

Periodo reproductivo del camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) en la laguna costera de Agiabampo, Sonora/Sinaloa, México

Reproductive period of the brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) in the Agiabampo coastal lagoon system, Sonora/Sinaloa, Mexico

Judith Carolina Romero-Sedano¹
Eugenio Alberto Aragón-Noriega^{1*}
Mercedes Marlene Manzano-Sarabia²
César Augusto Salinas-Zavala²
Alma Rosa García-Juárez³

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Unidad Guaymas
Km 2.35 Camino al Tular
Estero Bacoichibampo
Guaymas, CP 85454, Sonora, México
* E-mail: aaragon04@cibnor.mx

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Mar Bermejo 195
Col. Playa Palo de Santa Rita
La Paz, CP 23090, Baja California Sur, México

³ Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Guaymas, INP
Calle 20, No. 605 sur
Col. Cantera
Guaymas, CP 85400, Sonora, México

Recibido en julio de 2003; aceptado en abril de 2004

Resumen

Los aspectos biológicos del camarón café *Farfantepenaeus californiensis* en las lagunas costeras son desconocidos ya que se ha clasificado como especie oceánica que puede o no penetrar a esos ecosistemas y, si lo hace, los abandona a tallas máximas de 35 mm de longitud total (LT). En años recientes se ha capturado camarón café en la laguna costera de Agiabampo, Sonora/Sinaloa. El objetivo de este estudio fue describir el periodo reproductivo del camarón café en ese sistema lagunar costero. Se realizaron muestreos mensuales de enero a diciembre de 2002, durante cinco días continuos en los periodos de luna llena. Se hicieron lances con red de arrastre (15 m de relinga superior) durante el flujo y reflujo de marea en 24 estaciones georreferenciadas del interior de la laguna. Se capturaron 27,694 organismos con una relación macho:hembra de 4:3. De acuerdo con la proporción de hembras maduras se identificaron dos periodos reproductivos en el año: uno de junio a julio (verano) y el otro de octubre a noviembre (otoño). Sin embargo, la abundancia media de hembras maduras por hectárea fue 20 org ha⁻¹ en verano y 2 org ha⁻¹ en otoño. La talla media de las hembras maduras en verano (129.9 mm LT) fue significativamente menor ($P < 0.05$) que en otoño (134.5 mm LT). La talla de primera madurez fue igual en ambos periodos: 145 mm LT. Un resultado relevante obtenido sobre la biología de *F. californiensis* es la evidencia de que una fracción de la población madura dentro del sistema lagunar y presenta un solo desove importante al año.

Palabras clave: reproducción, camarón café, *Farfantepenaeus californiensis*, Agiabampo.

Abstract

Knowledge of the biological role of the brown shrimp, *Farfantepenaeus californiensis*, in coastal lagoons is lacking. This species has been classified as oceanic that may or may not enter coastal lagoons in early stages and if it does, it migrates back to the ocean when it attains a size of 35 mm total length (TL). Recently, the brown shrimp has been caught in the Agiabampo coastal lagoon system, in Sonora/Sinaloa (Mexico), and the objective of this study is to describe the reproductive period of this species in that system. Monthly sampling campaigns were carried out from January to December 2002, during five consecutive days.

Tows in 24 geopositioned stations were done during high and low tide using 15-m-wide trawl nets. A total of 27,694 organisms were analyzed, with a male:female ratio of 4:3. Based on the proportion of mature females, we determined two reproductive periods: one from June to July (summer) and another from October to November (autumn); however, the average abundance was 20 org ha⁻¹ in summer and 2 org ha⁻¹ in autumn. The average size of mature females was significantly smaller ($P < 0.05$) in summer (129.9 mm TL) than in autumn (134.5 mm TL). Size at first maturity was 145 mm TL in both periods. An important result that contributes to the biological knowledge of *F. californiensis* is evidence that part of the population matures inside this coastal lagoon and presents one important spawn deposition per year.

Key words: reproduction, brown shrimp, *Farfantepenaeus californiensis*, Agiabampo.

Introducción

El estudio de la reproducción en organismos sujetos a explotación es crucial para su manejo como recurso pesquero. Los regímenes de administración se basan en proteger a los organismos en etapa reproductiva ya que éstos son la base la renovación y conservación de las pesquerías (García, 1985).

La pesquería de camarón en el Pacífico mexicano está sustentada especialmente en la captura de tres especies que constituyen alrededor del 90% de la captura total: el camarón café, *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900); el camarón azul, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1871); y el camarón blanco, *L. vannamei* (Boone, 1931). La captura comercial de estas especies se realiza en dos zonas: la plataforma continental y en aguas estuarinas tales como bahías, marismas, lagunas costeras y esteros (Magallón-Barajas, 1987).

El comportamiento de los camarones peneidos que habitan en el Golfo de California se ha establecido en general para las especies que requieren de los sistemas estuarinos para crecer, generalizando el ciclo de vida y siendo aceptado como común a todos los camarones, con ligeras variantes para cada especie (Edwards, 1978). Este esquema de ciclo de vida es aplicable para sistemas estuarinos con conexión efímera al mar y circulación positiva, como los descritos por Kjerfve (1986) en su clasificación de lagunas costeras. En lagunas áridas de comunicación permanente con al mar y circulación estuarina negativa, los camarones peneidos desarrollan un ciclo de vida con características propias que difiere del aceptado para la ecología común entre los camarones. Es posible generalizar este ciclo de vida para especies de las lagunas costeras con características áridas del noroeste del Golfo de California, tal como lo demostró Arreola-Lizárraga *et al.* (2003) para las especies de *Callinectes* spp. en la laguna de Guásimas, Sonora.

Entre las especies explotables, *F. californiensis* se ha clasificado como de hábitos marinos (García y Le Reste, 1981), no obstante penetra a aguas someras interiores durante sus primeros estadios postlarvales para dejarlas cuando ha alcanzado una longitud total media aproximada de 35 mm (Mathews, 1981). Incluso se ha dicho que depende tan poco de las lagunas costeras que podría o no entrar a ellas durante sus estadios tempranos (Leal-Gaxiola *et al.*, 2001).

Según Edwards (1978), en las lagunas costeras del sur de Sinaloa el camarón café puede formar parte de las capturas comerciales junto con el camarón azul y el camarón blanco durante el primer mes de pesca. Este autor no aporta más datos

Introduction

The study of reproduction in species subject to exploitation is essential for good fishery resource management, which is based on protecting organisms in the reproductive stage in order to assure the renovation and conservation of the fisheries (García, 1985).

The Mexican Pacific shrimp fishery targets three species that constitute around 90% of the total catch: brown shrimp, *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900); blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1871); and white shrimp, *L. vannamei* (Boone, 1931). These species are commercially fished on the continental shelf and in estuarine waters of bays, marshes, coastal lagoons and estuaries (Magallón-Barajas, 1987).

