

CICLO GONÁDICO DE *Pteria sterna* (GOULD, 1851) (MOLLUSCA, BIVALVIA) EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

GONADAL CYCLE OF *Pteria sterna* (GOULD, 1851) (MOLLUSCA, BIVALVIA) IN BAJA CALIFORNIA, MEXICO

Arnulfo H. Díaz¹
L. Fernando Bückle Ramírez²

¹ Centro de Ecología Costera, Universidad de Guadalajara
Gómez Farías 82
San Patricio-Melaque, Cihuatlán, Jalisco, CP 48980, México

² Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
Ave. Espinoza 843
Ensenada, Baja California, CP 22830, México

Recibido en septiembre de 1995; aceptado en agosto de 1996

RESUMEN

Se analizaron histológicamente 376 organismos de *Pteria sterna* obtenidos de una balsa experimental localizada en la Bahía de los Ángeles, Baja California, México. Se realizaron siete muestreos bimensuales desde agosto de 1987 hasta agosto de 1988, que cubrieron organismos de dos a catorce meses de edad. Se propone un ciclo gonádico con siete etapas de madurez y una escala histológica de madurez sexual con nueve estadios conspicuos. La edad de la primera madurez ocurrió en las hembras en octubre y posteriormente en los machos en diciembre. Con base en las observaciones, se concluye que la población de *P. sterna*, fijada a la balsa experimental en agosto de 1987, desovó continuamente, con picos en diciembre, febrero y agosto.

Palabras clave: madurez sexual, histología, *Pteria sterna*, Baja California, México.

ABSTRACT

Histological analyses were conducted on 376 organisms of *Pteria sterna* obtained from an experimental raft located in the Bay of los Ángeles, Baja California, Mexico. From August 1987 to August 1988, seven bimonthly samplings were made that covered animals from two to fourteen months of age. We propose a gonadal cycle with seven maturity phases and a histological scale of sexual maturity with nine conspicuous stages. The age of first maturity occurred in the females in October and in the males in December. Based on the observations, it is concluded that the population of *P. sterna*, settled on the experimental raft in August 1987, spawned continuously, with peaks in December, February and August.

Key words: sexual maturity, histology, *Pteria sterna*, Baja California, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Pteria sterna es un molusco bivalvo que vive en el Golfo de California (Brusca, 1980), forma perlas (Mosk, 1931) y su músculo

INTRODUCTION

Pteria sterna is a bivalve mollusk that inhabits the Gulf of California (Brusca, 1980); it produces pearls (Mosk, 1931) and its abductor

abductor ("callo") y la concha tienen importancia pesquera. Se han realizado investigaciones enfocadas a conocer la biología del recurso, tales como el cultivo y recolección experimental (Singh *et al.*, 1982; Monteforte y Cariño, 1991); alimentación con dietas artificiales (Mazón, 1986); captación de juveniles (Ruíz y Cáceres, 1990; Cáceres *et al.*, 1992); reproducción artificial (Araya *et al.*, 1991); presencia de larvas en el plancton (Serrano, 1992); fijación de larvas en estructuras flotantes y observación de los picos reproductivos (Bückle *et al.*, 1992); y crecimiento de juveniles en condiciones experimentales (del Río *et al.*, 1992). Tranter (1958a, b, c) y Rose *et al.* (1990) describen la histología gonadal de *Pinctada albina* y *Pinctada maxima*, respectivamente (familia Pteriidae), y el objetivo de este trabajo es detallar el ciclo reproductivo de *P. sterna* perteneciente a la misma familia.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los animales se obtuvieron de una balsa experimental de la cual colgaban 20 paños anchoveteros de 0.5 × 1 m destinados a la captación y cultivo de bivalvos. Este artefacto fue anclado en junio de 1987 en la ensenada La Gringa de la Bahía de los Ángeles, Baja California, México (28°51' a 29°03' de Lat. N y 113°27' a 113°36' de Long. O).

