

Blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) catch quotas as a management tool in the Upper Gulf of California

La cuota de captura de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) como instrumento de gestión en el Alto Golfo de California

AR García-Juárez^{1,2*}, G Rodríguez-Domínguez³, DB Lluch-Cota²

¹ Instituto Nacional de Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera en Ensenada, Carretera Tijuana-Ensenada Km 97.5, El Sauzal de Rodríguez, CP 22760, Baja California, México.

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Mar Bermejo No. 175, Col. Palo de Santa Rita, La Paz, CP 23090, Baja California Sur, México. * E-mail: argarcia@cibnor.mx

³ Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n, Col. Los Pinos, Mazatlán, Sinaloa, México.

Abstract

Within the buffer zone of the Upper Gulf of California and Colorado River Delta Biosphere Reserve (established June 1993), the shrimp fishery is managed as a common and rational use resource, trying to minimize the impact of fishing effort on both the resource and ecosystem. An analysis was thus made of potential catch quotas of *Litopenaeus stylirostris* using a dynamic model to estimate expected shrimp yield and future biomass that includes fishing season as a factor and catch per unit effort (CPUE) as abundance index. The CPUE of *L. stylirostris* declined in the 1990/91 season and tended to recover in 1995/96. The parameters of the biomass dynamic model were $K = 21,323 \text{ t}$ ($\pm 700 \text{ t}$, $P < 0.05$) and $r = 1.18$ (± 0.1 , $P < 0.05$). The estimated catchability was 0.00032 with a standard deviation of 0.25. Biomass was projected under three catch quota scenarios in the study area. Given the usefulness of establishing an annual catch limit for available biomass in the management of this resource, based on the scenarios analyzed, the adoption of quotas of 2200 and 2400 t for one fishing season is recommended, after which the effectiveness of this strategy should be assessed.

Key words: Upper Gulf of California, catch quota, *Litopenaeus stylirostris*.

Resumen

Dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (establecida en junio de 1993), la pesquería de camarón se administra como un recurso de uso común y racional, tratando de que el esfuerzo pesquero impacte lo menos posible tanto al recurso como al ecosistema. Se analizaron posibles cuotas de captura estimando el rendimiento esperado y la biomasa futura de camarón mediante un modelo dinámico que usó la temporada de pesca como factor (denominado periodo), y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) como índice de abundancia. La CPUE de *L. stylirostris* declinó en la temporada 1990/91, tendiendo a la recuperación en 1995/96. Los parámetros del modelo dinámico de biomasa fueron $K = 21,323 \text{ t}$ ($\pm 700 \text{ t}$, $P < 0.05$) y $r = 1.18$ (± 0.1 , $P < 0.05$). La capturabilidad estimada fue de 0.00032 con una desviación estándar de 0.25. Se proyectó la biomasa con tres escenarios de cuota de captura dentro de la zona de estudio. Dada la utilidad de establecer un límite anual a la captura de biomasa disponible para la administración del recurso, y de acuerdo a los escenarios analizados, se propone la adopción de las cuotas de 2200 y 2400 t por una temporada de captura, y evaluar su efectividad al término del mismo.

Palabras clave: Alto Golfo de California, cuota de captura, *Litopenaeus stylirostris*.

Introduction

Four species of penaeid shrimp are exploited in the Mexican Pacific: blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson 1874), white shrimp *L. vannamei* (Boone 1931), brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes 1900), and crystal or red shrimp *F. brevirostris* (Kingsley 1878). They represent 70% of the national shrimp production, but only two of them are found in the Upper Gulf of California (UGC): blue and brown shrimp (Rodríguez de la Cruz 1981).

Introducción

En el Pacífico mexicano se explotan cuatro especies de camarones penéidos: camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson 1874), camarón blanco *L. vannamei* (Boone 1931), camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes 1900) y camarón cristalino o rojo *F. brevirostris* (Kingsley 1878); que aportan 70% de la producción nacional de camarón capturado. Sin embargo, por la distribución de estas especies, en el Alto Golfo de California (AGC) sólo se encuentran dos

Industrial shrimp fishing in the UGC initiated in the 1950s, and historical records go back to 1956 (Avalos-Hernández 1974). The Upper Gulf of California and Colorado River Delta Biosphere Reserve was established by presidential decree on 10 June 1993. The explicit objectives of the reserve are: (1) to preserve the ecosystems of the Sonoran Desert, the UGC, and the Colorado River Delta; (2) to provide permanent protection to unique species such as the totoaba, the Mexican porpoise called *vaquita marina*, the desert pupfish, and several bird species; (3) to regulate productive activities for the protection of natural resources; (4) to promote alternative economic activities to improve the quality of life of the resident population; (5) to advance scientific research and environmental education in the region; and (6) to recover and preserve the flora and fauna, as well as the environmental quality (*Diario Oficial de la Federación*, 10 June 1993).

Two activities merit special attention in the area: exploitation of the natural resources and ecosystem conservation. The National Fisheries Institute in Mexico runs a shrimp management program in the Mexican Pacific that considers environmental, economic, and social aspects, but catch quotas have not been contemplated for management purposes. Catch per unit effort (CPUE) and catch tendency data for 1976–1998 revealed two periods, as was also found for *F. californiensis* in the Gulf of California (Morales-Bojórquez and López-Martínez 1999 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001): a decrease in catch from 1976/77 to 1990/91 and an increase in catch from 1991/92 to 1997/98.

Similar to Morales-Bojórquez *et al.* (2001), catch and effort data were analyzed using a biomass dynamic model, which is better than using age-structured approaches such as virtual population analyses (Pope and Sheperd 1985 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001), especially when catch age structure information is poor or unavailable. Biomass dynamic models are the most commonly used stock assessment techniques for tropical and tuna fisheries, as well as temperate fish stocks. Another advantage of these models is that they can be used with any abundance index of the fishery. For catch rates, coefficient q refers to catchability, whereas for research cruise data, q refers to the relative bias of the cruise. In some cases, biomass dynamic models can provide more accurate and precise estimates compared with more complex approaches (Morales-Bojórquez *et al.* 2001).