The behaviour of penaeid shrimp inhabiting the Gulf of California was broadly established for all species that depend on estuarine systems for their growth; the life cycle was generalized and commonly accepted for all shrimp, with slight variations for each species (Edwards, 1978). This life cycle is applicable to estuarine systems with an ephemeral connection to the sea and positive circulation, such as those described in Kjerfve's (1986) classification of coastal lagoons. In arid lagoons with permanent connection to the sea and negative estuarine circulation, penaeid shrimp develop a particular life cycle that differs from that accepted for the general shrimp ecology. It is possible to generalize this life cycle for species from coastal lagoons with arid characteristics of northwestern Gulf of California, as shown by Arreola-Lizárraga *et al.* (2003) for *Callinectes* spp. in Guásimas Lagoon, Sonora.

Of the species exploited, *F. californiensis* has been classified as oceanic (García and Le Reste, 1981), though it enters shallow inner waters during the first postlarval stages and leaves when it has attained a mean total length of 35 mm (Mathews, 1981). It has been said that this species depends so little on coastal lagoons that it may or may not enter them during its early stages (Leal-Gaxiola *et al.*, 2001).

In coastal lagoons of southern Sinaloa, brown shrimp may appear in the commercial catches along with blue and white shrimp during the first month of the fishing season (Edwards, 1978); however, this author does not provide more data regarding percentages of occurrence or catch sizes. This species has never been officially recorded in coastal lagoon catches (Mathews, 1981; Del Valle and Martin, 1995). Despite

sobre porcentajes de aparición o tallas de captura. El camarón café nunca se ha registrado oficialmente en las capturas de lagunas costeras (Mathews, 1981; Del Valle y Martin, 1995). A pesar de ello, durante las últimas temporadas de pesca se ha observado que el camarón café forma parte importante de las capturas en las lagunas costeras de Sonora. Es necesario aclarar que entre las lagunas costeras del sur de Sinaloa y las del norte de Sinaloa y sur de Sonora existen diferencias fundamentales en cuanto a su conexión con el mar. Los sistemas lagunares del sur de Sinaloa se conectan al mar por medio de esteros cuyo intercambio con el mar queda interrumpido en determinados periodos del año (Poli y Calderón-Pérez, 1987). En el norte de Sinaloa y sur de Sonora la conexión e intercambio con el mar es permanente durante todo el año (Arreola-Lizárraga *et al.*, 2003).

García (1985) explicó que la pesca sucesiva de camarones *Litopenaeus* a camarones *Farfantepenaeus* sucede en varios países tropicales, argumentando que no se dedica un esfuerzo específico a la captura de los camarones del género *Farfantepenaeus*, dado que éstos son de hábitos preferentemente nocturnos. La realidad es que se desconocen los aspectos biológicos del camarón café en las lagunas costeras de Sonora y Sinaloa.

Sobre la reproducción de *F. californiensis* se han realizado estudios sólo en el hábitat marino, pero ninguno se refiere a su madurez o desove en lagunas costeras (Edwards, 1978; Mathews, 1981; Leal-Gaxiola *et al.*, 2001). El propósito de este estudio fue describir la biología reproductiva del camarón café mediante la obtención de datos recientes dentro del sistema lagunar Agiabampo, Sonora/Sinaloa, para determinar el periodo y la talla de madurez sexual de la fracción de la población de *F. californiensis* que madura dentro de ese sistema lagunar costero.

Material y métodos

Área de estudio

El sistema lagunar Agiabampo, Sonora/Sinaloa, se encuentra localizado entre 26°07' y 26°29' N y 109°05' y 109°20' W; está compuesto por tres cuerpos de agua conectados entre sí que comparten una sola boca (aproximadamente 1.5 km de ancho) que los conecta con el Golfo de California. Estos cuerpos de agua se denominan localmente Bacorehuis, Jitzámuri y Bamocha (fig. 1). El primero de ellos se encuentra localizado al oriente del sistema, tiene una superficie de 2,505 km² y presenta varias zonas someras de hasta 1 m de profundidad y un canal submarino con una profundidad máxima de 10 m. En la boca hacia mar abierto se encuentra un canal de 20 m de profundidad en donde la velocidad de la corriente alcanza 3 m s⁻¹.

El clima del lugar es cálido seco con una precipitación media anual de 200 a 400 mm y la evaporación potencial en la región es de 2300 mm anuales. La temperatura del agua presenta máximos en abril y mayo con valores de hasta 32.6°C, y mínimos en febrero entre 20° y 23°C, y aunque en las

the above, during the past fishing seasons we have observed that brown shrimp constitute an important part of the catches from the coastal lagoons of Sonora. It is necessary to point out that fundamental differences exist between the coastal lagoons of southern Sinaloa and those of northern Sinaloa and southern Sonora in regard to the connection with the sea. The coastal lagoons of southern Sinaloa connect to the sea by estuaries where water exchange is interrupted at certain times of the year (Poli and Calderón-Pérez, 1987), whereas the lagoons of northern Sinaloa and southern Sonora maintain a permanent communication and exchange with the sea throughout the year (Arreola-Lizárraga *et al.*, 2003).

García (1985) explained that the successive fishing of *Litopenaeus* shrimp to *Farfantepenaeus* shrimp occurred in several tropical countries and that effort was not dedicated to capturing the latter because of their preferentially nocturnal habits. The reality is that there is a lack of knowledge regarding biological aspects of the brown shrimp in the coastal lagoons of Sonora and Sinaloa.

Studies on brown shrimp reproduction have only been conducted in the marine habitat and none refer to maturity or spawning in coastal lagoons (Edwards, 1978; Mathews, 1981; Leal-Gaxiola *et al.*, 2001). This study aims to describe the reproductive biology of *F. californiensis* based on data recently obtained from the Agiabampo coastal lagoon system in Sonora/Sinaloa (Mexico), and to determine the period and size of sexual maturity of the fraction of the population that matures within this system.

Materials and methods

Study area

The Agiabampo coastal lagoon system (26°07'–26°29' N, 109°05'–109°20' W) is composed of three interconnected water bodies that share a single mouth (approximately 1.5 km wide) which connects them to the Gulf of California. These water bodies are locally known as Bacorehuis, Jitzámuri and Bamocha (fig. 1). The first is located in the eastern part of the system and covers an area of 2505 km². It has several shallow zones of up to 1 m in depth and a submarine canyon with a maximum depth of 10 m. There is a 20-m-deep offshore channel at the mouth where current velocities reach 3 m s⁻¹.

The climate is dry and warm, with a mean annual rainfall of 200–400 mm and annual potential evaporation in the region of 2300 mm. Water temperature is maximum (32.6°C) in April and May, and minimum (20–23°C) in February. Though the water is warmer in the inlets than in middle of the lagoon channels, the daily variations are not critical. Salinity presents hyperhaline values with wide variations throughout the year, ranging from typically marine at the mouth to 42 psu during the warm months (Licea-Durán, 1974).

ensenadas las aguas son más cálidas que en el centro de los canales de la laguna, las oscilaciones diarias no son críticas. La salinidad presenta valores hiperhalinos con amplias variaciones a lo largo del año, desde típicamente marinas en la boca hasta 42 ups en los meses cálidos (Licea-Durán, 1974).

