

**FIJACION Y CRECIMIENTO DEL MEJILLON *Modiolus capax* (CONRAD)  
(BIVALVIA-MYTILIDAE) SOBRE SUSTRATOS ARTIFICIALES EN  
LA BAHIA DE LOS ANGELES, BAJA CALIFORNIA, MEXICO**

**SETTLEMENT AND GROWTH OF THE MUSSEL *Modiolus capax*  
(CONRAD) (BIVALVIA-MYTILIDAE) ON ARTIFICIAL SUBSTRATES  
IN BAHIA DE LOS ANGELES, BAJA CALIFORNIA, MEXICO**

Eduardo Aguirre Hinojosa<sup>1</sup>  
L. Fernando Bückle Ramírez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Acuicultura  
Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas  
de la Universidad de Sonora (CICTUS)  
Unidad Experimental Peñasco  
Apartado Postal 79  
Puerto Peñasco, Sonora, México

<sup>2</sup> Departamento de Acuicultura  
Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada (CICESE)  
Av. Espinoza 843  
Ensenada, Baja California, México

*Recibido en junio de 1990; aceptado en octubre de 1991*

**RESUMEN**

De marzo de 1985 a febrero de 1986 se llevó a cabo un estudio para determinar el patrón de fijación y el crecimiento del mejillón *Modiolus capax* sobre sustratos artificiales de red anchovetera y hule de neumático suspendidos de estructuras flotantes en tres estaciones experimentales en la Bahía de los Angeles, Baja California. En septiembre de 1987 se realizó una colecta de los mejillones encontrados en una de las estructuras flotantes que permanecieron en el océano desde febrero de 1986 para analizar la estructura por tallas y la relación longitud-peso de la población. La información obtenida entre marzo de 1985 y febrero de 1986 indicó la posibilidad de un ciclo de reclutamiento estacional; sin embargo, el análisis de la población colectada en septiembre de 1987 sugirió la existencia de un patrón de reclutamiento continuo que concuerda con los resultados de estudios paralelos. La implantación de reclutas del mejillón *Modiolus capax* sobre las cuerdas de hule de neumático fue escasa y sólo se encontraron con relativa abundancia sobre las cuerdas de malla y nylon con más de dos meses de inmersión en el océano, cubiertas previamente con una epibiosis filamentosa conformada principalmente por el hidroide *Obelia dichotoma*. Aunque *Modiolus capax* tuvo una relación del peso de la carne sobre el peso total mayor que la de otros mitílidos cultivados, su escaso reclutamiento y su lento crecimiento dificultan las posibilidades de cultivarlo.

**ABSTRACT**

From March 1985 to February 1986, a study was carried out in order to determine the settlement pattern and growth of *Modiolus capax* mussels on artificial substrates of anchovy nets and rubber strings suspended in floating structures at three experimental stations in Bahía de los Angeles, Baja California. In September 1987, mussels were gathered from one of the floating

structures, which had remained in the ocean since September 1986, in order to analyze the size structure and length-weight relation of the population. The information obtained between March 1985 and February 1986 indicated the possibility of a seasonal recruiting cycle. However, the analysis of the population gathered in September 1987 suggested the existence of a continuous settlement pattern which agrees with the results from similar studies. The implantation of *Modiolus capax* mussels on rubber strings was scarce and they were only found with relative abundance on mesh and nylon strings with more than two months of immersion in the ocean, previously covered up with filamentous epibiosis mainly formed by the hydroid *Obelia dichotoma*. Even though *Modiolus capax* meat weight over the total weight is higher than that of other mussels cultured, its scarce recruiting and slow growth make the possibility of culturing it more difficult.

## INTRODUCCION

La mitilicultura es una actividad económica importante en algunos países europeos, entre los que destacan España y Francia (Korringa, 1976). El desarrollo de tecnologías regionales ha permitido que esta actividad se establezca comercial y experimentalmente en otros países del mundo incluidos Italia, Yugoslavia, Rusia, Suecia, Holanda, Noruega, China, Malasia, Filipinas, México y Estados Unidos de Norteamérica (Mason, 1972; Salaya *et al.*, 1976; Tortell y Yap, 1976; García y Monje, 1982; Loo y Rosenberg, 1983; Chew, 1984; Zhang, 1984).

La premisa básica para el desarrollo de estas tecnologías es la obtención de la semilla para el cultivo, aspecto que evidencia la importancia de la investigación orientada a reconocer la preferencia que por diversos sustratos tienen las larvas de mejillones para fijarse y que en conjunto con el estudio del crecimiento y el ciclo reproductivo son necesarios para caracterizar su potencial acuicultural.

Entre los mitílidos registrados para el Pacífico mexicano se encuentra al mejillón *Modiolus capax*. Este organismo se fija con su biso a los sustratos rocosos desde la zona intermareal hasta los 50 m de profundidad (Brusca, 1980), y su distribución se extiende desde el sur de California (EE.UU.) en el Pacífico, por todo el Golfo de California, hasta Perú y las Islas Galápagos (Olsson, 1961; Brusca, 1980). Coan y Carlton (1975) estiman necesario comprobar los registros de *M. capax* para el norte de California.

La literatura acerca de esta especie es reciente. Ochoa-Báez (1985) encontró que *M. capax* se reprodujo en primavera, verano y parte del otoño en la Bahía de La Paz en Baja California Sur y Garza-Aguirre (1987) demostró que este mejillón desovó continua-

## INTRODUCTION

Mussel culture is an important economic activity in some European countries, particularly Spain and France (Korringa, 1976). Regional technological development has allowed this activity to become commercially and experimentally established in other countries, including Italy, Yugoslavia, Russia, Sweden, The Netherlands, Norway, China, Malaysia, The Philippines, Mexico and The United States of America (Mason, 1972; Salaya *et al.*, 1976; Tortell and Yap, 1976; García and Monje, 1982; Loo and Rosenberg, 1983; Chew, 1984; Zhang, 1984).

The basis of the development of these technologies is to obtain seed for the culture. This aspect indicates the importance of research directed towards identifying the various substrates preferred by the larvae for settlement, that together with the study of the reproductive cycle and growth are necessary to distinguish their aquacultural potential.

The mussel *Modiolus capax* has been recorded for the Mexican Pacific. This organism fixes itself with its byssus to the rocky substrates from the tidal zone to 50 m depth (Brusca, 1980) and its distribution extends from southern California (USA) in the Pacific, throughout the Gulf of California, to Peru and the Galapagos Islands (Olsson, 1961; Brusca, 1980). Coan and Carlton (1975) think it is necessary to confirm the recordings of *M. capax* for northern California.

Literature on this species is recent. Ochoa-Báez (1985) found that *M. capax* reproduced in spring, summer and part of autumn at Bahía de La Paz, Baja California Sur, and Garza-Aguirre (1987) showed that this mussel spawned continuously during 1985 at Bahía de los Angeles, Baja California. Both authors recorded the most intensive spawning in summer.

mente durante 1985 en la Bahía de los Angeles de Baja California. Ambos autores registraron los desoves de mayor intensidad durante el verano.

