

**PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CARACOL *Astraea undosa*
(WOOD, 1828) EN LA COSTA OCCIDENTAL DE LA
PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA**

**POPULATION PARAMETERS OF THE SNAIL *Astraea undosa* (WOOD, 1828)
FROM THE WEST COAST OF THE BAJA CALIFORNIA PENINSULA**

M.G. Gluyas-Millán^{1*}

C. Quiñónez-Velázquez²

J. Talavera-Maya¹

¹ Centro Regional de Investigaciones Pesqueras-SEMARNAP

Km. 1 carretera a Pichilingue

La Paz, C.P. 23000, Baja California Sur, México

* E-mail: gmillan@balandra.uabcs.mx

² Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Playa El Conchalito s/n, Apartado postal 592

La Paz, C.P. 23000, Baja California Sur, México

Recibido en marzo de 2000; aceptado en septiembre de 2000

RESUMEN

Se estimó el crecimiento y la mortalidad del caracol *Astraea undosa* a partir de la determinación de edad en 1034 opérculos obtenidos de 34,969 individuos muestreados en cinco zonas de pesca en la costa occidental de Baja California Sur (México), durante 1997 y 1998. No se detectaron diferencias significativas en tallas por sexo y se determinaron grupos de edad de 0 a 12 años. Se ajustó el modelo de crecimiento de von Bertalanffy a los datos de edad-talla por zona de pesca y los valores de los parámetros variaron entre 167.8 y 175.1 mm de diámetro basal para L_{∞} , entre 0.08 y 0.10 mm/año para K y entre -1.7 y -1.2 años para t_0 . El patrón de crecimiento fue similar entre zonas de acuerdo con el valor del parámetro ϕ' . No obstante, se observó un gradiente latitudinal de norte a sur de la talla a la edad; las tallas mayores por edad se observaron en los caracoles de Isla Natividad. La mortalidad natural fue de 0.29 por año para el área de estudio, la tasa de mortalidad total por zona varió entre 0.43 y 0.90 por año y la tasa de explotación entre 0.11 y 0.40 por año. Esto último indica que la pesquería sostiene niveles de aprovechamiento adecuados.

Palabras clave: *Astraea undosa*, edad, crecimiento, mortalidad, península de Baja California.

ABSTRACT

Growth and mortality of the snail *Astraea undosa* were estimated based on the age determination of 1034 opercula obtained from 34,969 organisms sampled in five fishing areas off the west coast of

Baja California Sur (Mexico), during 1997 and 1998. No significant differences were detected in the sizes of each sex and age groups of 0 to 12 years were determined. To describe the growth pattern, the von Bertalanffy growth model was fitted to size-age data per fishing area and the following growth parameters were obtained: $L_{\infty} = 167.8$ to 175.1 mm basal diameter, $K = 0.08$ to 0.10 mm/year and $t_0 = -1.7$ to -1.2 years. The growth pattern was similar among areas in agreement with the performance index, ϕ' . However, a north-south size-age latitudinal gradient was observed; the largest sizes per age were observed at Isla Natividad. The natural mortality was 0.29 per year. The total mortality rate per area varied from 0.43 to 0.90 per year and the exploitation rate from 0.11 to 0.40 per year. The results indicate that the fishery sustains appropriate exploitation levels.

Key words: *Astraea undosa*, age, growth, mortality, peninsula of Baja California.

INTRODUCCIÓN

El caracol *Astraea undosa* es un gasterópodo típico de zonas costeras templadas y se distribuye desde Ventura, California, EUA, a la península de Baja California, México (Morris, 1966). Se captura comercialmente en la costa occidental de la península de Baja California y las principales áreas de pesca se localizan desde Malarrimo hasta La Bocana, Baja California Sur, incluyendo Isla Natividad (fig.1). La pesca comercial de este caracol inició en 1980 con el fin de aprovechar recursos diferentes al abulón y la langosta, como consecuencia de la disminución de la captura del abulón (*Haliotis* spp.). El manejo de la pesquería de caracol es a través de cuotas anuales de captura por zona de pesca, un periodo de veda y una talla mínima de captura de 90 mm de diámetro basal (Singh-Cabanillas, 1996). La captura anual presentó, desde inicios de la pesquería, un crecimiento sostenido hasta alcanzar la captura máxima de 400 t de callo fresco en 1989 y desde entonces a la fecha la captura promedio se ha mantenido en aproximadamente 200 t.

Desde Isla Natividad hasta La Bocana, en la costa occidental de Baja California Sur, las zonas de pesca están bien delimitadas y la cuota anual de captura por zona se asigna precautoriamente, estimando la biomasa total a través de un muestreo estratificado al azar

INTRODUCTION

The snail *Astraea undosa* is a typical gastropod of temperate coastal areas and its distribution ranges from Ventura, California, USA, to the Baja California peninsula, Mexico (Morris, 1966). It is commercially captured off the west coast of the Baja California peninsula and its main fishing areas are located from Malarrimo to La Bocana, in Baja California Sur, including Isla Natividad (fig. 1). This commercial fishery was initiated in 1980, aiming to exploit resources other than abalone and lobster, as a result of the decrease in the catches of abalone (*Haliotis* spp.). The management of the snail fishery is achieved by setting quotas for each fishing area and by the existence of a closed season and a minimum catch size of 90 mm basal diameter (Singh-Cabanillas, 1996). Since the beginning of the fishery, the annual catches showed sustained growth until a maximum of 400 t of fresh adductor muscle was obtained in 1989. Since then, average catches have remained at approximately 200 t.