Muestreos

Se realizaron muestreos biológicos mensuales de las poblaciones de camarón durante la luna llena, durante cinco días continuos (desde dos días antes de la luna llena, el día de luna llena y hasta dos días después), a bordo de embarcaciones menores, de 7 m de eslora. Se utilizaron redes de arrastre de 15 m de relinga superior y 32 mm de luz de malla. Los arrastres se efectuaron cada hora y media durante la bajamar y la pleamar, cada uno con duración de 10 min. En el interior de la laguna se hicieron muestreos en 24 estaciones georreferenciadas (fig. 1).

La temperatura y salinidad se midieron simultáneamente con los lances de pesca. La temperatura se midió con un termómetro de inmersión y la salinidad con un refractómetro. En la boca del sistema (estación 17) se colocó un equipo autónomo Hydrolab para medición de la temperatura y salinidad del agua. El equipo se colocaba durante 24 h a 1 m de profundidad de la superficie. Para los propósitos de presentación, en este trabajo se utilizaron los datos promediados de las estaciones 10, 14, 15, 17, 18 y 19, por ser las zonas de mayor abundancia de camarón durante el estudio.

A los organismos capturados se les midió la longitud total, desde la punta del rostro hasta la punta del telson. El grado de madurez gonádica de las hembras se determinó con base en la escala morfocromática descrita por Leal-Gaxiola *et al.* (2001): I, inmaduro; II, madurez en desarrollo; III, madurez avanzada; y IV, desovado. Los machos se consideraron maduros una vez que se había formado el petasma por la unión de los endopodios del primer par de pleópodos. Cuando éstos se hayaban separados los machos se consideraron inmaduros. El patrón reproductivo se consideró como el porcentaje de hembras maduras a lo largo del muestreo. La talla de primera madurez se determinó agrupando a los organismos inmaduros (estadios I y II) y maduros (estadios III y IV); posteriormente se obtuvo la proporción entre éstos para cada talla y usando el modelo descrito por King (1995):

$$P = \frac{1}{1 + e^{-r(L - L_m)}} \quad (1)$$

de la que se obtiene

$$\ln\left(\frac{1 - P}{P}\right) = rL_m - rL \quad (2)$$

donde *P* es la proporción de hembras maduras, *r* la pendiente de la curva y *L_m* es la longitud de primera madurez o longitud a la cual el 50 % de las hembras son ovígeras.

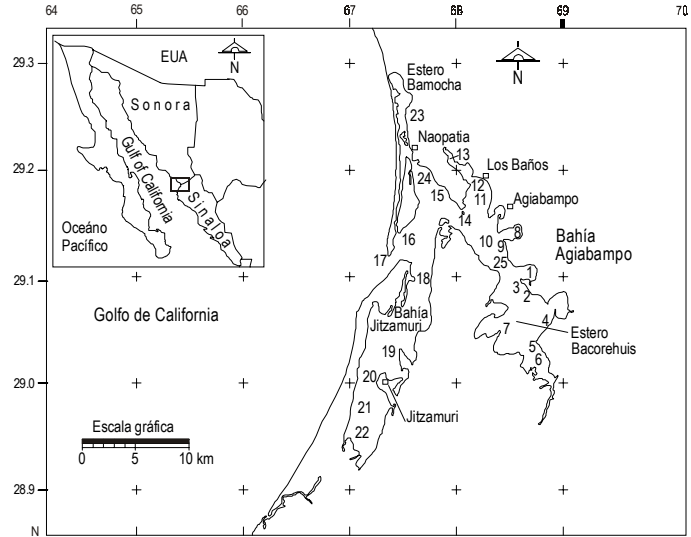


Figura 1. Localización de la laguna costera de Agiabampo (Sinaloa/Sonora, México) y de las estaciones de muestreo.

Figure 1. Location of the Agiabampo coastal lagoon system (Sinaloa/Sonora, Mexico) and of the sampling stations.

Surveys

Biological samplings of the shrimp population were conducted monthly from January to December 2002, during five continuous days of the full moon period (two days before the full moon, the day of the full moon and two days afterwards). Samples were collected using 15-m-wide trawl nets, with a mesh size of 32 mm, aboard small vessels of 7 m in length. Tows were made every hour and a half during low and high tide and lasted 10 min. A total of 24 georeferenced stations were sampled within the lagoon (fig. 1).

Temperature and salinity were measured at the same time as the fishing sets, using an immersion thermometer and a refractometer, respectively. An autonomous instrument (Hydrolab) was installed at the mouth of the system (station 17) to measure water temperature and salinity. The instrument was placed for 24 h at a depth of 1 m from the surface. The averaged data recorded at stations 10, 14, 15, 17, 18 and 19 were used herein because of the greater abundance of shrimp in these zones during the study.

The total length (TL) of the organisms captured was measured from the tip of the rostrum to the tip of the telson. The stage of female gonadal maturity was determined based on the morphochromatic scale described by Leal-Gaxiola *et al.* (2001): I, immature; II, developing; III, advanced maturity; and IV, spent. Males were considered mature once the petasma had been formed by the union of the endopods of the first pair of pleopods, and immature when they were separated. The reproductive pattern was based on the percentage of mature females throughout the study. The size at first maturity was determined by grouping the immature (stages I and II) and mature (stages

Posteriormente se graficó $\ln\left(\frac{1-P}{P}\right)$ contra L y, usando una regresión lineal simple, se calcularon los valores de los parámetros de ajuste de la línea para posteriormente obtener

$$\begin{aligned} r &= -b \\ L_m &= a/r \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de r y L_m en la ecuación 1 se calculó la proporción de hembras maduras para cada talla y éstas se restó de las proporciones observadas. Aplicando el criterio de mínimos cuadrados a los residuos se recalculó el valor de L_m por medio de iteraciones.

Para el análisis de la madurez en el interior del sistema se dividieron los datos considerando dos estaciones, verano y otoño, se compararon las tallas de las hembras maduras en las dos estaciones y se determinó la diferencia de temperaturas entre verano y otoño.

Debido a que el patrón de reproducción mostró dos periodos de máximo porcentaje de hembras maduras, se determinó la abundancia de hembras maduras por hectárea utilizando el método de área barrida descrito por Sparre y Venema (1995). Para ello se contó con geoposicionadores satelitales (GPS) que ubicaron el inicio y el final de cada arrastre. La eficiencia de la red se calculó tomando en cuenta la velocidad de la embarcación y la distancia entre los cables. Finalmente, se dividió la cantidad de hembras maduras (estadios III y IV) entre el área calculada en hectáreas.

Resultados

Se analizaron un total de 27,694 organismos (12,297 hembras y 15,397 machos) con una relación resultante macho:hembra de 4:3.