Los muestreos se iniciaron en agosto de 1987 y continuaron cada dos meses hasta agosto de 1988, obteniéndose organismos de dos a catorce meses de edad. En cada muestreo se retiraron tres paños al azar y en el séptimo sólo dos. De los paños se sacaron todos los individuos de *P. sterna* y con un vernier se midió el alto de los organismos (del umbo al borde de las valvas); estas longitudes se analizaron con el método de Cassie (1954) para conocer la frecuencia de tamaños de clase, que permitió aislar cuatro cohortes fijadas a la balsa en junio y octubre de 1987 y febrero y junio de 1988 que determinaron Bückle *et al.* (1992).

En el presente estudio se utilizaron solamente los individuos de la primera cohorte fijada a la balsa en junio de 1987, puesto que en los otros meses las fijaciones disminuyeron numéricamente (Bückle *et al.*, 1992). De esta

muscle and shell are economically important. Studies have been conducted that focus on the biology of this resource, such as its experimental culture and harvest (Singh *et al.*, 1982; Monteforte and Cariño, 1991); feeding with artificial diets (Mazón, 1986); juvenile recovery (Ruíz and Cáceres, 1990; Cáceres *et al.*, 1992); artificial reproduction (Araya *et al.*, 1991); presence of larvae on plankton (Serrano, 1992); settlement of larvae on floating structures and observation of reproductive peaks (Bückle *et al.*, 1992); and juvenile growth under experimental conditions (del Río *et al.*, 1992). Tranter (1958a, b, c) and Rose *et al.* (1990) described the gonadal histology of *Pinctada albina* and *Pinctada maxima*, respectively (family Pteriidae), and the objective of this study is to describe the reproductive cycle of *P. sterna*, which belongs to the same family.

MATERIAL AND METHODS

The animals were collected from 20 anchovy curtains, 0.5 × 1 m, hanging from an experimental raft, which were placed for bivalve recovery and culture. This structure was anchored in June 1987 in La Gringa Cove of the Bay of los Ángeles, Baja California, Mexico (28°51' to 29°03'N and 113°27' to 113°36'W).

The samplings began in August 1987 and were carried out bimonthly until August 1988, obtaining organisms from two to fourteen months of age. In each sampling, three curtains were randomly extracted; only two were extracted in the seventh sampling. All individuals of *P. sterna* were removed from the curtains and their height was measured with a vernier (from the umbo to the edge of the valves). Cassie's (1954) method was used to analyze these lengths and determine the size class frequency, with which it was possible to separate four cohorts that settled on the float in June and October 1987 and February and June 1988, as determined by Bückle *et al.* (1992).

Only the individuals from the first cohort settled on the float in June 1987 were used in this study, since the settlements numerically decreased in the other months (Bückle *et al.*, 1992). From this cohort, a total of 376 organisms were separated, of which 200 were

cohorte se aislaron un total de 376 organismos, de los cuales 200 fueron hembras, 168 machos y 8 indiferenciados, en una proporción sexual hembra:macho de 1.19:1.0. Se consideró que el origen de estos organismos fue proveniente de una población desovante foránea, cuyas larvas se desarrollaron durante la deriva larvaria y se asentaron a los sistemas de captación llevados por las corrientes de la Bahía de los Ángeles, según lo encontrado por Serrano (1992).

Los organismos obtenidos de los paños se fijaron en formol neutralizado al 10% y el material histológico para los análisis de madurez gonádica fue extraído de la porción gástrica anterodorsal de los organismos; la muestra se colocó en viales de plástico con alcohol etílico al 70% y posteriormente en líquido de Bouin como fijador histológico definitivo. Las muestras se procesaron histológicamente y se tiñeron rutinariamente con hematoxilina y eosina, según las técnicas escritas en Lynch *et al.* (1972). Las observaciones de los cortes histológicos se hicieron en un microscopio binocular marca Olympus, modelo BH-2, con reglilla ocular y una cámara fotográfica adaptada.