On the west coast of Baja California Sur, from Isla Natividad to La Bocana, fishing zones are well delimited and precautionary quotas are given for annual catches in each zone, estimating the total biomass by means of a random stratified sampling process (Singh-Cabanillas, 1996). For the mid- and long-term

(Singh-Cabanillas, 1996). Para fines de manejo de la pesquería a mediano y largo plazos, se requiere conocer la dinámica de la población, además de la biomasa. Los cambios en abundancia de la población se obtienen analizando la información de edad y tallas. Estos cambios en abundancia están definidos por las tasas de crecimiento y mortalidad, y para su estimación se requieren determinaciones precisas de edad. En gasterópodos, el opérculo se ha utilizado con éxito para determinar la edad (Sire y Bonnet, 1984; Guanes-Mercado y Torres-Moye, 1991). Para *A. undosa* fue demostrado, a través del método de incremento marginal, que una marca de crecimiento en los opérculos se forma completamente en invierno y tiene una periodicidad anual (Cupul-Magaña y Torres-Moye, 1996; Gluyas-Millán *et al.*, 1999).

A excepción del trabajo de Cupul-Magaña y Torres-Moye (1996) sobre el crecimiento de *A. undosa* en la porción norte de su distribución geográfica (Bahía de Todos Santos), no existen antecedentes sobre las tasas de crecimiento y de mortalidad de la población en la porción sur de su distribución, justo donde se localizan las principales zonas de pesca (Isla Natividad a La Bocana). Además, la presión de pesca se dirige principalmente a los adultos del caracol *A. undosa*, lo que puede generar una sobreexplotación del recurso; por lo tanto, se requiere de información biológica para potenciales planes de manejo bajo esta situación. En el presente trabajo, se determina el crecimiento y mortalidad de *A. undosa* por zona de pesca y para toda el área de explotación, utilizando las marcas de crecimiento en el opérculo para determinar la edad en años y el diámetro basal como la talla del caracol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Un total de 34,969 caracoles de *A. undosa* fueron medidos en cinco zonas de pesca de la costa occidental de la península de Baja

management of the fishery, knowledge of the dynamics of the stock as well as the biomass is necessary. Changes in stock abundance are obtained through the analysis of age and size information. These changes in abundance are defined by growth and mortality rates and, for their estimation, precise age determinations are required. In gastropods, the operculum has been successfully used to determine age (Sire and Bonnet, 1984; Guanes-Mercado and Torres-Moye, 1991). For *A. undosa* it has been shown, by the marginal increase method, that a growth mark is completely formed in winter and has an annual periodicity (Cupul-Magaña and Torres-Moye, 1996; Gluyas-Millán *et al.*, 1999).

Except for Cupul-Magaña and Torres-Moye's (1996) study on the growth of *A. undosa* in the northern part of its distribution range (Bahía de Todos Santos), there is no background information about the population's growth and mortality rates in the southern part, which is where the main fishing zones are located (Isla Natividad to La Bocana). Furthermore, fishing effort is concentrated on the *A. undosa* adults, practice that may lead to the overexploitation of the resource. Therefore, biological information is necessary for potential resource management plans. In this work, growth and mortality of *A. undosa* are determined for each fishing zone and for the whole exploitation area, using growth marks in the operculum to determine age in years and using the basal diameter as the size of the snail.

MATERIALS AND METHODS

In five fishing zones along 230 km of the west coast of the Baja California peninsula (Malarrimo, Isla Natividad, Bahía Tortugas, Bahía San Cristóbal and Bahía Asunción), a total of 34,969 snails were measured from 15 March to 4 June 1997 and on 6 June 1998 (fig.1, table 1). The snails were collected by

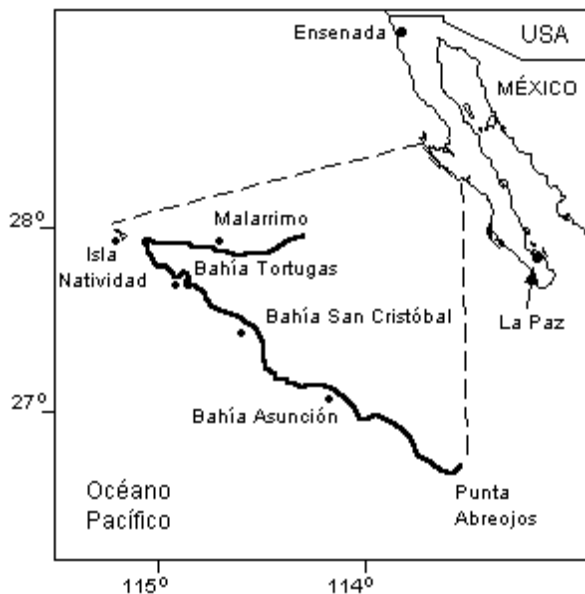


Figura 1. Localización geográfica de las zonas de muestreo en la costa occidental de la península de Baja California.

Figure 1. Location of the sampling areas on the west coast of the Baja California peninsula.

California (Malarrimo, Isla Natividad, Bahía Tortugas, Bahía San Cristóbal y Bahía Asunción), ubicadas en una extensión de aproximadamente 230 km de línea de costa, en el periodo de 15 de marzo a 4 de junio de 1997 y el 6 de junio de 1998 (fig. 1, tabla 1). Los caracoles fueron recolectados por medio de buceo semiautónomo tipo Hooka a una profundidad de 2 a 12 brazas, utilizando una unidad de muestreo de 10 m². El total de caracoles de cada inmersión fue llevado a la embarcación y se les midió el diámetro basal (DB), agrupándolos en intervalos de 5 mm. Se obtuvo una submuestra de 1034 caracoles seleccionando al azar hasta cinco organismos de cada intervalo de talla; el resto de los caracoles se regresaron al lugar de recolección.

En el laboratorio, a cada caracol de la submuestra, se le midió la altura máxima y el DB

means of Hooka diving at depths between 2 and 12 fathoms, using a 10-m² sample unit. All the snails from each immersion were taken to the boat and the basal diameter (DB) was measured, grouping them into 5-mm size ranges. A subsample of 1034 snails was obtained, selecting at random up to five organisms of each size range; the rest of the organisms collected were released at the sampling site.

