ramón Ayala for their help in the fieldwork. To Felipe Neri Melo and Armando Hernández for their support in the laboratory. Special thanks to José Remedios Turrubiates, Gerónimo Espinoza, Margarita Muciño and Pedro Sierra from CRIP-La Paz-INP-SAGARPA for their their observations and experiences about the abalone biology; and to two anonymous reviewers for their observations and interesting and constructive criticism. The first author received support by CONABIO to develop the Research Project L-200 agreement FB469/L200/97. This work is dedicated to the memory of Gilberto León Carballo, pioneer of the abalone evaluations in Mexico.

English translation by Adrián R. López-González.

Remedios Turrubiates, Gerónimo Espinoza, Margarita Muciño y Pedro Sierra del CRIP-La Paz-INP-SAGARPA por su disposición para comunicar sus observaciones y experiencias sobre la biología del abulón; y a dos revisores anónimos por sus observaciones, y crítica interesante y constructiva. El primer autor recibió apoyo de CONABIO para desarrollar el Proyecto de Investigación L-200 convenio FB469/L200/97. Este trabajo está dedicado a la memoria de Gilberto León Carballo, pionero de las evaluaciones de abulón en México.

Referencias

Anonymous (1998). Improving fish stock assessments. Committee on Fish Stock Assessment Methods, Ocean Studies Board, Commission on Geosciences, Environment and Resources, National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C. 1-177.

Belmar-Pérez, J. y Guzmán del Proo, S. (1992). Madurez sexual y ciclo gonádico en *Haliotis fulgens* y *Astraea undosa* en Bahía Tortugas. Pag.121-130. En: Guzmán del Proo (ed.), Memorias del Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos bentónicos de Baja California. IPN-Secretaría de Pesca. 212 pp.

Cochran, W.G. (1984). Técnica de Muestreo. Edit. Continental S. A. de C. V. cuarta reimpresión 513 pp.

Cox, K.W. (1962). California abalones, family Haliotidae. Fish. Bull. California, 118, pp.1-129.

Day, R.W. and Fleming, A.E. (1992). The determinants and measurement of abalone growth. In: S.A. Shepherd, M.J. Teagner and S.A. Guzman del Proo (eds.), Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture. Blackwell, Oxford. pp.141-181.

Day, R.W., Williams, M.C. and Hawakes, G.P. (1995). A comparison of fluorochromes for marking abalone shells. Mar. Freshwater Res., 46: 599-605.

Diario Oficial de la Federación (1981), 21 de septiembre. Acuerdo mediante el cual se establecen medidas de regulación para la extracción de abulón.

Diario Oficial de la Federación (1987), 29 de junio. Acuerdo mediante el cual se establecen medidas de regulación para la extracción de abulón.

Diario Oficial de la Federación (1993a), 21 de septiembre Norma Oficial Mexicana-005 Pesca-1993.

Diario Oficial de la Federación (1993b), 31 de diciembre Norma Oficial Mexicana-009-Pesca-1993.

Diario Oficial de la Federación (1999), 28 de septiembre. Ley de Pesca y su Reglamento.

Diario Oficial de la Federación (2000), 28 de agosto. Anexo de la Carta Nacional Pesquera.

García-Juárez, A.M. y Ortiz-Quintanilla, M. (1992). Madurez sexual en abulón azul *Haliotis fulgens* (Mollusca:Gasterópoda) de Isla de Cedros, Baja California. Pag. 65-76. En: Guzmán del Proo (ed.), Memorias del Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos bentónicos de Baja California. IPN-Secretaría de Pesca. México, 212 pp.

Guzmán del Proo S., Mille-Pagaza, S.R., Guadarrama-Granados, R. de La Campa, S. Carrillo-Laguna, J., Pereira-Corona, A., Belmar-Pérez, J., Parra-Alcocer, M.J. y Luque-Guerrero, A.C. (1991). La comunidad bentónica de los bancos de abulón *Haliotis* spp. mollusca:gasterópoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx., 36: 27-59.

Guzmán del Proo, S., Salinas, F., Zaytsev, O., Belmar-Pérez, J. and Carrillo-Laguna, J. (2000). Potential dispersion of reproductive products and larval stages of abalone *Haliotis* spp. As a function of the hydrodynamics of Bahía Tortugas, México. J. Shellfish Res., 19(2): 869-881.

