

**EL CICLO REPRODUCTIVO DE LA ALMEJA CATARINA, *Argopecten circularis* (SOWERBY, 1835), EN RELACION CON TEMPERATURA Y FOTOPERIODO, EN BAHIA CONCEPCION, B.C.S., MEXICO**

**THE REPRODUCTIVE CYCLE OF THE SCALLOP *Argopecten circularis* (SOWERBY, 1835) IN RELATION TO TEMPERATURE AND PHOTOPERIOD, IN BAHIA CONCEPCION, B.C.S., MEXICO**

Marcial Villalejo-Fuerte  
Rosa Isabel Ochoa-Báez\*

Departamento de Biología Marina  
CICIMAR, IPN  
Apartado postal 592  
La Paz, Baja California Sur, México, C.P. 23000

*Recibido en marzo de 1992; aceptado en febrero 1993*

**RESUMEN**

Se investigó la biología reproductiva de la especie *Argopecten circularis*, recurso importante en las pesquerías de moluscos en el Estado de Baja California Sur, en relación con factores exógenos como la temperatura y el fotoperiodo, en Bahía Concepción. Se utilizaron muestras mensuales de ejemplares adultos principalmente, con registros biométricos de concha, partes blandas y análisis histológico de las gónadas, y se describieron cinco estadios de maduración gonádica. Se confirmó que esta especie es hermafrodita funcional, con un patrón de reproducción caracterizado por un periodo de máxima actividad de diciembre a marzo, cuando las fases dominantes son madurez y desove. Las condiciones prevaletientes durante el desove máximo de invierno fueron: temperatura entre 16 y 22°C, y fotoperiodo entre 630 y 760 minutos de iluminación por día, en promedio mensual. Mediante el análisis histológico, se determinó la talla mínima de madurez individual, que correspondió a 35 mm de longitud anteroposterior, y la talla mínima de desove, de 47 mm. La talla mínima de madurez y desove poblacional fue de 58 mm de longitud anteroposterior. A partir de esta talla se observó el máximo potencial reproductor, que coincide con la ocurrencia de las menores temperaturas durante un ciclo anual. Las variaciones anuales en la estación reproductiva de esta especie, en las diferentes localidades de Baja California Sur, sugieren flexibilidad en la influencia de los factores exógenos y controles endógenos sobre el evento reproductivo.

*Palabras clave:* pectínidos, reproducción, factores exógenos, Bahía Concepción, *Argopecten circularis*.

**ABSTRACT**

The reproductive cycle of the scallop *Argopecten circularis*, an important resource of the fisheries in Baja California Sur, was studied in relation to exogenous factors such as temperature and photoperiod in Bahía Concepción. Monthly samples of adult specimens were used, and biometric data for the shell and soft body parts were recorded. The gonads were analysed histologically and five phases of gonadal maturation were described. This species was confirmed

---

\*Becario de la Comisión de Operación y Fomento para las Actividades Académicas del IPN.

to be functionally hermaphroditic, with a reproductive pattern characterized by a period of maximum activity from December to March, when the dominant phases are maturity and spawning. The prevailing conditions during the main spawning peak were: water temperature between 16 and 22°C, and photoperiod between 630 and 760 minutes of daily average illumination per month. The first maturation of the gonads, determined histologically, occurred when the organisms had an anteroposterior length of 35 mm. Spawning can occur at 47 mm. The minimum size for maturity and spawning in the general population was 58 mm. We determined that maximum reproductive potential starts at this size, and coincides with the lowest water temperature in the annual cycle. The annual variations in the spawning periods of this species, in different parts of Baja California Sur, suggest flexibility in the influence of exogenous factors and endogenous controls on the reproductive event.

**Key words:** pectinids, reproduction, exogenous factors, Bahía Concepción, *Argopecten circularis*.

## INTRODUCCION

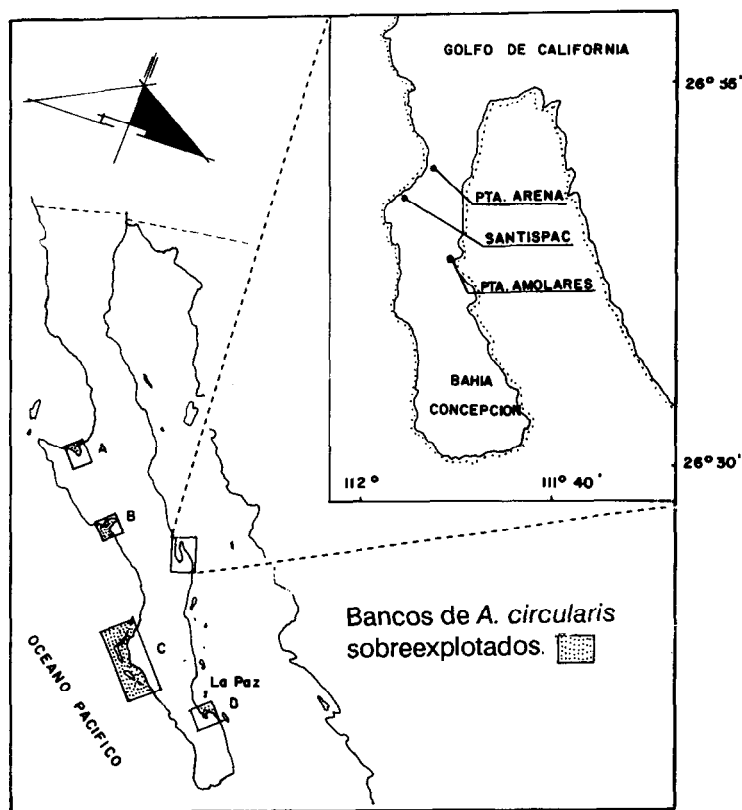
La almeja catarina, *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835), se distribuye desde Isla de Cedros y Golfo de California hasta Perú (Keen, 1971). En el Estado de Baja California Sur (México) es un recurso importante en las pesquerías de moluscos. De ella, se aprovecha el músculo aductor, que se conoce comúnmente como callo, y se exporta principalmente a Estados Unidos (Felix, 1985; Tripp, 1985). En Baja California Sur, la explotación intensiva de almeja catarina se lleva a cabo actualmente en los bancos naturales de Bahía Concepción, que son sobreexplotados. El conocimiento actual sobre la biología y dinámica poblacional de la especie no ha podido evitar el agotamiento de los bancos de la Ensenada de La Paz (Baqueiro *et al.*, 1981), Guerrero Negro, Laguna San Ignacio, Estero Santo Domingo y Estero San Buto, en Bahía Magdalena (Fig. 1).

La reproducción de *A. circularis* fue estudiada en la Ensenada de La Paz (B.C.S.) por Baqueiro *et al.* (1981), quienes utilizaron métodos histológicos y señalaron tres picos de desove durante un ciclo anual: en febrero, junio y agosto, que coincidieron con cambios bruscos de salinidad de 34.5 a 38‰. Felix (1985), mediante recolección de larvas en el plancton y captación de juveniles con colectores, concluyó que el desove de la almeja catarina en la Ensenada de La Paz ocurre en febrero y marzo, cuando la temperatura del agua aumenta de 19 a 21°C; en Bahía Concepción, Felix *et al.* (1989), a través de la fijación de juveniles, concluyeron que el desove de esta especie ocurre de abril a mayo. Por otra parte, Tripp (1985), mediante captación de juveniles en Bahía Magdalena, señaló que

## INTRODUCTION

The scallop *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835) is distributed from Cedros Island and the Gulf of California to Peru (Keen, 1971). It is an important resource of the mollusc fisheries in the state of Baja California Sur (Mexico). Use is made of the adductor muscle, commonly known as "callo", and it is mainly exported to the United States (Felix, 1985; Tripp, 1985). In Baja California Sur, *A. circularis* is at present being intensively exploited in Bahía Concepción, which has led to the overexploitation of the natural banks. Present-day knowledge of the biology and population dynamics of the species has not been able to prevent the depletion of the banks at: Ensenada de La Paz (Baqueiro *et al.*, 1981), Guerrero Negro, Laguna San Ignacio, Estero Santo Domingo and Estero San Buto, in Bahía Magdalena (Fig. 1).

Baqueiro *et al.* (1981) studied the reproduction of *A. circularis* in Ensenada de La Paz (B.C.S.) using histological methods. They reported three peaks of spawning activity during one annual cycle, in February, June and August, coinciding with abrupt changes in salinity from 34.5 to 38‰. Felix (1985) collected larvae in the plankton and gathered juveniles with collectors, and concluded that spawning in Ensenada de La Paz occurs in February and March, when water temperature increases from 19 to 21°C. Felix *et al.* (1989), from the settlement of juveniles, concluded that this species spawns from April to May in Bahía Concepción. Tripp (1985) collected juveniles in Bahía Magdalena, and reported that spawning in natural conditions begins in October and occurs on a large-scale in January and February.



**Figura 1.** Localización del área de estudio. Estaciones de muestreo y áreas de explotación de *Argopecten circularis*, en Baja California Sur: A, Laguna de Guerrero Negro; B, Laguna San Ignacio; C, Bahía Magdalena; D, Ensenada de La Paz.

**Figure 1.** Location of the study area, sampling stations and areas where *Argopecten circularis* is exploited, in Baja California Sur: A, Laguna de Guerrero Negro; B, Laguna San Ignacio; C, Bahía Magdalena; D, Ensenada de La Paz.

el desove en condiciones naturales empieza en octubre y ocurre en forma masiva en enero y febrero.