In the laboratory, for each snail of the subsample, measurements were made of maximum height and DB of the shell, greatest diameter of the operculum (operculum length, LO \pm 1 mm), total weight and weight of the adductor muscle with operculum. The organism was shelled and sex was determined by visual appreciation of the gonad. Depending on the stage of maturity, females displayed a brown to olive green color, whereas male gonads were brown to light ivory

Tabla 1. Información general de los muestreos de caracol *Astraea undosa* en la costa occidental de la península de Baja California.

Table 1. General information on the sampling of the snail *Astraea undosa* on the west coast of the Baja California peninsula.

Localidad	Fecha	Muestra total	Submuestra	Diámetro basal (mm)	
				Mínimo	Máximo
Malarrimo	15–17 Mar 1997	4196	134	41	129
Isla Natividad	28–29 Abr 1997	5381	76	23	138
	06 Jun 1998	2348	280	38	133
Bahía Tortugas	20 Abr 1997	6950	306	45	130
Bahía San Cristóbal	03–04 Jun 1997	7671	92	49	127
Bahía Asunción	17–22 May 1997	8423	146	64	146

de la concha, el diámetro mayor del opérculo (longitud del opérculo, LO \pm 1 mm), el peso total y el peso del callo con opérculo. Se desconchó el organismo y se determinó el sexo por apreciación visual de la gónada. Las hembras presentaron una coloración café a verde olivo y los machos de color café a marfil claro, según el estadio de madurez. Se conservó el opérculo para posteriormente determinar la edad.

Para la observación y lectura de las marcas de crecimiento, los opérculos se sumergieron en una solución de cloro al 10% durante 12 horas para retirar el periostraco. Una vez limpios, las marcas fueron evidentes y se observaron con luz transmitida. Una marca de crecimiento se determinó por una amplia banda opaca alternada por una delgada banda hialina. Se asignó un año a cada marca de crecimiento, de acuerdo con la validación de la periodicidad presentada por Gluyas-Millán *et al.* (1999). Se eligió el DB para expresar el cambio de la talla con respecto al tiempo, por ser la medida utilizada en el manejo del recurso. Para cada zona de estudio se ajustó una regresión funcional (Ricker, 1973) a los valores de LO y DB, con el

in color. The operculum was kept for subsequent age determination.

For the observation and reading of the growth marks, the opercula were immersed in a 10% chlorine solution for 12 hours in order to eliminate the periostracum. Once they were clean, the marks became evident and were observed with transmitted light. One growth mark was identified as a wide opaque band alternated with a hyaline band. One year was assigned to each growth mark, according to the periodicity validation presented by Gluyas-Millán *et al.* (1999). The DB was selected to express the change in size relative to time, as this is the measure used in the fishery management. In order to recognize the relationship between LO and DB, a functional regression per fishing zone was fitted to these values (Ricker, 1973).

To describe the growth of the snail for each fishing zone, the von Bertalanffy model was fitted to the age-DB data:

$$DB_t = DB_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

objeto de conocer la relación del crecimiento entre ambas variables.

Para describir el crecimiento del caracol por zona de pesca, se ajustó el modelo de von Bertalanffy a los datos de edad-DB:

$$DB_t = DB_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

donde DB_t es el diámetro basal a la edad t , DB_∞ es la talla asintótica, K es el coeficiente de crecimiento, t es la edad en años y t_0 es la edad teórica para $DB = 0$. Los parámetros del modelo se estimaron utilizando el módulo "nolineal" del programa estadístico para computadora STATISTICA (StatSoft, 1995). Los parámetros de crecimiento se compararon entre las zonas mediante el valor de phi prima (ϕ') (Pauly y Munro, 1984) y se estimó el intervalo de confianza al 95% de ϕ' :

$$\phi' = \log K + 2 \log DB_\infty$$

La mortalidad natural (M) se estimó utilizando la ecuación de Rikhter y Efanov (Sparre *et al.*, 1989):

$$M = \frac{1.52}{T_{m50} 0.72} - 0.15$$

donde T_{m50} es la edad al 50% de maduración de la población, también denominada edad de maduración masiva. Belmar-Pérez *et al.* (1991) determinaron, a través de un análisis histológico, que 50% de la frecuencia acumulada de reproductores se presentó a los 86 mm de DB en *A. undosa* de Bahía Tortugas. No obstante, para estimar la tasa de mortalidad natural, en el presente trabajo se eligió 90 mm de DB (talla mínima de captura) como la talla promedio de maduración masiva; a esta talla corresponden 5.5 años de edad, de acuerdo con Gluyas-Millán *et al.* (1999).

where DB_t is the basal diameter at age t , DB_∞ is the asymptotic size, K is the growth coefficient, t is the age in years and t_0 is the theoretical age for $DB = 0$. The parameters of the model were estimated using the "non-linear" module of the statistics computer program STATISTICA (Statsoft, 1995). The growth parameters were compared among the five zones by means of the phi prime (ϕ') value (Pauly and Munro, 1984) and the 95% confidence interval of ϕ' was estimated by:

$$\phi' = \log K + 2 \log DB_\infty$$

Natural mortality (M) was estimated using Rikhter and Efanov's equation (Sparre *et al.*, 1989):

$$M = \frac{1.52}{T_{m50} 0.72} - 0.15$$

where T_{m50} is the age when 50% of the population reaches maturity, also called massive maturation age. Belmar-Pérez *et al.* (1991) determined, by histological analysis, that 50% of the accumulated frequency of the brood stock appeared at $DB = 86$ mm in *A. undosa* from Bahía Tortugas. However, in this work, a DB of 90 mm (minimum catch size) was chosen as the average size of massive maturation; according to Gluyas-Millán *et al.* (1999), to this size correspond 5.5 years of age.