El reclutamiento y la estructura por tallas en los bancos naturales de *M. capax* fue estudiado por Garza-Aguirre (1987) en dos localidades de la Bahía de los Angeles. El desarrollo embriológico de esta especie lo describió por primera vez Orduña-Rojas (1986), y Rico-Mora (1987) investigó el efecto interactivo de la temperatura y la alimentación sobre la fisiología de *M. capax*. La condición óptima para prolongar el desove de este mejillón en un ambiente controlado fue analizada por Espinoza-Peralta (1989), y Mason-Suástegui (1987) reportó un estudio acerca del acondicionamiento de progenitores, el desove y la evaluación de microalgas en el crecimiento de las larvas de esta especie.

No se han reportado hasta ahora estudios sobre las preferencias específicas que para su fijación tiene *M. capax*. Sobre mejillones en general, Seed (1977) menciona que las larvas pediveliger, al llevar a cabo su fijación, discriminan sustratos de acuerdo a preferencias específicas.

Experimentos de laboratorio confirman que *Mytilus edulis* prefiere los sustratos filamentosos para llevar a cabo su fijación (Bayne, 1975); además de hidroides y tunicados (Dean y Hurd, 1980), el alga roja filamentososa *Rhodomela lavis* (Petersen, 1984) facilita su establecimiento sobre el sustrato.

Para capturar semilla en la miticultura, se utilizan con éxito sustratos elaborados con fibras vegetales (Vilas, 1966; Dare y Davies, 1975; Korringa, 1976; Salaya *et al.*, 1976) e incluso cuerdas trenzadas de nylon y piezas de concreto (Nicholick y Stojnick, 1963).

En este reporte se describe el patrón de fijación del mejillón *Modiolus capax* sobre sustratos artificiales elaborados con malla de nylon (red anchovetera) y hule de neumático con diferente tiempo de inmersión en el océano y también el crecimiento en estructuras flotantes en la Bahía de los Angeles, Baja California.

## MATERIALES Y METODOS

La Bahía de los Angeles está situada en los 28°51'-29°03' de latitud N y los 113°27'-113°36' de longitud O en la península de Baja

Garza-Aguirre (1987) studied the recruiting and size-structure of natural banks of *M. capax* at two locations in Bahía de los Angeles. The embryological development of this species was first described by Orduña-Rojas (1986), and Rico-Mora (1987) studied the interactive effects of temperature and food on the physiology of *M. capax*. Espinoza-Peralta (1989) analyzed the best condition under which the spawning time for this mussel can be extended and Mason-Suástegui (1987) reported a study regarding adult conditioning, spawning time, and microalgal evaluation during the growth of this species' larvae.

No studies have been reported to date regarding specific preferences of *M. capax* for settlement. For mussels in general, Seed (1977) mentions that pediveliger larvae discriminate substrates when carrying out fixation, according to specific preferences.

Laboratory experiments confirm that *Mytilus edulis* prefers filamentous substrates in order to carry out its settlement (Bayne, 1975). It has also been confirmed that hydroids and tunicates (Dean and Hurd, 1980) and the filamentous seaweed *Rhodomela lavis* (Petersen, 1984) facilitate its settling on the substrate.

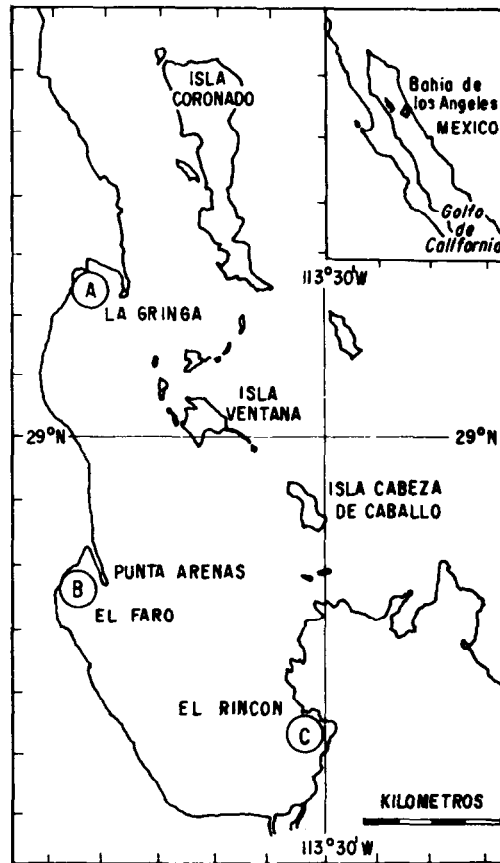
In order to capture the seeds in mussel culture, substrates of vegetable fibres (Vilas, 1966; Dare and Davies, 1975; Korringa, 1976; Salaya *et al.*, 1976) and even painted nylon strings and pieces of concrete (Nicholick and Stojnick, 1963) are successfully used.

We report the settlement pattern of *Modiolus capax* mussels on artificial substrates elaborated with nylon mesh (anchovy net) and pneumatic rubber with different time of immersion in the ocean, and the growth on floating structures at Bahía de los Angeles, Baja California.

## MATERIALS AND METHODS

Bahía de los Angeles is located between 28°51'-29°03' N latitude and 113°27'-113°36' W longitude in the peninsula of Baja California (Fig. 1). According to Köppen's classification modified by García, the climate is arid depending on the humidity and warm depending on the temperature (Secretaría de la Presidencia de la República, 1970).

Three experimental structures were used in this study, composed of a floating system



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la Bahía de los Angeles. A, B, C: estaciones experimentales.  
**Figure 1.** Geographic location of Bahía de los Angeles. A, B, C: experimental stations.

California (Fig. 1). El clima de la bahía, según la clasificación de Köppen modificada por García, es del tipo árido según la humedad y cálido según la temperatura (Secretaría de la Presidencia de la República, 1970).

Para este estudio se construyeron tres estructuras experimentales constituidas cada una por un sistema de flotación formado por un cuadrado de 3 x 3 m de tubo plástico ABS, cédula 40, de 4" de diámetro. Sobre el cuadrado se instaló un enrejado de madera de cinco barrotes de 3.5 m de longitud y dos centrales de 4.5 m entre los que se afirmaron dos recipientes plásticos de 200 l para reforzar el sistema de flotación. Sujetas a los travesaños de madera de cada estructura, se

formed by a 3 x 3 m square ABS plastic tube, slip #40, with a 4" diameter. A wooden railing structure of five 3.5 m-long bars and two 4.5 m central ones, among which two 200-l plastic containers were fastened to strengthen the floating system, was installed on the square. Once fastened to the wooden crossbars of each structure, 14 nylon mesh strings (rolled anchovy nets) and 14 pneumatic rubber strings were placed. Each string was approximately 3 cm wide and at least 3 m of length remained immersed in the ocean. The strings were distributed at random at equidistant points of 0.40 cm one from the other.

The floating structures were anchored during February 1985 on the sandy bottom, at

colocaron 14 cuerdas de malla de nylon (red anchovetera enrollada) y 14 cuerdas de hule de neumático. Cada cuerda midió aproximadamente 3 cm de ancho y al menos 3 m de su longitud quedaron inmersas en el océano. Las cuerdas se distribuyeron al azar en puntos equidistantes a 0.40 cm unos de otros.

