

**PERSPECTIVA DE LA PESQUERÍA DE CAMARÓN ROSADO  
(*Farfantepenaeus duorarum* BURKENROAD) EN LA  
SONDA DE CAMPECHE, MÉXICO**

**PERSPECTIVE OF THE PINK SHRIMP (*Farfantepenaeus duorarum*  
BURKENROAD) FISHERY OF CAMPECHE BANK, MEXICO**

Mauricio Ramírez-Rodríguez\*  
Ernesto A. Chávez  
Francisco Arreguín-Sánchez

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN  
Apartado postal 592  
La Paz, CP 23000, Baja California Sur, México  
\* E-mail: mramirr@vmredipn.ipn.mx

*Recibido en octubre de 1998; aceptado en agosto de 1999*

**RESUMEN**

Con el fin de caracterizar el estado de la explotación del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* en la Sonda de Campeche, México, y explorar la respuesta del recurso ante diferentes niveles de intensidad de pesca, se utilizó información proveniente de registros de captura en número de individuos por clase comercial, para el periodo de 1986 a 1993. Se aplicó un análisis de población virtual con estructura por edades y se determinaron los patrones estacionales de reclutamiento y de mortalidad por pesca con la edad y la relación entre la población de adultos y reclutas. Se desarrolló un modelo de simulación determinístico que permitió establecer una hipótesis sobre el estado de la pesquería y definir diferentes escenarios de explotación al considerar cambios en la mortalidad por pesca. En el periodo analizado se encontró una tendencia decreciente de la captura que se relaciona con una similar y continua del reclutamiento. A través del modelo de simulación se demostró que una forma inmediata de mitigar la tendencia de la pesquería es mediante el control y reducción de la mortalidad por pesca que se aplica. Si la intensidad de pesca actual se mantiene, la abundancia del recurso seguirá decreciendo.

*Palabras clave:* *Farfantepenaeus duorarum*, pesquería, Sonda de Campeche.

**ABSTRACT**

The pink shrimp, *Farfantepenaeus duorarum*, fishery of Campeche Bank, Mexico, was analyzed in order to characterize it and to test the effect of different fishing intensities upon the stock. Catch data consisted of the number of shrimp per commercial class for the 1986–1993 period. A virtual population analysis structured by age was applied to determine seasonal recruitment and fishing mortality patterns with respect to age, as well as the stock-recruitment relationship. With these results, an age-structured deterministic simulation model was developed, which diagnosed the fishery and defined the effects of different exploitation scenarios by considering changes in fishing mortality. Results show that the

decreasing catch tendency through the period of analysis is related to recruitment failures. The analysis indicated that a way to mitigate the low recruitment problem is to control and reduce fishing mortality, but stock density will continue to decrease if the current fishing intensity is maintained.

*Key words:* *Farfantepenaeus duorarum*, fishery, Campeche Bank.

## INTRODUCCIÓN

La pesquería del camarón en la Sonda de Campeche, al sur del Golfo de México, inició en la década de los años cincuenta. De acuerdo con la información presentada en los *Anuarios Estadísticos de Pesca* (SEPESCA, 1981 a 1992; SEMARNAP, 1994 a 1996) y Arreguín-Sánchez y Chávez (1985), durante los años sesenta y setenta los rendimientos anuales variaron alrededor de 22,000 t de camarón entero (fig. 1). Al inicio de la pesquería, la explotación fue realizada por las flotas de México y de los Estados Unidos de América, y posteriormente se incorporaron barcos con bandera cubana. Desde 1980, sólo opera la flota mexicana y en esta misma década, se observa una notable disminución en las capturas anuales. En los últimos años es evidente una tendencia hacia el colapso de la pesquería.

El potencial de explotación del recurso camarón en la Sonda de Campeche fue estimado en cerca de 30,000 t anuales para todas las especies (Allen y Jones, 1974; Arreguín-Sánchez y Chávez, 1985), de las cuales *Farfantepenaeus duorarum* representaba más del 80%. En los años setenta, las capturas anuales promedio eran mayores que 20,000 t, decreciendo en la década de los años ochenta a poco más de 12,000 t. En la última década, los rendimientos anuales apenas superan las 5,000t.

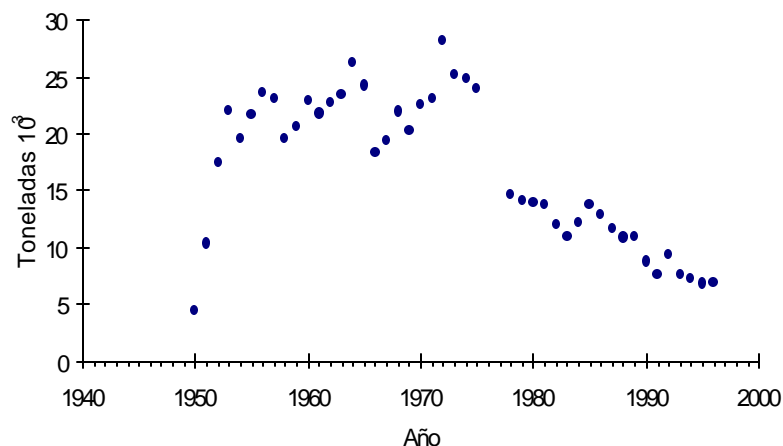
Debido al estado de la pesquería, desde 1993 el gobierno de México estableció una serie de medidas de manejo: prohibición total de la pesca en aguas costeras interiores y en la franja costera marina de 0 a 15 millas

## INTRODUCTION

The shrimp fishery of Campeche Bank in the southern Gulf of Mexico began in the 1950s. According to data from the *Anuario Estadístico de Pesca* (SEPESCA, 1981 to 1992; SEMARNAP, 1994 to 1996) and Arreguín-Sánchez and Chávez (1985), the annual yields during the 1960s and 1970s were around 22,000 t of whole shrimp (fig. 1). At the start of the fishery, the shrimp were caught by Mexican and American ships, and later Cuban. Since 1980, only Mexican ships have operated, and there has been a notable decrease in the annual catches, to the extent that in recent years, the fishery has shown signs of collapsing.