Based on an age-size key, the age composition was extrapolated to the total snails measured in each zone to estimate total mortality (Z), using the method of the linear catch curve, based on age composition (Sparre *et al.*, 1989):

$$\ln C_{(t_1, t_2)} = g - Z t$$

Con base en una clave edad-talla, la composición por edades se extrapoló al total de caracoles medidos por zona, con los cuales se estimó la mortalidad total (Z) aplicando el método de la curva de captura linealizada, basada en la composición por edades (Sparre *et al.*, 1989):

$$\ln C_{(t_1, t_2)} = g - Z t$$

donde $C_{(t_1, t_2)}$ es el número de caracoles por edad, g es una constante y t es la edad en años. La tasa de explotación (E) se estimó de acuerdo con la ecuación de Cushing (1977):

$$E = \frac{F}{Z}(1 - e^{-Z})$$

donde F es la tasa de mortalidad por pesca ($Z-M$).

RESULTADOS

El intervalo de tallas del caracol *A. undosa* de la porción central de la costa occidental de la península de Baja California fue de 23 a 146mm DB (tabla 1). En la submuestra biológica por zona de pesca no se observó diferencia significativa con respecto a la talla entre sexos (tabla 2). Además, la relación porcentual entre sexos fue muy cercano a la unidad ($P > 0.05$), lo que sugiere que no existe reclutamiento ni mortalidad diferencial entre machos y hembras. Por tal razón, el análisis se realizó agrupando la información sin diferenciar sexos.

Las variables DB y LO mostraron una proporcionalidad lineal positiva para el amplio intervalo de DB registrado. Esto se indica a través de los coeficientes de determinación de una regresión funcional, que variaron de 89% a 97% (tabla 3), mostrando con esto que existe proporcionalidad entre el crecimiento del caracol y el crecimiento del opérculo.

where $C_{(t_1, t_2)}$ is the number of snails of each age, g is a constant and t is the age in years. The exploitation rate (E) was estimated according to Cushing's (1977) equation:

$$E = \frac{F}{Z}(1 - e^{-Z})$$

where F is the rate of fishing mortality ($Z-M$).

RESULTS

The size range for the snail *A. undosa* in the central part of the west coast of the Baja California peninsula was from 23 to 146 mm DB (table 1). In the biological subsample for the different zones, no significant difference was observed with respect to size among sexes (table 2). In addition, the percentage between sexes was very close to the unit ($P > 0.05$), suggesting that there was no recruitment or differential mortality among males and females. Therefore, for the analysis, the information was grouped together without differentiating sex.

The parameters DB and LO showed a positive linear proportionality for the wide DB range recorded. This was indicated by the determining coefficients for a functional regression, which varied from 89% to 97% (table 3), showing that there is a proportionality between snail growth and operculum growth.

In the cleaning process, 48 of the 1034 opercula selected were broken and were therefore discarded for growth mark interpretation. Age groups from 0 to 12 years were determined. The average age structure of the population sampled was as follows: age 0 (0.3%), age 1 (0.5%), age 2 (2.9%), age 3 (7.5%), age 4 (10.5%), age 5 (10.3%), age 6 (10.3%), age 7 (16.4%), age 8 (13.9%), age 9 (12.8%), age 10 (8.6%), age 11 (4.2%) and age 12 (1.6%). The first three age groups were less frequent

Tabla 2. Comparación de la talla por sexo del caracol *Astraea undosa* en la costa occidental de la península de Baja California. M = machos, H = hembras, ND = no se determinó el sexo.

Table 2. Comparison of the size per sex of the snail *Astraea undosa* from the west coast of the Baja California peninsula. M = males, H = females, ND = sex not determined.

Localidad	Proporción M/H	Promedio del diámetro basal (mm)		F	Probabilidad
		M	H		
Malarrimo	1.27	90.3	93.9	0.96	0.33
Isla Natividad	1.00	94.5	84.5	3.03	0.08
Bahía Tortugas	1.30	91.8	95.9	3.30	0.07
Bahía San Cristóbal	1.16	101.2	96.0	1.14	0.29
Bahía Asunción	ND	ND	ND	ND	ND

Tabla 3. Parámetros de la regresión funcional entre la longitud del opérculo y el diámetro basal del caracol *Astraea undosa* en la costa occidental de la península de Baja California.

Table 3. Parameters of the functional regression between operculum length and basal diameter of the snail *Astraea undosa* from the west coast of the Baja California peninsula.

Localidad	a	b	n	r ²	F	Probabilidad
Malarrimo	15.49	2.07	134	0.96	2817.21	<0.0001
Isla Natividad	14.32	2.11	356	0.97	11810.03	<0.0001
Bahía Tortugas	13.16	2.12	306	0.97	9794.78	<0.0001
Bahía San Cristóbal	14.52	2.09	92	0.95	1672.30	<0.0001
Bahía Asunción	14.11	2.05	104	0.89	850.51	<0.0001

De los 1034 opérculos seleccionados para determinar la edad, 48 se rompieron durante el proceso de limpieza y se descartaron para la lectura de marcas de crecimiento. Se determinaron grupos de edad de 0 a 12 años. La estructura promedio de edad de la población muestreada fue la siguiente: edad 0 (0.3%), edad 1 (0.5%), edad 2 (2.9%), edad 3 (7.5%), edad 4 (10.5%), edad 5 (10.3%), edad 6 (10.3%), edad 7 (16.4%), edad 8 (13.9%), edad 9 (12.8%), edad 10 (8.6%), edad 11 (4.2%) y edad 12 (1.6%). Se observó que los tres primeros grupos de edad registraron menor

because they had not yet finished their cryptic period and, as they remained hidden in the cracks of the rocky substrate, they were not sampled. The 12-year-old organisms were also less frequent (<2%) due to the greater probability of being caught because of their size and greater accumulated mortality. In the five fishing zones, the same behavior was noticed: few organisms of the first age groups; this is particularly evident in the southern part of the study area and in Bahía Asunción, no organisms in the 1 to 3 year age-groups were recorded (table 4).