En la actualidad, la zona de mayor producción de almeja catarina es Bahía Concepción (B.C.S.), lo que motivó esta investigación sobre la biología y ecología reproductiva de la especie. El objetivo principal consiste en precisar el ciclo reproductivo en la zona de estudio, en relación con factores exógenos como temperatura superficial y fotoperiodo, ambos en sus variaciones mensuales y en escala estacional durante un ciclo anual. El estudio pretende aportar información de referencia para regulación de la pesquería, apoyo

At present, the area that has the largest production of *A. circularis* is Bahía Concepción (B.C.S.). The main objective of this study is to determine its reproductive cycle in this area, in relation to exogenous factors such as surface temperature and photoperiod, both on a monthly and seasonal scale during one annual cycle. This information may serve as reference for the management of the fishery, further studies on the population dynamics, the recuperation of banks, and extensive aquicultural programs in the area. Moreover, a scale of gonadal maturation at microscopic level is proposed and applied, which can be used to monitor reproduction.

de estudios posteriores del seguimiento de la dinámica poblacional, recuperación de bancos, así como para programas de acuicultura extensiva en la zona. Además, propone y aplica una escala de maduración de la gónada a nivel microscópico, que podrá utilizarse en estudios de monitoreo de reproducción.

## MATERIALES Y METODOS

Bahía Concepción está situada sobre la costa oriental de la Península de Baja California, entre los 26°55' y 26°30' de latitud N y 112° y 111°40' de longitud O (Fig. 1). Tiene casi 40 km de longitud y 10 km en su parte más ancha; está orientada en dirección NO-SE (McFall, 1968), y su extensión alcanza aproximadamente 281.93 km<sup>2</sup> (De la Cruz, comunicación personal).

Este estudio se llevó a cabo entre abril de 1988 y octubre de 1989, partiendo de la recolección de adultos de *A. circularis* en tres diferentes localidades. En Punta Arena, se hicieron muestreos mensuales y, en Playa Santispac y Punta Amolares, bimensuales; además se recolectaron organismos juveniles durante abril, mayo y junio, en las mismas estaciones (Fig. 1).

Las muestras consistieron en 30 ejemplares, en promedio, recolectados por buceo libre a una profundidad entre 2 y 6 m. Se fijaron en una solución de formalina, y después de lavarlos se registró longitud, alto y ancho o espesor, siguiendo el criterio establecido por Ansell (1961).

Las gónadas se pesaron y se sometieron al proceso histológico con inclusión en parafina; se obtuvieron cortes de 7 µm con un micrótopo de rotación y se tiñeron con hematoxilina-eosina (Gray, 1958; Humason, 1962). Se analizó microscópicamente la gónada y se elaboró una escala, caracterizando las fases de desarrollo gonadal en relación con los siguientes aspectos:

- Abundancia y distribución del tejido conjuntivo (expresados en porcentaje aproximado: ausente, 0%; escaso, 10%; regular, entre 20 y 50%; abundante, > 50%).
- Grado de desarrollo folicular (expresado en número de folículos o túbulos por área y "diámetro" de los mismos).
- Grado de desarrollo gametogénico (expresado en porcentaje de células en los diferentes

## MATERIALS AND METHODS

Bahía Concepción is located on the western coast of the peninsula of Baja California, between 26°55' and 26°30' N and 112° and 111°40' W (Fig. 1). It is nearly 40 km long and 10 km in its widest part, oriented in a NW-SE direction (McFall, 1968), and has an area of approximately 281.93 km<sup>2</sup> (de la Cruz, personal communication).

This study was conducted between April 1988 and October 1989. Adult *A. circularis* were collected at three different localities. Monthly samplings were made at Punta Arena, and bimonthly at Playa Santispac and Punta Amolares. Juveniles were also collected at these stations in April, May and June (Fig. 1).

Samples consisted of 30 specimens on average, collected by skin diving between 2 and 6 m depth. They were fixed in a solution of formalin, and after rinsing them, the length, height and breadth or thickness were recorded, according to Ansell (1961).

Gonads were weighed and analysed histologically, with infiltration in paraffin. Sections of 7 µm were obtained with a rotary microtome and stained with hematoxylin-eosin (Gray, 1958; Humason, 1962). The gonad was analysed microscopically and a scale was elaborated, characterizing the phases of gonadal development in relation to the following aspects:

- Abundance and distribution of the conjunctive tissue (expressed in approximate percentage: absent, 0%; scarce, 10%; regular, between 20 and 50%; abundant, > 50%).
- Degree of follicular development (expressed in number of follicles or tubules per area and their "diameter").
- Degree of gametogenic development (expressed in percentage of cells in different stages of development in both sexes and "diameter" of the oocytes).
- Presence of residual gametes (expressed as gametic cells with intracellular destruction and lysis).

Measurements were taken of the "diameter" of the oocytes and of the tubules and follicles. Even though male and female acini

estadios de desarrollo en ambos sexos y "diámetro" de los ovocitos).

- Presencia de gametos residuales (expresada como células gaméticas con destrucción intracelular y lisis).

Se tomaron medidas del "diámetro" de los ovocitos y de los túbulos y folículos. Aunque los acinis masculinos y femeninos son de forma irregular, se registró la medida más larga y se le denominó "diámetro". Se utilizó este indicador como una medida representativa del grado de desarrollo folicular, considerándolo como un criterio adicional para caracterizar los estadios de madurez.

Se registró el número de folículos por área de  $0.5 \text{ mm}^2$  en cada uno de los estadios caracterizados histológicamente, con el fin de precisar los criterios para establecer la escala de fases de desarrollo gonádico según las características morfológicas de los acinis femeninos y masculinos, las cuales permiten una estimación cualitativa. El método fue como sigue: en tres preparaciones histológicas de cada estadio de desarrollo gonádico, se midió con un micrómetro ocular el diámetro mayor de todos los ovocitos cuyo núcleo era visible en un área de  $0.5 \text{ mm}^2$ , y los diámetros de los ovocitos se agruparon por intervalos de clase. Se calculó la media y la desviación estándar para datos agrupados con las fórmulas dadas por Spiegel (1970).

En una preparación histológica de cada fase de desarrollo gonádico, se midió con un micrómetro ocular el diámetro mayor de todos los túbulos y folículos encontrados en un área de  $0.5 \text{ mm}^2$ . Los diámetros de los folículos se agruparon por intervalos de clase y se calculó la media y la desviación estándar para datos agrupados con las fórmulas dadas por Spiegel (1970). Se contó el número de folículos y túbulos en un área de  $0.5 \text{ mm}^2$ , en tres preparaciones histológicas de cada estadio de desarrollo gametogénico.

Posteriormente, se obtuvo la frecuencia relativa de estadios de desarrollo gonádico por mes, ajustándose a la escala descrita anteriormente, lo cual permitió describir el ciclo de reproducción en el área de estudio.

La determinación de la talla mínima individual se hizo clasificando las tallas de los individuos maduros o en desove (estadio III o IV, según el caso) mediante el análisis his-

have irregular shapes, the longest dimension was recorded and called "diameter". This indicator was used as a representative measure of the degree of follicular development, and considered an additional criterion to characterize the stages of maturity.

The number of follicles in an area of  $0.5 \text{ mm}^2$  was recorded for each stage determined histologically, in order to define criteria with which to establish the scale of phases of gonadal development, based on the morphological characteristics of male and female acini, from which a qualitative estimate may be obtained. The method was as follows: in three histological preparations of each stage of gonadal development, the largest diameter of all the oocytes whose nucleus was visible was measured with an ocular micrometer, in an area of  $0.5 \text{ mm}^2$ , and the diameters of the oocytes were grouped by size ranges. The mean and standard deviation of the data for each group were calculated with the formulae of Spiegel (1970).

In a histological preparation of each stage of gonadal development, the largest diameter of all the tubules and follicles found in an area of  $0.5 \text{ mm}^2$  was measured with an ocular micrometer. The diameters of the follicles were grouped by size ranges and the mean and standard deviation of the data for each group were calculated with the formulae of Spiegel (1970). The number of follicles and tubules in an area of  $0.5 \text{ mm}^2$  was recorded, in three histological preparations of each stage of gametogenic development.

Subsequently, the monthly relative frequency of the stages of gonadal development was obtained, according to the previously described scale. This enabled the description of the reproductive cycle in the study area.

The minimum individual size was determined by grouping mature or spawning individuals (stage III or IV, depending on the case) by size, obtained by means of the histological analysis of the gonads, and choosing the smallest size in which mature or spawning organisms were recorded.

The minimum size for maturity and spawning in the general population was determined at 50% of the distribution of accumulated relative frequencies of mature or spawning organisms.

The sizes with greatest reproductive potential were defined as those having lengths greater than the minimum size for maturity in

tológico de las gónadas, y escogiendo la talla menor en que se registraron organismos maduros o en desove.

La talla mínima poblacional de madurez y desove se determinó al 50% de la distribución de frecuencias relativas acumuladas de organismos maduros o en desove.

Las tallas con mayor potencial reproductivo se definieron como las de longitudes mayores que la talla mínima de madurez a nivel poblacional. Se calculó el índice gonadosomático promedio por mes, según los criterios de Sastry (1970). Aunque este autor lo denomina índice gonádico, considera una relación entre el peso de la gónada y el de las partes blandas. Los promedios del índice gonadosomático se graficaron para cada estación de muestreo.

Durante los muestreos, se registró la temperatura con un termómetro de cubeta. Se aclara que aunque los ejemplares capturados se recolectaron por debajo de 2 m de profundidad, los datos de temperatura utilizados en este estudio corresponden a los registros en fechas y horas del muestreo, en la capa superficial (0 y 15 cm de profundidad). Se asumió que la variación estacional de temperatura es la más importante en las masas de agua, y ésta se consideró factor influyente sobre la reproducción en condiciones naturales.

El fotoperiodo se utilizó extrayendo los datos de los registros publicados en los almanaques náuticos de la Secretaría de Marina de México. Se asumió que la variación estacional del fotoperiodo es un factor de influencia en la reproducción de esta especie. Los datos se refirieron a los valores del periodo de iluminación en cada día (24 horas), y se calculó un promedio en minutos de iluminación para cada mes, entre abril de 1988 y junio de 1989, para la latitud correspondiente a Bahía Concepción (B.C.S.).

## RESULTADOS

### Caracterización de los estadios

A continuación se describen cada uno de los estadios, de acuerdo con los criterios mencionados en la metodología.