Las fases y características típicas del ciclo fueron microfotografiadas en blanco y negro (ASA 400). Para establecer las fechas aproximadas de los desoves de la población fijada a la balsa, se analizaron las variaciones bimensuales de incidencia porcentual de cada estadio del ciclo gonádico y se compararon con datos de la temperatura del agua de la bahía y del índice de condición de De Wilde (1975) que calcularon Bückle *et al.* (1992); este índice relaciona el peso seco orgánico de los organismos y la altura elevada a la tercera potencia (ya que asume crecimiento isodiamétrico), mediante la relación: peso seco orgánico \times 1,000/alto³ = índice de condición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los organismos analizados, se observó que normalmente las hembras son más grandes que los machos. El número de individuos analizados en el tiempo fue variable debido al azar y a que estuvo relacionado al paño seleccionado durante el muestreo y a la mortalidad natural

females, 168 males and 8 undifferentiated, at a female:male sex ratio of 1.19:1.0. These organisms were considered to have originated from a outside spawning stock, the larvae of which, carried by the currents inside the Bay of los Ángeles, evolved during the larval drift and settled on the recovery system, as found by Serrano (1992).

The organisms obtained from the curtains were fixed in 10% neutralized formol. The histological matter needed to determine gonadal maturity was extracted from the anterodorsal gastric portion of the organisms. The sample was placed in plastic vials containing 70% ethyl alcohol and, later, in Bouin's solution as the permanent histological fixative. The samples were histologically processed and routinely stained with hematoxylin and eosin, according to the techniques described in Lynch *et al.* (1972). The observations of the histological cuts were made under an Olympus binocular microscope, model BH-2, with an ocular ruler and adapted camera.

The phases and typical characteristics of the cycle were microphotographed in black and white (ASA 400). In order to establish the approximate spawn dates of the stock settled on the float, bimonthly variations in the incidental percentage of each stage of the gonadal cycle were analyzed and compared to temperature data of the water in the bay and to that of the condition index of De Wilde (1975), calculated by Bückle *et al.* (1992); this index relates the dry weight of the organism to the height to the third power (since it assumes isodiametric growth), using the equation: organic dry weight \times 1,000/height³ = condition index.

RESULTS AND DISCUSSION

It was observed in the organisms analyzed that the females are generally larger than the males. The number of individuals analyzed varied due to randomness and the fact that it was related to the curtain selected during the sampling and to the natural mortality of the individuals settled on these structures (table 1).

In Araya *et al.* (1991) and in this study, no hermaphrodites were found, differing from similar species where hermaphrodite and

Tabla 1. Valores promedio de variables observadas y correspondencia con el índice de condición (I.C.), alto y número de individuos de *Pteria sterna* analizados. Los paréntesis indican límites de confianza ($P < 0.05$). Indif. = indiferenciados. No dif. = indiferenciable.

Table 1. Average values of the variables observed and correlation with the condition index (I.C.), height and number of individuals of *Pteria sterna* analyzed. Parentheses indicate confidence limits ($P < 0.05$). Indif. = undifferentiated. No dif. = undifferentiable.

Mes y año observado	Edad (meses)	Temperatura (°C)	I.C.	Sexo	Alto (cm)	N
Agosto 1987	2	28.3 (0.48)	8.25 (0.38)	Indif.	1.75	1
				Hembra	1.39	12
				Macho	1.27	15
Octubre 1987	4	27.8 (0.78)	7.42 (0.21)	Hembra	3.49	34
				Macho	3.19	51
Diciembre 1987	6	18.5 (0.70)	7.34 (0.20)	Hembra	5.82	29
				Macho	5.18	19
Febrero 1988	8	14.2 (0.37)	11.39 (0.26)	Hembra	6.98	40
				Macho	6.65	28
Abril 1988	10	17.3 (0.69)	12.61 (0.24)	Hembra	7.32	44
				Macho	7.08	33
				No dif.	7.14	4
Junio 1988	12	21.8 (1.84)	12.74 (0.28)	Hembra	8.10	30
				Macho	7.66	18
				No dif.	8.06	3
Agosto 1988	14	27.8 (0.90)	7.88 (0.58)	Hembra	9.76	11
				Macho	8.90	4

de los individuos fijados en estas estructuras (tabla 1).