Studies have been conducted on penaeid shrimp populations to determine whether a stock-recruitment relationship (SRR) exists. In general, two tendencies have been found: an almost linear SRR and no SRR. It has been concluded, however, that there is no evidence that shows that recruitment depends on the spawning stock. Recruitment overfishing is not considered feasible, since the capture of recruits or adults is assumed to occur when they are in the level phase of the SRR theoretical asymptotic curve. Nevertheless, recruitment overfishing has been observed in the case of the white shrimp in the Gulf of Mexico (Gracia 1996). If a SRR does not exist, then as much as possible must be caught. Hence, effort can constantly

de ellas: camarón azul y camarón café (Rodríguez de la Cruz 1981).

La pesca industrial del camarón en el AGC se inició a principios de los años cincuenta. No obstante, las estadísticas históricas acerca de la pesca de este recurso datan a partir de 1956 (Avalos-Hernández 1974). La Reserva de la Biósfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado fue establecida por decreto presidencial el 10 de junio de 1993. Los objetivos explícitos de esta reserva son: (1) conservar los ecosistemas del desierto de Sonora, el AGC y el Delta del Río Colorado; (2) dar protección permanente a especies únicas como la totoaba, la vaquita marina, el pupo del desierto y una variedad de especies de aves; (3) regular las actividades productivas para la protección de recursos naturales; (4) promover actividades económicas alternativas que incrementen el nivel de vida de la población residente; (5) hacer investigación científica y educación ambiental en la región; y (6) recuperar y preservar la flora y fauna, así como la calidad del medio ambiente (*Diario Oficial de la Federación*, 10 de junio de 1993).

En la zona existen dos actividades que merecen especial atención: la explotación de los recursos y la conservación del ecosistema. El Instituto Nacional de Pesca tiene un programa de manejo para el recurso camarón en el Pacífico Mexicano, en el cual no se han integrado las cuotas de captura como una recomendación de administración a la pesquería, sin embargo, si considera objetivos ambientales, económicos y sociales. Los datos de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y la tendencia de la captura en el período 1976–1998 revelan dos periodos en la pesquería, de manera similar a lo encontrado para *F. californiensis* (Morales-Bojórquez y López-Martínez 1999 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001): una disminución en las capturas de 1976/77 a 1990/91 y un aumento de 1991/92 a 1997/98.

Al igual que lo realizado por Morales-Bojórquez *et al.* (2001), los datos de captura y esfuerzo fueron analizados con un modelo dinámico de biomasa, que es mejor que utilizar un modelo estructurados por edades como el análisis de población virtual (Pope y Sheperd 1985 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001), sobre todo cuando la información sobre la estructura de edades de las capturas es pobre o no existe. Los modelos dinámicos de biomasa son las técnicas de evaluación del stock más usadas comúnmente en pesquerías tropicales, atún y peces con afinidad templada. Otra ventaja para considerar los modelos dinámicos de biomasa es que pueden utilizar cualquier índice de abundancia de la pesquería. Para tasas de captura, la capturabilidad es referida como el coeficiente q , mientras que para datos de crucero de investigación q es el sesgo relativo del crucero. En algunas circunstancias, los modelos dinámicos de biomasa pueden proveer estimaciones más exactas y precisas que las obtenidas con enfoques más complejos (Morales-Bojórquez *et al.* 2001).

En camarones peneidos se han realizado estudios para determinar si existe una relación parentela-progenie (stock reproductor-reculta: SRR) en sus poblaciones. En general se han encontrado dos tendencias: una SRR casi lineal o ninguna SRR. Sin embargo, se ha concluido que no existe evidencia

increase and exceed the equilibrium limit (without a spawning stock there is no recruitment), resulting in the little accepted recruitment overfishing.

This study aimed to determine the biomass of blue shrimp *L. stylirostris* in the UGC and estimate catch quotas under three scenarios, using CPUE as abundance index.

Material and methods

Annual catch data (tonnes, live weight) and CPUE (tonnes per vessel) were obtained from the official records provided by the shrimp trawl fleets of Puerto Peñasco and Golfo de Santa Clara (Sonora), and San Felipe (Baja California) for the period from 1987/88 to 2006/07 (table 1). The annual fishing season was considered to be from approximately September to May (Rodríguez de la Cruz 1976 and Magallón-Barajas 1987 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001), though this period was shorter in the case of some seasons. The total catch was sorted by species based on the information provided by the shrimp processing plants in the above-mentioned ports and only the live weight data of blue shrimp were used for this study.

Model

Similar to Morales-Bojórquez *et al.* (2001), to describe the general situation of the shrimp fishery CPUE was analyzed using the Schaefer biomass dynamic model (Hilborn and Walters 1992), which relates total catch and fishing effort. Maximum sustainable yield and optimal fishery effort can be estimated by fitting a parabolic curve of this relation. This model does not assume equilibrium conditions, which is advantageous in the evaluation of organisms with a short life span such as the blue shrimp. The deterministic expression of the model is:

$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{B_t}{K}\right) - C_t$$

where t is the time (fishing season), B_t is the biomass of the population at time t , B_{t+1} is the biomass of the population at time $t + 1$, r is the intrinsic rate of population growth, K is the virgin biomass size or carrying capacity, and C_t is the catch at time t .

Estimation of the observation error and process error

The indicator of relative abundance, I_t , is assumed to be measured with error; consequently, the index is estimated as:

$$\hat{I}_t = qB_t \exp(v_t)$$

where q is the catchability, B_t is the biomass of the population at time t , and v_t is the observation error assuming

que demuestre que el reclutamiento dependa del stock reproductor. Se considera que la sobrepesca del reclutamiento es poco factible, ya que se supone que la captura de reclutas o adultos se realiza cuando se encuentran en la fase plana de la curva teórica asintótica de SRR. Sin embargo, para el camarón blanco del Golfo de México se ha demostrado que existe una sobrepesca de reclutamiento (Gracia 1996). Si se considera que no existe SRR, entonces hay que capturar cuanto sea posible. Con esto en mente, se puede mantener un esfuerzo en constante aumento y sobrepasar un límite de equilibrio (sin stock reproductor no hay reclutamiento) causando la poco aceptada sobrepesca del reclutamiento.