La temperatura del agua en la laguna costera de Agiabampo presentó una clara variación estacional. Durante el verano (julio, agosto y septiembre) la temperatura fue mayor a los 30°C, mientras que en el invierno (diciembre y enero) la temperatura es alrededor de 18°C. Esto da una diferencia de 12°C entre ambas estaciones del año (fig. 2).

La salinidad presentó una variación con tendencia ascendente de marzo a julio y descendente de julio a noviembre (fig. 2). El máximo fue de 39 ups en febrero y el mínimo de 35 ups en octubre y noviembre.

Periodo de madurez sexual

El porcentaje de machos maduros fue superior a 60% en todo el periodo de muestreo, excepto de agosto a octubre (fig. 3), cuando fue inferior a 30%. Partiendo de este resultado, para definir el periodo reproductivo de camarón café *F. californiensis* en el interior de la laguna costera de Agiabampo, se consideró sólo a las hembras maduras.

Se presentaron dos periodos con presencia de hembras maduras: el primero de junio a julio y el segundo de octubre a

III and IV) organisms, and the proportion was then obtained for each size. Using the model described by King (1995):

$$P = \frac{1}{1 + e^{-r(L - L_m)}} \quad (1)$$

the following is obtained:

$$\ln\left(\frac{1-P}{P}\right) = rL_m - rL \quad (2)$$

where P is the proportion of mature females, r is the slope of the curve and L_m is the length at first maturity or length at which 50% of the females are ovigerous.

Subsequently, we plotted $\ln\left(\frac{1-P}{P}\right)$ vs L and, using simple linear regression, we calculated the values of the fit parameters of the line, obtaining:

$$\begin{aligned} r &= -b \\ L_m &= a/r \end{aligned}$$

Substituting the values of r and L_m in equation 1, the proportion of mature females was calculated for each size and subtracted from the proportions observed. Applying the least squares criterion to the residuals, the value of L_m was iteratively recalculated.

To analyze maturity in the inner part of the system, the summer and autumn sizes of mature females were compared. The difference in temperature between these seasons was determined.

Since the reproduction pattern showed two periods with maximum percentage of mature females, we determined the abundance of mature females per hectare using the swept-area method described by Sparre and Venema (1995). Global Positioning Satellites (GPS) were used to establish the beginning and end of each tow. The efficiency of the net was calculated by taking into account the vessel's speed and the distance between the cables. Finally, the number of mature females (stages III and IV) was divided by the area calculated in hectares.

Results

A total of 27,694 organisms were analyzed (12,297 females and 15,397 males), with a male:female ratio of 4:3.

Water temperature at Agiabampo coastal lagoon presented a clear seasonal variation, with values of more than 30°C in summer (July, August and September) and of about 18°C in winter (December and January). This gives a difference of 12°C between both seasons (fig. 2).

Salinity presented an increasing trend from March to July and a decreasing trend from July to November (fig. 2). A

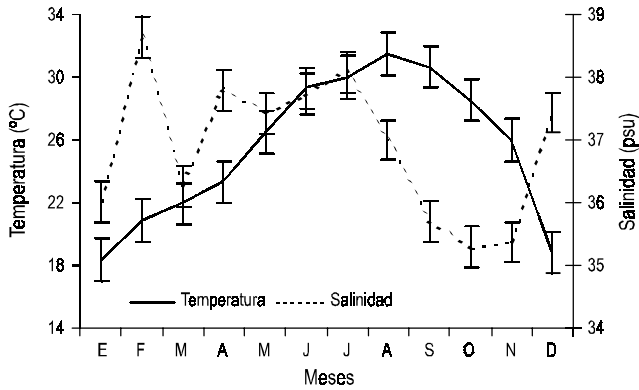


Figura 2. Temperatura y salinidad medias registradas en el agua del interior de la laguna costera de Agiabampo.
Figure 2. Mean water temperature and salinity recorded within the Agiabampo coastal lagoon system.

noviembre. El mayor porcentaje de hembras maduras se encontró en noviembre (fig. 3).

Talla de primera madurez sexual

Para estimar la talla de primera madurez sexual de hembras en los dos periodos reproductivos se usó la ecuación 1 (los parámetros se muestran en la tabla 1). La talla de primera madurez para las hembras maduras en el mes de junio fue 145.01 mm LT (fig. 4) y para las hembras de noviembre ésta fue 145.67 mm LT. Para le estimación en los machos se tomaron organismos maduros a lo largo de todo el periodo de muestreo y se encontró que la talla de primera madurez fue de 112.87 mm LT.

Frecuencia de tallas

Se capturaron machos maduros de 45 a 170 mm LT, con un promedio de 106.79 mm (± 0.17) LT y coeficiente de variación (CV) de 9%. Las hembras maduras de todo el periodo de muestreo presentaron tallas de 90 a 165 mm, con promedio de 133.32 mm (±1.90) LT y CV de 11%. La diferencia entre machos y hembras fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$).

La frecuencia de tallas mostrada por las hembras de camarón café durante los dos periodos reproductivos se observa en la figura 5. Durante el verano se observó un intervalo de tallas

Tabla 1. Parámetros para el modelo de talla de primera madurez descrito por King (1995).
Table 1. Parameters for the size at first maturity model described by King (1995).

Parámetro	Machos	Hembras junio	Hembras noviembre
r	0.1294	0.061	0.089
L_m	112.87	145.01	145.67

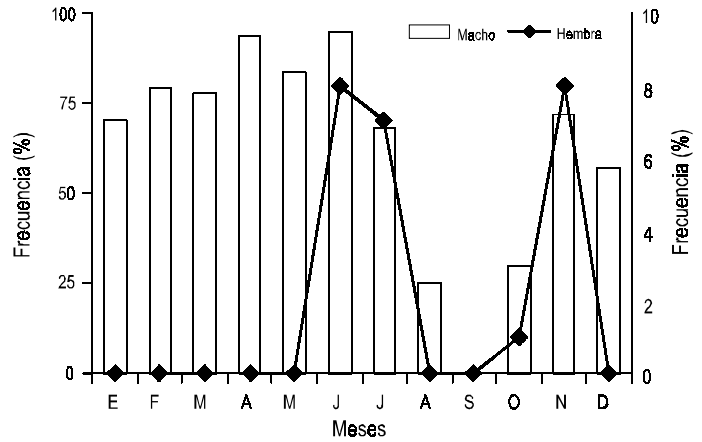


Figura 3. Periodo de madurez de machos y hembras de camarón café *Farfantepenaeus californiensis* de la laguna costera de Agiabampo.
Figure 3. Maturity period of male and female brown shrimp, *Farfantepenaeus californiensis*, at Agiabampo coastal lagoon.

maximum value of 39 psu was recorded in February and a minimum of 35 psu in October and November.