En Araya *et al.* (1991) y en este trabajo no se encontraron hermafroditas, lo que contrasta con especies similares donde ocurren organismos hermafroditas y protándricos, como en *P. albina* (Tranter, 1958c) y *P. maxima* (Rose *et al.*, 1990). Estos últimos dos autores utilizaron la escala de madurez gonadal de Kesteven (1945), que no describe adecuadamente el ciclo gonádico de *P. sterna*, por lo que se propone una escala propia de la especie, la cual está compuesta por siete etapas divididas en nueve estadios conspicuos (fig. 1).

protandric organisms do occur, such as *P. albina* (Tranter, 1958c) and *P. maxima* (Rose *et al.*, 1990). These last two authors used the gonadal maturity scale of Kesteven (1945) that does not adequately describe the gonadal cycle of *P. sterna*; therefore, a scale particular to the species is proposed, made up of seven phases divided into nine conspicuous stages (fig. 1).

O Undifferentiated phase, stage O: There are few follicles with developing cells visible in the gonad of the organisms. Sex cannot be distinguished because the primary germinal cells (cg) and the gonion (go) attached to the follicular wall

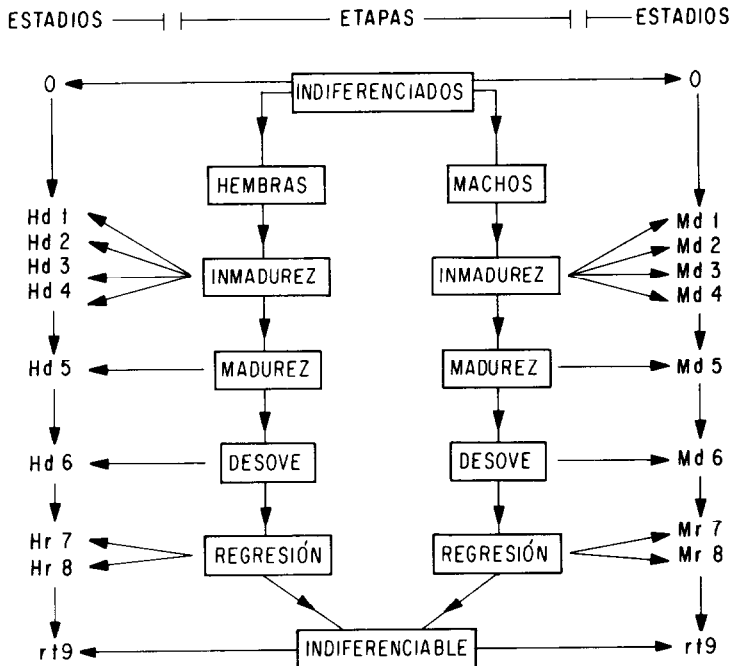


Figura 1. Ciclo gonádico de *Pteria sterna*, representado por etapas de madurez y estadios histológicos. La etapa indiferenciada es el estadio O. Los estadios de desarrollo (d) de las hembras (H) y de los machos (M) son de 1 al 6 y los estadios de regresión (r) del 7 al 9. La etapa indiferenciada corresponde al estadio de regresión total (rt 9).

Figure 1. Gonadal cycle of *Pteria sterna*, represented by maturity phases and histological stages. The undifferentiated stage is phase O. The development stages (d) of the females (H) and of the males (M) are from 1 to 6 and the regression stages (r) from 7 to 9. The undifferentiable phase corresponds to the total regression stage (rt 9).

O Etapa indiferenciada, estadio O: En la gónada de los organismos se encuentran pocos folículos visibles en desarrollo. No se puede reconocer el sexo porque las células germinales primarias (cg) y las gonias (go) pegadas a la pared folicular (pf) no son diferenciables. Se observan algunos divertículos digestivos, entre los cuales posteriormente se desarrollarán y expandirán los folículos gonadales. También hay numerosos fagocitos en el sistema digestivo. Estos organismos son pequeños, de no más de dos meses de haber metamorfoseado de una larva veliger (fig. 2a).

