

Age and growth of Pacific golden-eye tilefish (*Caulolatilus affinis*) in the central region of the Gulf of California

Edad y crecimiento del conejo (*Caulolatilus affinis*) en la región central del Golfo de California

JS Ramírez-Pérez^{1*}, FN Melo-Barrera², LE Ayala-Bobadilla¹

¹ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Paseo Claussen s/n, Col. Los Pinos, Mazatlán, Sinaloa, México.

² Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Ave. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, México.

* Corresponding author. E-mail: jsramirezp@gmail.com; jsramirezp@prodigy.net.mx

ABSTRACT. Age, growth, and the length-weight relationship were estimated for the Pacific golden-eye tilefish *Caulolatilus affinis* captured by the artisanal fishery in the central region of the Gulf of California. The size and weight structure differed between sexes, males being larger and heavier than females; however, differences in the length-weight relationship were not detected and the slope value ($b = 2.66$) showed that it was a negative allometric relationship. The youngest and oldest organisms were 3 and 21 years old, respectively. The age structure showed differences between sexes, males being more abundant at older ages and females at younger ones. The dominant age group for females was 11 years old and for males, 16 years old. The von Bertalanffy growth model fitted adequately the mean size and age data; the model parameters were $L_{\infty} = 432.32$ mm total length, $k = 0.232$ mm yr⁻¹, and $t_0 = 0.164$ yr for males, and $L_{\infty} = 422.99$ mm total length, $k = 0.245$ mm yr⁻¹, and $t_0 = -0.095$ yr for females. Differences in individual growth and growth rate between males and females were not detected. According to the age structure and growth pattern, *C. affinis* is a slow-growing, medium-lived species. Our results suggest that *C. affinis* is underexploited in the central Gulf of California because it is a non-target species.

Key words: age, growth, length-weight, Gulf of California, *Caulolatilus affinis*.

RESUMEN. Se estimó la edad, el crecimiento y la relación longitud-peso del conejo *Caulolatilus affinis* capturado por la pesca artesanal en la región central del Golfo de California. La estructura de tallas y pesos fue diferente entre sexos, siendo los machos más grandes y más pesados que las hembras; sin embargo, no se detectaron diferencias en la relación longitud-peso y el valor de la pendiente ($b = 2.66$) indicó que ésta es una relación alométrica negativa. Los organismos más jóvenes y más grandes fueron de 3 y 21 años, respectivamente. Se detectaron diferencias en la estructura de edad entre sexos, siendo los machos más abundantes a edades mayores y las hembras a edades menores. El grupo de edad dominante para las hembras fue de 11 años, mientras que para los machos fue de 16 años. El modelo de crecimiento de von Bertalanffy se ajustó adecuadamente a los datos de talla promedio a la edad; los parámetros del modelo para los machos fueron $L_{\infty} = 432.32$ mm longitud total, $k = 0.232$ mm año⁻¹ y $t_0 = 0.164$ año, y para las hembras, $L_{\infty} = 422.99$ mm longitud total, $k = 0.245$ mm año⁻¹ y $t_0 = -0.095$ año. No se detectaron diferencias en el crecimiento individual, ni en la tasa de crecimiento entre machos y hembras. Según la estructura de edades y el patrón de crecimiento, *C. affinis* es una especie de crecimiento lento y longevidad media. Los resultados obtenidos sugieren que *C. affinis* se encuentra subexplotado en la región central de Golfo de California debido a que no es una especie objetivo.

Palabras clave: edad, crecimiento, longitud-peso, Golfo de California, *Caulolatilus affinis*.

Introduction

Artisanal fisheries catch a great diversity of species using a wide variety of fishing gear. Compared with the industrial fisheries that handle large volumes of species with high commercial value (e.g., sardine, tuna, and shrimp), they are poorly organized and technified (Berkes *et al.* 2001). Nevertheless, artisanal fisheries provide an important source of employment and a food source with high protein value at affordable prices. Despite the fact that the Pacific golden-eye tilefish *Caulolatilus affinis* Gill 1865 and the ocean whitefish

Introducción

Las pesquerías artesanales se caracterizan por capturar una gran diversidad de especies con una amplia variedad de artes de pesca. En comparación con las pesquerías industriales, las cuales manejan elevados volúmenes de captura con un alto valor comercial (e.g., sardina, atún y camarón), las pesquerías artesanales están poco organizadas y pobremente tecnificadas (Berkes *et al.* 2001). Sin embargo, la pesca artesanal provee una gran cantidad de empleos y una fuente de alimento con alto valor proteico a precios accesibles. A

C. princeps (Jenyns 1840) are not target species in Mexican fisheries and are captured as bycatch, annual landings of both species have exceeded 1000 t in the Gulf of California, representing 7% of the fishing production of some states (SAGARPA 2004).

Caulolatilus affinis is a member of the family Malacanthidae, subfamily Latilinae (Nelson 2006); however, Dooley (1978) included this species in the family Branchiostegidae. This demersal fish is found from 20 to 240 m depth (commonly between 80 and 165 m), on sandy and muddy bottoms (Dooley 1978). It is distributed in the Gulf of California, to Cabo San Lucas (Baja California Sur, Mexico), and in the eastern Pacific from Costa Rica to Pisco (Peru), including the Galapagos Islands (Dooley 1978).

Age estimation is a pre-requisite for understanding the population dynamics of species, since it allows estimating parameters such as growth, longevity, age structure, and mortality rate (Morales-Nin 1992, Ramos-Miranda *et al.* 2009). In most age estimations for teleosts, otoliths are used because they present continuous growth, they record different events in the life of the fish, and they do not present reabsorption processes, in addition to their low cost of extraction and preparation (Popper and Lu 2000, Campana and Thorrold 2001).

There are many reports addressing the life history and fisheries of malacanthid species on the Atlantic coast of the United States of America, as well as detailed studies on their age and growth (Ross and Huntsman 1982, Ross and Merriner 1983, Turner *et al.* 1983, Harris and Grossman 1985, Ericksson and Grossman 1986, Harris *et al.* 2004). On the Pacific coast, however, few studies have been conducted on these species.

In the Gulf of California, the age and growth of *C. princeps* have been addressed (Elorduy-Garay *et al.* 2005). Research on *C. affinis* is restricted to La Paz Bay, in the southern region of the gulf (fig. 1). Elorduy-Garay and Peláez-Mendoza (1996) described its feeding habits, while Ceballos-Vázquez and Elorduy-Garay (1998) addressed its reproductive biology. Elorduy-Garay and Díaz-Urbe (1994) validated otolith-based age estimates, concluding that growth ring formation occurs annually. Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova (1998) estimated the age and individual growth of *C. affinis* and found up to 15 age groups, indicating a slow growth rate and medium longevity for this species ($L_{\infty} = 387.97$ mm standard length, $k = 0.17$ mm yr⁻¹, $t_0 = -2.226$ yr).

This study aimed to estimate the age and growth, as well as analyze the size and age structure of *C. affinis* caught in the central Gulf of California (CGC) in order to evaluate the fishery potential of this resource. This information, supplemented with data on feeding and reproductive habits, is necessary for the proper management and sustainability of the resource in the study area. It should be highlighted that this is the first biological study on this species in the CGC.

pesar de que el conejo *Caulolatilus affinis* Gill 1865 y la pierna *C. princeps* (Jenyns 1840) no son especies objetivo de las pesquerías mexicanas y se capturan como pesca incidental, los volúmenes de captura en el Golfo de California han sobrepasado las 1000 t anuales, lo que representa hasta el 7% de la producción pesquera de algunos estados (SAGARPA 2004).

Caulolatilus affinis es un miembro de la familia Malacanthidae, subfamilia Latilinae (Nelson 2006); sin embargo, Dooley (1978) incluyó a esta especie en la familia Branchiostegidae. Es un pez demersal que se encuentra entre 20 y 240 m de profundidad (comúnmente entre 80 y 165 m) y habita fondos arenosos y lodosos (Dooley 1978). Su distribución geográfica incluye el Golfo de California, hasta Cabo San Lucas (Baja California Sur, México), y el Océano Pacífico oriental, desde Costa Rica hasta Pisco (Perú), incluyendo las islas Galápagos (Dooley 1978).

La estimación de la edad es uno de los elementos clave para entender la dinámica poblacional de las especies, ya que permite estimar parámetros como el crecimiento, la longevidad, la estructura por edades y la tasa de mortalidad (Morales-Nin 1992, Ramos-Miranda *et al.* 2009). En la mayoría de las estimaciones de edad para teleósteos se usan los otolitos, ya que crecen en forma continua, registran diferentes eventos en la vida de los peces y no presentan procesos de reabsorción, además de su bajo costo de extracción y preparación (Popper y Lu 2000, Campana y Thorrold 2001).

Existen numerosos reportes sobre la historia de vida y pesquerías de las especies de malacántidos en la costa este de los Estados Unidos de Norteamérica, así como estudios detallados sobre su edad y crecimiento (Ross y Huntsman 1982, Ross y Merriner 1983, Turner *et al.* 1983, Harris y Grossman 1985, Ericksson y Grossman 1986, Harris *et al.* 2004). Sin embargo, en las costas del Pacífico los estudios sobre estas especies son relativamente escasos.