Stage of sexual maturity

The percentage of mature males was more than 60% throughout the sampling period, except from August to October (fig. 3), when it was less than 30%. Hence, only mature females were considered to define the reproductive period of *F. californiensis* inside the Agiabampo lagoon system.

Mature females occurred during two periods: the first from June to July and the second from October to November. The highest percentage of mature females was found in November (fig. 3).

Size at first maturity

Equation 1 was used to estimate the size at first maturity of females in the two reproductive periods (the parameters are given in table 1). For mature females, the size at first maturity was 145.01 mm TL in June (fig. 4) and 145.67 mm TL in November. Mature males were taken throughout the sampling period and the size at first maturity was 112.87 mm TL.

Size frequency

Mature males measured from 45 to 170 mm TL, with a mean TL of 106.79 mm (±0.17) and coefficient of variation of 9%. Sizes of 90 to 165 mm were recorded for mature females throughout the sampling period, with a mean TL of 133.32 mm (±1.90) and coefficient of variation of 11%. The difference between males and females was statistically significant ($P < 0.05$).

Figure 5 shows the size frequency of female brown shrimp during the two reproductive periods. Sizes ranged from 100 to 180 mm TL in summer and from 105 to 165 mm TL in autumn.

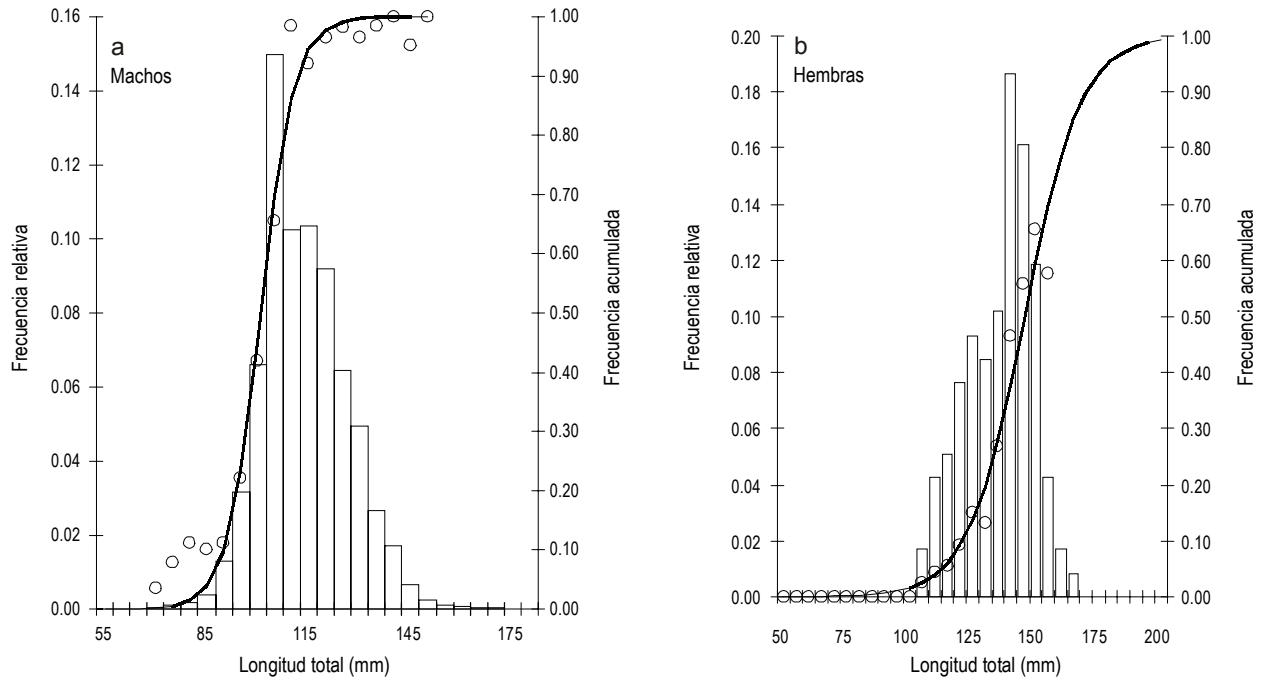


Figura 4. Distribución de tallas y curva (calculada y observada) para obtener la talla de primera madurez de (a) machos y (b) hembras de camarón café *Farfantepenaeus californiensis*.

Figure 4. Size distribution and curve (calculated and observed) to obtain the size at first maturity of (a) male and (b) female brown shrimp, *Farfantepenaeus californiensis*.

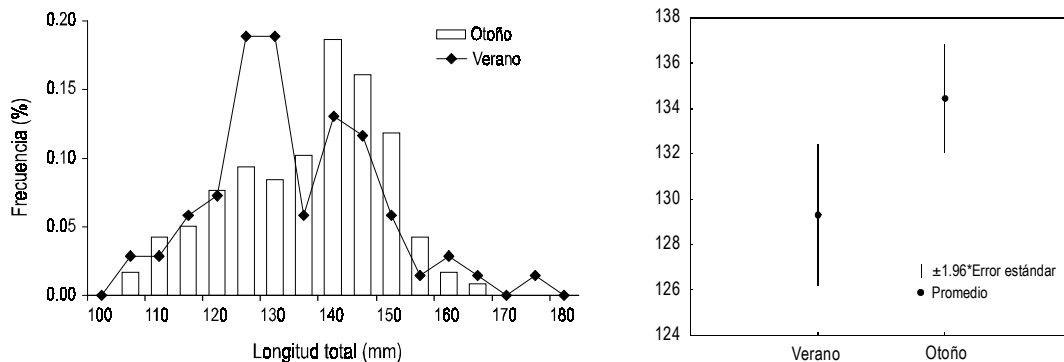


Figura 5. Frecuencia de tallas y comparación estadística de la talla media de hembras maduras (estadios III y IV) de camarón café durante los dos periodos reproductivos (verano y otoño) en la laguna costera de Agiabampo.

Figure 5. Size frequency and statistical comparison of the mean size of mature females (stages III and IV) of brown shrimp during the two reproductive periods (summer and autumn) at Agiabampo coastal lagoon.

de 100 a 180 mm LT y en el otoño éste fue de 105 a 165 mm LT. Se observó que durante el verano las hembras maduras (promedio 129.31 mm LT) fueron significativamente menores ($P < 0.05$) a las encontradas en otoño, en que presentaron un promedio de longitud total de 134.45 mm LT.

Abundancia

Se seleccionaron los meses en que se encontraron hembras maduras y se determinó la abundancia de éstas por el método de área barrida. Las hembras de junio presentaron una abundancia de 20 organismos por hectárea (org ha^{-1}), en julio

Mature females were significantly smaller ($P < 0.05$) in summer (129.31 mm mean TL) than in autumn (134.45 mm mean TL).