The potential exploitable biomass of shrimp on Campeche Bank has been estimated at close to 30,000 t annually for all species (Allen and Jones, 1974; Arreguín-Sánchez and Chávez, 1985), and of these, *Farfantepenaeus duorarum* contributes more than 80%. During the 1970s, the average annual catches were more than 20,000 t, falling to little more than 12,000 t during the 1980s and in the last decade, the annual yields were slightly more than 5,000 t.

Due to the state of the fishery, in 1993 the Mexican government implemented a series of management regulations: the complete ban of shrimp fishing in inshore waters and from 0 to 15 miles off the coast (*Diario Oficial de la Federación* (Mexico), 19 May 1993); the creation of a closed season from 1 August to 15 November (*Diario Oficial*, 6 May 1997; *Anuario Estadístico de Pesca*, SEMARNAP, 1996), which is reviewed yearly; a mesh size of



**Figura 1.** Captura anual de camarón en la Sonda de Campeche, de 1950 a 1996.  
**Figure 1.** Annual catch of shrimp at Campeche Bank, from 1950 to 1996.

(*Diario Oficial de la Federación* (México), 19 de mayo de 1993); establecimiento de una veda del 1 de agosto al 15 de noviembre (*Diario Oficial*, 6 de mayo de 1997; *Anuario Estadístico de Pesca*, SEMARNAP, 1996), la cual es sujeta a revisión anualmente; tamaño de la luz de malla en las redes de arrastre (4.445 cm); y desde 1996 se decretó a la Laguna de Términos como zona de protección de flora y fauna, siendo ésta considerada como la principal área de crianza de camarones en la Sonda de Campeche (*Diario Oficial*, 4 de noviembre de 1996), por lo que se confirma la prohibición decretada en 1993.

Navarrete-del Prío *et al.* (1994) y Arreguín-Sánchez *et al.* (1997) sugieren que la tendencia observada en las capturas de camarón rosado en años recientes podría relacionarse con el decremento del número de embarcaciones en operación por el retiro de las flotas de Cuba y Estados Unidos, desde 1979, y por la transferencia de la flota del sector privado a las sociedades cooperativas en 1982. Navarrete-del Prío y Uribe-Martínez (1993) señalan que entre 1981 y 1994 el esfuerzo de pesca se redujo de 3724 a 696 viajes; también

the trawl nets of 4.445 cm; and in 1996, Laguna de Términos was established as a sanctuary for flora and fauna, since it is considered to be the principal breeding area of shrimp on Campeche Bank (*Diario Oficial*, 4 November 1996), and falls under the areas banned in 1993.

Navarrete-del Prío *et al.* (1994) and Arreguín-Sánchez *et al.* (1997) suggest that the trend observed in the catches of pink shrimp in recent years may be due to the fewer number of ships in operation as a result of the departure of the Cuban and American fleets in 1979, as well as the shift of the fleet from the private sector to cooperatives in 1982. Navarrete-del Prío and Uribe-Martínez (1993) indicate that fishing effort decreased from 3724 to 696 trips between 1981 and 1994; they also believe that the high mortality rates and increase in the catch of small sizes may be other causes for the decrease in abundance of the resource.

Among the causes reported by Gracia (1995) for the decline of pink shrimp are the reduction of fishing areas caused by the increase in offshore oil drilling platforms in the area during the 1980s, and deterioration of

consideran que las elevadas tasas de mortalidad y el incremento en la captura de tallas pequeñas pudieran ser otras razones del decremento de la abundancia del recurso.

Por otra parte, Gracia (1995) menciona, entre otras posibles causas de la declinación, la disminución de las áreas de pesca por el aumento de plataformas petroleras en la zona, el deterioro de las áreas de crianza y la pesca artesanal sobre el camarón rosado que se desarrolló durante la década de los años ochenta. Por medio de simulaciones, este autor encontró que la explotación comercial de juveniles de camarón rosado efectuada en las costas de los estados de Campeche y Yucatán podría explicar gran parte de la declinación en la producción de camarón.

Arreguín-Sánchez *et al.* (1997) sugieren que como consecuencia del impacto del derrame de petróleo del pozo *Ixtoc I* en 1979/1980, se presentó una disminución de la abundancia de la población de camarón rosado cuyo nicho pudo haber sido ocupado por el camarón café (*Penaeus aztecus*), ya que se observa un incremento en la proporción de esta especie en las capturas, o bien, por otras especies.

Si bien hasta la fecha no existe información sobre las causas del decremento en las capturas de camarón rosado, las estrategias de manejo deben estar orientadas hacia la posibilidad de recuperación del recurso. En este sentido, el objetivo del presente trabajo es caracterizar el estado de explotación de *F. duorarum* en la Sonda de Campeche y explorar la respuesta del recurso ante diferentes niveles de intensidad de pesca a través de un modelo de simulación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La reconstrucción de la población de *F. duorarum* se efectuó a partir de datos de captura mensual, en número de individuos por

breeding areas and artisanal fishery operating on small individuals. Through simulations, this author found that the commercial fishing of pink shrimp juveniles on the coasts of the states of Campeche and Yucatán could explain a large part of the decline in shrimp production.

Arreguín-Sánchez *et al.* (1997) suggest that the 1979–1980 oil spill at *Ixtoc I* caused a decrease in abundance of the pink shrimp population, and its niche might have been occupied by the brown shrimp (*Penaeus aztecus*), since an increase in the proportion of this and other species was observed in the catches.

Even though to date there is no information on the causes of the decrease in the catches of pink shrimp, management strategies should be directed towards the possible recovery of the resource. Therefore, the objective of this study is to describe the state of the fishery of *F. duorarum* on Campeche Bank and explore the response of the resource to different levels of fishing intensity with a simulation model.

## MATERIAL AND METHODS

The population of *F. duorarum*, in number of individuals per commercial class, was reconstructed from monthly catch data recorded at canneries of Campeche from January 1986 to December 1993. A matrix of the number of individuals from each age class was constructed with these data, considering ages from three to seven months, and one group made up of individuals of eight months and older. A simple procedure of partial integration over the catch distribution was used, assuming that the variance of each age class was similar. Age was determined from the age/length ratio derived from the von Bertalanffy model for pink shrimp presented by Gracia (1995).