Guzmán del Proo S., Belmar-Pérez, J., Carrillo-Laguna, J., Carreón-Palau, L., Herrera, R. and Castro, A. (2001). Growth of juvenile abalone in Bahía Tortugas, Baja California, Mexico. Abstract. CalCOFI Annual Conference 2001, 5-8 nov 2001, San Diego, Ca. U.S.A.

Ladah, L.B., Zertuche-González, J. and Hernández-Carmona, G. (1999). Giant kelp (*Macrocystis pyrifera*, Phaeophyceae) recruitment near its southern limit in Baja California after mass disappearance during ENSO 1997-1998. J. Phycol., 35: 1106-1112.

León-Carballo G. y Muciño-Díaz, M. (1996). Pesquería de abulón. En: M. Casas-Valdez y G. Ponce Díaz (eds.), Estudio del Potencial Pesquero y Acuicola de Baja California Sur. Volumen I. pp. 15-41.

Lin Lai H., Gallucci, V. and Gunderson, D.R. (1996). Age determination in fisheries: Methods and applications to stock assessment. In: V. Gallucci, S. Saila, D. Gustafson and B. Rothschild (eds.), Stock Assessment, Quantitative Methods and Applications for Small-scale Fisheries. pp. 82-178.

Lynn, R.J., Baumgartner, T., Garcia, J., Collins,C.A., Hayward, T.L., Hyrebach, K.D., Mantyla, A.W., Murphree, T., Shankle, A., Schwing, F.B., Sakuma, K.M. and Teagner, M.J. (1998). The state of the California current, 1997-1998: transition to El Niño condition. CalCOFI Rep., 39: 25-49.

Marin, V.A. (1981). Parámetros poblacionales y diagnóstico de la pesquería de abulón amarillo *Haliotis corrugata* en Bahía Tortugas, B.C.S. Ciencia Pesquera, 1 (2): 67-80.

McShane, P.E. (1992). Early life of abalone: a review. In: S.A. Shepherd, M.J. Teagner and S.A. Guzman del Proo (eds.), Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture. Blackwell, Oxford. pp. 120-140.

McShane, P.E. (1995). Recruitment variation in abalone: its importance to fisheries management. In: S.A. Shepherd, R.W. Day and A.J. Butler (eds.), Progress in Abalone Fisheries Research CSIRO. 1995, Australia. pp. 555-570.

Muciño-Díaz, M., León-Carballo, G., Vélez-Barajas, A., Turrubiates-Morales, J.R. y Reinecke-Rodríguez, M.A. (1996). Aspectos reproductivos del recurso abulón en las zonas II, III y IV y su relación con la aplicación del periodo de veda. En: Resúmenes II Simposium sobre investigación en Biología Pesquera y Oceanografía en México. 25-27 sep. 1996.

Muciño-Díaz, M., Sierra-Rodríguez, P., Vélez-Barajas, A., Zárate-Becerra, E., Talavera-Maya, J., Turrubiates-Morales, J.R., Caballero-Alegria, F. y Reinecke, M.A. (2000). Abulón. En: Díaz de León-Corral y M.A. Cisneros-Mata (eds.), Sustentabilidad y Pesca Responsable en México Evaluación y Manejo 1999-2000. INP-SEMARNAP, pp.119-157.

Muñoz-López, T. (1976). Resultados preliminares de un método para determinar la edad en abulones (*Haliotis* spp.) en Baja California. Mem. I Simp. Nal. Rec. Pesq. Mas. de México. Vol. Especial abulón/langosta SC/INP, pp.281-301.

Nikolskii, G. (1969). Theory of Fish Population Dynamics, as the Biological Background for Rational Exploitation and Management of Fishery Resources. Oliver & Boyd LTD. First English language edition 1969. 323 p.

Ponce-Díaz, G., Vega-Velázquez, A., Ramade-Villanueva, M., León-Carballo, G. y Franco-Santiago, R. (1998). Socioeconomic characteristics of the abalone fishery along the west coast of the Baja California Peninsula. J. Shellfish Res., 17(3): 853-857.