**Estadio 0.** Tejido conjuntivo abundante. Doce folículos con diámetro promedio de 105  $\mu\text{m}$ . Células germinales escasas. Gametos residuales ausentes.

the population. The average gonadosomatic index was calculated for each month, according to the criteria of Sastry (1970). Though this author calls it a gonadal index, a relationship is considered between the weight of the gonad and the weight of the soft parts. The averages of the gonadosomatic index were plotted for each station.

During the samplings, temperature was recorded with a bucket thermometer. Though the specimens were collected below 2 m depth, the temperature data used in this study are those recorded in the surface layer (0 to 15 cm depth) at the time of the sampling. We assumed that the seasonal variation of temperature is the most important in masses of water, and this is considered a factor that influences reproduction in natural conditions.

Data from the nautical almanacs of the Secretaría de Marina of Mexico were used to define the photoperiod. It was assumed that the seasonal variation of the photoperiod influences the reproduction of this species. The data correspond to the daily (24 h) period of illumination, and an average in minutes of illumination was calculated for each month, between April 1988 and June 1989, for the latitude corresponding to Bahía Concepción (B.C.S.).

## RESULTS

### Characterization of the stages

Each stage is described below, according to the criteria mentioned in the previous section.

**Stage 0,** Abundant conjunctive tissue. Twelve follicles with average diameter of 105  $\mu\text{m}$ . Germ cells scarce. Residual gametes absent.

**Stage I,** *initial gametogenesis.* Abundant interfollicular conjunctive tissue. Evident follicular development. Twenty-seven follicles or tubules per area. Average follicular diameter, 207  $\mu\text{m}$ . Average diameter of oocytes, 16  $\mu\text{m}$ . Average diameter of the seminiferous tubules, 186  $\mu\text{m}$  (tables 1, 2, 3). Abundant spermatozoa.

**Stage II,** *advanced gametogenesis.* Interfollicular conjunctive tissue scarce. Sixteen follicles per area (table 3). Average follicular diameter, 201  $\mu\text{m}$ . Oocytes polygonal and pyriform

Estadio I, *gametogénesis inicial*. Tejido conjuntivo interfolicular abundante. Desarrollo folicular evidente. Veintisiete folículos o túbulos por área. Diámetro folicular promedio de 207  $\mu\text{m}$ . Diámetro promedio de ovocitos, 16  $\mu\text{m}$ . Diámetro promedio de los túbulos seminíferos, 186  $\mu\text{m}$  (tablas 1, 2, 3). Espermatoцитos abundantes.

(Fig. 2a). Average diameter of the seminiferous tubules, 190  $\mu\text{m}$  (table 2). Spermatoocytes abundant in the periphery of the tubules (Fig. 3a).

Stage III, *maturity*. Conjunctive tissue absent. Follicles full of oocytes (Fig. 2b), with average diameter of 44  $\mu\text{m}$  (table 1). Six to

**Tabla 1.** Distribuciones de frecuencias absolutas de los "diámetros" de los ovocitos, en  $\mu\text{m}$ , para las distintas fases gametogénicas: gametogénesis inicial (I), gametogénesis avanzada (II), madurez (III), desove (IV) y postdesove (V).

**Table 1.** Distribution of absolute frequencies of the "diameters" of the oocytes in  $\mu\text{m}$  for the different gametogenic phases: initial gametogenesis (I), advanced gametogenesis (II), maturity (III), spawning (IV) and spent (V).

Micras	I	II	III	IV	V
9.7	539	68	-	-	7
19.4	285	156	13	-	27
29.1	87	191	76	11	43
38.8	44	199	83	21	98
48.5	1	100	100	45	1
58.2	-	8	45	22	-
67.9	-	-	21	4	-
77.6	-	-	18	1	-
n	956	722	356	104	176
x	15.73	30.85	44.87	47.56	32.35
s	8.16	11.86	14.01	10.05	8.57

**Tabla 2.** "Diámetro" promedio y desviación estándar de los folículos ( $\text{♀}$ ) y túbulos ( $\text{♂}$ ), en los diferentes estadios de madurez gonádica.

**Table 2.** Average "diameter" and standard deviation of the follicles ( $\text{♀}$ ) and tubules ( $\text{♂}$ ), in the different stages of gonadal maturity.

Estadio	Diámetro			Diámetro		
	Túb. ( $\mu\text{m}$ )	n	sd	Fol. ( $\mu\text{m}$ )	n	s
0 Virginal	105.8	51	35.0	105.8	51	35.0
I Gam. inicial	185.8	20	72.1	206.2	23	108.1
II G. avanzada	190.0	17	82.0	201.1	22	86.3
III Madurez	346.3	34	88.3	349.8	31	92.7
IV Desove	256.9	29	63.4	262.5	35	77.7
V Postdesove	105.4	24	31.24	205.3	31	62.7
VI Reposo	106.7	35	40.41	106.7	35	40.41

Estadio II, *gametogénesis avanzada*. Tejido conjuntivo interfolicular escaso. Dieciséis folículos por área (tabla 3). Diámetro folicular promedio, 201  $\mu\text{m}$ . Ovocitos poligonales y piriformes (Fig. 2a). Diámetro promedio de los túbulos seminíferos, 190  $\mu\text{m}$  (tabla 2). Espermatocitos abundantes en la periferia de los túbulos (Fig. 3a).

Estadio III, *madurez*. Tejido conjuntivo ausente. Folículos llenos de ovocitos (Fig. 2b), con diámetro promedio de 44  $\mu\text{m}$  (tabla 1). Seis a ocho folículos por área, con diámetro de 350  $\mu\text{m}$  (tablas 2, 3). Espermatocitos y espermátides abundantes (Fig. 3b).

Estadio IV, *desove*. Tejido conjuntivo escaso y disperso. Folículos y túbulos parcialmente vacíos. Ovocitos maduros residuales (Fig. 2c), con diámetro promedio de 48  $\mu\text{m}$  (tabla 1). Nueve folículos o túbulos por área, con diámetro promedio de 258  $\mu\text{m}$  (tablas 2, 3). Grupos de espermatozoides en posición central en los túbulos (Fig. 3c).

Estadio V, *postdesove*. Tejido conjuntivo interfolicular abundante. Ovocitos y espermatozoides residuales aislados (Fig. 2d). Diámetro folicular promedio de 205  $\mu\text{m}$ . Diecisiete folículos por área (tabla 2). Túbulos seminíferos de 105  $\mu\text{m}$  de diámetro, en promedio (Fig. 3d).

Estadio VI, *inactividad*. Tejido conjuntivo abundante. Once folículos vacíos por área.

eight follicles per area, with diameter of 350  $\mu\text{m}$  (tables 2, 3). Abundant spermatocytes and spermatides (Fig. 3b).

Stage IV, *spawning*. Conjunctive tissue scarce and scattered. Follicles and tubules partially empty. Mature residual oocytes (Fig. 2c), with average diameter of 48  $\mu\text{m}$  (table 1). Nine follicles or tubules per area, with average diameter of 258  $\mu\text{m}$  (tables 2, 3). Groups of spermatozooids in central position in the tubules (Fig. 3c).

Stage V, *spent*. Abundant interfolicular conjunctive tissue. Isolated oocytes and spermatozooids (Fig. 2d). Average follicular diameter, 205  $\mu\text{m}$ . Seventeen follicles per area (table 2). Average diameter of seminiferous tubules, 105  $\mu\text{m}$  (Fig. 3d).

Stage VI, *inactivity*. Abundant conjunctive tissue. Eleven empty follicles per area. Follicular diameter, 106  $\mu\text{m}$  (tables 2, 3). Occasional residual gametes.

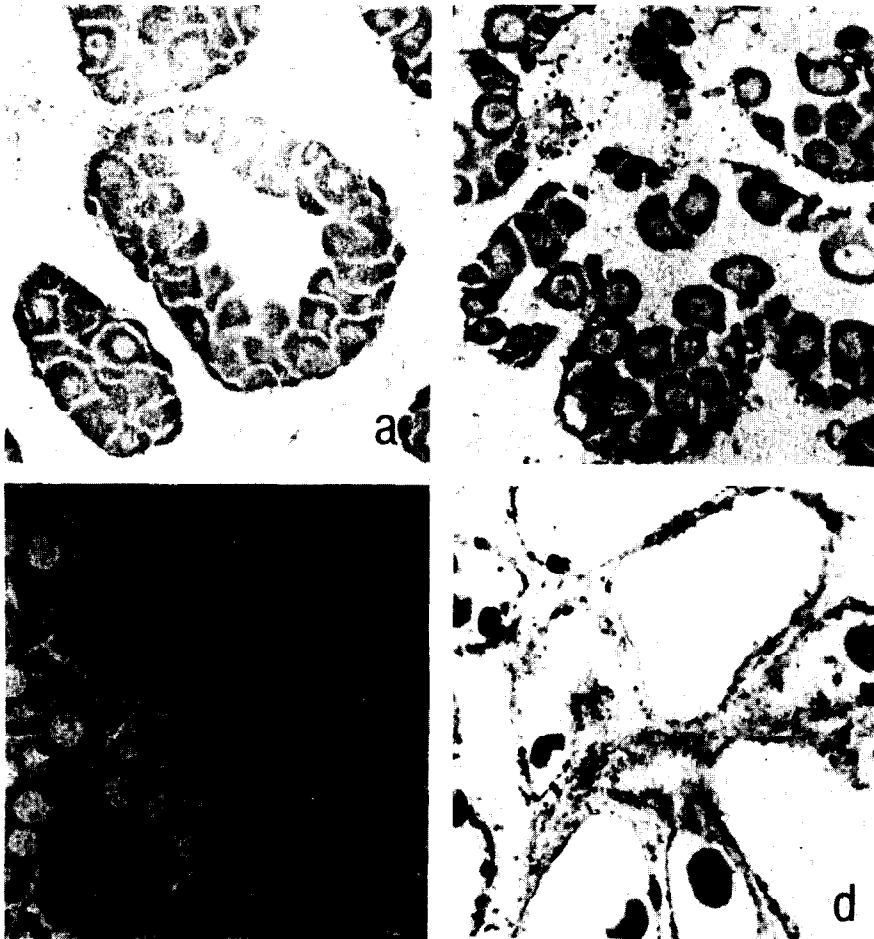
Both the size distribution of the oocytes and the diameter of the follicles and tubules increased, on average, from the stage of initial gametogenesis to maturity, whereas the number of follicles and tubules per area decreased. On the other hand, the average diameter of the follicles, tubules and oocytes decreased during the spawning and spent stages, whereas the number of tubules and follicles per area increased (tables 1, 2, 3).