A virtual population analysis (Gulland, 1965) was applied to the age structure to obtain

clase comercial, registrados en plantas empacadoras de Campeche de enero de 1986 a diciembre de 1993. Con estos datos se construyó una matriz del número de individuos por cada grupo de edad en la captura mensual, considerando edades de tres a siete meses y un grupo conformado por individuos de ocho meses y más de edad. Para ello se utilizó un procedimiento simple de integración parcial sobre la distribución de las capturas, suponiendo que la varianza de cada grupo de edad es similar. La edad se determinó a través de la relación edad/longitud derivada de la solución al modelo de von Bertalanffy para camarón rosado presentada por Gracia (1995).

A partir de la estructura por edades, se aplicó un análisis de población virtual (Gulland, 1965) para obtener estimados de mortalidad por pesca y del número de individuos en la población. El procedimiento de estimación consiste en la asignación de un valor semilla de mortalidad por pesca para la edad terminal,  $F_T$ , y con el valor de la captura correspondiente,  $C_T$ , se estima el número de individuos de esa edad en la población,  $N_T$ , a partir de la relación:

$$N_T = \frac{C_T(M + F_T)}{F_T} \quad (1)$$

donde  $M$  es la tasa instantánea de mortalidad natural estimada de manera independiente,  $M = 0.38 \text{ mes}^{-1}$  (Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997), la cual se supuso constante para todas las edades y en el tiempo. Con estas estimaciones y el valor de la captura del grupo de edad anterior,  $C_{T-1}$ , se estimó la mortalidad por pesca,  $F_{T-1}$ , y el número de individuos,  $N_{T-1}$ , a partir de las siguientes relaciones:

$$\frac{C_{T-1}}{N_T} = \left[ \frac{F_{T-1}}{F_{T-1} + M} \right] \left[ \frac{1 - e^{-(M + F_{T-1})}}{e^{-(F_{T-1} + M)}} \right] \quad (2)$$

estimates of fishing mortality and of the number of individuals in the population. The estimation procedure consists of assigning an initial value of fishing mortality to the terminal age,  $F_T$ , and with the value of the corresponding catch,  $C_T$ , the number of individuals of this age in the population,  $N_T$ , is estimated with the equation:

$$N_T = \frac{C_T(M + F_T)}{F_T} \quad (1)$$

where  $M$  is the instantaneous rate of natural mortality estimated independently,  $M = 0.38 \text{ month}^{-1}$  (Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997), and assumed to be constant for all ages and through time. With these estimates and the catch value of the previous age class,  $C_{T-1}$ , fishing mortality,  $F_{T-1}$ , and the number of individuals,  $N_{T-1}$ , were estimated with the equations:

$$\frac{C_{T-1}}{N_T} = \left[ \frac{F_{T-1}}{F_{T-1} + M} \right] \left[ \frac{1 - e^{-(M + F_{T-1})}}{e^{-(F_{T-1} + M)}} \right] \quad (2)$$

$$N_T = N_{T-1} e^{-(M + F_{T-1})} \quad (3)$$

This procedure was followed until the  $F_i$  and  $N_i$  estimates were obtained for all age classes,  $i$ , of each cohort.

Even though Pope (1972) states that the arbitrary assignment of the initial value  $F_T$  does not represent a large error of estimation (less than 4%), a procedure of error minimization was applied to the estimated and calculated catches, based on the least squares criterion, using Newton's algorithm. The final calibration of the stock size estimate was made by obtaining a fitting factor from the comparison of the observed and estimated catch trends.

$$N_T = N_{T-1} e^{-(M + F_{T-1})} \quad (3)$$

Este procedimiento fue seguido hasta obtener estimaciones de  $F_i$  y  $N_i$  para todos los grupos de edad,  $i$ , de cada cohorte.

Si bien de acuerdo con Pope (1972) la asignación arbitraria del valor semilla de  $F_T$  no representa un error de estimación grande (menor a 4%), con base en las capturas estimadas y calculadas se aplicó un procedimiento de minimización de error basado en el criterio de mínimos cuadrados, utilizando el algoritmo de Newton. La calibración final de la estimación del tamaño de la población se realizó a partir de la obtención de un factor de ajuste derivado de la comparación de las tendencias de las capturas observadas y estimadas.

Con la estimación anual del tamaño de la población se estimó la relación entre la población de adultos y la de los reclutas (PA/R) de acuerdo con el modelo de Beverton y Holt (1957), expresado por la relación  $R = (\alpha PA)/(1 - \beta PA)$ , donde  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros del modelo que representan efectos de mortalidad densoindependiente y densodependiente, respectivamente.

El modelo de simulación constituye una adaptación determinística del propuesto por Chávez (1996), que parte de la reconstrucción de la población y de la estructura por edades de la captura y supone la existencia de una relación funcional parentela/progenie con base en la cual, a partir del número de adultos en un año, se estima el número de reclutas en el año siguiente considerando los cambios producidos en la población al modificar la mortalidad por pesca. A nivel estacional, se estimó la proporción promedio de reclutas por mes a partir del número promedio de reclutas en cada mes de cada año. El patrón estacional de reclutamiento, esto es, la proporción por mes del número de reclutas, se consideró constante,

The relationship between the population of adults and that of recruits (PA/R) was estimated with the annual estimate of stock size, according to the Beverton and Holt (1957) model, expressed by  $R = (\alpha PA)/(1 - \beta PA)$ , where  $\alpha$  and  $\beta$  are the parameters of the model that represent effects of density-independent and density-dependent mortality, respectively.

The simulation model constitutes a deterministic adaptation of that proposed by Chávez (1996). It begins with the reconstruction of the population and age structure of the catch, and assumes the existence of a functional stock-recruitment relationship, which is used to estimate the number of adults in a year, based on the number of recruits of the following year and the changes produced in the population upon modifying fishing mortality. At the seasonal level, the average proportion of recruits per month was estimated from the average number of recruits in each month of each year. The seasonal pattern of recruitment, that is, the monthly proportion of the number of recruits, was assumed constant regardless of recruitment magnitude. Furthermore, since there is no information on the variability of natural mortality, this was also assumed to be constant.