En el Golfo de California, se ha abordado la edad y el crecimiento de *C. princeps* (Elorduy-Garay *et al.* 2005). Las investigaciones hechas sobre *C. affinis* se restringen a la Bahía de La Paz (BLP), en la parte sur del golfo (fig. 1). Elorduy-Garay y Peláez-Mendoza (1996) describieron los hábitos alimenticios de esta especie, mientras que Ceballos-Vázquez y Elorduy-Garay (1998) abordaron su biología reproductiva. Elorduy-Garay y Díaz-Urbe (1994) validaron las estimaciones de edad hechas con otolitos, concluyendo que la formación de los anillos de crecimiento es anual. Por su parte, Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova (1998) estimaron la edad y el crecimiento individual del conejo en BLP y encontraron hasta 15 grupos de edad, indicando que es una especie de longevidad media con una tasa de crecimiento lenta ($L_{\infty} = 387.97$ mm longitud estándar, $k = 0.17$ mm año⁻¹, $t_0 = -2.226$ años).

El presente trabajo tiene como objetivo estimar la edad y describir el crecimiento, así como analizar la estructura por edades y tallas de *C. affinis* capturado en la parte central del Golfo de California (CGC) con la finalidad de evaluar el

MATERIAL AND METHODS

Samples of *C. affinis* were collected monthly, between December 2006 and April 2007, from the artisanal fishery operating in the area of Lobos Bay, Sonora, Mexico (27°20' N, 110°35' W; fig. 1). A total of 320 individuals were obtained. This species is caught between 40 and 80 m depth using monofilament gillnets ranging in length from 800 to 1500 m, with a depth of 2–3 m from floatline to leadline. The panel is composed of sections with different mesh sizes, those of 8.89–10.16 cm (3.5–4") obtaining the most catch. We recorded the total length (TL), standard length (SL), total weight (TW), and sex (based on macroscopic inspection) of each organism. Otoliths were also collected to estimate age.

Length-weight relationship

The size and weight structure was obtained grouping the organisms (males and females) by intervals of 10 mm TL and 100 g TW. The Kolmogorov-Smirnov (K-S) test was used to evaluate whether sex affects the size or weight structure.

The relationship between TL and TW was estimated for males, females, and combined sexes by the power model ($TW = a(TL^b)$), using \log_{10} -transformed data. Analysis of covariance (ANCOVA) was performed to determine whether there were differences in this relationship due to sex.

The slope value (b) indicates the type of relationship that exists between TL and TW, which can be either allometric or isometric. A t -test (Zar 1999) was used to contrast the

potencial pesquero de este recurso. Esta investigación de manera conjunta con otros estudios, como hábitos alimenticios y reproductivos, son necesarios para el manejo adecuado y la sustentabilidad del recurso. Cabe destacar que éste es el primer trabajo biológico para la especie en CGC.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos mensuales de *C. affinis*, de diciembre de 2006 a abril de 2007, de la pesca artesanal en el área de la Bahía de Lobos, Sonora, México (27°20' N, 110°35' O; fig. 1). En total, se obtuvieron 320 ejemplares. El conejo se captura entre 40 y 80 m de profundidad con una red de monofilamento (red agallera) cuyas dimensiones varían entre 800 y 1500 m de longitud y de 2 a 3 m de caída. El paño está compuesto por secciones de diferente luz de malla, siendo las de 8.89–10.16 cm (3.5–4") las que obtienen la mayor captura. Se registraron la longitud total (LT), la longitud estándar (LE), el peso total (PT) y el sexo (a través de inspección macroscópica) de cada organismo. Los otolitos se recolectaron para la estimación de la edad.

Relación longitud-peso

La estructura de tallas y pesos se obtuvo agrupando a los organismos (machos y hembras) en intervalos de 10 mm LT y 100 g PT. Para evaluar si el sexo afecta la estructura de tallas o pesos, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

La relación entre LT y PT se estimó para machos, hembras y sexos combinados a través del modelo potencial ($PT = a(TL^b)$), utilizando datos transformados a \log_{10} . Para determinar si hubo diferencias en esta relación debidas al sexo, se utilizó un análisis de covarianza (ANCOVA).

El valor de la pendiente (b) nos indica el tipo de relación que existe entre LT y PT, la cual puede ser de tipo alométrica o isométrica. Se utilizó una prueba t (Zar 1999) para contrastar las hipótesis: H_0 , $b = 3$, la relación es isométrica; H_a , $b \neq 3$, la relación es alométrica.

Relación radio del otolito-longitud total

Para eliminar los restos de grasa y tejido de los otolitos, éstos se lavaron con agua corriente y jabón libre de fosfatos. Los otolitos se digitalizaron a través de una cámara de video (Sony CCD-IRIS) adaptada a un microscopio estereoscópico de baja resolución (10×). Se midió el radio total (RT), desde el foco o primordio hasta el borde posterior del otolito (fig. 2a).

Para evaluar la proporcionalidad entre el crecimiento somático y el otolito, se estimó la relación RT-LT. El RT se agrupó en intervalos de 0.1 mm y el promedio de la talla se obtuvo por intervalo de radio (Smale y Taylor 1987, Ehrhardt 1992, Elorduy-Garay y Díaz-Urbe 1994, Melo-Barrera y Félix-Uraga 2003).

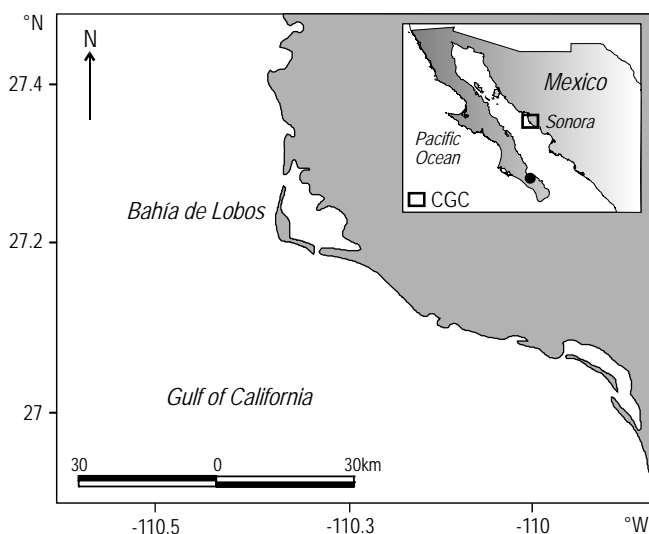


Figure 1. Map showing the location of Lobos Bay (Sonora, Mexico) in the central Gulf of California (CGC). The location of La Paz Bay is indicated by a black dot.

Figura 1. Localización de Bahía de Lobos (Sonora, México) en la región central del Golfo de California (CGC). La ubicación de la Bahía de La Paz se indica con un punto negro.

hypotheses: $H_0, b = 3$, the relationship is isometric; $H_a, b \neq 3$, the relationship is allometric.

Otolith radius-total length relationship

The otoliths were washed with water and phosphate-free detergent to remove any remaining fat or tissues. The otoliths were digitized using a video camera (Sony CCD-IRIS) adapted to a low-resolution stereoscopic microscope (10×). The total radius (TR), from the focus to the posterior edge of the otolith, was measured (fig. 2a).

To determine the proportionality between somatic and otolith growth, we estimated the TR-TL relationship. The TR was grouped by 0.1-mm intervals and the mean size was obtained by radius interval (Smale and Taylor 1987, Ehrhardt 1992, Elorduy-Garay and Díaz-Urbe 1994, Melo-Barrera and Félix-Uraga 2003).

Otolith preparation for age estimation

One of the main obstacles in age estimation is the clarity of the growth marks present in the structures. The initial observations of the *C. affinis* otoliths revealed that the marks were not sufficiently evident (fig. 2a), making interpretation difficult. To improve the readability of the marks, the otoliths were burnt in a muffle using different time and temperature combinations (fig. 2b).

Age structure

Growth marks were read independently by two readers without *a priori* knowledge of catch date and individual size, using a stereoscopic microscope (10×) with reflected light and immersing the burnt otoliths in glycerin. Light (opaque) and dark (hyaline) bands were identified; one opaque plus one hyaline band was considered a growth mark. To determine the precision of the age readings, the average percent error proposed by Beamish and Fournier (1981) was calculated.

Individual growth

The von Bertalanffy growth model (VBGM) was fitted to length-at-age data, according to:

$$TL = TL_{\infty} \left(1 - e^{-k(t-t_0)} \right) \quad (1)$$

where TL is the mean total length at age, TL_{∞} is the asymptotic length, k is the growth coefficient, t is the age in years, and t_0 is the hypothetical age when $TL = 0$.

We used the biological intercept proposed by Campana (1990), which corresponds to the hatching size, allocating the size of the smallest larva to age 0.01. The model parameters

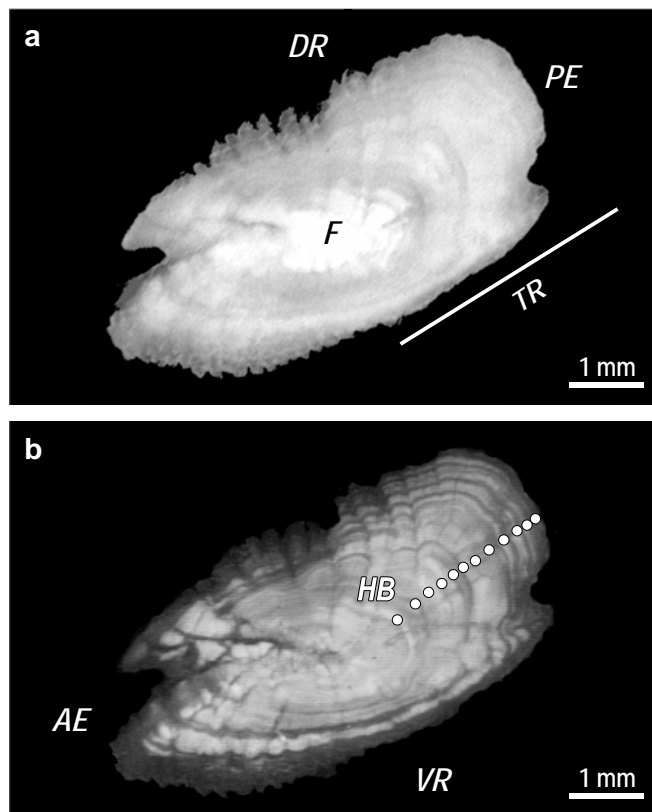


Figure 2. Distal view of a *Caulolatilus affinis* otolith: (a) unburned and (b) burned for 4 min at 320 °C. The white dots indicate 12 hyaline bands (HB). Total radius (TR), focus (F), posterior edge (PE), ventral region (VR), dorsal region (DR), and anterior edge (AE).