El objetivo del presente estudio fue proyectar la biomasa del camarón azul *L. stylirostris* de la zona del AGC y estimar cuotas de captura bajo tres escenarios, utilizando como índice de abundancia la captura por unidad de esfuerzo.

Material y métodos

Los datos de captura anual (toneladas, peso vivo) y la CPUE (toneladas por barco) fueron obtenidos de los registros oficiales provenientes de la flota camaronesa de arrastre de Puerto Peñasco y el Golfo de Santa Clara, Sonora y San Felipe, Baja California de 1987/88 a 2006/07 (tabla 1). Se analizó la información considerando los periodos anuales de la temporada de pesca, aproximadamente de septiembre a mayo (Rodríguez de la Cruz 1976 and Magallón-Barajas 1987 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001) aunque en algunas temporadas se acortó este periodo. La captura total se separó por especies con la información de las plantas procesadoras de camarón en los puertos mencionados y para este estudio se utilizó sólo la captura de camarón azul en peso vivo.

Modelo

Al igual que Morales-Bojórquez *et al.* (2001), para describir la situación general de la pesquería de camarón se analizó la CPUE mediante el modelo dinámico de biomasa de Schaefer (Hilborn y Walters 1992) el cual relaciona la captura total y el esfuerzo de pesca. El ajuste de una curva parabólica de esta relación permite obtener una estimación del rendimiento máximo sostenible y el esfuerzo óptimo de la pesquería. Este modelo no supone condiciones de equilibrio, lo que representa una ventaja en la evaluación de organismos de ciclo de vida corto como el camarón azul. La expresión determinística del modelo es:

$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{B_t}{K}\right) - C_t$$

donde t = tiempo (temporada de pesca), B_t = biomasa de la población al tiempo t , B_{t+1} = biomasa de la población al tiempo $t + 1$, r = tasa intrínseca del crecimiento de la población, K = tamaño de la biomasa virgen o capacidad de carga, C_t = captura al tiempo t .

Table 1. Blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) catch and catch per unit effort (CPUE) data obtained from the shrimp fleet operating in the buffer zone of the Upper Gulf of California Biosphere Reserve (Mexico).

Tabla 1. Captura y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) de la flota camaronera que opera en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California, México.

Season	Catch (tonnes)	CPUE (tonnes per vessel)
1987/88	4292	15.44
1988/89	5178	19.76
1989/90	2313	9.03
1990/91	667	2.82
1991/92	667	8.23
1992/93	624	7.79
1993/94	1072	11.52
1994/95	2629	18.91
1995/96	1844	12.63
1996/97	2599	15.99
1997/98	2007	11.53
1998/99	2721	10.04
1999/00	2191	12.17
2000/01	2024	10.27
2001/02	2237	13.89
2002/03	2299	11.91
2003/04	1747	10.04
2004/05	1700	12.04
2005/06	2515	19.64
2006/07	2772	23.10

$v_t \approx N(0, \sigma_v)$ and $\hat{I}_t = qB_t$ (Punt 1992, Punt and Hilborn 1996). The observation error is estimated as follows:

$$v_t = 1n(I_t) - 1n(\hat{I}_t)$$

When the observation error was used, the following hypothesis was tested regarding the population, H: the variability in the population was caused by uncertainty regarding the true value of index I_t .

Estimation of the parameters r_o , K_o , and δ_o , given the index I_t (subscript O refers to the observation error), was carried out using the following likelihood function ($-1nL$):

$$-1nL(I|r_o, K_o, \delta_o) = \sum_t \left[\frac{1}{2} 1n(2\pi) \right] - \left[\frac{1}{2} 1n\sigma - \left(\frac{v_t^2}{2\sigma^2} \right) \right]$$

In this expression, δ is a constant called deplete, which was used to estimate the biomass during the first fishing season

Estimación de los errores de observación y proceso

Se supone que el indicador de abundancia relativa I_t está medido con error; en consecuencia, el índice es estimado como:

$$\hat{I}_t = qB_t \exp(v_t)$$

donde q es la capturabilidad, B_t es la biomasa de la población al tiempo t y v_t es el error de observación suponiendo $v_t \approx N(0, \sigma_v)$ e $\hat{I}_t = qB_t$ (Punt 1992, Punt y Hilborn 1996). Este error de observación se estima mediante:

$$v_t = 1n(I_t) - 1n(\hat{I}_t)$$

Cuando se usó el error de observación se probó una hipótesis sobre la población, H: La variabilidad en la población fue causada por la incertidumbre acerca del verdadero valor del índice I_t .

La estimación de los parámetros r_o , K_o y δ_o , dado el índice I_t (el subíndice O se refiere al error de observación) fue realizada usando la siguiente función de verosimilitud ($-1nL$):

$$-1nL(I|r_o, K_o, \delta_o) = \sum_t \left[\frac{1}{2} 1n(2\pi) \right] - \left[\frac{1}{2} 1n\sigma - \left(\frac{v_t^2}{2\sigma^2} \right) \right]$$

En esta expresión δ es una constante llamada *deplete*, que fue usada para estimar la biomasa durante la temporada de pesca con que inicia el análisis (Punt 1992) y σ es la desviación estándar del error de proceso, que fue estimada usando la siguiente solución analítica (Morales-Bojórquez *et al.* 2001), definida como:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [1n(I_t) - 1n(\hat{I}_t)]^2}$$

En la serie de tiempo se considera que ha habido una evolución en los sistemas de pesca, así como en la experiencia de los pescadores, lo cual influye sobre el coeficiente de capturabilidad y del poder de pesca de la flota. Por consiguiente, es de esperar que el valor de capturabilidad cambie a través del tiempo. Para representar este patrón de cambio se hicieron las siguientes suposiciones: (a) el indicador de abundancia relativa tiene una distribución log normal; (b) el indicador de abundancia relativa estimado puede ser expresado como $\hat{I}_t = qB_t \exp(v_t)$, donde v_t es el error de observación; (c) si el indicador de abundancia relativa I_t corresponde a cada año, entonces la capturabilidad para cada año puede ser expresada como $q_t = I_t/B_t$, donde el subíndice t representa el tiempo; (d) el valor de capturabilidad de cada año bajo esta condición es variable, lo cual debe ser una condición obligada de las

considered in this analysis (Punt 1992), and σ is the standard deviation of the error process, which was estimated using the following analytical solution (Morales-Bojórquez *et al.* 2001):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [1n(I_t) - 1n(\hat{I}_t)]^2}$$