**Tabla 3.** Número de folículos promedio por una área de 0.5 mm<sup>2</sup>, para los estadios de desarrollo gametogénico (0, I, II, III, IV y V).

**Table 3.** Average number of follicles in an area of 0.5 mm<sup>2</sup>, for the stages of gametogenic development (0, I, II, III, IV and V).

0	Prom.	I	Prom.	II	Prom.	III	Prom.	IV	Prom.	V	Prom.	Reg.
11		28		16		9		10		13		Fem.
12	12	26	27	18	16.3	8	8.3	8	8.6	18	16.6	Fem.
13		27		15		8		8		19		Fem.
		24		16		7		10		15		Masc.
		30	27	15	15.6	4	6	10	9.6	7	10.6	Masc.
		27		16		7		9		10		Masc.





**Figura 2.** Imagen histológica de los estadios de desarrollo gametogénico en la porción femenina. a) gametogénesis intermedia, b) madurez, c) desove, d) postdesove. Escala, 1.0 cm = 100  $\mu$ m.

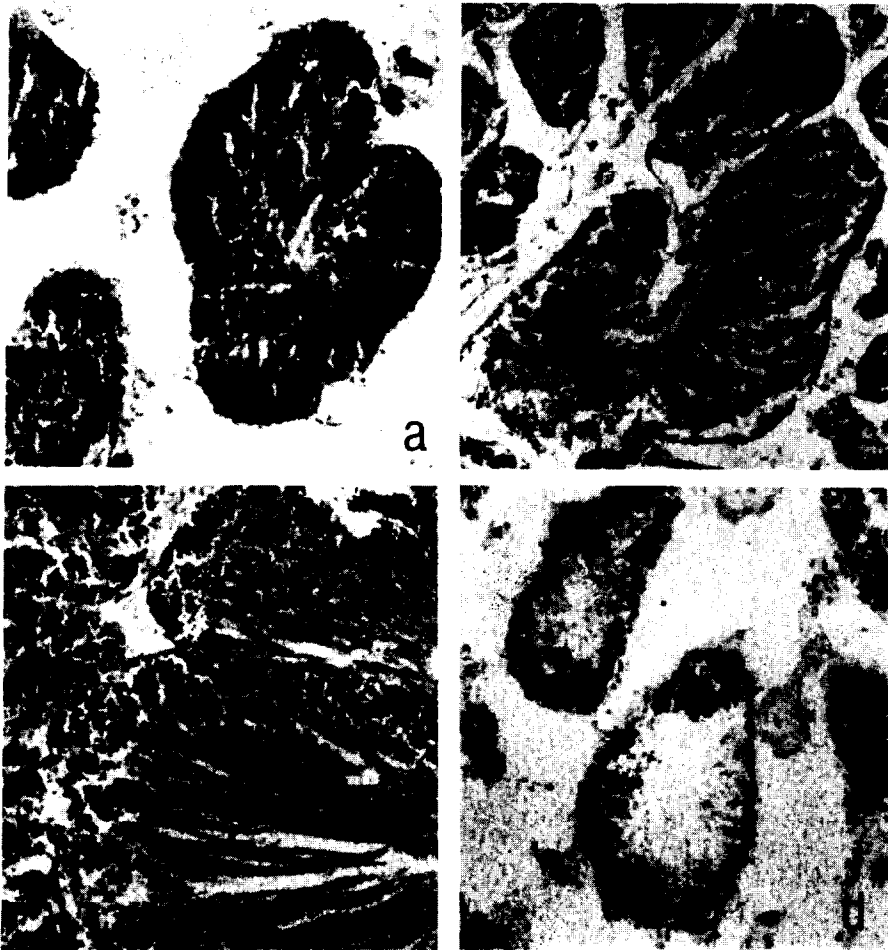
**Figure 2.** Histological image of the stages of gametogenic development in the female portion. a) intermediate gametogenesis, b) maturity, c) spawning, d) spent. Scale, 1.0 cm = 100  $\mu$ m.

Diámetro folicular de 106  $\mu$ m (tablas 2, 3).  
Ocasionalmente gametos residuales.

Tanto la distribución de tallas de los ovocitos como el diámetro de los folículos y túbulos aumentaron, en promedio, desde la fase de gametogénesis inicial hasta la madurez, mientras que el número de folículos y túbulos por área disminuyó. Por otra parte, durante la

#### Reproductive cycle

The gametogenic development of this species indicated continuous spawning activity. Mature organisms (stage III) were present in nearly all the months sampled, though the highest frequencies of this stage occurred between December and March (end of autumn and winter).



**Figura 3.** Imagen histológica de los estadios de desarrollo gametogénico en acinis masculinos. a) gametogénesis intermedia, b) madurez, c) desove, d) postdesove. Escala, 1.0 cm = 100  $\mu$ m.

**Figure 3.** Histological image of the stages of gametogenic development in male acini. a) Intermediate gametogenesis, b) maturity, c) spawning, d) spent. Scale, 1.0 cm = 100  $\mu$ m.

fase de desove y postdesove disminuyó el "diámetro" promedio de folículos, túbulos y ovocitos, mientras que aumentó el número de túbulos y folículos por área (tablas 1, 2, 3).

#### Ciclo de reproducción

El desarrollo gametogénico de esta especie indicó que existe actividad desovante continua, evidenciada por la presencia de

"Virgin" organisms were found in April and July 1988, and May 1989 (in spring and early summer; Fig. 4). The highest frequency of organisms in initial gametogenesis occurred in August 1988 (summer), and lower frequencies in July 1988 and June 1989. The stage of advanced gametogenesis was dominant in autumn, spring and summer (Fig. 4). The highest frequencies of the spawning stage occurred in January, February, March and April (late winter and early spring).

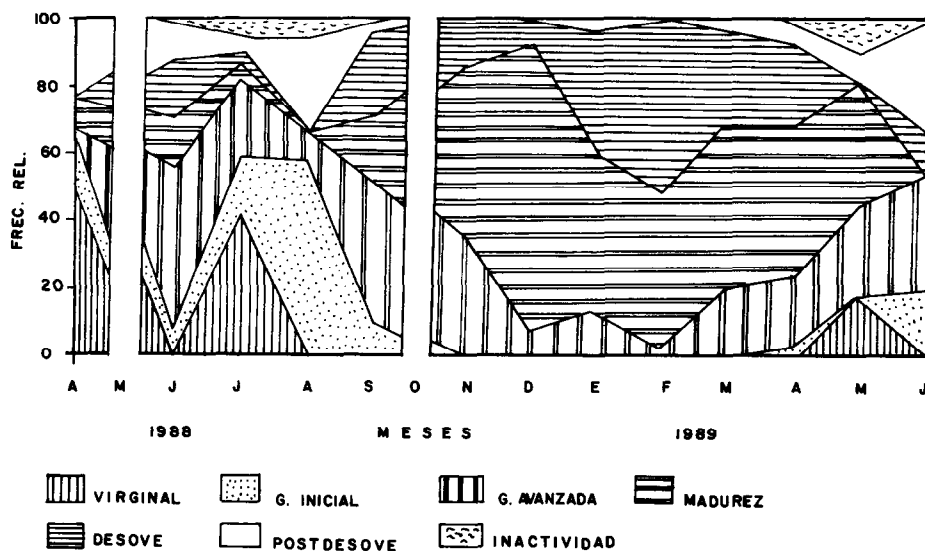


Figura 4. Fluctuación mensual de la madurez de *A. circularis*.  
 Figure 4. Monthly fluctuation of the maturity of *A. circularis*.

organismos maduros (estadio III) en casi todos los meses muestreados, aunque las frecuencias más elevadas del estadio ocurrieron entre diciembre y marzo (final del otoño, e invierno).

Los organismos "virginales" se presentaron en abril y julio de 1988, y mayo de 1989 (en primavera e inicio del verano; Fig. 4). La frecuencia más alta de organismos en gametogénesis inicial se observó en agosto de 1988 (durante el verano); hubo frecuencias menores en julio de 1988 y junio de 1989. La fase de gametogénesis avanzada se mostró dominante en otoño, primavera y verano (Fig. 4). El estadio de desove tuvo sus mayores frecuencias en enero, febrero, marzo y abril (final del invierno y principio de primavera).

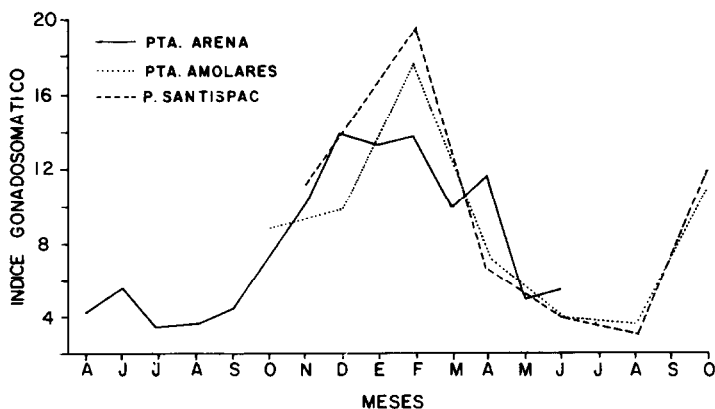
El estadio de postdesove (V) se encontró consistentemente en abril y agosto de 1988, y junio de 1989. La disminución de la actividad reproductiva mostró altas frecuencias durante los meses de verano (julio y septiembre). Los gametos masculinos y femeninos se observaron maduros simultáneamente, en el mismo individuo, aunque no fue posible medir el grado de protandria del desarrollo gametogénico en la gónada.