Figura 2. Vista distal del otolito de *Caulolatilus affinis*: (a) sin quemar y (b) quemado durante 4 min a 320 °C. Los puntos blancos señalan 12 bandas hialinas (HB). Radio total (TR), foco (F), borde posterior (PE), región ventral (VR), región dorsal (DR) y borde anterior (AE).

Preparación de los otolitos para la estimación de la edad

Una de las principales dificultades para estimar la edad es la claridad de las marcas de crecimiento presentes en las estructuras. Las observaciones iniciales de los otolitos de *C. affinis* mostraron que las marcas no eran lo suficientemente claras (fig. 2a), lo que dificultó su interpretación. Para mejorar la lectura de los otolitos, éstos se quemaron en una mufla utilizando diferentes combinaciones de temperatura y tiempo (fig. 2b).

Estructura por edades

La lectura de las marcas de crecimiento fue realizada por dos lectores de manera independiente, sin conocer la fecha de captura ni la talla del individuo, utilizando un microscopio estereoscópico (10×) con luz reflejada y sumergiendo los otolitos quemados en glicerina. Al observar los otolitos se

were fitted by non-linear methods for males, females, and combined sexes, using Statistica 8.0 software with the Levenberg-Marquardt algorithm. The goodness of fit of the model was estimated using the coefficient of determination (r^2). To determine whether there were any differences in the individual growth pattern due to sex, the test proposed by Chen *et al.* (1992) was applied, which analyzes the residual sum of squares resulting from the process of non-linear fit of the VBGM parameters. Additionally, we used the chi-square test to analyze the individual growth rate of males and females. The individual growth rate (ΔTL) was estimated as follows:

$$\Delta TL = TL_{t+1} - TL_t \quad (2)$$

where TL_{t+1} is the total length at age $t + 1$ and TL_t is the total length at age t .

RESULTS

During the sampling period, 320 specimens of *C. affinis* (149 females, 150 males, and 21 non-sexed) were measured and weighed, and 209 otoliths were obtained. All catch sizes were proportionally represented in the sample. Sizes ranged from 240 to 460 mm TL ($TL_{\text{mean}} = 378 \pm 36.6$ mm); individuals <310 and >440 mm TL were very scarce, representing 4.5% and 3% of the sample, respectively (fig. 3a). The TW values ranged from 200 to 1900 g; individuals weighing <400 and >1500 g TW represented less than 1.5% and 1.6% of the sample, respectively (fig. 3b). Two modes were evident in both the size structure and the weight structure. In both cases the first mode was defined by the females (360 mm TL and 700 g TW) and the second by the males (400 mm TL and 1000 g TW), so the size structure and weight structure for males, females, and combined sexes did not present a normal distribution (K-S, $P < 0.05$). The K-S test showed that the differences observed in the size and weight structure between sexes were significant (size: $D_{\text{max}} = -0.24$, $P < 0.01$; weight: $D_{\text{max}} = -0.33$, $P < 0.01$); the males were more abundant at larger sizes and greater weights than the females, even though the size range for both sexes was very similar (fig. 3a, b).

Length-weight relationship

The power model revealed a significant relationship between size and weight ($F_{(1, 318)} = 1674$, $P < 0.05$), explaining more than 90% of the variance. The model fit parameters for males, females, and combined sexes are shown in table 1. The ANCOVA did not show significant differences in the TL-TW relationship of *C. affinis* due to sex (a : $F_{(1, 296)} = 0.014$, $P > 0.05$; b : $F_{(1, 296)} = 0.006$, $P > 0.05$). According to our results, *C. affinis* shows a negative allometric relationship between size and weight for the length and weight intervals

puieron identificar bandas claras (banda opaca) y oscuras (banda hialina); el conjunto de una banda clara y una hialina se consideró una marca de crecimiento. Para determinar la precisión de las lecturas de edad, se calculó el porcentaje de error promedio propuesto por Beamish y Fournier (1981).

Crecimiento individual

El modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB) se ajustó a los datos de longitud promedio a la edad, de acuerdo con :

$$LT = LT_{\infty} \left(1 - e^{-k(t-t_0)} \right) \quad (1)$$

donde LT es la longitud total promedio a la edad, LT_{∞} es la longitud asintótica, k es el coeficiente de crecimiento, t es la edad en años y t_0 es la edad hipotética cuando $LT = 0$.

Se utilizó el intercepto biológico propuesto por Campana (1990), el cual corresponde a la talla de eclosión del pez, asignándose la talla de la larva más pequeña a la edad de 0.01. Los parámetros del modelo se ajustaron a través de métodos no lineales (algoritmo de Levenberg-Marquardt) para machos, hembras y sexos combinados, utilizando la paquetería Statistica 8.0. La bondad de ajuste del modelo se estimó mediante el coeficiente de determinación (r^2). Para establecer si existen diferencias en el patrón de crecimiento individual debidas al sexo, se utilizó la prueba propuesta por Chen *et al.* (1992), la cual analiza la suma de cuadrados residual que resultan del proceso de ajuste no lineal de los parámetros del MCVB. Además, se analizó la tasa de crecimiento individual de machos y hembras mediante una prueba chi-cuadrada. La tasa de crecimiento individual (ΔLT) se obtuvo mediante:

$$\Delta LT = LT_{t+1} - LT_t \quad (2)$$

donde LT_{t+1} es la longitud total a la edad $t + 1$ y LT_t es la longitud total a la edad t .

RESULTADOS

Durante el periodo de muestreo se midieron y pesaron 320 ejemplares de *C. affinis* (149 hembras, 150 machos y 21 no sexados) y se obtuvieron 209 otolitos. Todas las tallas de captura estuvieron representadas proporcionalmente en la muestra. El intervalo de tallas fue de 240 a 460 mm LT ($LT_{\text{prom}} = 378 \pm 36.6$ mm); los individuos <310 y >440 mm LT fueron muy escasos, representando el 4.5% y 3% de la muestra, respectivamente (fig. 3a). Por otro lado, el intervalo de PT fue de 200 a 1900 g; los individuos <400 y >1500 g PT aportaron menos del 1.5% y el 1.6% de la muestra, respectivamente (fig. 3b). Tanto en la estructura de tallas como en la de pesos fue posible observar la presencia de dos

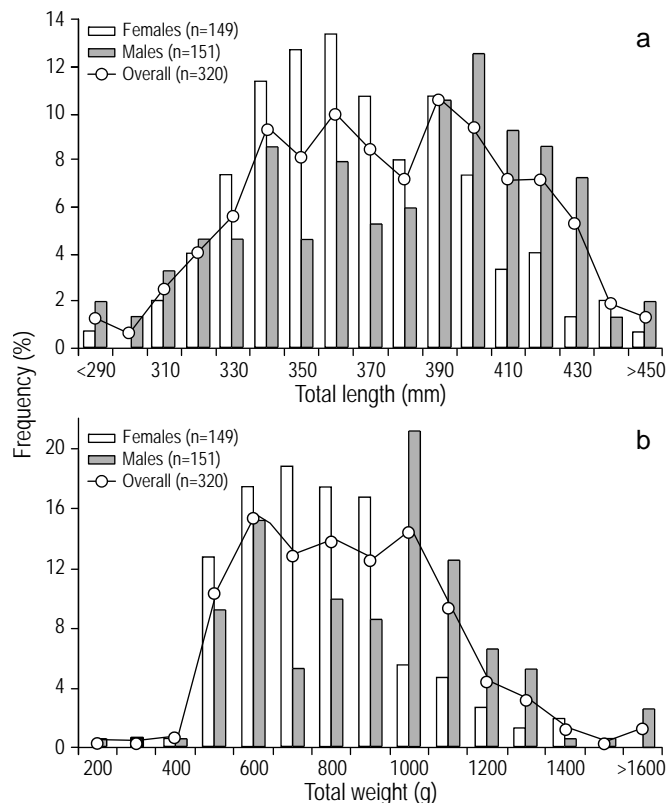


Figure 3. *Caulolatilus affinis* (a) size structure and (b) weight structure for females, males, and combined sexes.

Figura 3. Estructura de (a) tallas y (b) peso corporal de *Caulolatilus affinis* para hembras, machos y sexos combinados.

analyzed, as demonstrated by the slope value ($b = 2.66$), which was significantly different from 3 ($t = 4.61$, $P < 0.05$).

Otolith radius-total length relationship

The TR-TL relationship was determined using the mean TL for each TR interval of 0.1 mm. The grouping of data may affect the estimation of the parameters, so an ANCOVA was used to test this effect. There were no differences in this relationship, for both grouped and ungrouped data (a : $F_{(1, 228)} = 0.21$, $P > 0.05$; b : $F_{(1, 228)} = 0.44$, $P > 0.05$). The linear model significantly fitted the TR-TL data, indicating that there is proportionality ($P < 0.05$) between these two variables (table 1). There were no significant differences in this relationship due to sex (a : $F_{(1, 37)} = 2.91$, $P > 0.05$; b : $F_{(1, 37)} = 3.54$, $P > 0.05$), so a common relationship was established. This relationship justifies the use of otoliths to describe the growth of *C. affinis*.