Fishing systems presumably evolved and the experience of the fishermen increased during the time series considered, influencing the catchability coefficient and the fleet's fishing power. The catchability value would therefore be expected to change over time, and the following assumptions were made to represent this pattern of change: (a) the relative abundance indicator has a log-normal distribution; (b) the estimated relative abundance indicator can be expressed as $\hat{I}_t = qB_t \exp(v_t)$, where v_t is the observation error; (c) if the relative abundance indicator I_t corresponds to each year, then the catchability for each year can be expressed as $q_t = I_t/B_t$, where subscript t represents the time; (d) the catchability value for each year under this condition is variable, which should be a required condition of the modifications in the effort that changed CPUE; and (e) the model does not work with the catchability values for each year, but rather with an average for the time period under study and, therefore, the expression representing the expected catchability value is estimated as follows:

$$q = \exp\left\{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left[1n\left(\frac{I_t}{B_t}\right)\right]\right\}$$

Since a log-normal distribution was assumed for the relative abundance indicator, then the average must be recalculated by its respective exponential value. The expression shows that catchability has an explicit algebraic solution that derives from all the catchability values estimated for each fishing season, which is an attempt to assess its variability.

Based on both estimators, two important management parameters were calculated: maximum sustainable yield, $MSY = rK/4$, and the biomass at which MSY will be achieved, $BMSY = K/2$. Optimal harvest rate is $HR = r/2$ (Punt and Japp 1994).

Confidence intervals

Confidence intervals of r and K were estimated for the model that best fit the data (process error or observation error). The likelihood profile was used to estimate the confidence intervals (Venzon and Moolgavkor 1988 and Hilborn and Mangel 1997 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001), since it can be used to determine the confidence intervals for the parameters either together or individually. The confidence intervals for n parameters were estimated based on the χ^2 distribution with m degrees of freedom (Zar 1974 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001). For a single parameter p , the confidence interval (CI) is

modificaciones en el esfuerzo que cambiaron la CPUE; y (e) el modelo no trabaja con los valores de capturabilidad de cada año, sino con un promedio dentro de toda la escala de tiempo en la cual se realizó el análisis, y por consiguiente, la expresión que representa el valor esperado de capturabilidad es estimado como:

$$q = \exp\left\{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left[1n\left(\frac{I_t}{B_t}\right)\right]\right\}$$

Dado que se supuso una distribución log normal del indicador de abundancia relativa, entonces el promedio debe ser recalculado por su respectivo valor exponencial. La expresión muestra que la capturabilidad tiene una solución algebraica explícita que deriva de todos los valores de capturabilidad estimados para cada temporada de pesca, lo cual es un intento por valorar su variabilidad.

De los dos estimadores se calcularon dos importantes parámetros de manejo: el máximo rendimiento sostenido, $MRS = rK/4$, y la biomasa con la cual se puede alcanzar el MRS (BMRS), $BMRS = K/2$. La tasa óptima de explotación HR es $HR = r/2$ (Punt y Japp 1994).

Intervalos de confianza

Los intervalos de confianza de r y K fueron estimados para el modelo que mejor se ajustó a los datos (error de proceso o error de observación). Para estimar los intervalos de confianza se utilizó el perfil de verosimilitud (Venzon y Moolgavkor 1988 y Hilborn y Mangel 1997 en Morales-Bojórquez *et al.* 2001), ya que éste puede ser usado para determinar los intervalos de confianza de los parámetros conjunta o individualmente. Los intervalos de confianza para n parámetros fueron estimados basados en una distribución χ^2 con m grados de libertad (Zar 1974 en Morales-Bojórquez *et al.* 2001). Para un sólo parámetro p , el intervalo de confianza (IC) es definido como todos los valores que satisfacen la siguiente condición (Polacheck *et al.* 1993 en Morales-Bojórquez *et al.* 2001):

$$IC = (2[L(Y/p) - (Y/p)_{est}] \leq x_{m,1-\alpha}^2)$$

donde $L(Y/p)_{est}$ es el logaritmo de la verosimilitud del mejor valor de p y $\chi_{1,1-\alpha}^2$ es el valor de la distribución chi cuadrada con un grado de libertad a un nivel de confianza $1 - \alpha$. Así, el intervalo de confianza al 95% para p abarca todos los valores de p , que es dos veces la diferencia entre el logaritmo de la verosimilitud y el logaritmo de la verosimilitud del mejor estimado de p , que es menor de 3.84 (Kimura 1981, Polacheck *et al.* 1993 and Morales-Bojórquez 1999 en Morales-Bojórquez *et al.* 2001).

Resultados

Las mayores capturas se obtuvieron en la temporada 1988/89; después cayeron y permanecieron a la baja durante casi

defined as all the values of p that satisfy the following condition (Polacheck *et al.* 1993 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001):

$$IC = (2[L(Y/p) - (Y/p_{est})] \leq \chi_{m,1-\alpha}^2)$$

where $L(Y/p_{est})$ is the log likelihood of the most likely p value and $\chi_{m,1-\alpha}^2$ is the value of the chi-square distribution with one degree of freedom at a confidence level of $1 - \alpha$. Hence, the 95% confidence interval for p includes all the p values that are twice the difference between the log likelihood and the log likelihood of the best p estimate, which is less than 3.84 (Kimura 1981, Polacheck *et al.* 1993, and Morales-Bojórquez 1999 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001).