Spent organisms (stage V) consistently occurred in April and August 1988, and June 1989. The decrease in reproductive activity showed high frequencies during the summer months (July and September). Mature male and female gametes occurred simultaneously in the same individual, though it was not possible to measure the degree of protandry in the gonad during gametogenic development.

Both the gonadosomatic index and the degree of gonadal development showed the same pattern of variation, with comparable fluctuations at the three sampling stations (Fig. 5). The highest values of this index were found at the end of autumn and during winter, coinciding with the maximum frequency of mature and spawning individuals (Fig. 4). The lowest values occurred in summer and the period of recovery began in autumn (Fig. 5).

#### Maturation in relation to size

Organisms collected at the Punta Arena station had sizes ranging from 8 to 77 mm, and the smallest were found in April, May and June. At Punta Amolares, sizes ranged from 17 to 80 mm and the smallest were collected in



**Figura 5.** Variación del índice gonadosomático en las estaciones de muestreo.  
**Figure 5.** Variation of the gonadosomatic index at the sampling stations.

Tanto el índice gonadosomático como el grado de desarrollo de la gónada presentaron el mismo patrón de variación, con fluctuaciones comparables en las tres estaciones de muestreo analizadas (Fig. 5). Los valores más elevados de este índice se encontraron al final del otoño y durante el invierno, coincidiendo con la máxima frecuencia de individuos maduros y en desove (Fig. 4). Los valores más bajos ocurrieron en verano y se inició la recuperación en otoño (Fig. 5).

#### Maduración en relación con la talla

Los organismos recolectados en la estación Punta Arena tuvieron tallas de 8 a 77 mm, y los de menor tamaño se registraron en abril, mayo y junio. En Punta Amolares, el intervalo de tallas fue de 17 a 80 mm y los menores se recolectaron en junio. En Santispac, los organismos recolectados midieron entre 26 y 77 mm, y los menores se presentaron en abril.

Los organismos encontrados en gametogénesis inicial por el análisis histológico, tuvieron entre 26 y 38 mm de longitud anteroposterior; los ejemplares menores de 26 mm se presentaron indiferenciados. La talla mínima de organismos maduros fue 35 mm, y 47 mm en organismos cuyos folículos mostraron evidencias de desove. A nivel poblacional, la talla mínima de madurez y desove (Fig. 6) fue 58 mm de longitud anteroposterior para el 50% de la población. De acuerdo con los

June. At Santispac, the organisms measured between 26 and 77 mm and the smallest occurred in April.

The anteroposterior length of organisms found in initial gametogenesis, determined histologically, was between 26 and 38 mm; specimens smaller than 26 mm were indifferentiated. The smallest size of mature organisms was 35 mm, and 47 mm in organisms whose follicles showed signs of spawning. In the general population, the minimum size for maturity and spawning (Fig. 6) was 58 mm anteroposterior length for 50% of the population. According to the results, sizes greater than 58 mm in length were assumed to have maximum reproductive potential, since mature and spawning organisms were consistently found in the 58 to 74 mm range.

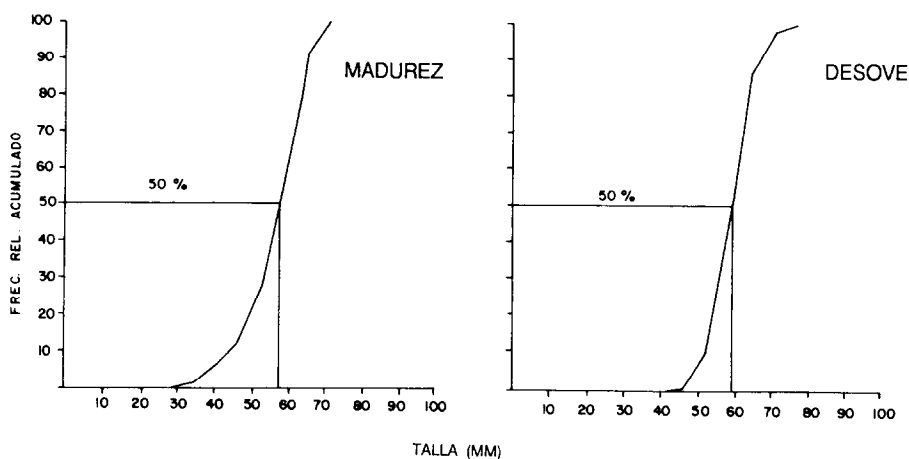
#### Temperature

Surface temperature in the study area increased in spring and summer, and the highest value, 31.5°C, was recorded in August 1988. It decreased in autumn through winter, and the lowest value, 16°C, was recorded in February. This pattern occurred in 1989 (Fig. 7).

Average monthly variations of surface temperature were related to the proportion of spawning organisms with the equation:

$$y = 2.42 - 0.176x + 0.0033x^2$$

$$r^2 = 58.8\%$$



**Figura 6.** Talla mínima de madurez y desove a nivel poblacional.  
**Figure 6.** Minimum size for maturity and spawning in the general population.

resultados se asumió que las tallas de mayor potencial reproductivo son mayores de 58 mm de longitud, debido a que se encontraron consistentemente organismos maduros y en desove en el intervalo de 58 mm a 74 mm.

### Temperatura

La temperatura superficial en la zona de estudio aumentó durante la primavera y el verano, hasta alcanzar el valor más alto, que fue 31.5°C, en agosto de 1988. El descenso se inició en otoño, y continuó hasta el invierno, cuando se registró 16°C, en febrero. Este patrón de oscilación se repitió en 1989 (Fig.7).

Las variaciones, en promedio mensual, de temperatura superficial se relacionaron con la proporción de organismos en desove mediante la ecuación:

$$y = 2.42 - 0.176 x + 0.0033 x^2$$

$$r^2 = 58.8\%$$

donde  $y$  es proporción de organismos en desove;  $x$ , temperatura (C°);  $r^2$ , coeficiente de determinación.

Se encontró que el modelo explica en un 60% la relación entre la temperatura superfi-

where  $y$  is the proportion of spawning organisms,  $x$  the temperature (°C) and  $r^2$  the coefficient of determination.

This model explains by 60% the relationship between monthly surface temperature and the proportion of spawning organisms in the population. An analysis of variance (table 4) was made to evaluate the regression equation.

### Photoperiod

The longest monthly average daily illumination in the study area occurred during summer, with 820 minutes in June. The hours of illumination decreased at the end of summer and during autumn. The shortest time of illumination occurred in winter at the end of December with 640 minutes (Fig. 7). The relationship between the photoperiod and the proportion of mature organisms was obtained with the equation:

$$y = 2.57 - 0.00304 x^2$$

$$r^2 = 65.6\%$$

where  $y$  is the proportion of mature organisms,  $x$  the photoperiod (average monthly minutes

cial mensual y la proporción de organismos desovantes en la población, y se hizo un análisis de varianza (tabla 4) para evaluar la ecuación de regresión.

**Fotoperiodo**

La mayor iluminación promedio diaria, por mes, ocurrió en la zona, durante el verano, con 820 minutos, en junio. Las horas de iluminación disminuyeron al final del verano y durante el otoño. El menor tiempo de iluminación fue en invierno a finales de diciembre, con 640 minutos (Fig. 7). La relación entre el fotoperiodo y la proporción de organismos maduros se obtuvo mediante la ecuación:

$$y = 2.57 - 0.00304 x^2$$

$$r^2 = 65.6\%$$

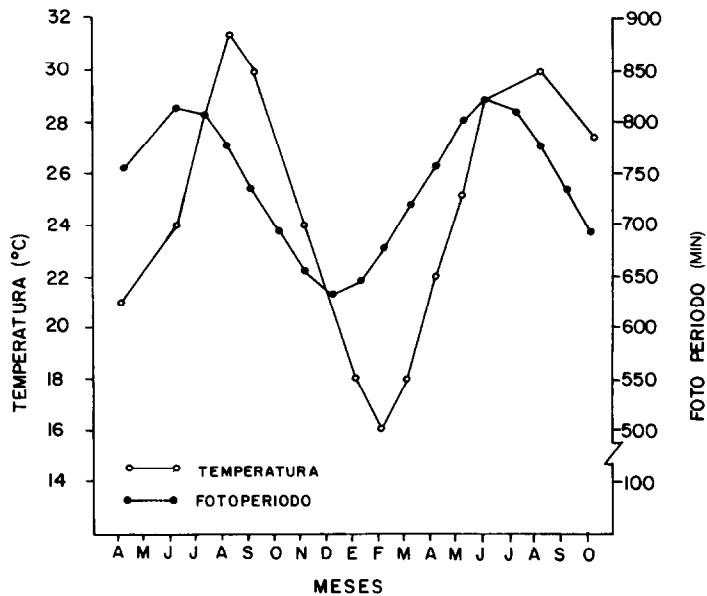
donde y es proporción de organismos maduros; x, fotoperiodo (minutos de iluminación, en promedio mensual); r<sup>2</sup>, coeficiente de determinación.

of illumination) and r<sup>2</sup> the coefficient of determination.

This model explains by 66% the relationship between the minutes of average monthly illumination and the proportion of mature organisms in the population. An analysis of variance (table 5) was made to evaluate the equation.

**DISCUSSION**

The different stages of gonadal development were identified based on their qualitative and quantitative characteristics. Baqueiro *et al.* (1981) presented a histological scale for *A. circularis* which included five phases of gametogenic development, but did not consider quantitative criteria in their definition. Histological scales of gonadal development have also been developed for other pectinids, such as *Chlamys varia*, *C. distorta*, *C. tigerina*, *C. striata* and *C. furtiva* (Reddiah, 1962), and *Pecten maximus* (Mason, 1958). However,



**Figura 7.** Fluctuación de la temperatura superficial y el fotoperiodo en Bahía Concepción, B.C.S., México.

**Figure 7.** Fluctuation of surface temperature and photoperiod in Bahía Concepción, B.C.S., Mexico.

**Tabla 4.** Análisis de varianza para la ecuación de regresión entre la proporción de organismos en desove y la temperatura superficial.