(pf) are not differentiable. Some digestive diverticula are observed, among which the gonadal follicles will later develop and expand. There are also numerous phagocytes in the digestive system. These organisms are young, not more than two months after having metamorphosed from a veliger larva (fig. 2a).

Females

Hd 1 Females in development stage 1: The oogonia (og) without cytoplasm dominate and the nucleus is not very pycnotic

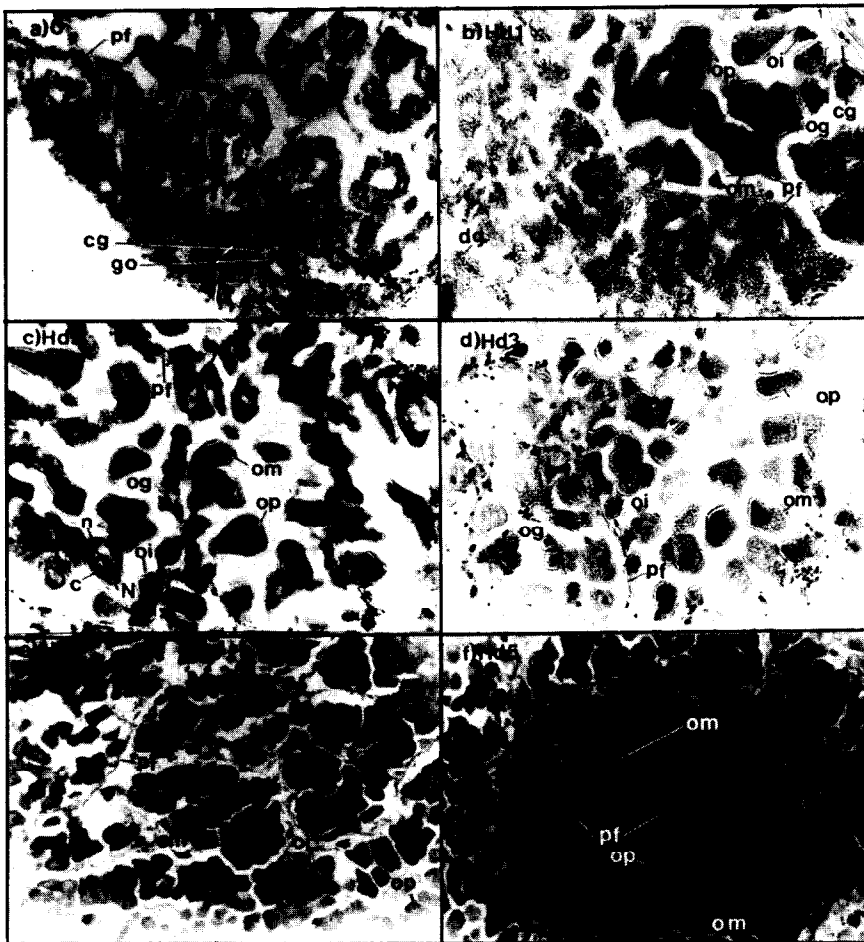


Figura 2. (a) Organismo indiferenciado, estadio O (O), $\times 200$: iniciación de la maduración, en la cual no se puede distinguir el sexo. (b) Hembra en desarrollo, estadio 1 (Hd 1), $\times 200$. (c) Hembra en desarrollo, estadio 2 (Hd 2), $\times 200$. (d) Hembra en desarrollo, estadio 3 (Hd 3), $\times 200$. (e) Hembra en desarrollo, estadio 4 (Hd 4), $\times 10$. (f) Hembra en desarrollo, estadio 5 (Hd 5), $\times 10$. Tipos celulares y estructuras: c, citoplasma; cg, células germinales primarias; dg, divertículo digestivo; go, gonias; N, núcleo; n, nucleolo; og, ovogonias; oi, ovocitos inmaduros; om, óvulo maduro; op, ovocito piriforme; pf, pared folicular.