Results

The largest catches (~5000 t) were obtained in the 1988/89 season, after which they consistently decreased for the next four fishing seasons and then began to recover, without ever regaining the 1987/88 and 1988/89 levels (table 1). In the last two years of the study period, the catches varied between 2500 and 3000 t (table 1). Nevertheless, analysis of the CPUE trend indicated a positive recovery for this index, which allows the assumption of a recovery in abundance if one considers that CPUE is proportional to abundance. As a result of the values of the 1999/2000 season the information shows an apparent pattern of cycles that should be subsequently evaluated (table 1).

The fit of the biomass dynamic model to the CPUE data identified two periods: the first from 1988/89 to 1993/94 with an appropriate fit, and the second from 1994/95 to 2006/07 that was not suitably described by the model (fig. 1), showing great variability in CPUE. The parameters of the biomass dynamic model were $K = 21,323$ t (with a confidence interval of ± 700 t, $P < 0.05$) (fig. 2), and $r = 1.18$ (with a confidence interval of ± 0.1 , $P < 0.05$).

The model fitted to the CPUE data showed a MSY of 6325 t, with a BMSY of around 10,662 t. The optimal harvest rate thus corresponds to a value of 0.59 of the available biomass. According to historical records (table 1), it is possible to attain the MSY value; however, considering the data for the most recent seasons, the catch may likely be close to 2500 t. In any case, a model that assumes CPUE measurement errors was solved.

The catch quota values estimated showed that implementing a quota of 2220 t per fishing season would maintain the biomass levels above 6000 t, while a quota of 2400 t would keep them close to 6000 t (fig. 3).

Considering these two catch quota scenarios, biomass would remain below the yield reference level estimated (6325 t), though it would also remain below its own reference level (10,662 t). These catch quota values do not allow biomass to increase over time, and a catch quota of 2470 t would even cause the population biomass to decrease (fig. 3). The quotas analyzed are based on historical records, but the analysis clearly shows that maintaining the optimal biomass level could

cuatro temporadas de pesca, y aunque se observó una recuperación de la captura, ya no se recobraron los niveles de 1987/88 and 1988/89 (tabla 1). En los dos últimos años del período estudiado las capturas oscilaron entre 2500 y 3000 t (tabla 1). Sin embargo, al analizar la tendencia de CPUE se observó que este índice se ha recuperado positivamente, lo cual permite suponer una recuperación en la abundancia si se considera que CPUE es proporcional a la abundancia. Los valores de la temporada 1999/2000 provocan que la información presente un aparente patrón de ciclos, el cual debería comprobarse posteriormente (tabla 1).

El ajuste del modelo dinámico de biomasa a los datos de CPUE muestra que es posible identificar dos periodos: el primero de 1988/89 a 1993/94 con un ajuste adecuado; y el segundo de 1994/95 a 2006/07, que no fue descrito de forma adecuada por el modelo (fig. 1) mostrando gran variabilidad de la CPUE. Los parámetros del modelo dinámico de biomasa fueron $K = 21,323$ t (con intervalo de confianza de ± 700 t, $P < 0.05$) (fig. 2), y $r = 1.18$ (con intervalo de confianza de ± 0.1 , $P < 0.05$).

El modelo ajustado a los datos de CPUE arrojó un MRS de 6325 t con una biomasa que permitiría obtenerlo (BMRS) de cerca de 10,662 t. De esta manera la tasa de explotación óptima corresponde a un valor del 0.59 de la biomasa disponible. De acuerdo con los datos históricos (tabla 1), es posible alcanzar el valor de MRS; sin embargo, considerando los datos de las temporadas más recientes es posible que la captura sea de cerca de 2500 t. En todo caso, se debe considerar que se resolvió un modelo que supone errores de medición en la CPUE.

Los valores estimados de cuota de captura mostraron que utilizar una cuota de 2220 t por temporada mantendría los

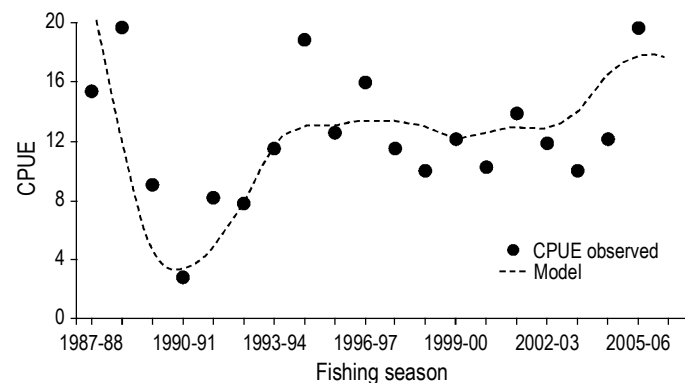


Figure 1. Schaeffer biomass dynamic model fit for the catch per unit effort data of blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) captured in the buffer zone of the Upper Gulf of California Biosphere Reserve (Mexico). The broken line indicates the fitted model and the points the data observed.

Figura 1. Ajuste del modelo dinámico de biomasa de Schaeffer para los datos de captura por unidad de esfuerzo de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) capturado en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California, México. La línea punteada representa el modelo ajustado, mientras que los puntos representan los datos observados.

pose a risk. Based on these findings, if a catch-quota strategy were to be applied to the blue shrimp fishery in the UGC, the catch quota should not exceed 2400 t and this value should decrease for the species biomass to increase.

Discussion

This study presents the first biomass estimate for blue shrimp in the UGC. Our results show that the carrying capacity for *L. stylirostris* is $K = 21,323$ t, and the intrinsic rate of population growth is $r = 1.18$. Based on these parameters, MSY was calculated to be 6325 t. To obtain this yield it would thus be necessary to maintain a minimum biomass of 10,662 t, i.e., the biomass needed to attain the expected yield (BMSY). With this information we calculated the optimal harvest rate, which is based on the estimated intrinsic rate of population growth value (0.59).

The optimal yield level of 6325 t obtained from a BMSY of 10,662 t represents the first biological reference for this species; however, precautionary catch limits based on historic data were also considered, so our proposal shows how catch volumes can be maintained in the long term (fig. 3) and at the same time help to sustain the total biomass of the resource. The values used for the simulation were lower than the optimal harvest rate estimated, since that value would correspond to an extraction of 6325 t per fishing season.