**Table 4.** Analysis of variance for the equation of regression between the proportion of spawning organisms and surface temperature.

Fuente	g.l.	Sum. cuad.	Cuad. med.	F.	F. crítico
Regresión	2	0.16796	0.08398	7.15	4.10
Residual	10	0.11745	0.01174		
Total	12	0.28541			

**Tabla 5.** Análisis de varianza para la ecuación de regresión entre la proporción de organismos maduros y el fotoperiodo.

**Table 5.** Analysis of variance for the equation of regression between the proportion of mature organisms and photoperiod.

Fuente	g.l.	Sum. cuad.	Cuad. med.	F.	F. crítico
Regresión	1	0.51852	0.51852	20.97	4.48
Residual	11	0.27199	0.24734		
Total	12	0.79051			

Se encontró que el modelo explica en un 66% la relación entre los minutos de iluminación mensual promedio y la proporción de organismos maduros en la población, y se hizo un análisis de varianza (tabla 5) para evaluar la ecuación.

## DISCUSION

La identificación de los diferentes grados de desarrollo de la gónada se fundamentó en la caracterización cualitativa y cuantitativa de cada uno de ellos. Baqueiro *et al.* (1981) presentaron una escala histológica para *A. circularis* con cinco fases de desarrollo gametogénico; sin embargo, no incluyeron los criterios cuantitativos para definirlos. También para otros pectínidos, como *Chlamys varia*, *Ch. distorta*, *Ch. tigrina*, *Ch. striata* y *Ch. furtiva* (Reddiah, 1962), y para *Pecten maximus* (Mason, 1958), se han desarrollado escalas histológicas de desarrollo gonadal, pero sin abordar aspectos cuantitativos. La escala propuesta tiene la ventaja de que permite distinguir las etapas del desarrollo por medio

these studies did not consider quantitative aspects. The scale proposed herein has the advantage of allowing the stages of development to be distinguished by means of the modal frequency of the "diameter" of the oocytes. At the same time, it indicates the phase of growth of the oocytes during oogenesis, depending on their diameter, which is shown by the rapid displacement of the principal mode from the stage of initial gametogenesis (9.7  $\mu\text{m}$ ) to that of advanced gametogenesis (38.8  $\mu\text{m}$ ), which in Bahía Concepción occurs in autumn.

## Reproductive cycle

In the present study, the spawning period of *A. circularis* in Bahía Concepción coincided with the fluctuations of the gonadosomatic index. According to Ito *et al.* (1975), this index increases before spawning and decreases afterwards. The gametogenic development produced an increase in the size of the gonad which resulted in a rapid increase of the gonadosomatic index during autumn and early winter. In late winter and spring, the gonado-

de la frecuencia modal del diámetro de los ovocitos. Al mismo tiempo, indica la fase de crecimiento de los ovocitos durante la ovogénesis, según el diámetro de los mismos, ya que ésta se hace evidente por el rápido desplazamiento de la moda principal de la fase de gametogénesis inicial (9.7 $\mu$ m) a la de gametogénesis avanzada (38.8 $\mu$ m), que en Bahía Concepción se presenta durante el otoño.

### Ciclo de reproducción

En este estudio en Bahía Concepción, el periodo de desove de *A. circularis* coincidió con las fluctuaciones del índice gonadosomático que, según Ito *et al.* (1975), se incrementa antes del desove y declina después de éste. El desarrollo gametogénico produjo un aumento en el tamaño de la gónada que se reflejó en una rápida elevación del índice gonadosomático durante el otoño y el inicio del invierno. A fines de invierno, y primavera el índice gonadosomático disminuyó debido al periodo de desove. En el verano se presentaron los valores más bajos, en coincidencia con las fases de postdesove y el inicio de la gametogénesis.

Las observaciones histológicas de las gónadas en el periodo de desove mostraron que algunos folículos estaban en parte desovados y en parte sin evidencias de evacuación, por lo que es probable que algunos ovocitos conservados en el ovario sean expulsados en uno o varios desoves posteriores. Esta emisión discreta de los gametos podría repetirse hasta producir la evacuación total de la gónada al final de la temporada de desove. También son probables la ocurrencia de más de un ciclo gametogénico durante el periodo de desove y las emisiones discretas de gametos, las cuales producen espacios vacíos en los folículos, como lo indican Salaya y Penchaszadeh (1978) para *Pecten papiraceus* de Venezuela.

En especímenes de *A. circularis* acondicionados en laboratorio, Avilés-Quevedo (1990) observó evacuaciones totales de gametos, sin corroborarlas con estudio histológico, y señaló además la ocurrencia de evacuación de espermatozoides anterior a la de óvulos. En este estudio se observó microscópicamente, en algunos individuos, la porción masculina con indicios de evacuación de espermatozoides, en tanto que la porción femenina se encontró completa. Ello se interpretó como que los espermatozoides son expulsados antes que los óvulos, aunque no fue posible cuantificar esto

somatic index decreased due to the spawning period. The lowest values occurred in summer, coincidentally with the spent and initial gametogenesis stages.

The histological observations of the gonads in the spawning period revealed that some follicles were in part spawned and in part with no evidence of evacuation. Therefore, some of the oocytes retained in the ovary are probably released in one or several subsequent spawnings. This discrete emission of the gametes may recur until the gonad has been completely emptied by the end of the spawning season. It is also probable that there is more than one gametogenic cycle during the spawning period and that discrete emissions of gametes occur, producing empty spaces in the follicles. This has been indicated by Salaya and Penchaszadeh (1978) for *Pecten papiraceus* from Venezuela.

Avilés-Quevedo (1990) observed total evacuations of gametes in specimens of *A. circularis* under laboratory conditions, but did not corroborate this with histological studies. This author also indicated that the spermatozooids are released before the ovules. In this study, it was found that in some individuals the male portion had discharged spermatozooids, whereas the female portion was complete. This lead to the assumption that the spermatozooids are released before the ovules. However, it was not possible to quantify this and it is considered a difficult aspect to measure in natural conditions. The occurrence of protandry in native populations of *A. circularis* during spawning, decreases the probability of autofecundation, though this is not totally discarded.

Two less intense spawning periods occurred during summer: one in June, which lasted approximately 30 days, and another in September. During these two spawnings, spent and inactive organisms were also detected with low frequencies; the stage of initial gametogenesis presented higher frequencies. Baqueiro *et al.* (1981) obtained similar results in their histological analysis of the gonads of organisms from Ensenada de La Paz, and reported the presence of mature organisms throughout the year, as well as low frequencies of organisms in the phase of indifferentiation, after the spawning periods.

In view of the low frequency of spent organisms found at the beginning of summer, it may be assumed that the period of recovery



y se considera un aspecto difícil de medir en condiciones naturales. La ocurrencia de protandria en *A. circularis* durante el desove, en poblaciones naturales, disminuye la probabilidad de autofecundación, aunque no la descarta totalmente.

Dos periodos de desoves de menor magnitud se presentaron en el verano, en junio, con una duración aproximada de 30 días, y en septiembre. Durante estos dos desoves también se detectaron postdesoves y organismos en inactividad con bajas frecuencias; la etapa de gametogénesis inicial presentó frecuencias más altas. Baqueiro *et al.* (1981) obtuvieron resultados similares, mediante el análisis histológico de las gónadas de organismos de la Ensenada de La Paz (B.C.S.), señalaron la presencia de organismos maduros durante todo el año, así como bajas frecuencias de organismos en la fase de indiferenciación, después de los periodos de desove.

La baja frecuencia de organismos en etapa de postdesove encontrada a principios del verano permite suponer que la recuperación de la gónada tiene una duración corta, o que posiblemente no todos los organismos pasan por ella, y la actividad gametogénica se inicia durante el postdesove. El aumento en las frecuencias de organismos en gametogénesis avanzada y los altos porcentajes de organismos maduros de febrero a abril, así como la presencia de ovocitos en crecimiento desde la pared de los folículos durante la etapa de desove, son evidencias que apoyan la existencia de más de un ciclo gametogénico durante la temporada de desove. Lo anterior requiere una investigación con estudios microscópicos finos en ciclos diarios, para determinar la proporción de la población desovante y la frecuencia de los desoves durante la estación reproductiva. Al mismo tiempo, es necesario un registro continuo de variables como las temperaturas superficial y del fondo, y las mareas, con el fin de precisar su relación con el desove y el ciclo diario de actividad gametogénica.

En poblaciones del medio natural, se encontró una correspondencia entre la variación de temperatura y las frecuencias de organismos en gametogénesis inicial, lo que sugiere que el aumento de temperatura durante el verano influyó favorablemente en la proliferación y crecimiento de los gametos en el epitelio germinal.

of the gonad is either short or that possibly not all organisms go through it and gametogenic activity begins during the spent phase. The higher frequencies of organisms in advanced gametogenesis and the high percentages of mature organisms from February to April, as well as the presence of oocytes growing attached to the walls of the follicles during the spawning stage, support the existence of more than one gametogenic cycle during the spawning season. This needs to be investigated with microscopic studies in daily cycles, to determine the proportion of the spawning population and the frequency of the spawns during the reproductive season. Likewise, the continuous monitoring of variables such as surface and bottom temperatures, and tides, is necessary in order to determine their relation to spawning and the daily cycle of gametogenic activity.

In the native populations studied, a relation was found between temperature and the frequency of organisms in initial gametogenesis. This suggests that the increase in temperature during summer has a favourable influence on the proliferation and growth of the gametes in the germinal epithelium.