During the simulation, age at recruitment was considered to be the individuals of one month of age ( $t_r = 1$ ) and age at first catch, those of three months of age ( $t_c = 3$ ). The number of individuals and yields were obtained from the effect of survival on the specific cohorts (equation 3) by changing the pattern of exploitation (proportional change in  $F_t$ ), with respect to the previous year. The closed season used corresponded to 1993 (1 August to 15 November).

The simulation was run for 20 years taking into account four scenarios: (a) maintaining  $F$  of the last year constant; (b) decreasing  $F$  of the last year to obtain the maximum catch

independientemente de la magnitud del reclutamiento. También, como no se dispone de información sobre la variabilidad de la mortalidad natural, ésta se supuso constante.

Durante la simulación se consideró como edad de reclutamiento a los individuos de un mes de edad ( $t_r = 1$ ) y como edad de primera captura tres meses de edad ( $t_c = 3$ ). El número de individuos y los rendimientos se obtuvieron por efecto de supervivencia sobre las cohortes específicas (ecuación 3) al aplicar un cambio en el patrón de explotación (cambio proporcional en  $F_t$ ) con respecto al año anterior. El periodo de veda aplicado fue el correspondiente a 1993 (1 de agosto a 15 de noviembre).

La simulación se corrió para un periodo de 20 años considerando cuatro escenarios: (a) mantener  $F$  del último año constante; (b) disminuir  $F$  del último año para obtener la captura máxima sostenida suponiendo condiciones de estabilidad; (c) incrementar  $F$  del último año en 20%; y (d) disminuir  $F$  del último año en 20%. Los indicadores del estado de la pesquería fueron: (1) la captura en toneladas del primer año simulado; (2) la captura promedio en el periodo de los primeros seis años simulados; (3) la captura promedio, en número de individuos y en toneladas, de los últimos diez años simulados; y (4) el número promedio de reclutas en los últimos diez años simulados.

## RESULTADOS

Los datos de captura estimados a partir de los resultados del análisis de población virtual siguieron la misma tendencia que los datos observados. Esto indica que las estimaciones del número de individuos para cada grupo de edad y los patrones de mortalidad por pesca representan adecuadamente el estado de la población y la pesquería (fig. 2).

En el periodo analizado es clara la tendencia a la disminución en la captura total, aunque se observa una leve recuperación en 1993. En

sustained, assuming stability conditions; (c) increasing  $F$  of the last year by 20%; and (d) decreasing  $F$  of the last year by 20%. The indices used to describe the state of the fishery were: (1) the catch in tons of the simulation of the first year; (2) the average catch during the simulation of the first six years; (3) the average catch, in number of individuals and in biomass of the simulation of the last ten years; and (4) the average number of recruits in the simulation of the last ten years.

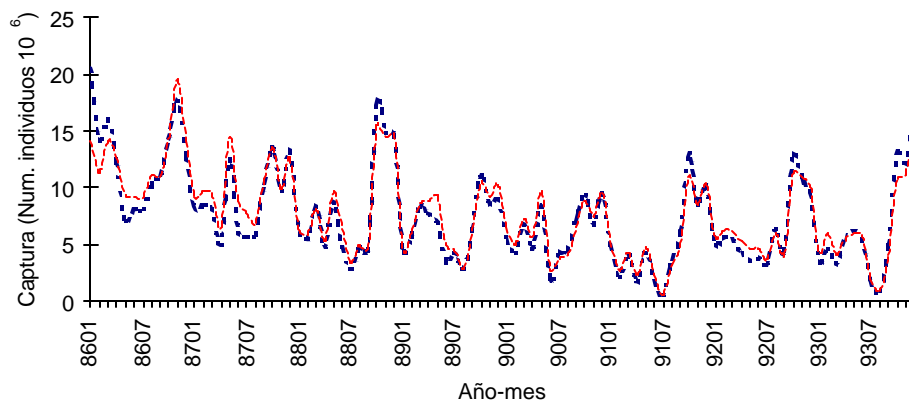
## RESULTS

The catch data estimated from the results of the virtual population analysis present a trend similar to that of the observed data. This indicates that the estimates of the number of individuals for each age class and the patterns of fishing mortality adequately represent the state of the population and fishery (fig. 2).

In the period analyzed, a clear decreasing trend is observed in the total catch, but there is a slight recovery in 1993. The largest catches were generally recorded between October and December. In 1986, however, the period lasted until February.

The fit of the Beverton and Holt model for the stock-recruitment ratio is presented in figure 3. Recruitment estimates decreased yearly, suggesting that the model obtained is only applicable to the conditions present from 1986 to 1993. The period of greatest recruitment occurs from July to August (table 1).

Figure 4 shows the pattern of fishing mortality estimated from the results of the virtual population analysis. It is clear that the age class most affected by exploitation corresponds to that of five months of age. Furthermore, the limits of variation for  $F_t$  with age suggest little change in the variance of  $F_t$  with age, even when it tends to be proportional to the values of  $F_t$ .



**Figura 2.** Captura total mensual observada (línea continua) y calculada (línea punteada) de camarón rosado, *Farfantepenaeus duorarum*, de la Sonda de Campeche, para el periodo de enero de 1986 a diciembre de 1993.

**Figure 2.** Total monthly catch observed (solid line) and calculated (dotted line) of pink shrimp, *Farfantepenaeus duorarum*, of Campeche Bank, from January 1986 to December 1993.

general, las capturas más altas se presentaron entre octubre y diciembre, pero en 1986 este periodo se extendió hasta el mes de febrero.

El ajuste del modelo de Beverton y Holt para la relación parentela/progenie se presenta en la figura 3. Los valores estimados de reclutas disminuyen año con año, lo que sugiere que el modelo obtenido sólo es aplicable a las condiciones presentes en el periodo de 1986 a 1993. El periodo de mayor reclutamiento se da entre los meses de julio y agosto (tabla 1).