In view of the UPG's status as a natural protected area, it is important to adopt precautionary policies. The shrimp fishery data series shows significant variability in CPUE. Catches have declined by almost half in the last 12 fishing seasons and rational exploitation criteria should be developed. The first measure should establish a management strategy that sets limits to catches, such as a constant harvest rate (Hilborn and

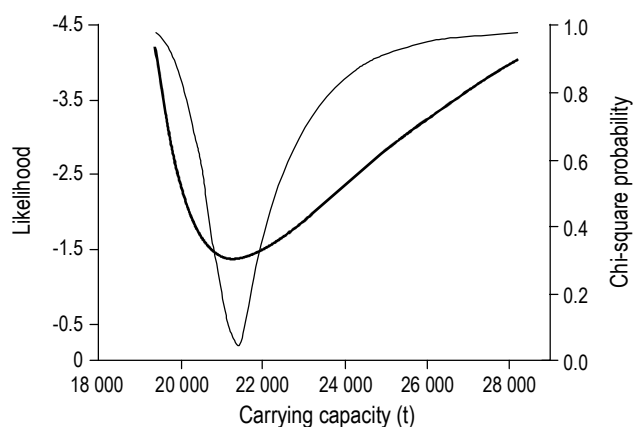


Figure 2. Estimation of carrying capacity (K) of blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) in the buffer zone of the Upper Gulf of California Biosphere Reserve (Mexico). The thick line represents the K values and the thin line the chi-square values.

Figura 2. Estimación de la capacidad de carga (K) de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California, México. La línea gruesa representa los valores de K , y la línea delgada los de chi cuadrada.

niveles de biomasa por encima de las 6000 t, mientras que una cuota de 2400 t los mantendría cerca de las 6000 t (fig. 3).

Considerando estos dos escenarios de cuotas de captura la biomasa se mantendría por debajo del nivel de referencia del rendimiento estimado de 6325 t, aunque también se encontraría por debajo de su nivel de referencia (10,662 t). Se observó que estas cuotas de captura no permiten que la biomasa se incremente a lo largo del tiempo, e incluso una cuota de captura de 2470 t provocaría una caída de la biomasa de la población (fig. 3). Las cuotas analizadas se basan en las capturas históricas registradas, pero el análisis hace evidente que existe un riesgo al mantener el nivel óptimo de la biomasa. Ante estos resultados la cuota de captura no debe exceder las 2400 t y este valor debiese disminuir para que exista un incremento en la biomasa de la especie, esto con el fin de utilizar una estrategia de cuota de captura para la pesquería del camarón azul en el AGC.

Discusión

Este trabajo presenta la primera estimación de biomasa para camarón azul en el AGC. Nuestros resultados muestran que la capacidad de carga del sistema para *L. stylirostris* es $K = 21,323$ t, mientras que la tasa intrínseca de crecimiento de la población es de $r = 1.18$. Con la estimación de estos parámetros además fue posible calcular que el máximo rendimiento sostenido puede ser de 6325 t. Por consiguiente, para obtener este rendimiento es necesario mantener una biomasa mínima de 10,662 t, la cual es entendida como la biomasa que nos llevaría a alcanzar el rendimiento esperado (BMRS). Con esta información pudimos calcular la tasa óptima de explotación, la cual se basa en el valor estimado de la tasa intrínseca de crecimiento de la población (0.59).

El nivel óptimo de rendimiento de 6325 t a partir de una BMRS de 10,662 t representa el primer punto de referencia biológico para la especie. Sin embargo, nosotros consideramos valores precautorios de captura sobre una base histórica de

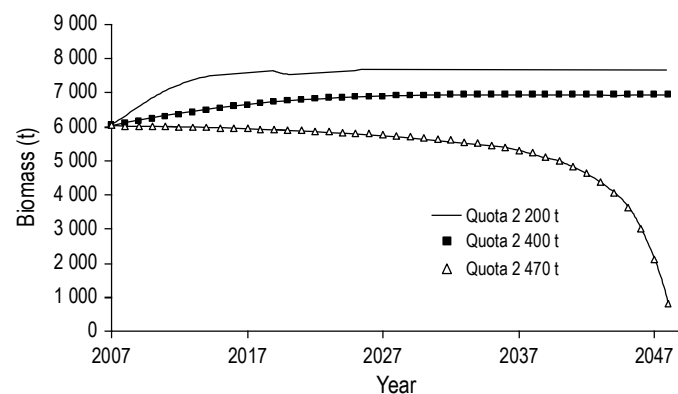


Figure 3. Projection of blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) biomass with three catch quota scenarios in the buffer zone of the Upper Gulf of California Biosphere Reserve (Mexico).

Figura 3. Proyección de la biomasa de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) con tres escenarios de cuota de captura en la zona de amortiguamiento de la Reserva del Alto Golfo de California, México.

Walters 1992). In this study, a constant harvest rate of 0.59 was estimated, which would mean extracting 59% of the available biomass every year. Should this strategy be adopted, it would also be necessary to determine the time needed to define the success of this management policy, as well as to consider alternative procedures that allow more accurate estimations of the biomass, such as conducting experimental trawls from research vessels within the study area.

The model assumes that CPUE is measured with error, so this variation is implicit in the MSY estimate. The CPUE trend did not indicate a strong contrast in the data and the fit of the series showed variability with indefinite change patterns, allowing a hypothesis that relates changes in fishing power. This is a common problem in stock assessment using dynamic biomass models, since the main assumption is that catchability remains constant over time (McAllister and Kirkwood 1998 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001). The first assumption regarding the CPUE data may be unreasonable for several reasons. For example, as previously indicated, catchability can increase in time as fishermen gain better knowledge of the resource and how to exploit it, which can also be a linear function that depends on stock size (Atran and Loesch 1995 and Tanaka 1997 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001). Twenty fishing seasons were analyzed and the variation in catchability could be the main source of error in stock assessment based on CPUE with constant catchability (Ricker 1975, Hilborn and Walters 1992, and Ye and Mohammed 1999 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001).