Tabla 4. Estructura por edades y talla promedio por edad del caracol *Astraea undosa* por zona de pesca en la costa occidental de la península de Baja California. DB = diámetro basal.

Table 4. Structure per age and mean size per age of the snail *Astraea undosa* per fishing zone on the west coast of the Baja California peninsula. DB = basal diameter.

Edad	Malarrimo		Isla Natividad		Bahía Tortugas		Bahía San Cristóbal		Bahía Asunción	
	%	Promedio DB (mm)	%	Promedio DB (mm)	%	Promedio DB (mm)	%	Promedio DB (mm)	%	Promedio DB (mm)
0	–	–	0.9	26.7	–	–	–	–	–	–
1	0.8	41.00	1.2	39.5	–	–	–	–	–	–
2	4.6	50.83	5.0	53.0	1.0	48.33	3.6	50.3	–	–
3	10.8	59.93	7.3	62.6	11.5	59.71	1.2	57.0	–	–
4	15.4	71.15	8.8	74.1	14.5	72.30	7.1	69.7	3.7	68.40
5	9.2	79.42	10.9	82.2	10.8	79.34	10.7	79.0	8.9	78.00
6	9.2	88.50	10.0	93.7	12.2	90.53	3.6	86.0	12.6	81.41
7	16.9	95.77	15.0	102.3	17.6	98.87	11.9	94.6	20.0	89.63
8	12.3	105.94	11.7	109.1	14.2	105.14	16.7	101.1	18.5	94.20
9	7.7	110.80	12.0	115.6	9.1	112.44	31.0	108.2	16.3	103.77
10	8.5	119.09	9.4	118.0	7.1	116.24	8.3	118.6	10.4	110.64
11	3.8	120.20	5.6	123.3	2.0	124.33	3.6	115.3	5.9	112.63
12	0.8	123.00	2.3	128.9	–	–	2.4	122.5	3.7	122.40

frecuencia, debido a que aún no terminaba su fase crítica y permanecían ocultos entre las irregularidades del sustrato rocoso y escaparon al muestreo. Los individuos de 12 años también registraron una reducida frecuencia (<2%), debido a una mayor probabilidad de ser capturados por su tamaño y mayor mortalidad acumulada. En las zonas de pesca se observó el mismo comportamiento: escasa representación de los primeros grupos de edad; esto es más evidente en las zonas en la porción sur del área de estudio, observándose que en Bahía Asunción no se registraron grupos de edad de 0 a 3 años (tabla4).

The growth pattern of the snail with respect to age was described for each fishing zone (fig.2). The values of the parameters of the von Bertalanffy growth model are shown in table 5. The ϕ' value was estimated to compare the growth pattern found in the different fishing zones. This value ranged from 3.40 to 3.49, with an average of 3.45, standard deviation of 0.034 and a 95% confidence interval of $3.40 < \phi' < 3.5$, indicating that the snail's growth pattern is similar throughout the study area (table 5). In all the zones, maximum increase in DB occurred within the first year, when snails reach 26 mm on average. After the

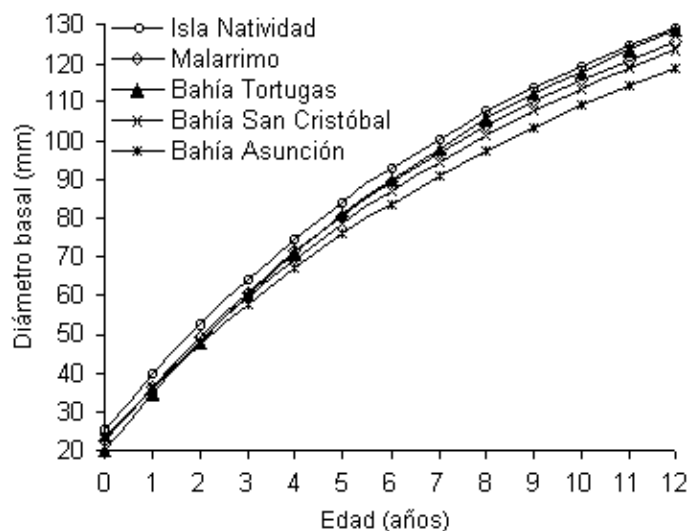


Figura 2. Promedio del diámetro basal por edad y curva de crecimiento del modelo von Bertalanffy por zona de pesca del caracol *Astraea undosa* en la costa occidental de la península de Baja California.

Figure 2. Average of the basal diameter per age and growth curve of the von Bertalanffy model per fishing zone of the snail *Astraea undosa* on the west coast of the Baja California peninsula.

Se describió por zona de pesca el patrón de crecimiento del caracol respecto a la edad (fig.2). Los valores de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy se presentan en la tabla 5. Para contrastar el patrón de crecimiento entre las zonas de pesca, se estimó el valor de ϕ' que varió entre 3.40 y 3.49, con un promedio de 3.45, una desviación estándar de 0.034 y un intervalo de confianza al 95% de $3.40 < \phi' < 3.50$. Esto indica que el patrón de crecimiento del caracol en el área de estudio es similar (tabla 5). Se observa que para todas las zonas, el máximo incremento en el DB ocurre en el primer año de vida, cuando los caracoles alcanzan en promedio 26 mm; posteriormente, el incremento en talla disminuye conforme avanza la edad y para el cuarto año se registra un incremento promedio de 10 mm.

La tasa de mortalidad natural (M) se estimó en 0.29 por año. Los valores de mortalidad total (Z) variaron entre 0.43 y 0.90 por año, los valores de mortalidad por pesca (F) entre 0.14 y

first year, the increase in size diminishes with age and, in the fourth year, an average increase of 10 mm was registered.