Las estructuras flotantes se anclaron durante febrero de 1985 en el fondo arenoso, a una distancia de 100-150 m de la línea de la costa, en puntos donde la profundidad varía entre 10 y 12 m durante la marea alta. Se establecieron tres estaciones experimentales; dos de ellas, La Gringa y El Rincón, quedaron situadas en las proximidades de los bancos de *Modiolus capax* y la tercera, denominada El Faro, se situó detrás de Punta Arenas donde se detectaron mejillones de esta especie (Fig. 1).

En cada estación se colectaron mensualmente muestras de cuerdas con diferente tiempo de inmersión en el océano de acuerdo a un diseño de muestreo con reemplazo, de tal modo que a partir de marzo de 1985 fue posible analizar sustratos con un mes de inmersión en el océano, desde abril cuerdas con uno y dos meses de inmersión, y desde mayo, además de los anteriores, se colectaron otros con un tiempo de inmersión igual al transcurrido desde el inicio del experimento.

Por causas de fuerza mayor no se llevó a cabo el muestreo del mes de julio de 1985, de tal modo que en agosto no se dispuso para el muestreo de sustratos con un mes de inmersión. A partir de octubre el muestreo se normalizó de acuerdo al diseño inicial. El último muestreo de esta serie se llevó a cabo en febrero de 1986, cuando las cuerdas colocadas desde el inicio del experimento y que se retiraron en serie, cumplieron 12 meses de inmersión en el océano.

De cada uno de los 3 m de longitud de cada cuerda colectada, se cortaron al azar tres secciones de 10 cm de longitud de cada una que fueron consideradas como las repeticiones de una muestra de  $n = 3$ , con el fin de comparar la fijación de *Modiolus capax* en cada nivel de profundidad (metros 1, 2 y 3). Además, se comparó la fijación del mejillón en cada tipo de sustrato y el efecto del tiempo de inmersión en el mar.

Las muestras colectadas fueron fijadas en formalina al 4% neutralizada con borato de sodio. Terminado el recuento del número de mejillones de talla mayor, cada muestra se

a distance of 100-150 m from the coast line, and at points where the depth varies between 10 and 12 m during high tide. Three experimental stations were established. Two of them, La Gringa and El Rincón, were located in the proximity of the *Modiolus capax* banks and the third one, El Faro, was located behind Punta Arenas, where mussels of this species (Fig. 1) were detected.

At each location, monthly samples of strings with different time of immersion in the ocean were gathered, according to a sampling-replacement plan. Therefore, starting in March 1985 it was possible to analyze substrates with one month of immersion in the ocean, as of April strings with one and two months of immersion and in May, besides the above, others were gathered with an immersion time the same as that elapsed since the beginning of the experiment.

Due to causes out of our control, the sampling corresponding to the month of July 1985 was not carried out and consequently the August sampling of substrates with one month of immersion was not done. The sampling was normalized according to the initial plan in October. The last sampling of this series was carried out in February 1986 after the strings, which had been placed at the beginning of the experiment and which were retrieved in series, had been immersed in the ocean for 12 months.

In order to compare the settlement of *Modiolus capax* in each level (meters 1, 2 and 3), three 10 cm-long sections were cut from each one of the 3 m of length of each string gathered, which were considered as repetitions of one sample of  $n = 3$ . In addition, the mussel's fixation on each type of substrate and the effect of the time of immersion at sea were compared.

The samples were fixed in 4% formalin, neutralized with sodium borate. Once the number of mussels of greater size had been counted, each sample was put in a solution of 1% sodium hypochlorite in order to dissolve the byssus of very small mussels gathered with an 80 micron screen and counted with a stereoscopic microscope. In each sample, the main species of sessile epibiosis were identified.

The length of all the mussels gathered from the string samples placed at each station was measured every month, in order to get an approximation of the growth of the species in the floating structure.

introdujo en una solución de hipoclorito de sodio al 1% para disolver el bicho de mejillones muy pequeños que se colectaron en un tamiz de 80 micras y se contaron en un microscopio estereoscópico. En cada muestra se identificaron las especies principales de la epibiosis sésil.

Mensualmente se obtuvieron los valores de la longitud anteroposterior de todos los mejillones encontrados en las muestras de las cuerdas colocadas en cada estación, para obtener una aproximación del crecimiento de la especie en la estructura flotante.

Una vez que en febrero de 1986 en la estación La Gringa terminó la serie de muestreo con intervalos mensuales, las estructuras flotantes y los sustratos suspendidos permanecieron en el océano. En septiembre de 1986 se colectaron las agrupaciones de mejillones establecidas sobre los nudos de las cuerdas de malla en su punto de sujeción a los travesaños de madera, que por una falla del sistema de flotación permanecieron inmersos en el océano desde abril de 1985, entre 5-10 cm de la superficie del agua. Con los organismos colectados se conformó una sola muestra, de la que se analizó la distribución de frecuencias de la longitud anteroposterior según el método de Cassie (1954) para determinar los puntos de inflexión de las modas que la conformaron. Con regresiones logarítmicas se determinaron para esta única muestra las relaciones de la longitud anteroposterior con el peso húmedo total y con los pesos húmedo y seco de la carne.

En cada colecta se midió la temperatura del agua superficial con un termómetro de precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , y la salinidad con un refractómetro con precisión de  $\pm 1^{\circ}/\text{oo}$ .

## RESULTADOS Y DISCUSION

La salinidad del agua superficial del océano se mantuvo en  $35 \pm 1^{\circ}/\text{oo}$  en todas las estaciones de muestreo durante el período de estudio. En marzo de 1985 se midieron valores puntuales de la temperatura de aproximadamente  $15^{\circ}\text{C}$  en las tres estaciones. Las temperaturas más altas se registraron en el mes de agosto entre  $27$  y  $29^{\circ}\text{C}$ ; después la temperatura descendió progresivamente hasta alcanzar en febrero de 1986 entre  $14$  y  $16^{\circ}\text{C}$  (Fig. 2).

La fijación del mejillón *M. capax* sobre las cuerdas de hule de neumático fue exigua,

After the monthly sampling series concluded at La Gringa station in February 1986, the floating structures and suspended substrates remained in the ocean. In September 1986, groups of mussels that had settled on the knots of the mesh strings at their fastening point to the wooden crossbars were collected. Due to some failure in the floating system, they had remained immersed in the ocean since April 1985, between 5-10 cm from the water surface. One single sample was formed with the organisms gathered and analyzed according to Cassie's (1954) method. With logarithmic regressions, the relations of length were determined for this one sample with the total wet and dry weight of meat.