The diverging opinions may be partially related to the length of the available time series, and to the possible short-term annual variations (or noise) that must be differentiated from the long-term variations. This fact can be confused with variations related to fishing effort, completely biasing the CPUE-effort relation and the resulting evaluation. There are enough indicators to show that shrimp production varies from year to year relative to large-scale climate factors (Barrett and Ralph 1977, Lluch-Belda 1977, Da Silva 1986, Del Valle-Lucero 1989, Solana and Arreguín-Sánchez 1993, and Sheridan 1996 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001). The proposed model assumes that the fishery indicator (CPUE) has a log-normal distribution and is measured with error. The influence of environmental variability and other climate phenomena is indirectly measured when process error estimates are used, without the error obtained necessarily having an explicit environmental significance (Morales-Bojórquez 1999, Morales-Bojórquez *et al.* 2001). In any case, the process error considers that there are sources of variation unrelated to the measurements of the fishery index and to the parameters estimated that can offer a better fit of the model to the data. A global model was used that does not consider environmental impacts, but these should not be disregarded since they have a significant effect on the resource and its abundance variations.

The mechanisms are complex and involve several parameters such as fecundity, recruitment, growth, survival, and

datos, de tal forma que nuestra propuesta muestra como se puede mantener el volumen de las capturas a largo plazo (fig. 3). Esto puede a su vez beneficiar el mantenimiento de la biomasa total del recurso. Los valores usados para la simulación fueron menores a la tasa óptima de explotación estimada, ya que ese valor sería el correspondiente a la extracción de 6325 t por temporada de pesca.

Debido al decreto de área natural protegida que ostenta la zona del AGC es imperativo proceder con un enfoque precautorio. La serie de datos de la pesquería de camarón muestra una gran variabilidad en la CPUE. Las capturas han disminuido a casi la mitad en las últimas 12 temporadas de pesca, lo cual implica que se deben utilizar criterios racionales para la explotación del recurso. El primer criterio es el establecimiento de una estrategia de manejo que limite las capturas, la cual podría consistir en una tasa de explotación constante (Hilborn y Walters 1992). En este trabajo, esta tasa de explotación constante se estimó en 0.59, lo que implicaría extraer 59% de la biomasa disponible cada año. De adoptar esta estrategia, se debe también determinar el tiempo que tomaría definir el éxito de esta medida administrativa, así como considerar procedimientos alternativos que permitan una estimación más precisa de la biomasa, principalmente mediante la investigación mediante cruceros y con arrastres experimentales dentro de la zona de estudio.

El modelo resuelto supone que la CPUE está medida con error, así que la estimación del MRS tiene implícita esa variación. La tendencia de la CPUE no evidenció un fuerte contraste en los datos y el ajuste de la serie presentó una variabilidad con patrones de cambio indefinidos, lo que permite plantear una hipótesis que relacione los cambios en el poder de pesca. Este problema es común en evaluación de stocks con modelos de biomasa dinámicos, ya que su principal suposición es que la capturabilidad permanece constante en el tiempo (McAllister y Kirkwood 1998 en Morales-Bojórquez *et al.* 2001). La primera suposición sobre los datos de CPUE puede no ser razonable por diversas causas. Por ejemplo, como se indicó antes, la capturabilidad puede incrementarse temporalmente conforme los pescadores conocen mejor el recurso y cómo explotarlo, lo cual puede ser también una función lineal que dependa del tamaño del stock (Atran y Loesch 1995 y Tanaka 1997 en Morales-Bojórquez *et al.* 2001). Se analizaron 20 temporadas de pesca y la variación en la capturabilidad puede ser la mayor fuente de error en la evaluación del stock que se basa en CPUE con capturabilidad constante (Ricker 1975, Hilborn y Walters 1992 y Ye y Mohammed 1999 en Morales-Bojórquez *et al.* 2001).

Las opiniones divergentes pueden estar parcialmente relacionadas con el tamaño de la serie de tiempo disponible, y con las posibles variaciones anuales de corto plazo (o ruido) que deben diferenciarse de las variaciones de largo plazo. Este hecho puede confundirse con variaciones relacionadas al esfuerzo de pesca, sesgando completamente la relación de la CPUE-esfuerzo y la evaluación resultante. Hay suficientes indicadores para mostrar que la producción de camarón varía

catchability (García and Le Reste 1981 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001). Our model considers only one hypothesis for the parameter estimates, the hypothesis of observation error, which assumes that the source of error lies in the CPUE data. The effects associated with the variability in the demography of the species (fecundity, recruitment, growth, and survival) and CPUE (catchability) involve sources of variation that influence the fishery index error. Consequently, the estimates for yield and intrinsic rate of population growth, as well as the management figures derived from the model parameters, consider an observation error exclusively associated with CPUE.

Variations in biomass and CPUE estimated with the process error can apparently suggest a biological hypothesis regarding the effect of the environment on population changes and CPUE tendencies. Specifically, extraordinary annual events like El Niño can produce biological changes that may be reflected in the catch (Valenzuela-Quiñones 1998, Lluch-Cota *et al.* 1999, and López-Martínez *et al.* 2000 in Morales-Bojórquez *et al.* 2001). This relation could be defined by an analysis considering environmental variability that would explain the main biological processes that can affect the yield of the shrimp fishery (Morales-Bojórquez *et al.* 2001).

Based on the variability found in the UGC, a permissible catch of 2200 t is feasible, which could be exceptionally increased to 2400 t. A constant harvest rate of 0.59 of the available annual biomass could also prove useful for the management of this resource. This strategy should be adopted for at least one season to assess its effectiveness. To accurately determine the available biomass, we recommend that experimental trawls be conducted within the biosphere reserve by research vessels from the National Fisheries Institute.

Acknowledgements

This study was financed by the Mexican National Fisheries Institute (INP). The first author acknowledges receipt of a scholarship from the Mexican Council for Science and Technology (CONACYT 190129).