Otolith preparation for age estimation

To enhance the visualization of growth marks, the otoliths were burned using different time/temperature combinations. In the first treatment of 2 min at 200 °C, the hyaline bands

modas. En ambos casos la primera moda se asoció con las hembras (360 mm LT y 700 g PT) y la segunda con los machos (400 mm LT y 1000 g PT), por lo que las estructuras de tallas y pesos para machos, hembras y sexos combinados no presentaron una distribución normal (K-S, $P < 0.05$). La prueba K-S demostró que las diferencias observadas en la estructura de tallas y de pesos debidas al sexo fueron significativas (tallas: $D_{\max} = -0.24$, $P < 0.01$; pesos: $D_{\max} = -0.33$, $P < 0.01$); los machos fueron más abundantes a tallas y pesos mayores que las hembras, a pesar de que el intervalo de talla para ambos sexos fue muy similar (fig. 3a, b).

Relación longitud-peso

El modelo potencial mostró que la relación entre la talla y el peso fue significativa ($F_{(1, 318)} = 1674$, $P < 0.05$), explicando más del 90% de la varianza. Los parámetros del modelo ajustado para machos, hembras y sexos combinados se muestran en la tabla 1. El ANCOVA no detectó diferencias significativas en la relación LT-PT de *C. affinis* debidas al sexo (a : $F_{(1, 296)} = 0.014$, $P > 0.05$; b : $F_{(1, 296)} = 0.006$, $P > 0.05$). Se determinó que el conejo presenta una relación de tipo alométrica negativa entre la talla y el peso para los intervalos de longitud y peso analizados, ya que el valor de la pendiente ($b = 2.66$) fue significativamente diferente de 3 ($t = 4.61$, $P < 0.05$).

Relación radio del otolito-longitud total

Se estableció la relación RT-LT utilizando la LT promedio por intervalo de 0.1 mm de RT. La agrupación de los datos puede afectar la estimación de los parámetros del modelo, por lo que se utilizó un ANCOVA para probar este efecto. No se detectaron diferencias en esta relación cuando se utilizaron los datos agrupados y sin agrupar (a : $F_{(1, 228)} = 0.21$, $P > 0.05$; b : $F_{(1, 228)} = 0.44$, $P > 0.05$). El modelo lineal se ajustó significativamente a los datos RT-LT, indicando que existe una proporcionalidad ($P < 0.05$) entre estas dos variables (tabla 1). No se detectaron diferencias significativas en esta relación debidas al sexo de los organismos (a : $F_{(1, 37)} = 2.91$, $P > 0.05$; b : $F_{(1, 37)} = 3.54$, $P > 0.05$), estableciéndose la relación común. Esta relación justifica la utilización del otolito para describir el crecimiento de *C. affinis*.

Preparación de los otolitos para la estimación de la edad

Para evidenciar las marcas de crecimiento, los otolitos se quemaron utilizando diferentes combinaciones de temperatura y tiempo. El primer tratamiento consistió en 2 min a 200 °C, obteniéndose una coloración café muy tenue de las bandas hialinas. El segundo tratamiento fue de 3 min a 300 °C, donde las bandas hialinas adquirieron una tonalidad café más oscura, pero aún no eran evidentes las bandas en el borde del otolito. Los mejores resultados se obtuvieron con el

Table 1. Parameters of the total length-total weight and otolith radius-total length relationships and the von Bertalanffy growth model (VBGM): *a*, intercept; *b*, slope; TL_{∞} , asymptotic length; *k*, growth coefficient; t_0 , hypothetical age when $TL = 0$; r^2 , regression coefficient; *n*, sample size. NS: no significant differences between males and females.

Tabla 1. Parámetros de las relaciones longitud total-peso total, radio total del otolito-longitud total y el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (VBGM): *a*, intercepto; *b*, pendiente; TL_{∞} : longitud asintótica; *k*, coeficiente de crecimiento; t_0 , edad hipotética cuando $LT = 0$; r^2 , coeficiente de la regresión; *n*, tamaño de muestra. NS: no hay diferencias significativas entre machos y hembras.

Relationship	Parameter	Females	Males	Overall	Differences between males and females
Length-weight	<i>a</i>	0.000084	0.000093	0.000114	NS
	<i>b</i>	2.71	2.70	2.66	
	r^2	0.87	0.89	0.91	
	<i>n</i>	149	150	320	
Otolith radius-total length	<i>a</i>	135.84	90.59	96.039	NS
	<i>b</i>	57.15	68.75	66.80	
	r^2	0.91	0.93	0.95	
	<i>n</i>	102	90	209	
VBGM	TL_{∞} (mm)	422.9948	432.32	431.52	NS
	<i>k</i> (mm yr ⁻¹)	0.245	0.232	0.234	
	t_0 (yr)	-0.095	-0.16	-0.17	
	r^2	0.98	0.98	0.98	
	<i>n</i>	95	84	196	

acquired a very light brown coloration. In the second treatment of 3 min at 300 °C, the hyaline bands acquired a darker brown tonality, but the bands at the otolith edge were still not evident. The best results were obtained in the third treatment of 4 min at 320 °C, in which the opaque bands were distinguished from the hyaline bands by a lighter coloration and the bands at the otolith edge could be clearly observed (fig. 2b).

Age structure

Of the 209 otoliths collected for age estimation, 196 (93.7%) were successfully read. One light band and one dark band constitute a growth mark and one year of growth, according to the age validation for *C. affinis* from the southern Gulf of California (Elorduy-Garay and Díaz-Urbe 1994).

The growth mark counts revealed 19 age groups, corresponding to groups 3 to 21 years of age. Age group 11 predominated in the sample, followed by groups 13 and 12. Specimens with less than three growth marks were not collected (fig. 4). The age structure by sex showed significant differences. The female mode (age group 11) and male mode (age group 16) corresponded to the modes found for the length and weight distributions of both sexes, with males being, as expected, more abundant at older ages (table 2). The accuracy of the readings between readers was high, as indicated by the average percent error value (2.18%), which was estimated only from the otoliths that were read ($n = 196$).

tercer tratamiento a 320 °C durante 4 min, ya que las bandas opacas se distinguieron con una coloración más clara que las hialinas y las bandas en el borde de los otolitos se apreciaron claramente (fig. 2b).

Estructura por edades

De los 209 otolitos recolectados para la estimación de la edad, 196 (93.7%) se leyeron satisfactoriamente. El conjunto de una banda opaca y una banda hialina se consideró como una marca de crecimiento o un año de edad, según la validación de edad para *C. affinis* en el sur del Golfo de California (Elorduy-Garay y Díaz-Urbe 1994).

A través del conteo de las marcas de crecimiento en los otolitos se identificaron 19 grupos de edad, correspondientes a los grupos de 3 a 21 años de edad. El grupo de edad 11 predominó en las capturas, seguido por los grupos 13 y 12. No se recolectaron organismos con menos de tres marcas de crecimiento (fig. 4). La estructura de edades mostró diferencias significativas entre sexos. La moda de las hembras (grupo de edad 11) y la de los machos (grupo de edad 16) correspondieron a las modas presentes en las distribuciones de longitud y peso en ambos sexos, siendo los machos, como se esperaba, más abundantes en edades avanzadas (tabla 2). La precisión de las lecturas entre los lectores fue elevada, quedando de manifiesto por el valor del porcentaje de error promedio (2.18%), el cual fue estimado sólo con los otolitos leídos ($n = 196$).

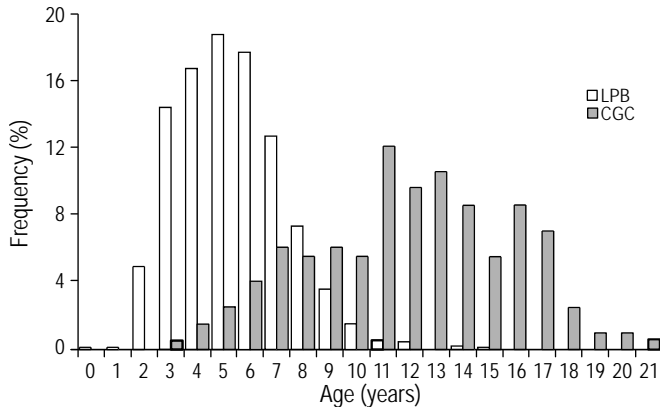


Figure 4. Age structure of *Caulolatilus affinis* in La Paz Bay (LPB) and the central Gulf of California (CGC).

Figura 4. Estructura de edades de *C. affinis* en Bahía de la Paz (LPB) y en la parte Central del Golfo de California (CGC).

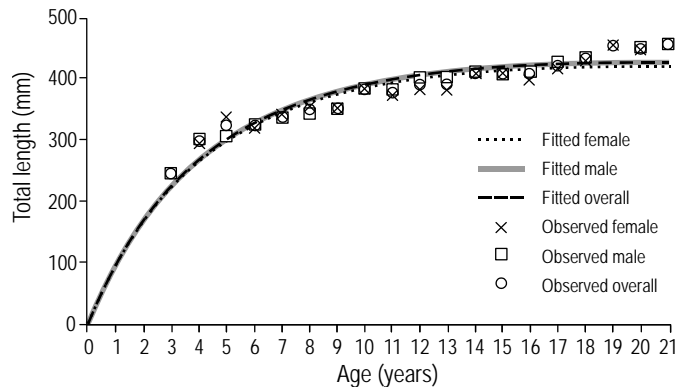


Figure 5. Von Bertalanffy growth model for *Caulolatilus affinis* females and males, and overall.