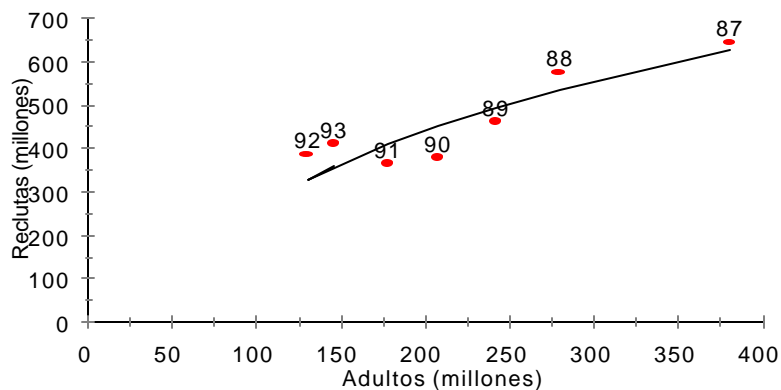
En la figura 4 se presenta el patrón de mortalidad por pesca estimado a partir de los resultados del análisis de población virtual. Es notorio que el grupo de edad más impactado por la explotación corresponde al de cinco meses de edad. Asimismo, los límites de variación de  $F_i$  con la edad sugieren poco cambio en la varianza de  $F_i$  con la edad, aun cuando tiende a ser proporcional a los valores de  $F_i$ .

El valor medio ponderado de la tasa instantánea de mortalidad por pesca anual fue de  $F = 2.09$ , asociado con una captura de 919 t.

The weighted average value of the instantaneous fishing mortality rate per year was  $F = 2.09$ , associated with a catch of 919 t. In order to determine the fishing mortality value for 1994,  $F_{1994}$ , that would produce the maximum yield given by the catch equation (assuming that the system is kept stable), the catch for different  $F$  values was estimated, and with the simulated average of the last ten years, an estimate of the maximum catch was obtained,  $RM = 1074$  t (almost  $76 \times 10^6$  individuals). This magnitude would require a recruitment of  $520 \times 10^6$  individuals and an average fishing mortality per year of  $F_{RM} = 1.46$ .

With regard to the effect of the change in fishing mortality per year, the trends of the fishery were simulated using: (a)  $F = 2.09$ , which corresponds to the fishing mortality of 1994 (fig. 5a); (b)  $F = 1.46$ , with which the maximum sustainable catch is obtained under stability conditions (fig. 5b); (c)  $F = 2.51$ , which represents an increase of 20% in the  $F$  value from 1994 (fig. 5c); and (d)  $F = 1.67$ ,





**Figura 3.** Ajuste del modelo de reclutamiento de Beverton y Holt (1957) para el camarón rosado, *Farfantepenaeus duorarum*, de la Sonda de Campeche ( $\alpha = 3.533$ ,  $\beta = 3.0 \times 10^{-9}$ ).

**Figure 3.** Fit of the Beverton and Holt (1957) recruitment model for the pink shrimp, *Farfantepenaeus duorarum*, of Campeche Bank ( $\alpha = 3.533$ ,  $\beta = 3.0 \times 10^{-9}$ ).

**Tabla 1.** Proporción promedio de reclutas por mes para el camarón rosado, *Farfantepenaeus duorarum*, de la Sonda de Campeche.

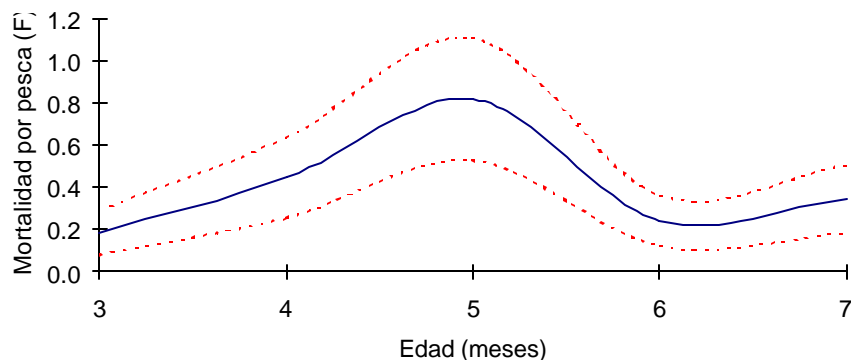
**Table 1.** Average proportion of recruits per month of the pink shrimp, *Farfantepenaeus duorarum*, of Campeche Bank.

Mes	Proporción	Mes	Proporción
Enero	0.07	Julio	0.11
Febrero	0.06	Agosto	0.14
Marzo	0.06	Septiembre	0.07
Abril	0.06	Octubre	0.09
Mayo	0.07	Noviembre	0.07
Junio	0.09	Diciembre	0.06

Para determinar el valor de la mortalidad por pesca para 1994,  $F_{1994}$ , que produciría el rendimiento máximo dado por la ecuación de captura (suponiendo que el sistema se mantiene estable), se estimó la captura para diferentes valores de  $F$  y con el promedio de los últimos 10 años simulados, se obtuvo un estimado de la captura máxima,  $RM = 1074$  t (casi  $76 \times 10^6$  individuos), magnitud que requiere de un reclutamiento de  $520 \times 10^6$  individuos y una

which corresponds to a decrease of 20% of the  $F$  value from 1994.

Table 2 shows that in order to achieve the maximum sustainable catch, the  $F$  value of 1994 must be reduced by 30%, which would reflect a decrease of 9% in the catch of this year, but the average catch obtained from 1994 to 1999 would increase by 26%, indicating a positive trend that is maintained until the end of the simulated period. This represents an



**Figura 4.** Patrón de mortalidad por pesca con la edad (línea sólida) para el camarón rosado, *Farfantepenaeus duorarum*, de la Sonda de Campeche. Las líneas punteadas indican los límites de variación para el periodo 1986 a 1993.

**Figure 4.** Pattern of fishing mortality with age (solid line) for the pink shrimp, *Farfantepenaeus duorarum*, of Campeche Bank. The dotted lines indicate the variation limits of the 1986–1993 period.

**Tabla 2.** Resultados de los escenarios simulados al modificar valores de mortalidad por pesca media anual: (A)  $F_{1994}$ , (B)  $F$  correspondiente a  $F_{RM}$ , (C)  $1.2 \times F_{1994}$ , (D)  $0.8 \times F_{1994}$  (los porcentajes de cambio son relativos al escenario A).  $RM$ : rendimiento máximo dado por la ecuación de captura.