Abundance

We established the months during which mature females occurred and determined their abundance using the swept-area method. Female abundance was 20 organisms per hectare (org ha^{-1}) in June, 13 org ha^{-1} in July, 0 org ha^{-1} in October and 2 org ha^{-1} in November (fig. 6). This result indicates that summer is the most important month for reproduction given

de 13 org ha⁻¹, para octubre de 0 org ha⁻¹ y en noviembre de 2 org ha⁻¹ (fig. 6). Con este resultado se determinó que el verano es de mayor importancia para la reproducción dada la presencia de una mayor cantidad de hembras maduras por unidad de área. Se determinó la distribución de las hembras por unidad de área encontrándose la mayor abundancia en el estero de Bacorehuis (fig. 7).

Discusión

El periodo reproductivo del camarón café en el ambiente marino se ha definido como continuo a lo largo de todo el año, con dos periodos máximos (Leal-Gaxiola *et al.*, 2001). El presente estudio confirma de una manera general lo descrito para el camarón café respecto a los periodos de reproducción a lo largo del año, dado que los resultados de porcentaje de hembras maduras en la laguna de Agiabampo describen dos periodos máximos.

Se encontró que en Agiabampo el camarón café inicia su periodo de madurez y desove desde junio. Este registro de organismos desovados en el interior de la laguna no tiene precedente, ya que incluso las únicas menciones de camarón café en las lagunas costeras dicen que si las postlarvas llegaron a entrar en ellas, las abandonarían al alcanzar 35 mm de longitud total (Mathews, 1981). Es posible que en las lagunas costeras del sur de Sinaloa, donde se ha generado el mayor conocimiento sobre biología de camarones, no se presente camarón café en estadios de madurez. Esto debido básicamente a la diferencia en su sistema hidrológico (Poli y Calderón-Pérez, 1987), en comparación con la laguna de Agiabampo.

El porcentaje de hembras maduras como índice de la población reproductora en el interior de la laguna resultó muy bajo (10%) comparado con lo mencionado en la literatura para ambientes marinos (Mathews, 1981; Garduño-Argueta y Calderón-Pérez, 1994; Leal-Gaxiola *et al.*, 2001). Éste se combinó con la abundancia de hembras maduras (org ha⁻¹), y se encontró que si se toman en cuenta los dos indicadores de la población reproductora sólo se observa un periodo de maduración y desove importante en el año. En la literatura revisada no se encontró una asociación entre ambos indicadores por lo que no es posible saber si este comportamiento también se presenta en el ambiente marino o sólo ocurre en el interior de esta laguna costera.

Se encontró que el periodo importante de reproducción ocurre en el verano cuando las temperaturas del agua han alcanzado 29°C. Esto ocurre de manera general en las costas de Sinaloa (Garduño-Argueta y Calderón-Pérez, 1994) y en las costas de Sonora (Mathews, 1981; Leal-Gaxiola *et al.*, 2001) donde el mayor porcentaje de hembras maduras se presenta a fines de primavera y principios de verano cuando las temperaturas oscilan entre 27°C y 30°C.

La talla media (129.9 mm LT) de las hembras maduras capturadas durante el verano fue significativamente menor que la de las capturadas en otoño (134 mm LT). Como no se tiene ningún registro previo de la presencia de hembras maduras en el

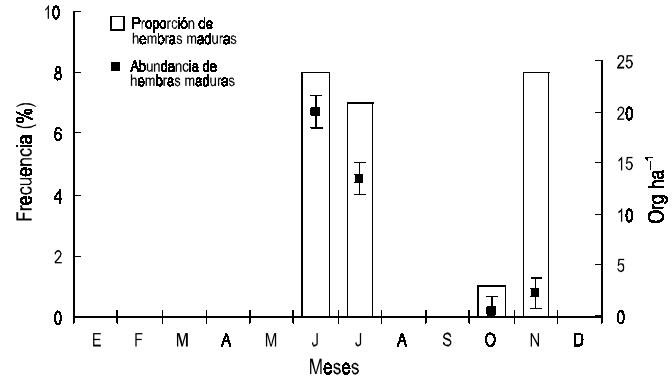


Figura 6. Abundancia de hembras maduras en los meses de mayor porcentaje de madurez.
Figure 6. Abundance of mature females in the months of highest percentage of maturity.

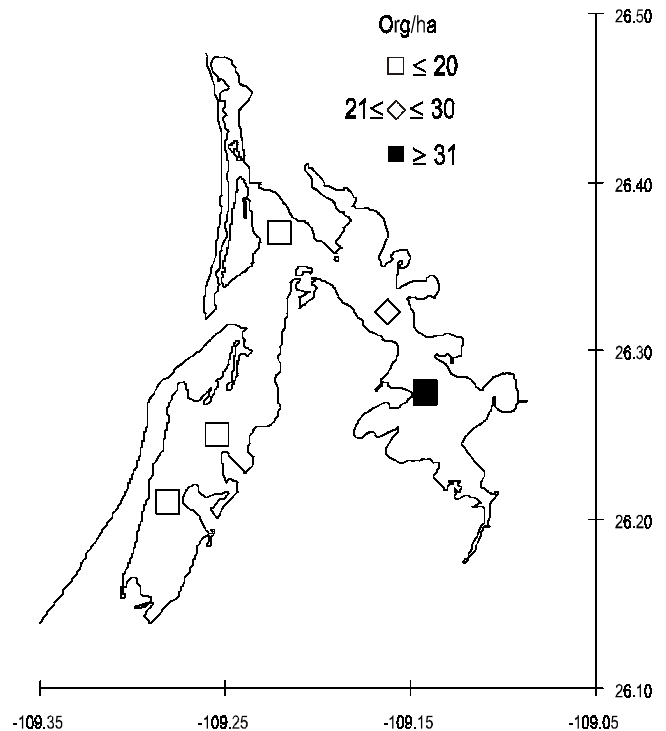


Figura 7. Distribución y abundancia de las hembras maduras de camarón café *Farfantepenaeus californiensis* capturadas en junio en la laguna costera de Agiabampo.
Figure 7. Distribution and abundance of mature female brown shrimp, *Farfantepenaeus californiensis*, caught in June at Agiabampo coastal lagoon.

the presence of a greater number of mature females per unit of area, with greatest abundance at Bacorehuis Estuary (fig. 7).

Discussion

According to Leal-Gaxiola *et al.* (2001), the reproductive period of brown shrimp in the marine environment lasts

interior de las lagunas costeras, la discusión en este caso se vuelve especulativa. Se sabe que factores ambientales como salinidad y temperatura afectan la talla de primera madurez (García y Le Reste, 1986; Dall *et al.*, 1990), por lo que se sugiere un efecto de la temperatura sobre la talla de madurez como lo mencionan Leal-Gaxiola *et al.* (2001) ya que la temperatura del agua también presentó diferencias significativas entre esas dos estaciones del año.

Al determinar la talla de primera madurez encontramos que en ambas estaciones ésta es la misma, por lo que a pesar de que la talla media de las hembras maduras sea menor en una estación o en otra, la población de la que proceden puede tener la misma talla de primera madurez.