Figura 5. Modelo de crecimiento de von Bertalanffy para hembras y machos de *Caulolatilus affinis* y sexos combinados.

Individual growth

The parameters of the VBGM fitted to the size-at-age data taking into account the biological intercept are shown in table 1. The regression coefficients for females, males, and combined sexes showed a high fit between the data and the VBGM, explaining 98% of the variance. There were no significant differences in growth due to sex ($F_{(1,34)} = 0.22$, $P > 0.05$); this was determined by statistically evaluating the VBGM by sexes using the residual sum of squares (fig. 5). According to the VBGM, during the first year of life, *C. affinis* attains 24% of L_{∞} , and by the end of the fifth year, it attains 71% of this size. After 12 years of age, the increase in size is less than 1.5%. To confirm the equal growth between males and females, the individual growth rate (ΔTL) was evaluated and showed no significant differences due to sex ($\chi^2 = 0.025$, $P > 0.05$).

DISCUSSION

In the artisanal fishery operating in the northern and central regions of the Gulf of California, *C. affinis* and *C. princeps* are captured incidentally by boats targeting the rooster hind *Epinephelus acanthistius*, the goldspotted sand bass *Paralabrax auroguttatus*, and many shark species. Hence, their landings are scarce compared with other areas of the gulf, like La Paz Bay (LPB), where they are the target species and represent 7% of the fishery production of Baja California Sur (SAGARPA 2004).

Typically, the size structure of commercially caught species tends to show low representativity of small organisms (juveniles), due to the selectivity of the fishing gear or because these organisms are unavailable to the fishing gear (fishing area or depth), and they are thus not fully recruited to the fishery (Sparre and Venema 1997, Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova 1998). The size range reported for

Crecimiento individual

Los parámetros del MCVB ajustados a los datos de talla a la edad tomando en consideración el intercepto biológico se muestran en la tabla 1. Los coeficientes de regresión para hembras, machos y sexos combinados mostraron un elevado ajuste entre los datos y el MCVB, explicando el 98% de la varianza. No se observaron diferencias significativas en el crecimiento debidas al sexo ($F_{(1,34)} = 0.22$, $P > 0.05$); esto se comprobó evaluando de manera estadística el MCVB por sexos a través de la prueba de suma de cuadrados residual (fig. 5). De acuerdo con el MCVB, durante el primer año de vida *C. affinis* alcanza el 24% de la L_{∞} y al finalizar el quinto año alcanza el 71% de esta talla. Después de la edad 12, el incremento en talla es menor al 1.5%. Para confirmar la igualdad en el crecimiento entre machos y hembras se evaluó la tasa de crecimiento individual (ΔLT) y no se encontraron diferencias significativas debidas al sexo ($\chi^2 = 0.025$, $P > 0.05$).

DISCUSIÓN

En la pesca ribereña que se desarrolla en la parte norte y central del Golfo de California *C. affinis* y *C. princeps* son capturadas como especies secundarias en la pesca de la baqueta *Epinephelus acanthistius*, el extranjero *Paralabrax auroguttatus* y varias especies de tiburones. Por lo tanto, su producción es escasa con respecto a otras zonas del golfo, como BLP, donde son especies objetivo y representan hasta el 7% de la producción pesquera de Baja California Sur (SAGARPA 2004).

En general, la estructura de tallas de las especies capturadas comercialmente tiende a tener una baja representatividad de organismos pequeños (jóvenes), debido a la selectividad del arte de pesca (selectividad filo de cuchillo) o a que estos organismos no están disponibles o accesibles al arte de pesca,

Table 2. Age structure and length at age for *Caulolatilus affinis* females and males, and overall.**Tabla 2.** Estructura de edades y longitud a la edad para hembras y machos de *Caulolatilus affinis* y sexos combinados.

Age group	Frequency			Total length at age (mm)		
	Females	Males	Overall	Females	Males	Overall
0						
1						
2						
3		1	1		248	248
4	1	2	3	297	303	301
5	3	2	5	328	309	321
6	4	4	8	322	328	325
7	6	6	12	342	338	340
8	6	5	11	355	346	351
9	9	3	12	354	353	354
10	6	4	11	383	386	384
11	15	9	24	374	384	378
12	10	8	19	384	404	392
13	10	7	21	389	404	395
14	6	9	17	409	413	412
15	4	4	11	411	410	410
16	4	11	17	398	414	410
17	7	4	14	417	429	422
18	2	3	5	432	436	434
19	1		2	455		455
20	1	1	2	448	453	451
21		1	1		458	458
	95	84	196			

C. affinis from LPB (185–485 mm SL, Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova 1998) is larger than that found in the present study (240–460 mm TL = 195–395 mm SL; $SL = 14.26 + 0.806 (TL)$). In the CGC, however, there was a bias towards bigger individuals, since the specimens smaller than 245 mm SL represented 25% of the total in LPB but only 1.25% in our study area, while those larger than 335 mm SL represented 32% of our total but only 5.9% in LPB (fig. 6). Regarding the weight of the individuals, those under 450 g TW comprised 11% of our CGC sample, compared with 60% in LPB. At both sites, *C. affinis* is caught at depths from 50 to 90 m. These differences may be attributed to the sampling period, since the samples analyzed by Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova (1998) were obtained during the period 1986–1987, while the ones used in this study were obtained 20 years later (2006–2007). We believe that the main reason for the difference in size and weight frequencies is the fishing gear used in both areas. In CGC, fishermen use gillnets to target the rooster hind, a species that attains far larger sizes than *C. affinis*. On the other hand, in LPB, *C. affinis* and *C. princeps* are target species and are fished using handlines with appropriate hooks for these species (Norwegian hooks 6 and 7).

y consecuentemente éstos no se reclutan completamente a la pesquería (Sparre y Venema 1997, Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova 1998). El intervalo de tallas de *C. affinis* reportado para BLP (185–485 mm LE, Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova 1998) es mayor que el reportado en el presente trabajo (240–460 mm LT = 195–395 mm LE; $LE = 14.26 + 0.806 (LT)$). Sin embargo, en CGC hubo un sesgo hacia individuos de mayor tamaño, ya que los individuos menores que 245 mm LE representaron el 25% del total en BLP y tan sólo el 1.25% en el presente trabajo, mientras que los individuos mayores que 335 mm LE representaron el 32% del total de nuestros resultados y sólo el 5.9% en BLP (fig. 6). Respecto al peso de los individuos, los organismos menores que 450 g PT representaron el 11% del total de muestras en CGC, mientras que en BLP representaron más del 60%. En ambos sitios el conejo es capturado entre 50 y 90 m de profundidad. Estas diferencias pueden ser causadas por el periodo de muestreo, debido a que las muestras utilizadas por Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova (1998) se obtuvieron entre 1986 y 1987, mientras que las utilizadas en el presente estudio se obtuvieron 20 años después (2006–2007). Se cree que las diferencias en la frecuencia de tallas y pesos se deben

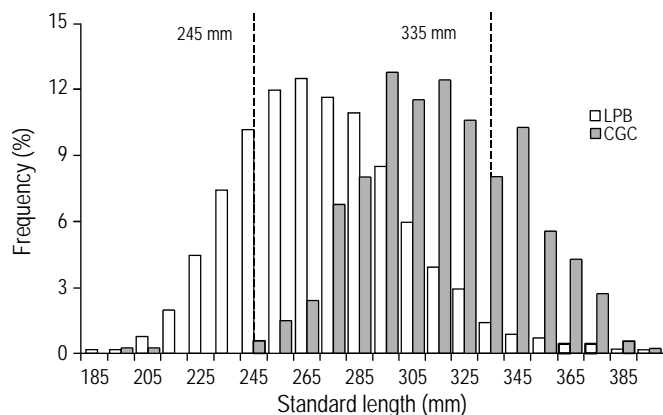


Figure 6. Size structure of *Caulolatilus affinis* in La Paz Bay (LPB) and the central Gulf of California (CGC). Total length (TL) was converted to standard length (SL) as follows: $SL = 14.26 + 0.806 (TL)$.

Figura 6. Estructura de tallas de *Caulolatilus affinis* en Bahía de La Paz (LPB) y en la parte central del Golfo de California (CGC). La longitud total (LT) fue transformada a longitud estándar (LE) de acuerdo con: $LE = 14.26 + 0.806 (LT)$.

Turner *et al.* (1983) showed the selectivity of the longlines used in the New England (USA) fishery of *Lopholatilus chamaeleonticeps*.

The differences in size and weight between sexes found in CGC seems to be a common feature in malacanthids. Females are more abundant at smaller sizes than males and this seem to be related to protogynous hermaphroditism in the species (Ross and Hunstman 1982, Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova 1998, Harris *et al.* 2004).

Length-weight relationship

The relationship between body length and weight is of great importance in fishery biology (Sparre and Venema 1997). Biomass estimates obtained from widely used analytical models, such as virtual population analysis, require calculating the mean weight of individuals per age or length class (Frota *et al.* 2004). Despite the differences between sexes in the size and weight structure of *C. affinis*, such differences were not observed in the TL-TW relationship, indicating that females and males of similar sizes also have similar weights; this was also reported for *L. chamaeleonticeps* (Turner *et al.* 1983). Though Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova (1998) and Elorduy-Garay *et al.* (2005) did not statistically evaluate this relationship for *C. affinis* in LPB, it is possible to assume that there are no differences, since the parameters of the TL-TW relationship for males and females are similar.