**Table 2.** Results of the scenarios simulated by modifying the mean annual fishing mortality values: (A)  $F_{1994}$ , (B)  $F$  corresponding to  $F_{RM}$ , (C)  $1.2 \times F_{1994}$ , (D)  $0.8 \times F_{1994}$  (the percentages of change are relative to scenario A).  $RM$ : maximum yield given by the catch equation.

Escenario	$F$ media anual	Captura 1994 (t)	Captura promedio 1994–1999 (t)	Captura promedio 2004–2013 (t)	Captura promedio 2004–2013 (ind $\times 10^6$ )	Reclutamiento promedio (ind $\times 10^6$ )
(A) $F_{1994}$	2.09	919	728	591	46.3	305.81
(B) $F_{RM}$	1.46	838	918	1036	76.2	519.96
(C) $1.2 \times F_{1994}$	2.51	942	609	308	25.1	166.83
(D) $0.8 \times F_{1994}$	1.67	873	858	897	67.4	451.03
Porcentajes de cambio en relación a $F_{1994}$						
(B) $F_{RM}$	-30.21	-8.81	+26.10	+75.30	+64.57	+70.03
(C) $1.2 \times F_{1994}$	+20.00	+2.50	-16.35	-47.88	-45.80	-45.45
(D) $0.8 \times F_{1994}$	-20.00	-5.01	+17.86	+51.78	+45.65	+47.49

mortalidad por pesca anual promedio de  $F_{RM}=1.46$ .

Con relación al efecto del cambio en el valor de mortalidad por pesca anual, se simuló las tendencias de la pesquería utilizando: (a)  $F = 2.09$ , que corresponde a la mortalidad por pesca de 1994 (fig. 5A); (b)  $F = 1.46$ , con el cual se obtiene la captura máxima sostenida bajo condiciones de estabilidad (fig. 5B); (c)  $F = 2.51$ , que representa un incremento del 20% en el valor de  $F$  de 1994 (fig. 5C); y (d)  $F = 1.67$  que corresponde a una disminución del 20% del valor de  $F$  de 1994.

En la tabla 2 se observa que para lograr la captura máxima sostenida se requiere reducir en 30% el valor de  $F$  de 1994, lo cual se reflejaría en una disminución del 9% de la captura en ese año, pero la captura promedio obtenida de 1994 a 1999 se incrementaría en 26%, indicando una tendencia positiva que se mantiene hasta el final del periodo simulado. Esto representa un incremento de 75% en los rendimientos en biomasa o del 64% en número de individuos, expresados como el promedio de los últimos diez años simulados. Estos valores también representan un incremento del 70% en el reclutamiento. La disminución del 20% de  $F_{1994}$  tiene efectos similares, aunque de menor magnitud, que siguen la misma tendencia representada en la figura 5B.

El incremento de 20% en la  $F$  anual de 1994 resultó en un incremento del 2.5% de la captura de ese año, pero en la disminución de los rendimientos promedio de los siguientes años, con pérdidas del 16% al 47%, y una reducción del 45% en el reclutamiento.

## DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de población virtual concuerdan razonablemente con lo observado en la pesquería, resultando evidente la tendencia decreciente de la captura en el periodo histórico analizado.

increase of 75% in the biomass yields or of 64% in the number of individuals, expressed as the average of the last ten years simulated. These values also represent an increase of 70% in recruitment. A decrease by 20% of  $F_{1994}$  has similar effects, but of lower magnitude, that follow the same trend represented in figure 5b.

An increase of 20% in the annual  $F$  of 1994 results in an increase of 2.5% in the catch of this year, but a decrease in the average yields of the following years, with losses from 16% to 47% and a 45% reduction in recruitment.

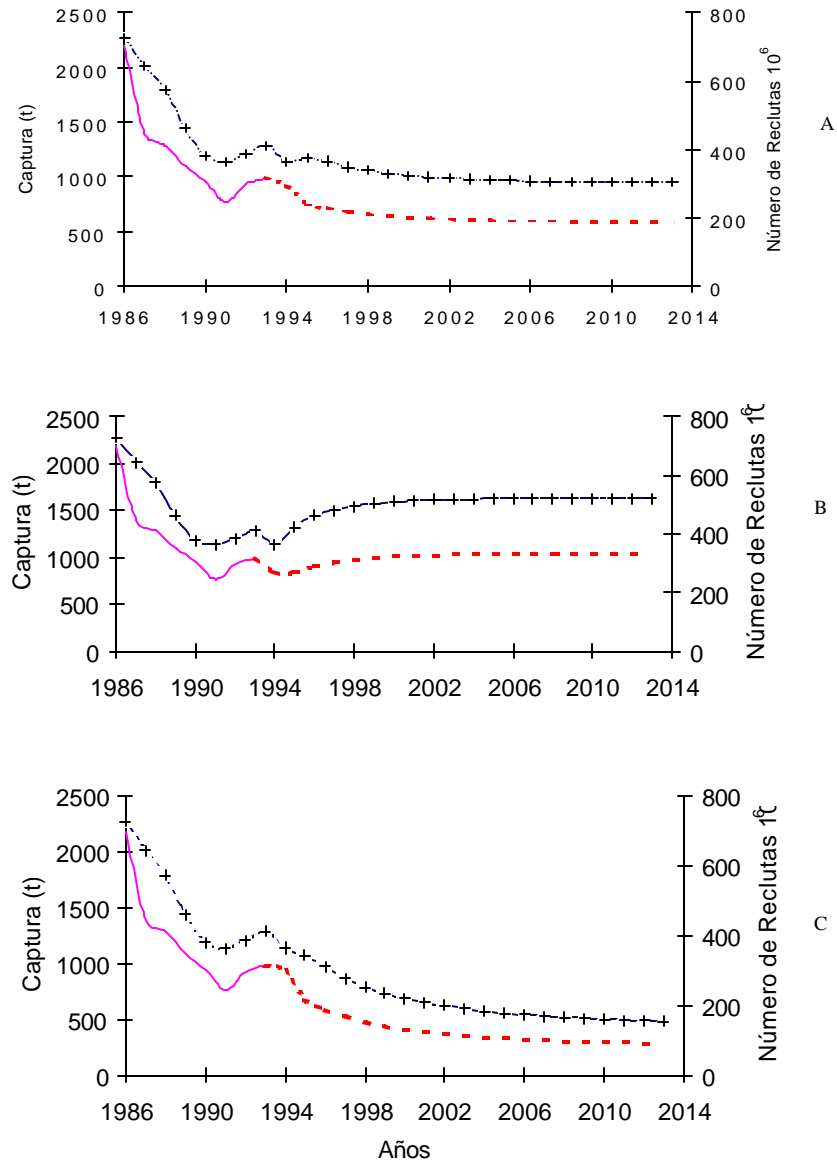
## DISCUSSION

The results of the virtual population analysis reasonably agree with that observed for the fishery, and indicate the decreasing trend in catches during the period analyzed.