Prince, J.D. (1992). Using a spatial model to explore the dynamics of an exploited stock of the abalone *Haliotis rubra*. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner and S. Guzmán del Proo (eds.), Abalone of the World. Biology, Fisheries and Culture. Oxford, Fishing News Books. pp. 305-317.

Prince, D.G. and Guzmán del Proo, S. (1993). A stock reduction analysis of the Mexican abalone (Haliotid) fishery. Fish Res, 16: 25-49.

- Reinecke-Rodríguez, M.A. (1997). Estructura poblacional, abundancia y aspectos reproductivos de abulón azul *Haliotis fulgens* de Cabo San Lázaro en Isla Magdalena, B.C.S. Memoria Profesional para obtener el título de Biólogo Marino, UABCS. La Paz, B.C.S., México. 68 pp.
- Ricker, W.E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Board Can. 191: 382 pp.
- SEMARNAP (1996). Anuario Estadístico de Pesca 1996. Dirección de Informática y Estadística de SEMARNAP, México.
- SEMARNAP (1997). Anuario Estadístico de Pesca 1997. Dirección de Informática y Estadística de SEMARNAP, México.
- Servier-Zaragoza, E., Gómez-López, D. and 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., Guzmán del Proo, S., Turrubiates, J., Belmar, J., Baker, J. and Sluczanowski, P. (1991). Growth, size at sexual maturity, and egg-per-recruit analysis of the abalone *Haliotis fulgens* in Baja California. The Veliger 34(4): 324–330.
- Shepherd, S.A. and Brown, L.D. (1993). What is an abalone stock: Implications for the role of refuge in conservation. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 50: 2001–2009.
- Shepherd, S.A., Al-Wahaibi, D. and Rashid Al-Azri, A. (1995). Shell growth checks and growth of the Omani abalones *Haliotis mariae*. In: Shepherd, S.A., R. W. Day and A. J. Butler (eds.), Progress in Abalone Research. Mar. Freshwater Res., 46: 575–582.
- Shepherd, S.A. and Ávalos-Borja, A. (1997). The shell microstructure and chronology of the abalone *Haliotis corrugata*. Moll. Res., 18: 197–207.
- Shepherd, S.A. and Turrubiates-Morales, J.R. (1997). A practical chronology for the abalones *Haliotis fulgens*. Moll. Res., 18: 219–226.
- Shepherd, S.A., Turrubiates-Morales, J.R. and Hall, K. (1998). Decline of the abalone fishery at La Natividad, Mexico: overfishing or climate change?. J. Shellfish Res., 17(3): 839–846.
- Troynikov, V. S., Day, R.W. and Leorke, A.M. (1998). Estimation of seasonal growth parameters using a stochastic Gompertz model for tagging data. J. Shellfish Res., 17(3): 833–838.
- Tegner, M.J., Demartini, J.D. and Krpov, K.A. (1992). The California red abalone fishery: a case study in complexity. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner and S. Guzmán del Proo (eds.), Abalone of the World. Biology, Fisheries and Culture. Oxford, Fishing News Books. pp. 370–383.
- Turrubiates-Morales, J.R. and Castro-Ortiz, J.L. (1992). Growth of *Haliotis fulgens* in Bahía Tortugas, Baja California, Mexico. In: S. Guzman del Proo, Tegner, M. J. and Shepherd, S.A. Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture. Fisheries Research Papers. Department of Fisheries (South Australia) 24: 10–15.
- Wells, F.E. and Keesing, J.K. (1990). Population characteristics of the abalone *Haliotis roei* on intertidal platforms in the Perth metropolitan area. J. Malacol. Soc. Australia, 11: 65–71.
- Wells, F.E. and Mulvay, P. (1995). Good and bad fishing areas for *Haliotis leavigata*: a comparison of population parameters. In: S.A. Shepherd, R.W. Day, and J. Butler (eds.), Progress in Abalone Fisheries Research. Mar. Freshwater Res., 46: 519–695.
- Wells, F.E. and Keesing, J. (1997). How many juvenile abalone are there? The example of *Haliotis roei*. Moll. Res. 18: 209–218.
- Worthington, D.G., Andrew, N.L. and Hamer, J. (1995). Covariation between growth and morphology suggests alternative size limits for the blacklip abalone, *Haliotis rubra*, in New South Wales, Australia. Fish.Bull., 93: 551–561.