On the other hand, the highest frequencies of mature organisms (stage III) occurred during autumn, coincidentally with a decrease in temperature from 30 to 21°C. Tripp (1985) reported a similar result for *A. circularis* from Bahía Magdalena (B.C.S.), and indicated that maturation of the gonad, determined by means of morphochromatic observations, coincided with a decrease in temperature from 30 to 22°C. Cáceres-Martínez *et al.* (1990) used the gonadal index as indicator of the development of the gonad in *A. circularis* from Bahía de La Paz (B.C.S.), and associated a decrease in temperature of 5°C (31 to 26°C), between September and October 1986, with intense gonadal activity, and an increase of 4°C, between February and March 1987, with a decrease in the gonadal index.

The importance of temperature in stimulating spawning has been shown under laboratory conditions. Sastry (1963) reported that in *Argopecten irradians* spawning was induced by decreasing the temperature from 30 to 22°C and from 32 to 28°C, and Avilés-Quevedo (1990) indicated that in *Argopecten circularis* spawning occurred when the temperature was decreased from 30 to 25°C. In

Por otra parte, las frecuencias más elevadas de organismos maduros (estadio III) se presentaron durante el otoño, en coincidencia con el descenso de temperatura de 30 a 21°C. Tripp (1985) informó de un resultado similar para *A. circularis* en Bahía Magdalena (B.C.S.), y señaló que la maduración de la gónada, determinada mediante observaciones morfo cromáticas, coincidió con un descenso de temperatura de 30 a 22°C. Por otro lado, Cáceres-Martínez *et al.* (1990), en la Bahía de la Paz (B.C.S.) utilizaron el índice gonádico como indicador del desarrollo de la gónada de *A. circularis*, y asociaron el descenso de temperatura de 5°C (31 a 26°C), de septiembre a octubre de 1986, con actividad gonádica intensa, y el incremento de 4°C, entre febrero y marzo de 1987, con disminución en el índice gonádico.

El efecto de la temperatura como mecanismo disparador del desove ha sido probado en condiciones de laboratorio: en *Argopecten irradians* por Sastry (1963), quien indujo el desove por disminución de la temperatura, de 30 a 22°C y de 32 a 28°C; y en *Argopecten circularis* por Avilés-Quevedo (1990), quien señaló que el desove se presentó al disminuir la temperatura de 30 a 25°C. En el medio natural, Taylor y Capuzzo (1983) encontraron que en *Argopecten irradians irradians* la proporción de organismos en desove y la temperatura se relacionaron mediante una ecuación lineal. Este criterio fue empleado para relacionar la temperatura superficial y la proporción de organismos desovantes, lo que permitió obtener en este estudio un 60% en la explicación de las variables. Felix *et al.* (1989) señalaron que la almeja catarina, en la Ensenada de La Paz, desova después de que la temperatura del agua se incrementa de 19 a 21°C. Los resultados obtenidos mediante el análisis histológico de la gónada, en las muestras de Bahía Concepción, indicaron que la temporada de desove se inició en enero, cuando la temperatura del agua estaba disminuyendo, y el máximo desove coincidió con las temperaturas más bajas (16°C) registradas durante el ciclo anual, y se extendió hasta abril, cuando se inició el aumento de la temperatura del agua.

Independientemente del método utilizado para determinar la maduración gonádica, se encontró que la gametogénesis coincide con un descenso de temperatura y el desove con

a natural environment, Taylor and Capuzzo (1983) found that in *Argopecten irradians* the proportion of spawning organisms was related to temperature following a linear equation. This criterion was used in this study to relate surface temperature and the proportion of spawning organisms, and it explained by 60% this relationship. Felix *et al.* (1989) indicated that *A. circularis*, in Ensenada de La Paz, spawns after the water temperature increases from 19 to 21°C. The results obtained from the histological analysis of the gonad, in the samples from Bahía Concepción, indicated that the spawning season began in January, when the water temperature was decreasing, and that maximum spawning coincided with the lowest temperatures (16°C) recorded during the annual cycle, occurring continuously until April, when water temperature began to increase.

Regardless of the method used to determine gonadal maturity, gametogenesis occurs coincidentally with a decrease in temperature and spawning with the lowest temperatures of the year, in different bays and areas. In the present study, due to logistic reasons, only surface temperature was recorded, even though there are variations with depth. However, since the specimens analysed were collected between 2 and 6 m depth, the variations in temperature are negligible. Greater importance was given to the seasonal variations in temperature and to their evident effect on gametogenic activity and the reproductive cycle.

Felix *et al.* (1989) installed collectors in Bahía Concepción in 1987, and reported an average settlement of 600 seeds of *A. circularis* in April and May, and that spawning occurs during these months. This differs from the results obtained in this study. However, it should be considered that the collection of juveniles with collectors is an indirect way of estimating the moment and length of the spawning phase. This is because the length of larval stages depends on factors such as temperature, availability of food and settlement substrate, and pediveliger larvae of pectinids may delay metamorphosis by at least a month until finding available substrate (Sakai, 1979). Another reason for this difference may be the delay of the spawning season due to environmental factors such as temperature. In this study, juveniles were

las mínimas temperaturas del año, en las diferentes bahías o zonas. Durante el presente estudio, por razones logísticas se registró sólo la temperatura superficial, aunque se reconoce que existen variaciones con la profundidad. Sin embargo, si se considera que los ejemplares analizados se recolectaron entre los 2 y 6 m de profundidad, las variaciones de temperatura pueden ignorarse. Para los fines de esta investigación, se atribuyó mayor importancia a las oscilaciones estacionales de temperatura, así como a su influencia clara en la sincronización de la actividad gametogénica y el ciclo reproductivo.

Felix *et al.* (1989) informan de la instalación de colectores, en Bahía Concepción durante 1987, con fijaciones promedio de 600 semillas de almeja catarina durante los meses de abril y mayo, e indican que durante estos meses se presenta el desove, lo que difiere de los resultados del presente trabajo. Debe considerarse que la captación de juveniles con colectores es un método indirecto para estimar el momento y la extensión de la fase de desove pues, debido a que la duración de los estadios larvales depende de factores como temperatura, disponibilidad de alimento y sustrato de fijación, las larvas pediveliger de los pectínidos pueden retardar la metamorfosis al menos un mes, hasta encontrar un sustrato disponible (Sakai, 1979). Otra explicación para esta diferencia puede ser el retraso de la temporada de desove debido a factores ambientales como la temperatura. De acuerdo con los resultados de este estudio, se encontraron juveniles durante abril, mayo y junio, lo que hace evidente que son producto del desove invierno-primavera.

En relación con la temporada de reproducción de *A. circularis* en otras áreas de Baja California Sur, hay diferencias ligeras en lo señalado para la Ensenada de La Paz. Baqueiro *et al.* (1981), mediante un estudio histológico de las gónadas, señalan que la fase de desove se presenta con mayor intensidad en febrero, junio y agosto, mientras que Felix (1985), por medio de la fijación de juveniles en colectores y la abundancia de larvas en el plancton, estima que el desove ocurre durante los meses de febrero y marzo. Por otra parte, los resultados de Tripp (1985) indican que en Bahía Magdalena el desove se presenta un poco antes que en Bahía Concepción. Las variaciones detectadas pueden explicarse, en parte, por las diferentes metodologías empleadas para determinar el momento del

found in April, May and June, which indicates that they are the product of winter-spring spawning.

Regarding the reproductive season of *A. circularis* in other areas of Baja California Sur, there are slight differences in that reported for Ensenada de La Paz. Baqueiro *et al.* (1981) indicated that spawning occurs with greater intensity in February, June and August, whereas Felix (1985) estimated that spawning occurs in February and March. On the other hand, the results of Tripp (1985) indicate that in Bahía Magdalena spawning occurs sooner than in Bahía Concepción. These differences may be explained, in part, by the different methods used to determine the moment of spawning, the different years in which the studies were made and the particular environmental conditions of each bay.

Other exogenous factors have been related to the spawning of *A. circularis* and require further investigation. Baqueiro *et al.* (1981) associated a spawning period in June to a change in salinity, from 34.5 to 38‰. Felix *et al.* (1989) mentioned that spawning is directly related to the lunar phases. In other pectinids, such as *Pecten opercularis*, Amirthalingham (1928) found that spawning is associated to the lunar phases and that maximum spawning occurs during full moon.

Photoperiod as a factor that influences spawning of invertebrates has been reported by Giese and Pearce (1974). It was subsequently indicated that maturation of the gametes and synchronization of the spawning in invertebrates generally occurs through a neuroendocrine component (Sastry, 1979). However, this has not been widely studied in bivalves. Histological and histochemical studies have shown that material accumulates in the neurosecretory cells of the cerebro-pleural and visceral ganglia of *Mytilus edulis* (Lubet, 1955; in Highnam and Hill, 1977). The discharge of neurosecretion has been correlated with oocyte growth and spawning in the mussel *Deissena polymorpha* (Antheunisse, 1963; in Highnam and Hill, 1977).

In *A. circularis*, the proportion of mature organisms in relation to photoperiod suggests that the time of illumination intervenes in the synchronization of gametogenic development and maturity, through an undescribed neuroendocrine component. In other pectinids, such as *A. irradians*, gametogenesis and growth of the gonad begins when the photoperiod is close to maximum, in Beaufort

desove, los distintos años en que fueron efectuados los estudios y las condiciones ambientales particulares de cada bahía.

Se requiere investigar otros factores exógenos que han sido señalados en relación con el desove en *A. circularis*. Baqueiro *et al.* (1981) vincularon un periodo de desove en junio con un cambio de salinidad de 34.5 a 38 ‰. Por otra parte, Felix *et al.* (1989) mencionaron que el desove tiene una relación directa con las fases lunares. En otros pectínidos, como *Pecten opercularis*, Amirthalingam (1928) encontró que el desove está asociado con las fases lunares y el máximo desove ocurre durante la luna llena.