The estimated pattern of fishing mortality shows that the age class most affected by exploitation corresponds to that of five months of age. Gracia (1995) states that the maximum biological yield is reached after their emigration to the marine environment, between six and seven months of age. A high exploitation of the five-month-old individuals would directly affect yield.

The simulation model developed represents the behavior of recruitment and catch. An important part of its structure is the PA/R ratio. For the fit of the model, annual data from the virtual population analysis were used. They indicate a clear decline in recruitment, and explain the present state of the fishery.

Given the short life span and high fecundity of pink shrimp, it is possible that the PA/R ratio is dominated by density-independent effects. As suggested by Arreguín-Sánchez (1994) for the brown shrimp (*P. aztecus*), recruitment success depends more on the environmental conditions of the breeding areas, where the early stages of life develop, than on adult



**Figura 5.** Captura observada (línea continua) y simulada (línea discontinua) en toneladas, y número de reclutas observados y simulados (línea truncada) para diferentes niveles de mortalidad por pesca. (A)  $F$  anual = 2.09, (B)  $F$  = 1.46 y (C)  $F$  = 2.51.

**Figure 5.** Catch observed (solid line) and simulated (broken line) in tons, and number of recruits observed and simulated (truncated line) for different levels of fishing mortality. (A) Annual  $F$  = 2.09, (B)  $F$  = 1.46 and (C)  $F$  = 2.51.

El patrón de mortalidad por pesca estimado muestra que el grupo de edad que más impacto recibe por la explotación corresponde al de los cinco meses de edad. Gracia (1995) menciona que el máximo rendimiento biológico se alcanza después de la emigración al medio ambiente marino, entre seis y siete meses de edad. La mayor explotación de los individuos de cinco meses estaría influyendo de manera directa en el rendimiento.

El modelo de simulación desarrollado representa el comportamiento del reclutamiento y de la captura, teniendo como parte importante en su estructura la relación PA/R. Para el ajuste del modelo se utilizaron los datos anuales provenientes del análisis de población virtual, que indican una franca tendencia de reducción del reclutamiento, lo cual explica el estado actual de la pesquería.

Dadas las características del ciclo de vida corto y la elevada fecundidad del camarón rosado, existe la posibilidad de que la relación PA/R esté dominada por efectos densoindependientes y que, como sugiere Arreguín-Sánchez (1994) para el camarón café (*P. aztecus*), el éxito del reclutamiento dependa más de las condiciones ambientales de las zonas de crianza en las cuales se desarrollan los estadios tempranos de vida, que de la abundancia de los adultos. Bajo este contexto, los resultados del modelo indicarían la presencia de un fenómeno de falla en el reclutamiento, pero no se puede determinar si ésta proviene de una sobreexplotación, de cambios en la estructura del ecosistema, o de efectos del medio ambiente sobre la supervivencia del recurso. Sin embargo, para efectos de un sistema explotado (y por tanto para los escenarios simulados), esta tendencia equivale a un fenómeno de sobrepesca del reclutamiento, esto es, a la explotación excesiva de adultos reproductores.

En las simulaciones, la recuperación de la población se busca a través de reducir la mortalidad por pesca sobre adultos, siendo ésta la

abundancia. In this context, the results of the model indicate some type of failure in recruitment, but it is not clear if this is due to over-exploitation, changes in the ecosystem, or environmental effects on the survival of the organism. However, for an exploited system (and therefore the simulated scenarios), this trend is equivalent to recruitment overfishing, that is, to an excessive exploitation of breeding adults.

In the simulations, the recovery of the population is sought by reducing fishing mortality on adults, which is the only source of mortality that can be controlled. However, a decrease in mortality does not necessarily reflect the magnitude at which  $F$  should be reduced; the reason for this is based on three conditions:

1. The expected response of the PA/R model, and therefore, of the simulation model, assumes a stable condition of the exploited population and of the fishery. The estimates of the virtual population analysis and the trends of the catches indicate a continuous decrease in recruitment. This behavior is not represented in the simulation, and the lower level of recruitment is used to represent the scenarios shown in table 2.
2. The PA/R model assumes that the capacity of response of the population is in terms of its parameters, that is, that the population recovers by maintaining the same estimated trend. If the niche is reduced at a rate equal to the differential of the biomass between the actual season and half of the 1970s, and the available resource has been occupied by other species (effect not evaluated in the PA/R model), then recovery will, in all likelihood, be even slower (lesser slope in fig. 3).

única fuente de mortalidad que puede ser controlada. Sin embargo, el decremento en la mortalidad no necesariamente refleja la magnitud en que  $F$  debiera ser reducida. La razón de ello radica en tres condiciones particulares:

1. La respuesta esperada del modelo PA/R y, por tanto, del modelo de simulación, suponen una condición estable de la población explotada y de la pesquería. Las estimaciones del análisis de población virtual y las tendencias de las capturas indican un decremento continuado del reclutamiento. Este comportamiento no es representado en la simulación y en cambio se toma el nivel de reclutamiento más bajo para representar los escenarios mostrados en la tabla 2.
2. El modelo PA/R supone que la capacidad de respuesta de la población se da en función de los parámetros del mismo, esto es, que la población se recupera manteniendo la misma tendencia estimada. Si se considera que el nicho se reduce en una proporción equivalente al diferencial de biomasa entre la época actual con respecto a mitad de los años setenta, y que el recurso disponible ha sido ocupado por otras especies (efecto no evaluado en el modelo PA/R), entonces lo más probable es que la recuperación sea más lenta (menor pendiente en la fig.3).
3. El carácter incierto de la predicción del reclutamiento es especialmente notable en poblaciones de corta longevidad. En este sentido, Walters (1986) sugiere que el reclutamiento debe ser modelado como un proceso fundamentalmente estocástico e impredecible, tomando la función PA/R como una colección de distribuciones de probabilidad (una para cada nivel de la población desovante), de forma tal que la