References

- Avalos-Hernández M. 1974. Desarrollo histórico de las pesquerías de camarón (*Penaeus* sp.) y totoaba (*Cynoscion macdonaldi*) en la parte norte del Golfo de California. B.Sc. dissertation, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, 37 pp.
- Gracia A. 1996. White shrimp (*Penaeus setiferus*) recruitment overfishing. *Mar. Freshwat. Res.* 47: 59–65.
- Hilborn R, Walters C. 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamics and Uncertainty. Chapman and Hall, New York, 570 pp.
- Hilborn R, Mangel M. 1997. The Ecological Detective. Confronting Models with Data. Monographs in Population Biology, Princeton Academic Press, 315 pp.
- López-Martínez J, Lluch-Cota DB, Arreguín-Sánchez F, Hernández-Vázquez S. 2000. Population dynamics of brown shrimp (*Farfantepenaeus californiensis*) in the Gulf of California as related to El Niño events. In: Wooster WS, LeBlond PH, Allen

de año en año con respecto a los factores climáticos de gran escala (Barrett y Ralph 1977, Lluch-Belda 1977, Da Silva 1986, Del Valle-Lucero 1989, Solana y Arreguín-Sánchez 1993 y Sheridan 1996 en Morales-Bojórquez *et al.* 2001). El modelo propuesto supone que el indicador de la pesquería (CPUE) tiene una distribución log normal y está medido con error. La influencia de la variabilidad ambiental y demás fenómenos climáticos es medida indirectamente cuando se utilizan estimadores con error de proceso, sin que necesariamente el error derivado tenga un significado explícito en términos ambientales (Morales-Bojórquez 1999, Morales-Bojórquez *et al.* 2001). En todo caso, el error de proceso considera que existen fuentes de variación ajenas a las mediciones del índice de la pesquería y de los parámetros estimados, que pueden ofrecer una mayor capacidad de ajuste del modelo a los datos. Utilizamos un modelo global en el que no se consideran los efectos del ambiente, pero éstos no se deben de perder de vista ya que en los hechos tienen una influencia importante sobre el recurso y sus variaciones de abundancia.

Los mecanismos son complejos e involucran varios parámetros como fecundidad, reclutamiento, crecimiento, supervivencia y capturabilidad (García y Le Reste 1981 en Morales-Bojórquez *et al.* 2001). Nuestro modelo considera una sola hipótesis para la estimación de parámetros, la hipótesis es el error de observación, la cual supone que la fuente del error se encuentra en los datos de la CPUE. Los efectos asociados de la variabilidad en la demografía de la especie (fecundidad, reclutamiento, crecimiento y supervivencia), así como el de la CPUE (capturabilidad) implican fuentes de variación que influyen en el error del índice de la pesquería. Por consiguiente, los estimados de rendimiento y tasa intrínseca de crecimiento de la población, así como de las cantidades de manejo derivadas de los parámetros del modelo, consideran un error de observación asociado únicamente a la CPUE.

Aparentemente, las variaciones en la biomasa y CPUE estimada con el estimador de error de proceso pueden sugerir una hipótesis biológica de efecto del ambiente en los cambios de la población y las tendencias de la CPUE. Específicamente, se consideró que eventos extraordinarios de escala anual, como El Niño, pueden causar cambios biológicos que podrían observarse en la captura (Valenzuela-Quiñones 1998, Lluch-Cota *et al.* 1999 y López-Martínez *et al.* 2000 en Morales-Bojórquez *et al.* 2001). Esta relación podría ser definida utilizando un análisis con variabilidad ambiental que explicara los principales procesos biológicos que pueden afectar el rendimiento de la pesquería de camarón (Morales-Bojórquez *et al.* 2001).

Sobre la base de la variabilidad previamente expuesta dentro de la zona de Reserva del AGC es factible una captura permisible de 2200 t, la cual de forma extraordinaria podría incrementarse hasta 2400 t. También sería de utilidad para la administración del recurso el establecimiento de una tasa de explotación constante del 0.59 de la biomasa disponible cada año, estrategia que se debería adoptar al menos por una temporada para evaluar su efectividad. Para precisar la biomasa disponible se recomienda realizar arrastres experimentales dentro

- RL, Leaman BM, Low LL, Tillman MF (eds.), Beyond El Niño: A Conference on Pacific Climate Variability and Marine Ecosystems Impacts, from the Tropics to the Arctic. La Jolla, California, 23–26 March, 98 pp.
- Morales-Bojórquez E. 1999. Análisis del error de proceso y de observación en la estimación del reclutamiento de la sardina del Pacífico, *Sardinops sagax caeruleus* (Girard), en la costa suroeste de la Península de Baja California, México. *Cienc. Mar.* 25(4): 597–608.
- Morales-Bojórquez E, López-Martínez J. 1999. The brown shrimp fishery in the Gulf of California, Mexico. *CalCOFI Rep.* 40: 28.
- Morales-Bojórquez E, López-Martínez J, Hernández-Vázquez S. 2001. Dynamic catch-effort model for the brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes) from the Gulf of California, Mexico. *Cienc. Mar.* 27(1): 105–124.
- Polacheck T, Hilborn R, Punt A. 1993. Fitting surplus production models: Comparing methods and measuring uncertainty. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 2597–2607.
- Punt A. 1992. Selecting management methodologies for marine resources, with an illustration for southern African hake. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 12: 943–958.
- Punt A, Hilborn R. 1996. Biomass dynamic models. User's manual. *FAO Comput. Inf. Ser. (Fish.) No.* 10: 62 pp.

de la zona de reserva del AGC con barcos de investigación del Instituto Nacional de Pesca.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con financiamiento del Instituto Nacional de Pesca. El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología otorgó beca de posgrado al primer autor (CONACYT 190129).

-
- Punt A, Japp DW. 1994. Stock assessment of the Kingklip (*Genypterus capensis*) resource off South Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 14: 133–149.
- Rodríguez de la Cruz MC. 1981. Aspectos pesqueros del camarón de altamar en el Pacífico mexicano. *Cienc. Pesq.* 1(2): 1–19.
- Venzon DJ, Moolgavkar SH. 1988. A method for computing profile likelihood-based confidence intervals. *Appl. Stat.* 37: 87–94.

*Recibido en mayo de 2009;
aceptado en agosto de 2009.*