Considerando que el camarón café presenta un óptimo crecimiento y supervivencia a 35 ups (Villarreal *et al.*, 2003) es posible que este comportamiento de madurar y desovar se esté presentando desde hace tiempo en el sistema ya que Licea-Durán (1974) y Signoret de Brailovsky (1975) encontraron valores de salinidad similares a los registrados durante este estudio. Por tanto, la laguna Agiabampo no ha pasado de ser una laguna de agua salobre a una marina. Otra posibilidad es la competencia interespecífica. Mathews (1981) menciona que en las costas del norte de Sinaloa el camarón café se distribuye de 1 a 9 m de profundidad pero que, en época reproductiva de camarón azul y blanco, aquel es desplazado por estas especies hacia mayores profundidades, de 18 a 27 m. Si la presencia de estas dos últimas especies ha disminuido en Agiabampo es posible que el camarón café ahora ocupe esos espacios. Queda claro que es necesario realizar más estudios para reforzar la hipótesis planteada aquí respecto a por qué las hembras de camarón café hacen uso de las lagunas costeras del noroeste de México para desovar.

Existen pocos estudios sobre madurez y desoves de camarón café, y ninguno hace referencia a lo que sucede en las lagunas costeras (Olguín-Palacios, 1968; Edwards, 1978; Mathews, 1981; García-Borbón *et al.*, 1996; Leal-Gaxiola *et al.*, 2001). Tal y como lo muestran Leal-Gaxiola *et al.* (2001), el camarón café presenta dos periodos de madurez a lo largo del año en mar abierto (uno en junio y otro en noviembre). Nuestros resultados coinciden en estos mismos periodos de madurez, sólo que con un porcentaje menor de hembras maduras dentro de la laguna costera de Agiabampo. Lo anterior podría ser indicativo de dos situaciones: (1) que la mayoría de las hembras maduran dentro de la laguna y migran al exterior para llevar a cabo el desove en aguas oceánicas, permaneciendo una fracción de ellas dentro de la laguna o (2) que las hembras maduras localizadas fuera de la laguna se acercan a la costa a desovar y por acción de las corrientes son arrastradas hacia el interior de la laguna.

Cualquiera que sea la razón, el hecho es que se observaron hembras maduras de camarón café dentro del sistema lagunar de Agiabampo, lo cual es un dato nuevo para el conocimiento del uso del hábitat lagunar por esta especie. Esto es importante para el manejo de la especie como recurso pesquero, ya que con el propósito de administrar el recurso camarón en forma

throughout the year, with two peak periods. Our results support this, since the percentage of mature females at Agiabampo coastal lagoon indicated two maximum periods.

At Agiabampo, *F. californiensis* initiates its maturity and spawning period in June. There is no previous record of spent organisms within the lagoon, and the only reference to brown shrimp in coastal lagoons mentions that if postlarvae do enter them, they leave when they attain 35 mm TL (Mathews, 1981). It is possible that brown shrimp in mature stages do not occur in the coastal lagoons of southern Sinaloa, where most of the information regarding shrimp biology has been generated, probably due to differences in the hydrological system (Poli and Calderón-Pérez, 1987), compared with Agiabampo.

The percentage of mature females as an index of the reproductive population within the lagoon was low (10%) compared with that reported in the literature for marine environments (Mathews, 1981; Garduño-Argueta and Calderón-Pérez, 1994; Leal-Gaxiola *et al.*, 2001). If this result is considered together with the abundance of mature females (org ha⁻¹), the two indicators of the reproductive population, only one important maturity and spawning period is observed. We did not find an association between the two indicators in the literature consulted, so it is not possible to know whether this behaviour also occurs in the marine environment or only in the interior of this coastal lagoon.

The important reproductive period occurred in summer when water temperatures reached 29°C. This is normal for the coasts of Sinaloa (Garduño-Argueta and Calderón-Pérez, 1994) and Sonora (Mathews, 1981; Leal-Gaxiola *et al.*, 2001), where the highest percentage of mature females occurs in late spring and early summer when temperatures vary between 27°C and 30°C.

The mean size of mature females was significantly smaller in summer (129.9 mm TL) than in autumn (134 mm TL); however, the lack of other records regarding the presence of mature females within coastal lagoons makes a discussion in this respect purely speculative. Since environmental factors like salinity and temperature affect the size at first maturity (García and Le Reste, 1986; Dall *et al.*, 1990), we suggest that temperature influenced the size of maturity, as mentioned by Leal-Gaxiola *et al.* (2001), because water temperature was also significantly different during these two seasons.

On the other hand, the size at first maturity was the same for both seasons; hence, even though the mean size of mature females was smaller in summer than in autumn, the population can have the same size at first maturity.

Considering that *F. californiensis* presents optimum growth and survival at 35 psu (Villarreal *et al.*, 2003), this maturing and spawning behaviour may have existed for some time in the system. Licea-Durán (1974) and Signoret de Brailovsky (1975) found similar salinity values to those reported herein, indicating that Agiabampo continues to be a brackish lagoon. Another possibility is interspecific competition. Mathews (1981) mentions that the brown shrimp occurs at 1–9 m depth along the coasts of northern Sinaloa, but that it is displaced at

apropiada es necesario entender la dinámica de cada una de las poblaciones que forman la pesquería. Las características biológicas y ecológicas de las especies de camarones peneidos del Pacífico mexicano que se utilizan como criterios de protección se establecieron en un modelo conceptual de migración, crecimiento y reproducción entre las lagunas costeras y la plataforma continental, en sus diferentes etapas del ciclo de vida. El modelo fue propuesto desde los años setenta y fue generalizado para el Golfo de California (Edwards, 1978; Mathews, 1981). En el caso de las lagunas costeras del Golfo de California que tienen conexión permanente al mar y circulación negativa (e.g., Agiabampo), la dinámica de las poblaciones de camarones peneidos no sigue el patrón aceptado para el Pacífico mexicano. Arreola-Lizárraga *et al.* (2003) propusieron un modelo ecológico de las especies de *Callinectes* spp. que en general pudiera aplicarse para otras especies de crustáceos (e.g., camarón) en una asociación de la ecología del sistema lagunar a la dinámica de las poblaciones de las especies del grupo. Los patrones ecológicos observados para los camarones pueden ser extrapolados para otras lagunas costeras similares en cuanto a clima, oceanografía y geomorfología.

La contribución de este estudio radicó en describir las características de la biología reproductiva del camarón café *F. californiensis* en la laguna de Agiabampo, Sonora/Sinaloa. Se encontró evidencia que sugiere que la población de esta especie puede madurar y desovar en el interior del sistema.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado bajo el convenio 908-1G entre el Instituto Nacional de la Pesca y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La sociedad cooperativa Sylvia Ramírez brindó el apoyo logístico en el campo. Edgar Alcántara y David Urías editaron las figuras.