The natural mortality rate (M) was estimated to be 0.29 per year. The total mortality values (Z) varied between 0.43 and 0.90 per year, the fishing mortality values (F) between 0.14 and 0.61 per year and the exploitation rate (E) between 0.11 and 0.40 per year (table 6).

DISCUSSION

As the sampling of *A. undosa* covered a wide geographic area (230 km coastline), it was possible to obtain a representative sample of the population in the central part of its distribution range. Based on catch data and biomass estimates for each zone obtained during several years (Singh-Cabanillas, 1996), the physical and biological conditions in the study area were assumed to be more suitable to promote high survival and reproduction rates than the

Tabla 5. Parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy, ϕ' y diámetro basal (DB) estimado por edad para el caracol *Astraea undosa* en la costa occidental de la península de Baja California.

Table 5. Parameters of the von Bertalanffy growth model, ϕ' and basal diameter (DB) estimated per age for the snail *Astraea undosa* from the west coast of the Baja California peninsula.

Edad	Malarrimo	Isla Natividad	Bahía Tortugas	Bahía San Cristóbal	Bahía Asunción	Todas las zonas
	DB (mm)	DB (mm)	DB (mm)	DB (mm)	DB (mm)	DB (mm)
0	22.3	25.6	20.2	22.9	23.6	26.1
1	36.5	39.8	34.9	36.3	36.0	39.0
2	49.3	52.7	48.2	48.4	47.3	50.9
3	60.9	64.3	60.2	59.5	57.7	61.7
4	71.4	74.7	71.1	69.6	67.1	71.5
5	80.8	84.2	81.0	78.7	75.8	80.5
6	89.3	92.7	89.9	87.0	83.7	88.7
7	96.9	100.5	98.0	94.6	90.9	96.2
8	103.9	107.4	105.3	101.5	97.5	103.0
9	110.1	113.7	112.0	107.7	103.6	109.3
10	115.8	119.4	118.0	113.4	109.1	115.0
11	120.8	124.6	123.4	118.6	114.2	120.2
12	125.4	129.2	128.3	123.3	118.8	124.9
L_{∞}	167.84	172.72	175.10	170.44	168.23	174.40
K	0.103	0.102	0.100	0.095	0.089	0.091
t_0	-1.39	-1.58	-1.23	-1.52	-1.69	-1.77
ϕ'	3.462	3.481	3.486	3.441	3.404	

0.61 por año y la tasa de explotación (E) entre 0.11 y 0.40 por año (tabla 6).

DISCUSIÓN

La amplia cobertura geográfica del muestreo de *A. undosa* (230 km de línea de costa) permitió obtener una muestra representativa de su población en su principal área de distribución, la cual corresponde a la porción central

conditions found at the limits of its distribution range, according to that indicated by Brown (1984) and Hughes (1986) with respect to the relationship between the distribution and the abundance of the species. Moreover, there is a wide variety of environments in the study area (Turrubiates-Morales and Castro-Ortiz, 1992).

The identification of up to 12 age groups in the study area coincides with that recorded for

Tabla 6. Tasa total de mortalidad (Z), por pesca (F) y de explotación (E) del caracol *Astraea undosa* en la costa occidental de la península de Baja California.

Table 6. Total mortality rate (Z), fishing rate (F) and exploitation rate (E) of the snail *Astraea undosa* from the west coast of the Baja California peninsula.

Localidad	Z	F	E
Malarrimo	0.90	0.61	0.40
Isla Natividad	0.43	0.14	0.11
Bahía Tortugas	0.78	0.49	0.34
Bahía San Cristóbal	0.76	0.47	0.33
Bahía Asunción	0.68	0.39	0.28
Todas las zonas	0.71	0.42	0.30

del intervalo de su distribución geográfica. Con fundamento en los registros de capturas y estimaciones de biomasa por área durante varios años (Singh-Cabanillas, 1996), se asumió que en el área de estudio, las condiciones físicas y biológicas son las más adecuadas para promover las tasas más elevadas de supervivencia y reproducción que en los extremos de su distribución geográfica, de acuerdo con lo señalado por Brown (1984) y Hughes (1986) respecto a la relación entre la distribución y abundancia de las especies. Además, en la zona de estudio hay una gran variedad de ambientes (Turrubiates-Morales y Castro-Ortiz, 1992).

La identificación de hasta 12 grupos de edad en el área de estudio coincide con lo registrado para la misma especie en la Bahía de Todos Santos durante 1987 y 1988 (Cupul-Magaña y Torres-Moye, 1996), y en Bahía Tortugas durante 1996 y 1997 (Gluyas-Millán *et al.*, 1999). Los primeros grupos de edad (0 a 2 años) representaron <5% de la estructura de la población, reflejando básicamente el comportamiento críptico de los caracoles para reducir o evitar la depredación durante los primeros años de vida, situación documentada para otros gasterópodos marinos (Schmitt, 1981; Keller y Ribí, 1993).

the same species in Bahía de Todos Santos from 1987 to 1988 (Cupul-Magaña and Torres-Moye, 1996), and in Bahía Tortugas from 1996 to 1997 (Gluyas-Millán *et al.*, 1999). The first age groups (0 to 2 years) represented less than 5% of the population structure, revealing the cryptic behavior of snails to reduce or avoid predation during the first years of life; this has been documented for other marine gastropods (Schmitt, 1981; Keller and Ribí, 1993).

Although a similar growth pattern was observed for the snails, anomalies in the sizes per age group per zone relative to average size per age for all the study area are evident in organisms from Isla Natividad and Bahía Asunción (fig. 3). At Isla Natividad, snails are larger, averaging 3 mm DB, and at Bahía Asunción the opposite occurs, with smaller sizes per age, averaging 4 mm DB. At Isla Natividad this situation is possibly due to differences in the physical environment caused by the oceanographic conditions of the island and the coastal zone of the peninsula.