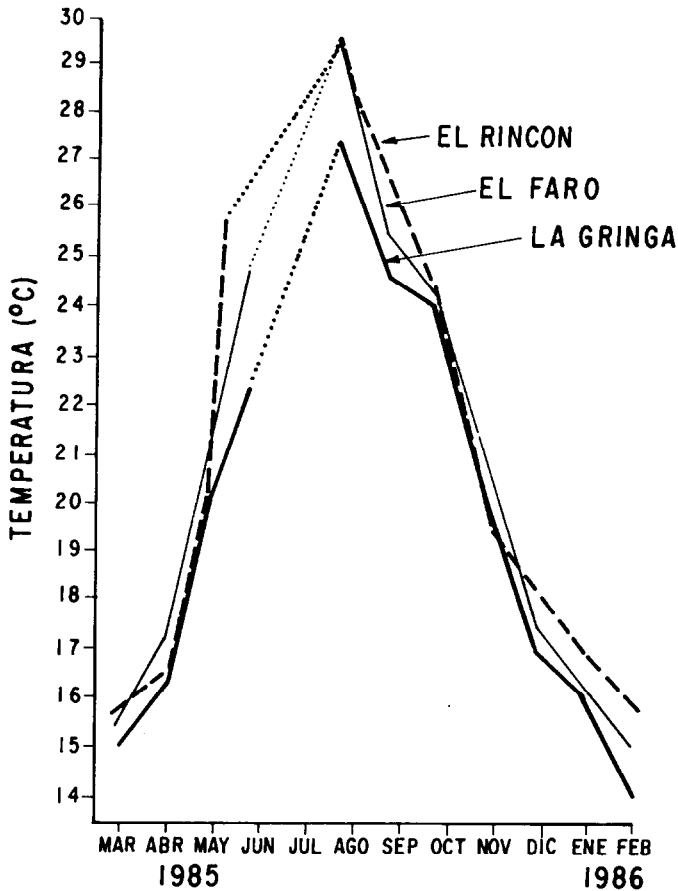
In each collection, surface water temperature was measured with a  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  precision thermometer and salinity measured with a refractometer of  $\pm 1^{\circ}/\text{oo}$  precision.

## RESULTS AND DISCUSSION

Surface water salinity was  $35 \pm 1^{\circ}/\text{oo}$  at all the sampling stations during the study period. In March 1985, values of temperature of approximately  $15^{\circ}\text{C}$  were measured at the three stations. The highest temperatures, between  $27$  and  $29^{\circ}\text{C}$ , were registered in August, after which the temperature dropped progressively until reaching between  $14$  and  $16^{\circ}\text{C}$  in February (Fig. 2).

Settlement of the mussel *M. capax* on the rubber strings was exiguous. In fact, no fixations were found on the string samples with one month of immersion and some organisms were sporadically registered in the samples taken of strings with two months of immersion. In the samples from the three levels of the rubber strings with the same time of immersion as that elapsed since the beginning of the experiment, the number of mussels never exceeded 16 per month at each station, and as of October 1985 organisms less than 1 mm in length were no longer recorded.

In September 1985, only one mussel was registered on the anchovy net strings with one month of immersion, in a sample taken at La Gringa. In this substrate, *M. capax* settled with greater abundance on the strings with two or more months of immersion in the ocean. Mussels were recorded in the samples of strings with two months of immersion from August to December 1985. As of November



**Figura 2.** Variación mensual de la temperatura superficial del océano en la Bahía de los Angeles, medida en las cercanías de las estructuras flotantes.

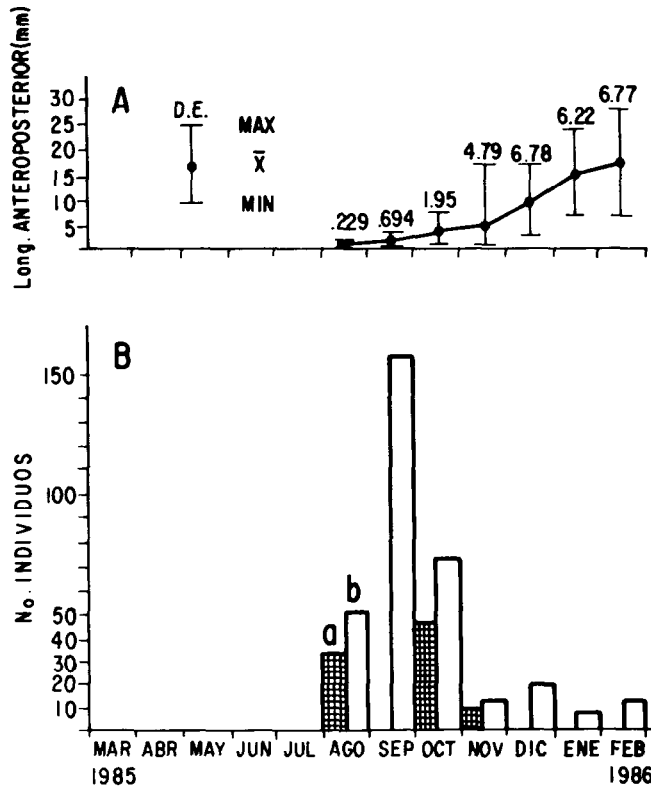
**Figure 2.** Monthly variation of surface temperature of the ocean at Bahía de los Angeles, measured near the floating structures.

de hecho nunca se encontraron fijaciones sobre las muestras de cuerdas con un mes de inmersión y en las muestras de las cuerdas con dos meses de inmersión se registraron organismos esporádicamente. En las cuerdas de hule de neumático con un tiempo de inmersión igual al tiempo transcurrido desde el inicio del experimento, donde la fijación fue acumulativa, el número de los mejillones en las muestras de los tres niveles nunca excedió a 16 por mes en cada estación y desde octubre de 1985 dejaron de registrarse organismos menores de 1 mm de longitud.

En las cuerdas de red anchovetera con un mes de inmersión se registró sólo un

1985 at El Faro and December 1985 at La Gringa and El Rincón (Figs. 3, 4 and 5), organisms less than 1 mm in length were no longer recorded in the samples of strings with the same time of immersion as that elapsed since the beginning of the experiment.

This seasonal settlement on artificial substrates initially and indirectly suggested a relation to an also seasonal reproductive cycle. However, the graphic analysis (Cassie, 1954) of size frequency distribution of mussels gathered in September 1986 at La Gringa, indicated that the recruiting of *M. capax* was not interrupted at the end of 1985 but that instead it had continuity, as inferred from



**Figura 3.** (A) Incremento mensual de la longitud anteroposterior de los mejillones colectados en las muestras de las cuerdas de red anchovetera con un tiempo de inmersión igual al transcurrido desde el inicio del experimento en La Gringa. (B) Total de mejillones colectados en los tres niveles de profundidad. (a) Sustratos con dos meses de inmersión; (b) sustratos con un tiempo de inmersión igual al transcurrido desde el inicio del experimento.

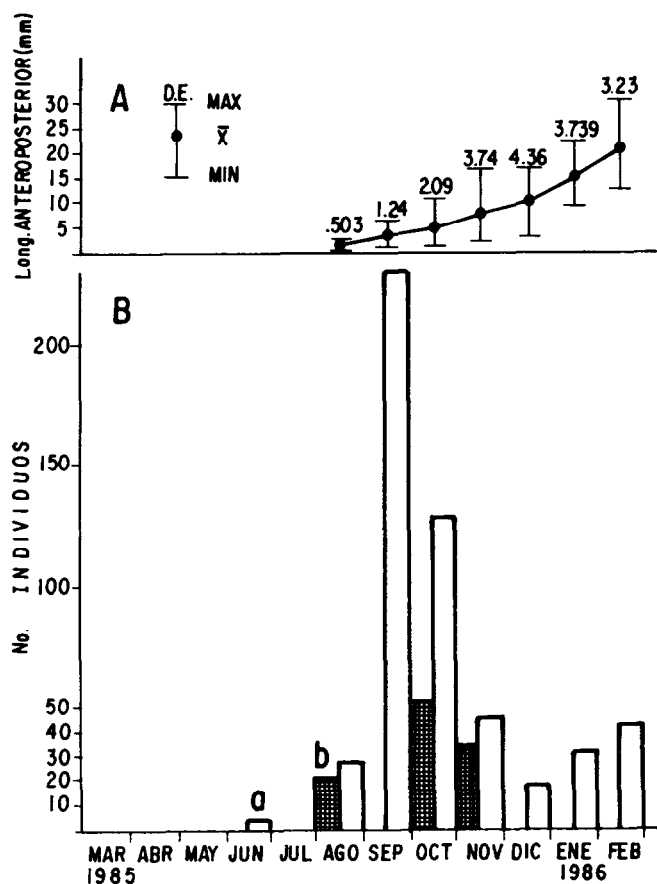
**Figure 3.** (A) Monthly length increase of the mussels gathered from the samples of anchovy net strings with an immersion time the same as that elapsed since the beginning of the experiment at La Gringa. (B) Total mussels gathered in the three levels of depth. (a) Substrates with two months of immersion; (b) substrates with an immersion time the same as that elapsed since the beginning of the experiment.