Referencias

- Arreola-Lizárraga, J.A., Hernández-Moreno, L.G., Hernández-Vázquez, S., Flores-Verdugo, F.J., Lechuga-Devezé, C. and Ortega-Rubio, A. (2003). Ecology of *Callinectes arcuatus* and *C. bellicosus* (Decapoda, Portunidae) in a coastal lagoon of Northwest Mexico. *Crustaceana*, 76(6): 651–664.
- Dall, W., Hill, B.J., Rothlisberg, P.C. and Staples, D.J. (1990). The biology of the Penaeidae. In: J.H.S. Blaxter and A.J. Southward (eds.), *Advances in Mar. Biol.* Vol. 27. Academic Press, London, pp. 1–489.
- Del Valle, I. and Martin, P. (1995). Interannual variation in the catch and mean length of penaeid shrimp in the lagoons and coastal waters of Sinaloa, NW Mexico, and their possible link with environmental factors. *ICES Mar. Sci. Symp.*, 199: 370–378.
- Edwards, R.R.C. (1978). The fishery and fisheries biology of the penaeid shrimp on the Pacific coast of Mexico. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16: 145–180.
- García, S. (1985). Reproduction, stock assessment models and population parameters in exploited penaeid shrimp populations. In: P.C. Rothlisberg, B.J. Hill and D.J. Staples (eds.), *Second Australian National Prawn Seminar, NOS2*. Cleveland, Australia, pp. 139–158.

deeper depths (18–27 m) by blue and white shrimp during their breeding season. If the presence of these last two species has decreased at Agiabampo, the brown shrimp may have occupied those spaces. Further studies are clearly necessary to support the hypothesis presented herein as to why female brown shrimp spawn in coastal lagoons of northwestern Mexico.

There are few studies on the maturity and spawning of brown shrimp and none refers to coastal lagoons (Olguín-Palacios, 1968; Edwards, 1978; Mathews, 1981; García-Borbón *et al.*, 1996; Leal-Gaxiola *et al.*, 2001). Leal-Gaxiola *et al.* (2001) showed that the brown shrimp presents two maturity periods throughout the year in the open sea, one in June and the other in November. Our results coincide with the maturity periods, except that the percentage of mature females is smaller at Agiabampo. This could indicate two situations: (1) that most females mature within the lagoon and migrate to spawn in oceanic waters, only a fraction of them remaining in the lagoon, or (2) that mature females found outside the lagoon move closer to shore when they are ready to spawn and are carried into the lagoon by the currents.

Whatever the reason, mature brown shrimp females were observed within the Agiabampo system, a new fact that contributes to the knowledge of lagoon habitat use by this species. This is important because for the appropriate management of the shrimp resource it is necessary to understand the dynamics of each one of the populations that constitute the fishery. The biological and ecological characteristics of Mexican Pacific penaeid shrimp species used as protection criteria were established based on a conceptual model of migration, growth and reproduction between the coastal lagoons and continental shelf, in the different stages of their life cycle. The model was proposed in the 1970s and was generalized for the Gulf of California (Edwards, 1978; Mathews, 1981). However, in the case of the coastal lagoons of the Gulf of California that have permanent communication with the sea and a negative circulation (e.g., Agiabampo), the dynamics of the penaeid shrimp populations differs from the accepted pattern for the Mexican Pacific. Arreola-Lizárraga *et al.* (2003) proposed an ecological model for *Callinectes* spp. that could in general be applied to other crustacean species (e.g., shrimp) in an association of the ecology of the lagoon system with the dynamics of the species. The ecological patterns observed for shrimp can be extrapolated to other coastal lagoons similar in climate, oceanography and geomorphology.

The contribution of this study lies in the description of the characteristics of the reproductive biology of *F. californiensis* in the Agiabampo coastal lagoon system (Sonora/Sinaloa). Evidence was found to suggest that this species can mature and spawn in the inner part of the lagoon system.

Acknowledgements

This study received financial support through agreement 908-1G between Instituto Nacional de la Pesca and Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. The Sylvia

- García, S. and Le Reste, L. (1981). Life cycles, dynamics, exploitation and management of coastal penaeid shrimp stocks. *FAO Fish. Tech. Pap.*, (203): 1–215.
- García-Borbón, J.A., Balart, E.F., Gallo, J.J. y Loreto-Campos, P.A. (1996). Pesquería del camarón. En: M. Casas-Valdez y G. Ponce-Díaz (eds.), *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*. Ediciones CIBNOR, La Paz, México, pp. 187–206.
- Garduño-Argueta, H. y Calderón-Pérez, J.A. (1994). Abundancia y maduración sexual de hembras de camarón (*Penaeus* spp.) en la costa sur de Sinaloa, México. *Rev. Invest. Cient. UABCS. Ser. Ciencias Marinas*, 1: 27–34.
- King, M. (1995). *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Fishing News Books, Australia, 338 pp.
- Kjerfve, B. (1986). Comparative oceanography of coastal lagoons. In: D.A. Wolfe (ed.), *Estuarine Variability*. Academic Press, San Diego, California, pp. 63–81.
- Leal-Gaxiola, A., López-Martínez, J., Chávez, E.A., Hernández-Vazquez, S. and Méndez-Tenorio, F. (2001). Interannual variability of reproductive period of the brown shrimp, *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) (Decapoda, Natantia). *Crustaceana*, 74(9): 839–851.
- Licea-Durán, S. (1974). Sistemática y distribución de diatomeas de la Laguna de Agiabampo, Sonora-Sinaloa, México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 1(1): 99–157.
- Magallón-Barajas, F.J. (1987). The Pacific shrimp fishery of Mexico. *CalCOFI Rep.*, 27: 43–52.
- Ramírez Cooperative provided logistical support in the field. Edgar Alcántara and David Uriás edited the figures.
- English translation by Christine Harris.
-
- Mathews, C.P. (1981). A review of the North American penaeid fisheries, with particular reference to Mexico. *Kuwait Bull. Mar. Sci.*, 2: 325–409.
- Olguín-Palacios, M. (1968). Estudio de la biología del camarón café *Penaeus californiensis* Holmes. *FAO Fish. Rep.*, 57(2): 331–356.
- Poli, C.R. y Calderón-Pérez, J.A. (1987). Efecto de los cambios hidrológicos en la boca del río Baluarte sobre la inmigración de las postlarvas de *Penaeus vannamei* Boone y *P. stylirostris* Stimpson al sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sin., México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 14(1): 29–44.
- Signoret de Brailovsky, J. (1975). Plancton de lagunas costeras XIII. *Pleurobrachia bachei* Agassiz, de la laguna de Agiabampo. *Rev. Latinoam. Microbiol.*, 17: 249–254.
- Sparre, P. y Venema, S.C. (1995). *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual*. FAO Doc. Téc. Pesca No. 306.1Rev., 440 pp.
- Villarreal, H., Hernández-Llamas, A. and Hewitt R. (2003). Effect of salinity on growth, survival and oxygen consumption of juvenile brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes). *Aquacult. Res.*, 34: 187–193.