The study area is influenced by the California Current and the coastal physiography, especially in the northernmost part of the study area, where Isla Natividad and Malarrimo are located (Bakun, 1996). Upwelling to the north

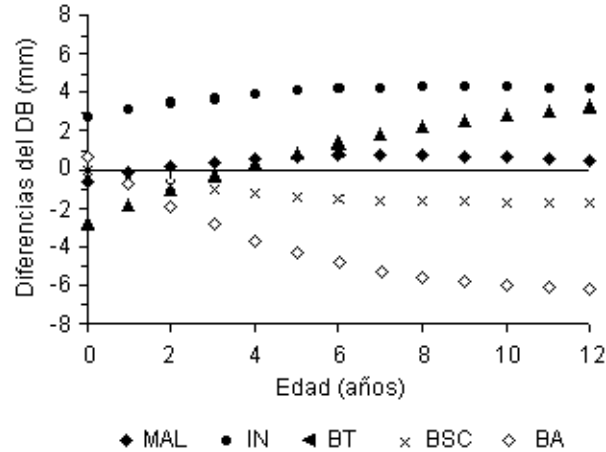


Figura 3. Diferencias del diámetro basal por edad por zona de pesca respecto al promedio del diámetro basal por edad del área de estudio del caracol *Astraea undosa* en la costa occidental de la península de Baja California.

Figure 3. Differences in the basal diameter per age per fishing zone relative to the average basal diameter per age of the study area of the snail *Astraea undosa* from the west coast of the Baja California peninsula. MAL, Malarrimo; IN, Isla Natividad; BT, Bahía Tortugas; BSC, Bahía San Cristóbal; BA, Bahía Asunción.

No obstante que se observó un patrón similar de crecimiento de los caracoles, entre las anomalías de las tallas por edad por zona con respecto a la talla promedio por edad para toda el área de estudio, destacan Isla Natividad y Bahía Asunción (fig. 3). En la primera zona, los caracoles presentan tallas mayores, en promedio 3 mm de DB, y en Bahía Asunción se presenta lo contrario, tallas menores por edad, en promedio 4 mm de DB. En Isla Natividad esta situación se debe, posiblemente, a diferencias en el ambiente físico causadas por las condiciones oceanográficas en la isla y la franja costera de la península.

La zona de estudio está influida por la Corriente de California y la fisiografía de la costa, especialmente el extremo norte del área de estudio donde se localizan Isla Natividad y Malarrimo (Bakun, 1996). Las surgencias al norte de Bahía Vizcaíno, a la altura de Punta Baja, Baja California, generan condiciones cuasi permanentes de enriquecimiento por

of Bahía Vizcaíno, at Punta Baja, Baja California, generates almost permanent enrichment conditions by advection (Bakun and Nelson, 1977). Also, the physiography of Bahía Vizcaíno generates eddies, which have been reported to be relevant features in the retention of pelagic eggs and larvae and in the formation of areas with great abundance of food (Hewitt, 1981). This positively affects the growth and recruitment of the fish, brachyura, bryozoa and mollusks found at this latitude (Hewitt, 1981). In Tortugas, San Cristóbal and Asunción bays, the environment is sheltered from the winds parallel to the coast, increasing the supply of terrigenous material by the winds. This, in turn, increases the levels of suspended and sedimentary material, directly affecting the algal blooms on the rocky substrate, which is the food of benthic organisms with scraping habits. This situation has an effect on the organisms' growth and is analogous to that reported by Huntsman and Barber (1977) for the Cabo

advección (Bakun y Nelson, 1977). También, la fisiografía en Bahía Vizcaíno genera remolinos, que han sido señalados como rasgos importantes en la retención de huevos y larvas pelágicas y en la formación de zonas de abundante alimento (Hewitt, 1981). Esto afecta positivamente al crecimiento y reclutamiento de las especies de peces, braquiuros, briozoarios y moluscos establecidas en esta latitud (Hewitt, 1981). En las bahías Tortugas, San Cristóbal y Asunción, el ambiente es más protegido de los vientos paralelos a la costa, ocasionando un incremento del aporte de material terrígeno por vientos. Esto aumenta el nivel de material suspendido y de sedimentación, afectando directamente la proliferación de algas sobre el sustrato rocoso, que es el alimento de los organismos bentónicos de hábitos raspadores. Esta situación de alguna manera influye en el crecimiento de los organismos y es análoga a la señalada por Huntsman y Barber (1977) para la zona costera de Cabo Blanco al noroeste de África, donde la eficiencia fotosintética se redujo por limitación de luz, provocada por una alta concentración de material suspendido, transportado por los vientos del continente.

La tasa de mortalidad total varió de 0.43 a 0.90 por año y la tasa de explotación de 0.11 a 0.40 por año, valores relativamente bajos. Los mayores niveles de explotación se presentan en las zonas de pesca sobre la península (0.28–0.40); esto pudo ser el resultado de la accesibilidad y usos diversos (carnada y consumo doméstico) en comparación con Isla Natividad ($E = 0.11$). Los valores de mortalidad total para la especie son los primeros que se estiman y se consideran que serán antecedentes útiles para la evaluación y manejo del recurso. Los resultados sobre la tasa de explotación indican un estado del recurso con niveles de aprovechamiento adecuados, lo que refleja el éxito de las actuales medidas de manejo de la pesquería y la asignación precautoria de las cuotas de captura por zona.

Blanco coastal zone in northwestern Africa, where photosynthetic efficiency was reduced due to light deficiency, caused by high concentrations of suspended material transported by continental winds.