mejillón en una muestra colectada en la estación La Gringa en septiembre de 1985. En este sustrato *M. capax* se fijó con mayor abundancia en las cuerdas con dos o más meses de inmersión en el océano. En las muestras provenientes de las cuerdas con dos meses de inmersión se registraron mejillones de agosto a diciembre de 1985, mientras que en las muestras de las cuerdas con un tiempo de inmersión igual al tiempo transcurrido desde el inicio del experimento, dejaron de registrarse organismos menores a 1 mm de

the continuous recording of mussels in all the class ranges of the sample (Fig. 6).

In fact, the point of inflection found in the frequency range with an average of 25.5 mm could be the inferior length limit of the mussels fixed in November 1985, since this value would correspond to a monthly increase of 2.32 mm between that month and September 1986, slightly inferior to the 2.92 mm recorded between August 1985 and February 1986 at the same station (Fig. 3). Therefore, the records of sizes inferior to this inflection





**Figura 4.** (A) Incremento mensual de la longitud anteroposterior de los mejillones colectados en las muestras de las cuerdas de red anchovetera con un tiempo de inmersión igual al transcurrido desde el inicio del experimento en El Faro. (B) Total de mejillones colectados en los tres niveles de profundidad. (a) Sustratos con dos meses de inmersión; (b) sustratos con un tiempo de inmersión igual al transcurrido desde el inicio del experimento.

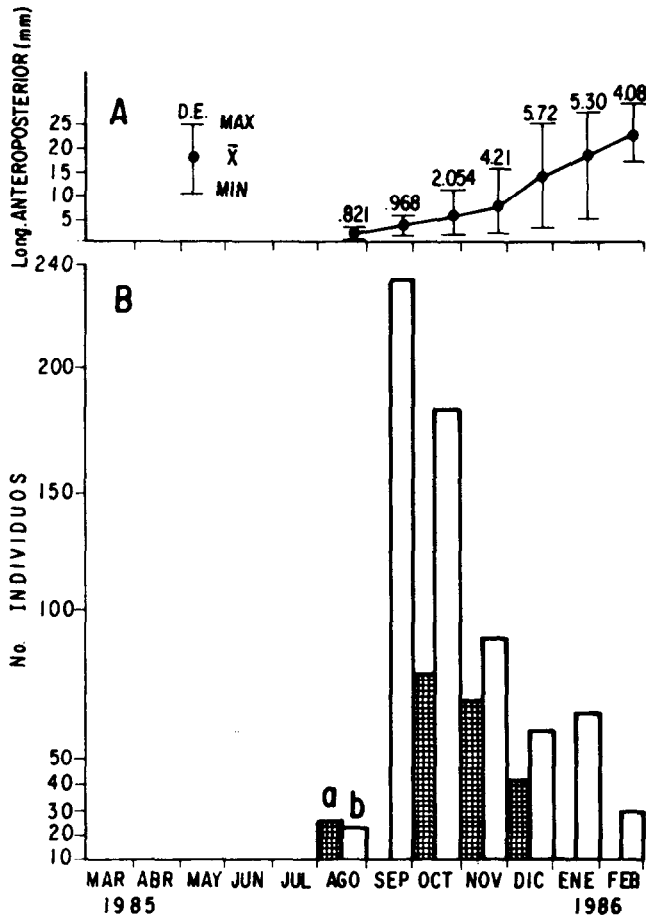
**Figure 4.** (A) Monthly length increase of the mussels gathered from the samples of anchovy net strings with an immersion time the same as that elapsed since the beginning of the experiment at El Faro. (B) Total mussels gathered in the three levels of depth. (a) Substrates with two months of immersion; (b) substrates with an immersion time the same as that elapsed since the beginning of the experiment.

longitud desde noviembre de 1985 en El Faro, y desde diciembre del mismo año en La Gringa y El Rincón (Figs. 3, 4 y 5).

Esta fijación de carácter estacional sobre los sustratos artificiales, sugirió inicial e indirectamente una correspondencia con un ciclo de reproducción también estacional; sin embargo, el análisis gráfico (Cassie, 1954) de la distribución de frecuencias de las tallas de

point correspond to mussels settled from December 1985 on.

Even though the wide distribution of frequencies in this one sample could be due in part to growth in a state of agglomeration, the appreciation of a continuous recruiting to which a continuous reproductive cycle would correspond agrees with the results of Garza and Bückle (1989a) who, based on histological



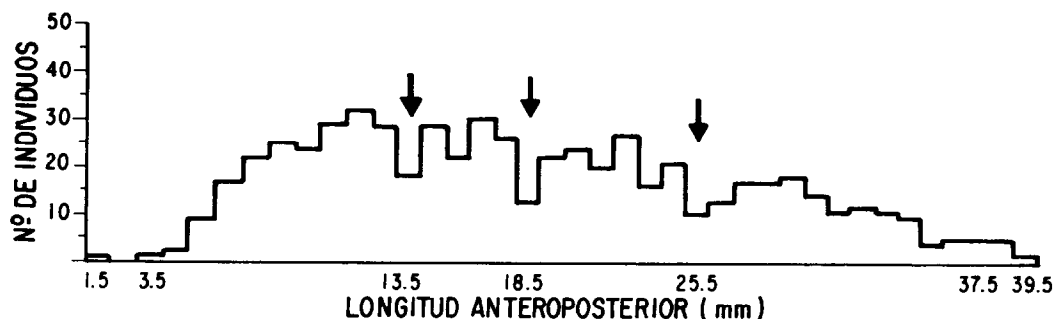
**Figura 5.** (A) Incremento mensual de la longitud anteroposterior de los mejillones colectados en las muestras de red anchovetera con un tiempo de inmersión igual al transcurrido desde el inicio del experimento en El Rincón. (B) Total de mejillones colectados en los tres niveles de profundidad. (a) Sustratos con dos meses de inmersión; (b) sustratos con un tiempo de inmersión igual al transcurrido desde el inicio del experimento.