The negative allometric relationship of *C. affinis* in CGC ($b = 2.66$) differs from that reported by Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova (1998) for this species in LPB. These authors obtained a value of $b = 3.25$, which does not necessarily imply biological differences since fish can vary considerably even within the same sample (Schneider *et al.* 2000). Such

principalmente a las artes de pesca utilizadas en ambas zonas. En CGC los pescadores utilizan redes de enmalle dirigidas a la baqueta, la cual alcanza tallas mucho mayores que el conejo. Por otra parte, en BLP *C. affinis* y *C. princeps* son especies objetivo y son capturados con líneas de mano, con anzuelos adecuados a estas especies (anzuelo noruego 6 y 7). Turner *et al.* (1983) mostraron la selectividad de los palanques en la pesquería de *Lopholatilus chamaeleonticeps* en la región de Nueva Inglaterra (EUA).

Las diferencias en las tallas y pesos debidas al sexo encontradas en CGC parecen ser una característica común de los malacántidos. Las hembras son más abundantes a tallas menores que los machos, lo cual parece estar asociado con el hermafroditismo protogínico de la especie (Ross y Hunstman 1982, Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova 1998, Harris *et al.* 2004).

Relación peso-longitud

La relación entre la longitud y el peso es de gran importancia en la biología pesquera (Sparre y Venema 1997). Las estimaciones de biomasa hechas con modelos analíticos, como el de población virtual, requieren del cálculo del peso promedio de individuos por edad o clase de longitud (Frota *et al.* 2004). A pesar de las diferencias entre sexos en la estructura de tallas y pesos de *C. affinis*, en la relación LT-PT no se observaron dichas diferencias, indicando que hembras y machos de tallas similares presentan pesos similares; esto también fue reportado para *L. chamaeleonticeps* (Turner *et al.* 1983). A pesar de que Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova (1998) y Elorduy-Garay *et al.* (2005) no evaluaron estadísticamente esta relación para *C. affinis* en BLP, es posible suponer que no hay diferencias, pues los parámetros de la relación LT-PT son similares para hembras y machos.

La relación alométrica negativa de *C. affinis* en CGC ($b = 2.66$) fue diferente a la de Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova (1998) para el conejo en BLP. Estos autores obtuvieron un valor de $b = 3.25$, lo cual no necesariamente implica diferencias biológicas, ya que los peces pueden variar hasta dentro de una misma muestra de manera considerable (Schneider *et al.* 2000). Se han reportado variaciones así de amplias (2.66–3.25) en el parámetro de alometría para otros malacántidos (Frota *et al.* 2004). Las variaciones en la relación LT-PT pueden deberse al intervalo de tallas utilizado (Rodríguez y Araujo 2003), a la zona y época de muestreo, a la condición de los organismos y al método de estimación de los parámetros (Frota *et al.* 2004). El desarrollo gonadal también es una variable muy importante en esta relación (Schneider *et al.* 2000).

Relación radio del otolito-longitud del pez

La proporcionalidad entre la estructura dura (otolito) y el crecimiento del pez fue observada en el conejo, quedando de manifiesto en el ajuste lineal del modelo, lo cual es un patrón

broad variations (2.66–3.25) in the allometry parameter have been reported for other malacanthids (Frota *et al.* 2004). The variations in the TL-TW relationship can be caused by the size interval used (Rodrigues and Araujo 2003), the sampling area and date, the condition of the organisms, and the parameter estimation method (Frota *et al.* 2004). Gonadal development is also an important variable in this relationship (Schneider *et al.* 2000).

Otolith radius-total length relationship

The proportionality between hard structure (otolith) and fish growth was observed in *C. affinis*, as evidenced by the linear fit of the model, a common pattern for the family (Elorduy-Garay and Díaz-Uribe 1994, Elorduy-Garay *et al.* 2005).

Despite the similar shapes of the *C. affinis* otoliths found in LPB and CGC, there are obvious differences in the TR-TL relationship: the otolith of an individual measuring 305 mm SL is 4 mm long in LPB and 3.5 mm long in CGC. The otolith shape is species-specific and is genetically determined (Lombarte and Lleonart 1993); however, there are differences in size, which may be due to several factors affecting the otolith growth rate, like water temperature and depth, and food and mineral availability (Lombarte and Lleonart 1993).

The grouped data used to estimate the TR-TL relationship decrease the high variability presented by raw data for otoliths (Elorduy-Garay and Díaz-Uribe 1994), mollusk shells (Smale and Taylor 1987), and fish spines (Ehrhardt 1992, Melo-Barrera and Félix-Uraga 2003). In this study, no differences in the TR-TL relationship were observed for either grouped or ungrouped data, as also reported by Elorduy-Garay *et al.* (2005). The grouped data present a smaller standard error and explain a greater variance; hence, the usefulness of this method.

Otolith preparation for age estimation

The burning of otoliths has proven to be a good method to enhance the visualization of growth marks in several species (*Hippoglossus stenolepis*, Blood 2003; *Mullus barbatus ponticus*, Polat *et al.* 2005), including malacanthids (Elorduy-Garay and Díaz-Uribe 1994, Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova 1998, Elorduy-Garay *et al.* 2005). This is because the otolith is composed partly of inorganic material (calcium carbonate) and partly of organic material in the form of protein (otoline). The latter, when subjected to high temperatures, burns and acquires a brown coloration. This process offers several advantages over cutting and polishing since several otoliths can be burned at the same time, decreasing the time of procedure, and cutting and polishing require specialized equipment and a careful handling of the structures.

común para la familia (Elorduy-Garay y Díaz-Uribe 1994, Elorduy-Garay *et al.* 2005).

A pesar de que la forma de los otolitos de *C. affinis* en BLP y CGC es muy similar, existen diferencias evidentes en la relación RT-LT; el otolito de un pez de 305 mm LE mide 4 mm de largo en BLP, mientras que el de un pez de la misma talla en CGC mide 3.5 mm de largo. La forma del otolito es específica de la especie y está determinada genéticamente (Lombarte y Lleonart 1993); sin embargo, existen diferencias en el tamaño, las cuales pueden deberse a una multitud de factores que afectan la tasa de crecimiento del otolito, como la temperatura y la profundidad del agua y la disponibilidad de alimento y minerales (Lombarte y Lleonart 1993).

Los datos agrupados utilizados para la estimación de la relación RT-LT disminuyen la alta variabilidad que presentan los datos crudos de otolitos (Elorduy-Garay y Díaz-Uribe 1994), conchas de moluscos (Smale y Taylor 1987) y espinas de peces (Ehrhardt 1992, Melo-Barrera y Félix-Uraga 2003). En el presente estudio no se observaron diferencias en la relación RT-LT con los datos agrupados y sin agrupar, lo cual también fue reportado por Elorduy-Garay *et al.* (2005). Los datos agrupados presentan un menor error estándar y explican una mayor varianza, de allí la utilidad de esta metodología.

Preparación de los otolitos para la estimación de la edad

El quemado de los otolitos ha demostrado ser un buen método para evidenciar las marcas de crecimiento en varias especies (*Hippoglossus stenolepis*, Blood 2003; *Mullus barbatus ponticus*, Polat *et al.* 2005), incluyendo los malacántidos (Elorduy-Garay y Díaz-Uribe 1994, Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova 1998, Elorduy-Garay *et al.* 2005). Esto se debe a que el otolito está compuesto por una porción de materia inorgánica (carbonato de calcio) y una orgánica en forma de proteína (otolina). La porción orgánica se quema al momento de ser sometida a altas temperaturas, tornando su coloración a diferentes tonalidades de café. Este proceso tiene varias ventajas sobre el corte y el pulido, ya que se pueden quemar varios otolitos a la vez, reduciendo el tiempo de proceso; además, el corte y el pulido requieren equipo especializado y un manejo cuidadoso de las estructuras.

Estructura por edades

La estimación de la edad se basa en el registro de la historia de vida grabada en las estructuras duras de los organismos. La preferencia del uso de los otolitos sobre otras estructuras (escamas, espinas o huesos) se debe a que el otolito crece continuamente. Aun cuando el crecimiento somático se disminuye, el otolito no se pierde (como las escamas) ni se reabsorbe (como los huesos y las espinas), y además, registra las condiciones del medio donde se desarrolla el individuo. También se ha demostrado que las estimaciones

Age structure

Age estimation is based on a record of the life history engraved on the hard structures of organisms. The use of otoliths rather than other structures (scales, spines, or bones) is preferred because otolith growth is continuous. Even when somatic growth has diminished, the otolith is not lost (like scales) nor reabsorbed (like bones and spines), and it also records the environmental conditions where the individual develops. Moreover, it has been demonstrated that otolith-based estimates are more accurate than those made from other structures (Campana and Thorrold 2001).

The percentage of otoliths that could not be read (6%) was similar to the percentage reported for other malacanthids: 8% for *C. affinis* (Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova 1998), 12% for *C. princeps* (Elorduy-Garay *et al.* 2005), and 10% for *L. chamaeleonticeps* (Turner *et al.* 1983). The *C. affinis* otoliths obtained in CGC present more evident marks than those from LPB (Elorduy-Garay pers. comm. 2006).