The total mortality rate varied between 0.43 and 0.90 per year and the exploitation rate ranged from 0.11 to 0.40 per year; these values are relatively low. The highest exploitation levels occur in the fishing areas off the peninsula (0.28–0.40), probably as a result of their accessibility and the diverse use of the snail (as bait and for domestic consumption), in comparison to Isla Natividad ($E = 0.11$). These are the first total mortality values estimated for the snail *A. undosa* and should be of use for the evaluation and management of the resource. The results indicate that the fishery sustains appropriate exploitation levels, reflecting the success of present management measures and the precautionary catch quotas set per zone.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Agustín del Valle and Ramón Ayala, from the Fishery Research Station at Bahía Tortugas, and José Massó-Rojas, Nicolás Ceceña and Ramón Hernández, from CRIP-La Paz, for their collaboration. We also thank the technicians and members of the following fishing cooperatives for their support in the collection of the biological material: SSCP "La Purísima", SSCP "Buzos y Pescadores de la Baja California", SSCP "Bahía Tortugas", SSCP "Emancipación" and SSCP "California San Ignacio". Finally, we thank Armando Hernández and Felipe Neri-Melo for their assistance in the laboratory, and an anonymous reviewer whose comments and suggestions helped to improve the manuscript. MGGM and CQV are members of SNI; CQV is a member of COFAA and EDD.

English translation by Manuel Gardea.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de Agustín del Valle y Ramón Ayala de la Estación de Investigación Pesquera de Bahía Tortugas, y a José Massó-Rojas, Nicolás Ceceña y Ramón Hernández del CRIP-La Paz. Se agradece el apoyo logístico en la recolección del material biológico de los técnicos y socios de la SCPP “La Purísima”, SCPP “Buzos y Pescadores de la Baja California”, SCPP “Bahía Tortugas”, SCPP “Emancipación” y SCPP “California San Ignacio”. Finalmente, a Armando Hernández y Felipe Neri-Melo por su asistencia en el laboratorio y a un revisor anónimo, cuyos comentarios y sugerencias ayudaron a mejorar la calidad del manuscrito. MGGM y CQV son miembros del SNI; CQV es miembro de COFAA y EDD.

REFERENCIAS

- Bakun, A. (1996). Patterns in the Oceans: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. CSGCS/NOAA/CIBNOR, 323 pp.
- Bakun, A. and Nelson, C.S. (1977). Climatology of upwelling related processes off Baja California. CalCOFI Rep., 19: 107–127.
- Belmar-Pérez, J., Guzmán del Prío, S. y Martínez-Morales, I. (1991). Madurez gonádica y ciclo reproductor del caracol panocha (*Astraea undosa* Wood, 1828; Gasteropoda: Turbinidae) en Bahía Tortugas, Baja California Sur. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 18: 169–187.
- Brown, J.H. (1984). On the relationship between abundance and distribution of species. Am. Nat., 124: 255–279.
- Cupul-Magaña, F.G. and Torres-Moye, G. (1996). Age and growth of *Astraea undosa* Wood (Mollusca: Gastropoda) in Baja California, México. Bull. Mar. Sci., 59: 490–497.
- Cushing, D.H. (1977). Fisheries Biology: A Study in Population Dynamics. Wisconsin Univ. Press, 200pp.
- Gluyas-Millán, M.G., Quiñónez-Velázquez, C., Massó-Rojas, J.A. y Melo-Barrera, F.N. (1999). Diferencias en la relación talla-edad del caracol panocha *Astraea undosa* entre dos localidades de Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. Ciencias Marinas, 25(1): 91–106.
- Guanes-Mercado, R.J. y Torres-Moye, G. (1991). Estudio de crecimiento del caracol *Astraea turbanica* Dall (Mollusca: Gastropoda) en Bahía de Todos Santos, Baja California, México. Rev. Invest. Cient., 2: 73–81.
- Hewitt, R. (1981). Eddies and speciation in the California Current. CalCOFI Rep., 22: 96–98.
- Hughes, R.G. (1986). Theories and models of species abundance. Am. Nat., 128: 879–899.
- Huntsman, S.A. and Barber, R.T. (1977). Primary production off northwest Africa: The relationship to wind and nutrient conditions. Deep-Sea Res., 24: 25–33.
- Keller, G. and Ribi, G. (1993). Fish predation and offspring survival in the prosobranch snail *Viviparus ater*. Oecologia, 93: 493–500.
- Morris, P.A. (1966). A Field Guide to Pacific Coast Shells. Houghton Mifflin, Boston, 297 pp.
- Pauly, D. and Munro, J.L. (1984). Once more on the comparison on growth in fish and invertebrates. ICLARM Fishbyte, 2(1): 21.
- Ricker, W.E. (1973). Linear regressions in fishery research. J. Fish. Res. Board Can., 30: 409–434.
- Singh-Cabanillas, J. (1996). Pesquería de caracol panocha. En: M. Casas-Valdez y G. Ponce-Díaz (eds.), Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. Vol. 1. SEMARNAP, Gobierno BCS, FAO, UABCS, CRIP-La Paz, Cet del Mar (México), pp. 43–58.
- Sire, J.Y. and Bonnet, P. (1984). Croissance et structure de l’opercule calcifié du gasteropode polynésien *Turbo setoseus* (Prosobranchia: Turbinidae): Détermination de l’âge individuel. Mar. Biol., 79: 75–87.
- Schmitt, R.J. (1981). Contrasting anti-predator defenses of sympatric marine gastropod (family Trochidae). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 54: 251–263.
- Sparre, P., Ursin, E. and Venema, S.C. (1989). Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. FAO Fish. Tech. Paper 306, Rome, 337 pp.

StatSoft (1995). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK, StatSoft, Inc., 1000 pp.

Turrubiates-Morales, R. and Castro-Ortiz, J.L. (1992). Growth of *Haliotis fulgens* in Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. In: S.

Guzmán del Prío, M.J. Tenger and S.A. Sheperd (eds.), Abalone of the World: Fisheries and Culture (supplementary papers). Fisheries Research Papers, Dept. of Fisheries, South Australia, No. 24, pp. 10–15.