**Figure 5.** (A) Monthly length increase of the mussels gathered from the samples of anchovy nets with an immersion time the same as that elapsed since the beginning of the experiment at El Rincón. (B) Total mussels gathered in the three levels of depth. (a) Substrates with two months of immersion; (b) substrates with an immersion time the same as that elapsed since the beginning of the experiment.

mejillones colectados en septiembre de 1986 en La Gringa, indicó que el reclutamiento de *M. capax* no se interrumpió a finales de 1985 sino que tuvo continuidad, según se infiere del también continuo registro de mejillones en todos los intervalos de clase de la muestra (Fig. 6).

studies, determined that gonads of this species were active from February 1985 to January 1986 in Bahía de los Angeles.

The nonparametric two-way analysis of variance (Wilson, 1956) indicated that the number of organisms in the mesh string samples with two months of immersion did



**Figura 6.** Distribución de las frecuencias de tallas de la longitud anteroposterior de los mejillones colectados en la estructura flotante de La Gringa en septiembre de 1986. Las flechas indican los puntos de inflexión de la distribución según el análisis de Cassie (1954).

**Figure 6.** Size frequency distribution of mussels gathered from the floating structure at La Gringa in September 1986. The arrows indicate the inflection points of the distribution according to Cassie's (1954) analysis.

De hecho, el punto de inflexión encontrado en el intervalo de las frecuencias con media de 25.5 mm podría ser el límite inferior de la longitud anteroposterior de los mejillones fijados en noviembre de 1985, ya que este valor correspondería a un incremento mensual de 2.32 mm entre ese mes y septiembre de 1986, ligeramente inferior al 2.92 mm registrado entre agosto de 1985 y febrero de 1986 en la misma estación (Fig. 3). Por lo tanto, los registros de tallas inferiores a dicho punto de inflexión corresponden a mejillones que se fijaron de diciembre de 1985 en adelante.

Aunque la amplia distribución de frecuencias en esta única muestra podría deberse en parte al crecimiento en condiciones de aglomeración, la apreciación de un reclutamiento continuo al que correspondería un ciclo de reproducción también continuo, concuerda con los resultados de Garza y Bückle (1989a) quienes determinaron en base a estudios histológicos que las gónadas de esta especie se mantuvieron activas de febrero de 1985 a enero de 1986 en la Bahía de los Angeles.

Los análisis de varianza no paramétricos de dos vías (Wilson, 1956), indicaron que el número de fijaciones en las muestras de las cuerdas de malla con dos meses de inmersión no varió significativamente con la profundidad pero sí con el tiempo, en cada una de las estaciones (Tabla 1). Lo mismo sucedió con las muestras de las cuerdas de malla colocadas

not vary significantly with depth but it did with time, at each station (Table 1). The same happened with the mesh string samples placed at the beginning of the experiment and where fixation was accumulative, except for those which were gathered at La Gringa where the number of mussels varied significantly among the levels (Table 2).

The most prominent recruiting in the mesh string samples with two or more months of immersion, from September to October 1985, correspond to the most intense spawning period of the continuous reproductive cycle of this species, recorded by Garza and Bückle (1989a) during the same year at Bahía de los Angeles.

The absence of recent fixations on mesh strings with two or more months of immersion towards the end of the series of samplings on a monthly basis until February 1986, is in fact related to the structural characteristics given to the primary substrate by the development of the sessile epibiosis that precedes fixation depending on the season and time of immersion in the ocean (E. Aguirre and L.F. Bückle, in preparation).

The great taxonomic similarity of the initial colonization of both types of substrates in the string samples with one or two months of immersion was remarkable. The hydroid *Obelia dichotoma* and in second term the bryozoan *Bugula neritina* were regularly the

**Tabla 1.** Análisis de varianza no paramétrico de dos vías (Wilson, 1956) del número de mejillones encontrados en las muestras de las cuerdas de red anchovetera con dos meses de inmersión, de agosto a noviembre de 1985, en las tres estructuras flotantes. G.D.L., grado de libertad.

**Table 1.** Nonparametric two-way analysis of variance (Wilson, 1956) of the number of mussels found in the anchovy net string samples with two months of immersion, from August to November 1985, from the three floating structures. G.D.L., degree of freedom.

Fuente de variación	G.D.L.	Valor de $X^2$	Probabilidad
<b>La Gringa</b>			
1. Profundidad	2	2.700	0.2592 (n.s.)
2. Tiempo	2	8.100	0.0174 (*)
3. Interacción 1 x 2	4	2.699	0.6092 (n.s.)
<b>El Faro</b>			
1. Profundidad	2	3.000	0.2231 (n.s.)
2. Tiempo	2	6.999	0.0302 (*)
3. Interacción 1 x 2	4	1.999	0.7358 (n.s.)
<b>El Rincón</b>			
1. Profundidad	2	0.222	0.8945 (n.s.)
2. Tiempo	3	20.842	0.0001 (*)
3. Interacción 1 x 2	6	1.560	0.9554 (n.s.)

desde el inicio del experimento y donde la fijación fue acumulativa, a excepción de las colectadas en La Gringa donde el número de mejillones varió significativamente entre los niveles de profundidad (Tabla 2).

Los reclutamientos más conspicuos en las muestras de las cuerdas de malla con dos o más meses de inmersión, de septiembre a octubre de 1985, corresponden a los desoves más intensos del ciclo de reproducción continuo de esta especie que registraron Garza y Bückle (1989a) el mismo año en la Bahía de los Angeles.

La ausencia de fijaciones recientes en las cuerdas de malla con dos o más meses de inmersión hacia el final de la serie de muestreos con intervalo mensual hasta febrero de 1986, está más bien relacionada con las características estructurales que da al sustrato primario el desarrollo de la epibiosis sésil que precede a la fijación según la época y el tiempo de inmersión en el océano (E. Aguirre y L.F. Bückle, en preparación).

Fue notable la gran similitud taxonómica de la colonización inicial en las muestras de las cuerdas con uno y dos meses de

main constituents of the developed community. Besides the above mentioned epibionts, some fixations of the cirriped *Balanus trigonus* were observed in the rubber string samples with two months of immersion.

The development of the community dominated by *O. dichotoma* and *B. neritina* conferred a filamentous character of greater density to the primary substrate in the strings with two months of immersion, in comparison to the strings with only one month of immersion which were scarcely colonized throughout the year.

With regard to the samples of mesh strings with an immersion time the same as that elapsed since the beginning of the experiment, it was observed that as the time of immersion in the ocean advanced an increase in the number of colonizing species was recorded, of which *O. dichotoma* and *B. neritina* were always the most abundant. Coverage reached maximum values from June to September when the highest temperatures were registered and when the strings had been immersed from four to eight months. The abundance of these two species decreased

**Tabla 2.** Análisis de varianza no paramétrico de dos vías (Wilson, 1956) del número de mejillones capturados en las muestras de las cuerdas de red anchovetera con un tiempo de inmersión igual al tiempo transcurrido desde el inicio del experimento, de agosto a noviembre de 1985, en las tres estructuras flotantes. G.D.L., grado de libertad.

**Table 2.** Nonparametric two-way analysis of variance (Wilson, 1956) of the number of mussels found in the anchovy net string samples with an immersion time the same as that elapsed since the beginning of the experiment, from August to November 1985, from the three floating structures. G.D.L., degree of freedom.