Individuals of *C. affinis* under two years of age were not recruited, while those three to five years old were partially recruited. The age structure showed a longevity of 21 years. Individuals older than 12 years were relatively abundant, unlike that reported for LPB by Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova (1998), who did not observe specimens above this age (fig. 4). The presence of larger and older individuals of the same species in different fishing areas can be attributed to more favorable conditions for growth and longevity, but also to a less intense exposure to fishing pressure (Ross and Huntsman 1982). It has also been shown that size and age structures truncated at greater sizes or ages are the result of fishing pressure (Craig *et al.* 1999, Harris *et al.* 2004), which can be the case for LPB and CGC.

In CGC, *C. affinis* is captured incidentally five months per year. In LPB, however, it is targeted year round and thus subject to higher levels of exploitation, resulting in a decrease of the larger and older individuals.

Individual growth

Differences in growth between males and females have been observed for several species of malacanthids. In some species, males grow faster and attain larger sizes than females, but the latter live longer (*L. chamaeleonticeps*, Turner *et al.* 1983; *Branchiostegus japonicus*, Hayashi 1976; *Caulolatilus chrysops* and *C. intermedius*, Ross and Huntsman 1982). On the contrary, *C. microps* males attain larger sizes and are more abundant at older ages than females, but both reach the same age (Harris *et al.* 2004). This divergence in growth rates is related to sexual maturity in females, probably as a result of the early and high energetic cost associated with reproduction (Turner *et al.* 1983). Though these differences have been reported for *C. affinis* in LPB (Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova 1998), we did not find them in CGC, so it was possible to use the VBGM fitted with the pooled data.

hechas con base en otolitos son más precisas que las hechas con otras estructuras (Campana y Thorrold 2001).

El porcentaje de otolitos que no fue posible leer (6%) fue similar al reportado para otros malacántidos: 8% para *C. affinis* (Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova 1998), 12% para *C. princeps* (Elorduy-Garay *et al.* 2005) y 10% para *L. chamaeleonticeps* (Turner *et al.* 1983). Los otolitos de *C. affinis* obtenidos en CGC presentan marcas más evidentes que los provenientes de BLP (Elorduy-Garay com. pers. 2006).

Los individuos de *C. affinis* menores de dos años no se reclutaron, mientras que los de tres a cinco años estuvieron parcialmente reclutados. La estructura de edades mostró una longevidad de 21 años. Los individuos mayores que 12 años fueron relativamente abundantes, a diferencia de lo reportado para BLP por Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova (1998), quienes no observaron ejemplares mayores de 12 años presentes en las capturas (fig. 4). La captura de peces más grandes y viejos de una misma especie en diferentes áreas de pesca puede atribuirse a condiciones más favorables para el crecimiento y la longevidad, pero también puede deberse a una exposición menos intensa a presiones pesqueras (Ross y Huntsman 1982). También, se ha demostrado que las estructuras de talla y edad truncadas en las tallas o edades mayores son el resultado de la presión de pesca (Craig *et al.* 1999, Harris *et al.* 2004), lo que pudiera ser el caso para BLP y CGC.

En CGC, *C. affinis* se captura incidentalmente durante cinco meses del año, mientras que en BLP es una especie objetivo que se captura a lo largo del año y, por lo tanto, está sometida a un nivel de explotación elevado; esto último tiene como consecuencia la disminución de los individuos más grandes y viejos.

Crecimiento individual

Se han observado diferencias en el crecimiento entre hembras y machos para varias especies de malacántidos. En algunas especies los machos crecen más rápido y alcanzan tallas más grandes que las hembras, pero éstas viven más tiempo (*L. chamaeleonticeps*, Turner *et al.* 1983; *Branchiostegus japonicus*, Hayashi 1976; *Caulolatilus chrysops* y *C. intermedius*, Ross y Huntsman 1982). Por el contrario, los machos de *C. microps* alcanzan tallas más grandes y son más abundantes a edades mayores que las hembras, a pesar de que alcanzan las mismas edades (Harris *et al.* 2004). Estas divergencias en las tasas de crecimiento están correlacionadas con la madurez sexual en las hembras, probablemente como resultado del costo energético tan alto y temprano de la reproducción (Turner *et al.* 1983). A pesar de que se han reportado estas diferencias para *C. affinis* en BLP (Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova 1998), en CGC no se encontraron y, por lo tanto, fue posible utilizar el MCVB ajustado con los datos combinados.

El crecimiento de *C. affinis* estuvo representado adecuadamente por el MCVB, con un elevado ajuste entre los

The growth of *C. affinis* was well represented by the VBGM, with a high fit between the observed data and the model; greater discrepancies were observed towards sizes of individuals younger than 5 and older than 17 years of age, which could be caused by the selectivity of the fishing gear, overestimating such sizes. The growth rates for *C. affinis* are within the range reported for other species of the same family: *C. microps*, $k = 0.137 \text{ mm yr}^{-1}$ (Ross and Hunstman 1982) and $k = 0.15 \text{ mm yr}^{-1}$ (Harris *et al.* 2004); *B. japonicus*, $k = 0.304 \text{ mm yr}^{-1}$ and $k = 0.297 \text{ mm yr}^{-1}$ (males and females, respectively; Hayashi 1976); *L. chamaeleonticeps*, $k = 0.162 \text{ mm yr}^{-1}$ (Turner *et al.* 1983). These growth rates, however, are higher than the values obtained for *C. affinis* in the southern Gulf of California ($SL_{\infty} = 422.87 \text{ mm}$, $k = 0.1327 \text{ mm yr}^{-1}$, $t_0 = 2.713 \text{ yr}$; Elorduy-Garay and Ruiz-Córdova 1998), indicating differences in growth. This could be caused, among other reasons, by the size and age intervals analyzed, as well as by the estimation methods used, since the latter authors used graphic methods (Ford-Walford, and Tomlinson and Abramson) and nonlinear least squares regression (Marquardt algorithm) to calculate k and t_0 .

The advantage of using an initial value for the growth curve (defined as larval size at hatching) is that the growth rate value is closer to reality, since very negative values of t_0 underestimate k and overestimate L_{∞} (López-Veiga 1979). This is because using a size value close to the onset of ontogenetic development increases the slope, with a subsequent reduction in the asymptotic size.

The members of the family Malacanthidae are considered species of slow growth and medium to high longevity: *L. chamaeleonticeps* is the largest species, reaching 1150 mm fork length, and one of the most long-lived, reaching 35 years of age (Turner *et al.* 1983); *C. microps* is the most long-lived species, reaching 40 years of age and 800 mm TL (Harris *et al.* 2004); and *B. japonicus* is the smallest species, reaching 322 mm TL and 8 years of age (Hayashi 1976). Slow growth and high longevity seem to be common characteristics of species that inhabit deep waters (Pilling *et al.* 2000, Cailliet *et al.* 2001, Andrews *et al.* 2007).

CONCLUSIONS

Notwithstanding that males were more abundant at greater ages, sizes, and weights than females, no differences were observed in the individual growth or in the length-weight relationship due to sex. According to our results, *C. affinis* presents slow growth and medium longevity. In view of the presence of older organisms (14 to 21 years of age) and the absence of juveniles in the catches, it can be assumed that this resource is underexploited in the CGC.

ACKNOWLEDGEMENTS

The first author acknowledges receipt of scholarships from CONACYT, PIFI-IPN, and the doctoral program of the

datos observados y el modelo; las mayores discrepancias se observaron hacia las tallas de los individuos menores que 5 y mayores que 17 años, las cuales pudieron ser originadas por la selectividad del arte de pesca, sobrestimando dichas tallas. Los valores de la tasa de crecimiento de *C. affinis* se encuentran dentro del intervalo reportado por otros autores para especies de la misma familia: *C. microps*, $k = 0.137 \text{ mm año}^{-1}$ (Ross y Hunstman 1982) y $k = 0.15 \text{ mm año}^{-1}$ (Harris *et al.* 2004); *B. japonicus*, $k = 0.304 \text{ mm año}^{-1}$ y $k = 0.297 \text{ mm año}^{-1}$ (machos y hembras, respectivamente; Hayashi 1976); *L. chamaeleonticeps* $k = 0.162 \text{ mm año}^{-1}$ (Turner *et al.* 1983). Sin embargo estos valores son mayores que los reportados para *C. affinis* en el sur del Golfo de California ($SL_{\infty} = 422.87 \text{ mm}$, $k = 0.1327 \text{ mm año}^{-1}$, $t_0 = 2.713 \text{ años}$; Elorduy-Garay y Ruiz-Córdova 1998), lo que da como resultado diferencias en el crecimiento. Estas diferencias pueden ser ocasionadas, entre otras causas, por el intervalo de talla y edad analizado, así como por los métodos de estimación utilizados, ya que estos últimos autores utilizaron métodos gráficos (Ford-Walford, Tomlinson y Abramson) y una regresión no lineal de mínimos cuadrados (algoritmo de Marquardt) para calcular k y t_0 .

La ventaja de utilizar un valor inicial de la curva de crecimiento (definido como la talla de la larva al momento de la eclosión) es que el valor de la tasa de crecimiento puede ser más real, ya que valores muy negativos de t_0 ocasionan una subestimación de k y una sobreestimación de L_{∞} (López-Veiga 1979). Lo anterior se debe a que el utilizar un valor de talla cercana al inicio del desarrollo ontogénico incrementa la pendiente, con una subsecuente disminución de la talla asintótica.

Los miembros de la familia Malacanthidae se consideran como especies de lento crecimiento y longevidad media o alta: *L. chamaeleonticeps* es la especie de talla más grande, alcanzando 1150 mm de longitud furcal, y una de las de alta longevidad, alcanzando hasta 35 años (Turner *et al.* 1983); *C. microps* es la especie más longeva de la familia, con individuos que alcanzan 40 años de edad y 800 mm LT (Harris *et al.* 2004); *B. japonicus* es la especie más pequeña, con 322 mm LT y 8 años de edad (Hayashi 1976). El crecimiento lento y la longevidad alta parecen ser características comunes de las especies que habitan en aguas profundas (Pilling *et al.* 2000, Cailliet *et al.* 2001, Andrews *et al.* 2007).