3. The uncertainty in recruitment prediction is especially noticeable in populations with short life spans. Walters (1986) states that recruitment should be modeled as a fundamentally stochastic and unpredictable process, and the PA/R function should be used as a collection of probability distributions (one for each level of the spawning population), so that the curve describes how average recruitment varies with the spawning population. This uncertainty in recruitment processes suggests that analyses like the one developed here are useful for studying the average long-term responses of various exploitation strategies, but they should not be used to predict short-term responses.

In spite of the above considerations and the particular characteristics of a deterministic model, it is possible to conclude some important aspects of the pink shrimp fishery at Campeche Bank. The actual state of the fishery is due to a failure in recruitment, which has constantly decreased through time. Even though the causes of this failure are not known, the only way to immediately mitigate this impact is through the control and reduction of fishing mortality. Control is obtained through actual management strategies. However, strategies alone will not be sufficient, given that under the present fishing effort, the abundance of the resource will continue to decrease.

It is important to note that the real response of the population to a reduction in  $F$  is still uncertain, since the cause of recruitment failure is not known. Recovery, however, could be slower than that reflected in the simulation scenarios; furthermore, a high risk can be assumed given the inherent uncertainty in recruitment success of the shrimp populations.

curva es una descripción de como el reclutamiento promedio varía con la población desovante. Las consecuencias de esta incertidumbre en los procesos de reclutamiento sugieren que los análisis como el desarrollado en este trabajo son útiles para analizar respuestas promedio a largo plazo de varias estrategias de explotación, sin pretender que la curva sea útil para predicciones a corto plazo.

No obstante las consideraciones anteriores y las características particulares de un modelo determinístico, es posible concluir algunos aspectos de importancia para la pesquería de camarón rosado en la Sonda de Campeche. El estado actual de la pesquería es consecuencia de una falla en el reclutamiento cuya tendencia se ha mantenido decreciendo en el tiempo. Si bien las causas de esta situación no son conocidas, es evidente que la única forma inmediata de mitigar este impacto es a través del control y reducción de la mortalidad por pesca. El control se ejerce a través de las medidas de manejo vigentes, las cuales, sin embargo, no son suficientes dado que bajo la intensidad de pesca actual la abundancia del recurso seguirá decreciendo.

Es importante considerar que la respuesta real de la población al reducir  $F$  es aún incierta, dado que se desconoce el origen de la falla en el reclutamiento. La recuperación, sin embargo, podría ser más lenta que lo reflejado en los escenarios de simulación y más aún, es de suponerse un alto riesgo dada la incertidumbre inherente al éxito del reclutamiento en poblaciones de camarón.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de CONACYT (Ref. 411300-5-0977PT), así como al Instituto Politécnico Nacional el apoyo recibido a través de la COFAA y EDD y del proyecto DEPI-980056.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This study received financial support from CONACYT (Ref. 411300-5-0977PT) and the Instituto Politécnico Nacional through COFAA and EDD and project DEPI-980056.

English translation by Jennifer Davis.

---

#### REFERENCIAS

- Allen, D.M. and Jones, A.C. (1974). Campeche shrimp fishery. Fisheries description. Nat. Mar. Fish. Serv. NOAA, Miami, 56 pp.
- Arreguín-Sánchez, F. (1994). Variabilidad en poblaciones explotadas: Análisis de pesquerías seleccionadas del Golfo de México. En: Yáñez-Arancibia (ed.), Recursos Faunísticos del Litoral de la Península de Yucatán. Univ. Aut. Campeche. EPOMEX Ser. Cient., 2: 75–86.
- Arreguín-Sánchez, F. y Chávez, E.A. (1985). Estado del conocimiento de las pesquerías de camarón en el Golfo de México. Inv. Mar. CICIMAR, 2(2): 23–44.
- Arreguín-Sánchez, F., Schultz-Ruiz, L.E., Gracia, A., Sánchez, J.A. y Alarcón, T. (1997). Estado actual y perspectivas de las pesquerías de camarón del Golfo de México. En: D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.), Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México. EPOMEX Ser. Cient., 7: 145–172.
- Beverton, R.J. and Holt, S.J. (1957). On the dynamics of exploited fish populations. Fish. Inv. Ser. UK Ministry Agric. Fish., London, 2(19): 533 pp.
- Chávez, E.A. (1996). Simulating fisheries for the assessment of optimum harvesting strategies. Naga ICLARM, 19(2): 33–35.
- Gracia, A. (1995). Impacto de la pesca artesanal sobre la producción del camarón rosado *Penaeus Farfantepenaeus duorarum* Burkenroad, 1939. Ciencias Marinas, 21(3): 343–359.
- Gulland, J.A. (1965). Estimation of mortality rates. Annex to Arctic fisheries. Working group report. ICES CM 1965. Doc. 3.

- Navarrete-del Prío, A. y Uribe-Martínez, J. (1993). Evaluación de la pesquería industrial de camarón de altamar del puerto de Campeche, México, en el periodo 1981 a 1990. *Ciencia Pesq.*, 10: 33-41.
- Navarrete-del Prío, A., Garduño, H. y Gracia, A. (1994). Estado actual de la pesquería de camarón en altamar del Golfo de México y el Caribe mexicano. En: Atlas Pesquero de México. Pesquerías Relevantes. Secretaría de Pesca, Inst. Nal. de la Pesca, CENEDIC, Univ. de Colima, CD multimedia.
- Pope, J.G. (1972). An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Intern. Comm. Northw. Atl. Fish. Res. Bull.*, 9: 65-74..
- Walters, C.J. (1986). *Adaptative Policy Design in Renewable Resource Management*. Macmillan, New York, 374 pp.