El fotoperiodo como factor influyente en el desove de los invertebrados ha sido señalado por Giese y Pearse (1974). Posteriormente se indicó que la maduración de los gametos y la sincronización del desove en invertebrados generalmente se efectúa a través de una vía neuroendócrina (Sastry, 1979), lo cual está poco estudiado en los bivalvos. Con estudios histológicos e histoquímicos, se observó material acumulado en células neurosecretoras del ganglio visceral y cerebropleurales de *Mytilus edulis* (Lubet, 1955; citado por Highnam y Hill, 1977). La descarga de neurosecreción está relacionada con el crecimiento del ovocito y el desove en el mejillón *Deissena polymorpha* (Anteheunisse, 1963; citado por Highnam y Hill, 1977).

En *A. circularis*, la proporción de organismos maduros en función del fotoperiodo sugiere la influencia del tiempo de iluminación en la sincronización del desarrollo gametogénico y la madurez, a través de un componente neuroendócrino hasta ahora no descrito. En otros pectínidos, como *A. irradians*, la gametogénesis y el crecimiento de la gónada empieza cuando el fotoperiodo está cercano al máximo, en Beaufort (Carolina del Norte) y, con resultados similares, en Massachusetts (Sastry, 1970). Bajo condiciones de laboratorio se puede demostrar la influencia del fotoperiodo y la temperatura como factores que intervienen de manera directa en el desarrollo de la gónada y el desove. Los resultados sugieren que el patrón reproductivo de la especie en estudio está regulado por una combinación de múltiples factores exógenos, entre ellos la variación estacional de temperatura, a la que se atribuyen un efecto sincronizador de la maduración gametogénica y

(North Carolina) and similarly in Massachusetts (Sastry, 1970). The influence of temperature and photoperiod as factors that directly intervene in the development of the gonad or spawning can be shown under laboratory conditions. The results reported herein suggest that the reproductive pattern of *A. circularis* is regulated by a combination of multiple exogenous factors. The seasonal variation of temperature has a synchronizing effect on gametogenic maturation and a stimulating effect on spawning, with changes of 2°C close to its minimum average annual value. Photoperiod is considered to have a synchronizing effect on gametogenesis, regulated by the neurosecretory function, which responds to a decrease in the time of illumination.

On the other hand, the ecological relation between the populations of *A. circularis* and the phytoplankton must also be considered, in terms of specific composition, biochemical composition and abundance, as well as distribution and size of the particles. Martínez-López *et al.* (1992) reported that, in Bahía Concepción (B.C.S.), the most abundant species of planktonic diatoms in winter are *Chaetoceros curvicutus* and *C. lorenzianus* and that the highest values of particulate organic matter of proteic origin occur in February, whereas *Rhizosolenia imbricata* and *R. stoltherfotii* are the most abundant in spring and *Eucampia zodiacus* and *R. delicatula* in autumn.

With regard to size at first maturity and spawning, Tripp (1985) indicated that in Estero de Santo Domingo (B.C.S.), individuals of *A. circularis* attain their maturity and spawning at a length between 40 and 50 mm in October and November, when organisms are six to seven months old. This coincides with the individual spawning sizes determined herein for Bahía Concepción, although in the general population maturity and spawning occur in slightly bigger organisms. Gutsell (1930) and Marshal (1960) (in Broom, 1976) reported that first spawning in *Argopecten irradians* and *Argopecten gibbus* depends on age, not on size, and indicated that these species spawn for the first time after they are one year old.

English translation by Christine Harris.

un efecto disparador del desove, con cambio de 2°C cerca de su valor mínimo promedio anual. La influencia del fotoperiodo se puede considerar como un efecto sincronizador de la gametogénesis, regulada por la función neurosecretora, que responde a una disminución en el tiempo de iluminación.

Por otro lado, se debe considerar una relación ecológica de las poblaciones de *A. circularis* con el fitoplancton, respecto a composición específica, composición bioquímica y abundancia, así como distribución y tamaño de las partículas. Martínez-López *et al.* (1992) encontraron que en Bahía Concepción (B.C.S.) las especies más abundantes de diatomeas planctónicas durante el invierno son *Chaetoceros curvicutus* y *Ch. lorenzianus*; además, la materia orgánica particulada de origen proteico presentó los valores más elevados en febrero, mientras que *Rhizosolenia imbricata* y *Rh. stoltherfothii* fueron más abundantes en primavera, y *Eucampia zodiacus* y *Rh. delicatula* en otoño.

En cuanto a la talla de primera madurez y desove, Tripp (1985) señala que en el Estero de Santo Domingo (B.C.S.) la talla de madurez y desove se alcanza entre 40 y 50 mm de longitud, en los meses de octubre y noviembre, cuando los organismos tienen de 6 a 7 meses de edad. Este resultado coincide con las tallas individuales de desove determinadas en el presente trabajo para Bahía Concepción, aunque la madurez y desove a nivel poblacional se presentan en organismos con tallas un poco mayores. Gutsell (1930) y Marshal (1960) -citados por Broom (1976)- señalan que el primer desove en *Argopecten irradians* y *Argopecten gibbus* depende de la edad, no de la talla, e indican que dichas especies desovan por primera vez después de un año de edad.

## REFERENCIAS

- Amirthalingam, C. (1928). On lunar periodicity in reproduction of *Pecten opercularis* near Plymouth in 1927-28. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 15(2): 605-641.
- Ansell, A.D. (1961). Reproduction, growth and mortality of *Venus striatula* (Da Costa) in Kames Bay, Millport. *J. Mar Biol. Ass. U.K.*, 41: 191-215.
- Avilés-Quevedo, A. (1990). Crecimiento de la almeja catarina (*Argopecten circularis*) en función del alimento, con énfasis sobre su biología y desarrollo. Tesis de maestría, CICIMAR, IPN, La Paz, B.C.S., México, 120 pp.
- Baqueiro, C.E., Peña, R.I. y Massó, J.A. (1981). Análisis de una población sobre-explotada de *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835) en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. *Ciencia Pesquera*, 1(2): 57-65.
- Broom, M.J. (1976). Synopsis of biological data of scallops. *FAO, Fisheries Synopsis*, No. 114.
- Cáceres-Martínez, C., Ruiz-Verdugo, C.A. y Rodríguez-Jaramillo, M.C. (1990). Variaciones estacionales del índice gonádico y muscular de *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835) en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 5(1): 1-6.
- Felix Pico, E.F. (1985). Cultivo de *Argopecten circularis* en Baja California Sur, México. **5th International Pectinid Workshop**, La Coruña, Spain, 12 pp.
- Felix Pico, E.F., Tripp Quezada, A. y Singh Cabanillas, J. (1989). Antecedentes en el cultivo de *Argopecten circularis* (Sowerby), en Baja California Sur, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 4(1): 73-92.
- Giese, A.C. and Pearse, J.S. (1974). Introduction: General principles. In: A.C. Giese and J.S. Pearse (eds.), **Reproduction of marine invertebrates**. London Academic Press, New York, Vol. I, pp. 1-49.
- Gray, P. (1958). **Handbook of basic microtechnique**. McGraw Hill, N.Y., Toronto, London, 2nd Ed., 252 pp.
- Highnam, K.C. and Hill, L. (1977). **The comparative endocrinology of the invertebrates**, 2nd Ed. University Park Press, London, 357 pp.
- Humason, G.L. (1962). **Animal tissue techniques**, 2nd Ed. W.H. Freeman, San Francisco, 569 pp.
- Ito, S., Kanno, H. and Takahashi, K. (1975). Some problems on culture of the scallop in Mutsu Bay. Reprinted from the **Bulletin of the marine biological station of Amsamushi Tohoku University**, 15(2): 88-100.
- Keen, A.M. (1971). **Sea shells of tropical West America. Marine molluscs from Baja**

- California to Peru. California, Stanford Univ. Press, Stanford, 1025 pp.
- Martínez-López, A., Gárate-Lizárraga, I. y Romero-Ibarra, N. (1992). Variación espacio-temporal de la biomasa orgánica particulada en Bahía Concepción, durante 1991. **IV Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés** (resumen).
- Mason, J. (1958). The breeding of the scallop, *Pecten maximus* (L.), in Manx waters. **J. Mar. Biol. Ass. U.K.**, 37: 653-671.
- McFall, C.C. (1968). **Reconnaissance Geology of the Concepción Bay Area, Baja California Sur, Mexico**. Stanford Univ. Publications, Geological Sciences, Vol. 5, 25 pp.
- Reddiah, K. (1962). The sexuality and spawning of Manx pectinids. **J. Mar. Biol. Ass. U.K.**, 42: 683-703.
- Sakai, K. (1979). Scallop culture in Japan. In: M.G. Mottet (ed.), **A review of the fishery biology of scallops**. Was. Dep. Fish. Tech. Rep., 39: 101-187.
- Salaya, J.J. y Penchaszadeh, P.E. (1978). Contribución al conocimiento de la reproducción de la vieira *Pecten papyraceus* en Venezuela. **II Simposio de la Asociación Latinoamericana de Acuicultura**, México, 1978, 26 pp.
- Sastry, A.N. (1963). Reproduction of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. Influence of temperature on maturation and spawning. **Biol. Bull.**, 125: 146-153.
- Sastry, A.N. (1970). Reproductive physiological variation in latitudinally separated populations of the bay scallop *Aequipecten irradians* Lamarck. **Biol. Bull.**, 138: 56-65.
- Sastry, A.N. (1979). Pelecypoda (excluding Ostreidae). In: A.C. Giese and J.S. Pearse (eds.), **Reproduction of marine invertebrates**, Vol. V. Academic Press, New York, pp. 113-290.
- Spiegel, M.R. (1970). **Estadística: teoría y problemas**. McGraw Hill, 357 pp.
- Taylor, R.E. and Capuzzo, J.M. (1983). The reproductive cycle of the bay scallop, *Argopecten irradians* (Lamarck), in a small coastal embayment on Cape Cod, Massachusetts. **Estuaries**, 6(4): 431-435.
- Tripp, O.A. (1985). Explotación y cultivo de la almeja catarina *Argopecten circularis* en Baja California Sur. Tesis de maestría, **CICIMAR, IPN**, 267 pp.