CONCLUSIONES

A pesar de que los machos son más abundantes a mayores edades, tallas y pesos que las hembras, no se observaron diferencias en el crecimiento individual, ni en la relación peso-longitud debidas al sexo. De acuerdo con los resultados, *C. affinis* presenta un crecimiento lento y una longevidad media. Debido a la presencia de organismos de mayor edad (14 a 21 años) y a la ausencia de jóvenes en las capturas, es posible suponer que la explotación del recurso está por debajo de los niveles óptimos en CGC.

Autonomous University of Sinaloa. The second author was supported by the COFAA-IPN and EDI-IPN fellowship programs. Thanks are due to the local fishermen in Lobos Bay (Sonora, Mexico) for their support, to JP Partida for editing the English version, and to two anonymous reviewers for their valuable comments.

REFERENCES

- Andrews AH, Kerr LA, Cailliet GM, Brown TA, Lundstrom CC, Stanley RD. 2007. Age validation of canary rockfish (*Sebastes pinniger*) using two independent otolith techniques: lead-radium and bomb radiocarbon dating. *Mar. Freshwat. Res.* 58: 531–541.
- Beamish RJ, Fournier DA. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 233–236.
- Berkes F, Mahon R, McConney P, Pollnac R, Pomeroy R. 2001. Managing small-scale fisheries: Alternative directions and methods. International Development Research Centre, Ottawa 285 pp.
- Blood CL. 2003. Age validation of Pacific halibut. Comparison of surface and break and burn otolith methods of ageing Pacific halibut. *Inter. Pac. Halibut Comm. Tech. Rep.* 47:1–32. [Http://www.iphc.int/pubs/techrep/tech0047.pdf](http://www.iphc.int/pubs/techrep/tech0047.pdf)
- Cailliet GM, Andrews AH, Burton EJ, Watters DL, Kline DE, Ferry-Graham LA. 2001. Age determination and validation studies of marine fishes: Do deep-dwellers live longer? *Exp. Gerontol.* 36: 739–764.
- Campana SE. 1990. How reliable are growth back-calculations based on otoliths? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 2219–2227.
- Campana SE, Thorrold SR. 2001. Otoliths, increments, and elements: Keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 30–38.
- Ceballos-Vázquez BP, Elorduy-Garay JF. 1998. Gonadal development and spawning of the golden-eyed tilefish *Caulolatilus affinis* (Pisces: Branchiostegidae) in the Gulf of California, Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 63: 469–479.
- Chen Y, Jackson DA, Harvey HH. 1992. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modelling fish growth data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1228–1235.
- Craig MT, Pondella DJ, Hafner JC. 1999. Analysis of age and growth in two eastern Pacific groupers (Serranidae: Epinephelinae). *Bull. Mar. Sci.* 65: 807–814.
- Dooley JK. 1978. Systematic and biology of tilefishes (Perciformes: Branchiostegidae and Malacanthidae), with description of two new species. NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 411:1–79.
- Ehrhardt NM. 1992. Age and growth of swordfish *Xiphias gladius*, in the northwestern Atlantic. *Bull. Mar. Sci.* 50: 299–301.
- Elorduy-Garay JF, Diaz-Uribe JG. 1994. Age validation of *Caulolatilus affinis*, Gill 1865 (Pisces: Branchiostegidae) from the Gulf of California using otoliths. *Sci. Mar.* 58: 277–287.
- Elorduy-Garay JF, Peláez-Mendoza AK. 1996. Hábitos alimentarios de *Caulolatilus affinis*, Gill 1865 (Perciformes: Branchiostegidae) en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Rev. Biol. Trop.* 44: 241–249.
- Elorduy-Garay JF, Ruiz-Córdova SS. 1998. Age, growth, and mortality of *Caulolatilus affinis* (Osteichthyes: Branchiostegidae) from the southern Gulf of California. *Pac. Sci.* 52: 259–272.
- Elorduy-Garay JF, Ruiz-Córdova SS, Diaz-Uribe JG. 2005. Age, growth, and mortality of *Caulolatilus princeps* (Pisces:

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece las becas recibidas a través del CONACYT, PIFI-IPN y el programa de doctores jóvenes de la Universidad Autónoma de Sinaloa. El segundo autor recibió apoyo a través de COFAA y EDI del Instituto Politécnico Nacional. Se agradece el apoyo de los pescadores de la Bahía de Lobos (Sonora, México) para la obtención de las muestras, a JP Partida la traducción al inglés y a los dos revisores anónimos sus valiosos comentarios.

- Malacanthidae) from the southern Gulf of California. *Hidrobiológica* 15: 289–297.
- Erickson DL, Grossman GD. 1986. Reproductive demography of tilefish from the South Atlantic Bight with a test for the presence of protogynous hermaphroditism. *Trans. Am. Fish. Soc.* 114: 837–846.
- Frota LO, Costa PAS, Braga AC. 2004. Length-weight relationships of marine fishes from the central Brazilian coast. *NAGA* 27: 20–26.
- Hayashi Y. 1976. Studies on the growth of the red tilefish in the East China Sea. A fundamental consideration for age determination from otoliths. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 42: 1237–1242.
- Harris MJ, Grossman GD. 1985. Growth, mortality and age composition of a lightly exploited tilefish substock off Georgia. *Trans. Am. Fish. Soc.* 114: 837–846.
- Harris PJ, Wyanski DM, Mikell P. 2004. Age, growth, and reproductive biology of blueline tilefish along the southeastern coast of the United States, 1982–1999. *Trans. Am. Fish. Soc.* 133: 1190–1204.
- Lombarte A, Lleonart J. 1993. Otolith size changes related to body growth, habitat depth and temperature. *Environ. Biol. Fish.* 37: 297–306.
- López-Veiga EC. 1979. Fitting von Bertalanffy growth curves in short-lived fish species. A new approach. *Invest. Pesq.* 43: 179–186.
- Melo-Barrera FN, Félix-Uraga R. 2003. Estructura de tallas y edad del marlin rayado *Tetrapturus audax* (Pisces: Xiphidae), en Cabo San Lucas, Baja California Sur, México. *Rev. Biol. Trop.* 52: 981–989.
- Morales-Nin B. 1992. Determination of growth in bony fishes from otolith microstructure. *FAO Fish. Tech. Paper. No. 322*, Rome, 51 pp.
- Nelson, JS. 2006. *Fishes of the World*. 4th ed. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 601 pp.
- Pilling GM, Millner RS, Easey MW, Mees CC, Rathacharen S, Azemia R. 2000. Validation of annual growth increments in the otoliths of the lethrinid *Lethrinus mahsena* and the lutjanid *Aprion virescens* from sites in the tropical Indian Ocean, with notes on the nature of growth increments in *Pristipomoides filamentosus*. *Fish. Bull.* 98: 600–611.
- Polat N, Bostanci D, Yilmaz S. 2005. Differences between whole otolith and broken-burn otolith ages of red mullet (*Mullus barbatus ponticus* Essipov 1927) sampled from the Black Sea (Samsun, Turkey). *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 29: 429–433.
- Popper AN, Lu Z. 2000. Structure-function relationships in fish otolith organs. *Fish. Res.* 46: 15–25.
- Ramos-Miranda J, Bejarano-Hau K, Flores-Hernández D, Ayala-Pérez LA. 2009. Growth, mortality, maturity, and recruitment of the star drum (*Stellifer lanceolatus*) in the southern Gulf of Mexico. *Cienc. Mar.* 35: 245–251.

- Rodrigues CM, Araujo FC. 2003. Length-weight relationship and condition factor of *Micropogonias furnieri* (Desmarest) (Perciformes, Scianidae) in Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Rev. Brasil. Zool.* 20: 685–690.
- Ross JL, Huntsman GR. 1982. Age, growth and mortality of blueline tilefish from North Carolina and South Carolina. *Trans. Am. Fish. Soc.* 111: 585–592.
- Ross JL, Merriner JV. 1983. Reproductive biology of the blueline tilefish *Caulolatilus microps* off North Carolina and South Carolina. *NMFS Fish. Bull.* 81: 553–56.
- SAGARPA. 2004. Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación, México*, 15/03/2004.
- Schneider JC, Laarman PW, Gowing H. 2000. Length-weight relationships. In: Schneider JC (ed.), *Manual of Fisheries Survey Methods II*, with periodic updates. *Fisheries Special Report 25*, Michigan Department of Natural Resources, Ann Arbor, pp. 1–18.
- Smale MA, Taylor WW. 1987. Sources of back-calculation error in estimating growth of lake whitefish. In: Summerfelt RC, Hall GE (eds.), *Age and Growth of Fish*. Iowa State Univ. Press, Ames, pp. 189–202.
- Sparre P, Venema SC. 1997. *Introducción a la Evaluación de Recursos Pesqueros Tropicales. Parte 1. Manual*. FAO, Rome, 525 pp.
- Turner SC, Grimes CB, Able KW. 1983. Growth, mortality and age size structure of the fisheries for tilefish *Lopholatilus chamaeleonticeps* in the middle Atlantic-southern New England region. *NMFS Fish. Bull.* 81: 751–763.
- Zar JH. 1999. *Biostatistical Analysis*. 4th ed. Prentice Hall, New Jersey, 663 pp.

*Received March 2010;
accepted December 2010.*