Fuente de variación	G.D.L.	Valor de X <sup>2</sup>	Probabilidad
<b>La Gringa</b>			
1. Profundidad	2	6.000	0.0498 (*)
2. Tiempo	3	18.222	0.0004 (*)
3. Interacción 1 x 2	6	6.444	0.3753 (n.s.)
<b>El Faro</b>			
1. Profundidad	2	4.666	0.0970 (n.s.)
2. Tiempo	3	15.555	0.0014 (*)
3. Interacción 1 x 2	6	5.111	0.5296 (n.s.)
<b>El Rincón</b>			
1. Profundidad	2	0.224	0.8936 (n.s.)
2. Tiempo	3	8.999	0.0293 (*)
3. Interacción 1 x 2	6	2.474	0.8713 (n.s.)

inmersión de ambos tipos de sustrato. El hidroide *Obelia dichotoma* y en segundo término el briozooario *Bugula neritina* fueron regularmente los componentes principales de la comunidad desarrollada. En las muestras de las cuerdas de hule de neumático con dos meses de inmersión se observaron además de los epibiontes mencionados, fijaciones del cirripedio *Balanus trigonus*.

El desarrollo de la comunidad dominada por *O. dichotoma* y *B. neritina* confirió al sustrato primario un carácter filamentosos de mayor densidad en las cuerdas con dos meses de inmersión, comparativamente a las cuerdas con un solo mes de inmersión las cuales fueron escasamente colonizadas en todas las épocas del año.

Con respecto a las muestras de las cuerdas de malla con un tiempo de inmersión igual al transcurrido desde el inicio del experimento, se observó que conforme avanzó su tiempo de inmersión en el océano se registró un incremento del número de especies colonizadoras, entre las cuales *O. dichotoma* y *B. neritina* siempre fueron las más abun-

during the final sampling months, in manifest relation to the decrease in temperature, and consequently the filamentous nature of the substrates lessened remarkably.

In this context, the highest relative abundance of the fixation of *M. capax* in the samples of mesh strings with two or more months of immersion, can be indirectly related to the filamentous degree of the substrates. The preference for filamentous substrates has been observed in other mussel species (Bayne 1975; Seed, 1977; Dean and Hurd, 1980). The experimental approximation of this work does not allow an inference to be made regarding the factor which determined the continuity of the settlement on the knots of the mesh strings gathered at La Gringa in February 1987.

The reduced number of settlements of *M. capax* in the samples of rubber strings placed at the beginning of the experiment, can also be attributed to the low filamentous nature of the substrate which was monopolized as of October 1985 by the opportunist cirriped *Balanus trigonus*.

dantes; cobertura que alcanzó sus máximos valores en los meses de junio a septiembre, cuando se registraron las temperaturas más altas y cuando las cuerdas tenían de cuatro a ocho meses de inmersión. La abundancia de estas dos especies disminuyó en los meses finales del muestreo, en aparente relación con la disminución de la temperatura y en consecuencia aminoró notablemente la filamentosidad de los sustratos.

En este contexto, la mayor abundancia relativa de la fijación de *M. capax* en las muestras de las cuerdas de malla con dos o más meses de inmersión puede relacionarse indirectamente con el grado de filamentosidad de los sustratos. La preferencia por sustratos filamentosos se ha observado en otras especies de mejillones (Bayne, 1975; Seed, 1977; Dean y Hurd, 1980). La aproximación experimental de este trabajo no permite hacer una inferencia acerca del factor que determinó la continuidad de la fijación en los nudos de las cuerdas de malla colectados en La Gringa en febrero de 1987.

El número reducido de fijaciones de *M. capax* en las muestras de las cuerdas de hule de neumático colocadas desde el inicio del experimento, puede atribuirse también a la baja filamentosidad del sustrato que desde octubre de 1985 fue monopolizado por el cirripedio oportunisto *Balanus trigonus*.

En general y desde el punto de vista acuicultural, la fijación de *M. capax* en los sustratos utilizados en este estudio fue poca, si se considera que *Mytilus edulis* puede fijarse en densidades de hasta 200,000 individuos por metro de cuerda de fibra de coco de 80 mm de espesor (Dare y Davies, 1975).

Las ecuaciones de las regresiones logarítmicas de las relaciones longitud-peso en las muestras de mejillones colectadas en La Gringa fueron las siguientes:

$$\begin{aligned} \ln W (g) &= -7.95 \times 2.78 \ln L (mm), \\ \ln W (g) &= -9.27 \times 2.84 \ln L (mm), \\ \ln W (g) &= -7.77 \times 2.00 \ln L (mm), \end{aligned}$$

para el peso húmedo total, el peso húmedo de la carne y el peso seco de la carne, respectivamente. Aunque la razón del peso de la carne sobre el peso total es mayor en *M. capax* que en otros mejillones cultivados, como es el caso de *Mytilus edulis* y *Mytilus californianus* (Tabla 3), su velocidad de crecimiento es mucho menor.

Generally, and from an aquacultural point of view, *M. capax* settlement on the substrates used in this study was low, if we consider that *Mytilus edulis* can settle in densities of up to 200,000 individuals per meter on an 80 mm-thick coconut fiber string (Dare and Davies, 1975).

The equations of the logarithmic regressions of the length-weight relations in the samples of mussels gathered at La Gringa were as follows:

$$\begin{aligned} \ln W (g) &= -7.95 \times 2.78 \ln L (mm), \\ \ln W (g) &= -9.27 \times 2.84 \ln L (mm), \\ \ln W (g) &= -7.77 \times 2.00 \ln L (mm), \end{aligned}$$

for the total wet weight, wet weight of meat and dry weight of meat, respectively. Even though the ratio of the weight of meat over the total weight is greater in *M. capax* than in other mussels cultured, such as *Mytilus edulis* and *Mytilus californianus* (Table 3), its growth speed is much lower.

The average increase, between August 1985 and February 1986, in the length of the mussels gathered from the mesh string samples placed at the beginning of the experiment, was 17.58, 18.09 and 20.84 mm, corresponding to a monthly average growth speed of 2.93, 3.01 and 3.47 mm for La Gringa, El Faro and El Rincón, respectively (Figs. 3, 4 and 5).

The results show that the slow growth and low recruiting of *Modiolus capax*, both on artificial substrates and in the tidal zone (Garza and Bückle, 1989b), constitute a serious complication for the development of their cultivation and, therefore, it is necessary to formulate the corresponding policies for a rational exploitation of natural banks.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This investigation was supported by the Mexican Federal Government through the Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) and Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (project code PCECCNA-50018).

English translation by the authors.

**Tabla 3.** Comparación del crecimiento de *Mytilus edulis*, *Mytilus californianus* y *Modiolus capax* cultivados en estructuras flotantes. L: longitud anteroposterior (mm); PT: peso total (g); PHC: peso húmedo de la carne (g).

**Table 3.** Comparison of the growth of *Mytilus edulis*, *Mytilus californianus* and *Modiolus capax* cultured in floating structures. L: length (mm); PT: total weight (g); PHC: wet weight of meat (g).

Tiempo (meses)	<i>M. edulis</i>			<i>M. californianus</i>			<i>M. capax</i>		
	L	PT	PHC	L	PT	PHC	L	PT	PHC
6	60.0	12.5	7.0	64.0	20.0	8.0	2.57	1.62	0.323
8	64.0	17.0	9.0	71.0	27.0	12.0			
13	78.0	34.0	20.0	90.0	48.0	25.0	39.5	9.68	3.22

El incremento del promedio de la longitud anteroposterior, entre agosto de 1985 y febrero de 1986, de los mejillones colectados en las muestras de las cuerdas de malla colocadas desde el inicio del experimento, fue de 17.58, 18.09 y 20.84 mm, que corresponden a una velocidad de crecimiento promedio mensual de 2.93, 3.01 y 3.47 mm para las estaciones de La Gringa, El Faro y El Rincón, respectivamente (Figs. 3, 4 y 5).

Los resultados no dejan lugar a dudas que el lento crecimiento y el bajo reclutamiento de *Modiolus capax*, tanto en los sustratos artificiales como en la zona intermareal (Garza y Bückle, 1989b), constituyen una seria complicación para el desarrollo de su cultivo y por lo tanto es necesario formular las políticas correspondientes para una explotación racional de los bancos naturales.

#### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el Gobierno Federal de México a través del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) con el proyecto clave PCECCNA-50018.

#### LITERATURA CITADA

Bayne, B.L. (1975). The biology of mussel larvae, pp. 81-115. In: B.L. Bayne (ed.), *Marine Mussels: Their Ecology and Physiology*. Cambridge Univ. Press, 506 pp.

Brusca, R.C. (1980). Common Intertidal Invertebrates of the Gulf of California.

Univ. of Arizona Press, Tucson, Arizona, 513 pp.

- Cassie, R.M. (1954). Some uses of probability paper in the analysis of size frequency distribution. *Aust. J. Mar. and Fresh. Res.*, 5: 513-522.
- Chew, K.K. (1984). Recent advances in the cultivation of molluscs in the Pacific United States and Canada. *Aquaculture*, 39: 69-81.
- Coan, E.U. and Carlton, J.T. (1975). *Phylum Mollusca: Bivalvia*, pp. 543-579. In: *Lights Manual: Intertidal Invertebrates of the California Coast*. Univ. of California Press, Berkeley, Ca., 716 pp.
- Dare, P.J. and Davies, G. (1975). Experimental suspended culture of mussel (*Mytilus edulis* L.) in Wales using spat transplanted from a distant settlement ground. *Aquaculture*, 6: 257-274.
- Dean, T.A. and Hurd, L.E. (1980). Development in an estuarine fouling community: the influence of the early colonist on the later arrivals. *Oecologia*, 46: 295-301.
- Espinoza-Peralta, A. (1989). Dilación del desove de *Modiolus capax* Conrad (Bivalvia: Mytilidae) en condiciones controladas de temperatura y alimentación. Tesis de Licenciatura, UABC, Ensenada, B.C., México, 106 pp.
- García, G.L. y Monje, F. (1982). Estudios iniciales del cultivo de *Mytilus californianus* y *Mytilus edulis* en Eréndira, B.C. En: *Estudios para el desarrollo del cultivo comercial de los mejillones *Mytilus californianus* y *Mytilus edulis* en las costas de Baja California*. Informe Anual 1982. Tomo III. UABC-IIO-SEP.

- Garza Aguirre, M. del C. (1987). Contribución al conocimiento de la biología de la población de *Modiolus capax* (Conrad) (Bivalvia: Mytilidae) en Bahía de los Angeles, B.C., México. Tesis de Maestría en Ciencias, CICESE, Ensenada, B.C., México, 95 pp.
- Garza A., M. del C. y Bückle Ramírez, L.F. (1989a). Ciclo reproductivo del mejillón *Modiolus capax* (Conrad, 1837) (Bivalvia, Mitilidae-Anisomyaria), Baja California, México. An. Inst. Ciencias del Mar y Limnol., UNAM, México, 16(1): 157-170.
- Garza A., M. del C. y Bückle, L.F. (1989b). Estructura de tallas, reclutamiento y crecimiento del mejillón *Modiolus capax* (Conrad) (Bivalvia-Mytilidae) en la Bahía de los Angeles, Baja California, México. An. Inst. Ciencias del Mar y Limnol., UNAM, México, 16(2): 245-254.
- Korringa, P. (1976). Farming Marine Organisms Low in the Food Chain. A multidisciplinary approach to edible seaweed, mussel, and clam production. Elsevier Scientific Publ. Co., 264 pp.
- Loo, L.O. and Rosenberg, R. (1983). *Mytilus edulis* culture: growth and production in western Sweden. Aquaculture, 35: 137-150.
- Mason, J. (1972). The cultivation of the European mussel *Mytilus edulis* Linnaeus. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 10: 437-460.
- Mason-Suástegui, J.M. (1987). Evaluación de cinco dietas microalgales en el crecimiento larval de *Modiolus capax* (Conrad, 1837) y *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1845) (Mollusca-Bivalvia). Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR), La Paz, B.C.S., México, 70 pp.
- Nicholick, M. and Stojnick, I. (1963). A system of mussel culture. Proc. Gen. Fish. Con. Med., 7: 251-255.
- Ochoa-Báez, R.L. (1985). Antecedentes sobre el ciclo de reproducción de *Modiolus capax* (Conrad, 1837) (Bivalvia: Mitilidae), en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Inv. Mar. CICIMAR, 2(2): 86-103.
- Olsson, A.A. (1961). Mollusks of the tropical Pacific, particularly from the southern half of the Panamic Pacific Faunal Province (Panama to Peru). Panamic Pacific Pelecypoda. Paleontological Research Institution, Ithaca, N.Y., 574 pp. 86 pls.
- Orduña-Rojas, (1986). Desove y desarrollo embriológico y larval del mejillón *Modiolus capax* Conrad (Bivalvia: Mitilidae) en condiciones controladas. Tesis de Licenciatura, UABC, Ensenada, B.C., México, 52 pp.
- Petersen, J.H. (1984). Larval settlement behavior in competing species: *Mytilus californianus* (Conrad) and *M. edulis* (L.). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 82: 147-159.
- Rico-Mora, R. (1987). Efecto interactivo de la temperatura y de la concentración de microalgas en la fisiología alimenticia y la energía potencial para el crecimiento de *Modiolus capax* Conrad. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, B.C., México, 91 pp.
- Salaya, J.F., Beauperthuy, J.I. y Martínez, J. (1976). Estudio sobre la biología, pesquería y cultivo del mejillón *Perna perna* en Venezuela. Informe Técnico No. 63. Segunda edición. Rep. de Venezuela, Ministerio de Agricultura y Cría, Oficina Nacional de Pesca, 51 pp.
- Secretaría de la Presidencia (1970). CEDROS 11R-IV. Carta de Climas. Comisión de Estudios del Territorio Nacional.
- Seed, R. (1977). Ecology. In: B.L. Bayne (ed.), Marine Mussels: Their Ecology and Physiology. International Biological Prog. 10, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 506 pp.
- Tortell, J. and Yap, W.P. (1976). Mussel culture gathering momentum in the Philippines. Fish Farming International, 3(4): 26-28.
- Vilas, R.B. (1966). El cultivo de mejillones en viveros flotantes. II Colectores de larvas. Laguna, 11: 21-28.
- Wilson, K.V. (1956). A distribution-free test of analysis of variance hypothesis. Psychological Bull., 53(1): 96-101.
- Zhang, F. (1984). Mussel culture in China. Aquaculture, 39: 1-10.