Figure 2. (a) Undifferentiated organism, phase O (O), $\times 200$: onset of maturity, sex cannot be distinguished. (b) Female in development stage 1 (Hd 1), $\times 200$. (c) Female in development stage 2 (Hd 2), $\times 200$. (d) Female in development stage 3 (Hd 3), $\times 200$. (e) Female in development stage 4 (Hd 4), $\times 10$. (f) Female in development stage 5 (Hd 5), $\times 10$. Cellular types and structures: c, cytoplasm; cg, primary germinal cells; dg, digestive diverticulum; go, gonias; N, nucleus; n, nucleolus; og, oogonia; oi, immature oocytes; om, mature ovule; op, pyriform oocyte; pf, follicular wall.

Hembras

- Hd 1 Hembra en desarrollo, estadio 1: Predominan las ovogonias (og) sin citoplasma y el núcleo no es muy picnótico ni denso; estas células son más grandes en las hembras que en los machos. También hay ovocitos inmaduros (oi) con un claro nuclear, con el núcleo excéntrico y nucleolo no visible; son células pequeñas de aproximadamente 5 a 8 μ (fig. 2b).
- Hd 2 Hembras en desarrollo, estadio 2: Gónada con abundantes ovocitos inmaduros (oi) y el núcleo más oscuro que el citoplasma; todavía se observan ovogonias (og) cuyo nucleolo (n) puede ser visible. Las células ováricas son grandes y están pegadas a la pared del folículo; algunos ovocitos son piriformes (op) y también hay ocasionalmente ovocitos maduros (om) (fig. 2c).
- Hd 3 Hembras en desarrollo, estadio 3: El núcleo de las células se tiñe más claro que el citoplasma; estas células poligonales todavía están unidas al folículo y tienden a ser redondas. Algunas células empiezan a despegarse de la pared del folículo y se ven como ovocitos piriformes (op), pero también hay algunos ovocitos maduros (om) libres en el folículo (fig. 2d).
- Hd 4 Hembras en desarrollo, estadio 4: Las células inmaduras disminuyen notablemente; se encuentran ovocitos maduros unidos a la pared folicular. Algunos ovocitos son piriformes y otros tienden a ser esféricos, con el núcleo y nucleolo menos teñidos que el citoplasma. Células grandes de 34 a 40 μ de diámetro (fig. 2e).
- Hd 5 Hembras en desarrollo, estadio 5: En la gónada se observan sólo ovocitos maduros que son células casi redondas con nucleolo, núcleo y citoplasma diferenciables; hay algunos ovocitos piriformes (fig. 2f).
- Hd 6 Hembras en desove, estadio 6: En algunos folículos hay ovocitos casi esféricos que señalan el desove. En este estadio, el interior de los folículos puede estar casi

or dense; these cells are larger in the females than in the males. There are also immature oocytes (oi) with a clear and eccentric nucleus and nucleolus not visible; they are small cells, approximately 5 to 8 μ (fig. 2b).

- Hd 2 Females in development stage 2: Gonad with many immature oocytes (oi), the nucleus is darker than the cytoplasm; oogonia (og) with visible nucleoli (n) are still observed. The ovarian cells are large and attached to the follicular wall; there are some pyriform oocytes (op) and, occasionally, mature oocytes (om) (fig. 2c).
- Hd 3 Females in development stage 3: The nucleus of the cells stains clearer than the cytoplasm; these polygonal cells are still attached to the follicle and tend to be round. Some cells start to detach from the follicular wall and are observed as pyriform oocytes (op), but there are some free-swimming mature oocytes (om) in the follicle (fig. 2d).
- Hd 4 Females in development stage 4: Notable decrease in immature cells; mature oocytes are found attached to the follicular wall. Some oocytes are pyriformed and others are spherical, with the nucleus and nucleolus less stained than the cytoplasm. Large cells, from 34 to 40 μ in diameter (fig. 2e).
- Hd 5 Females in development stage 5: Only mature oocytes are observed in the gonad. They are almost round with differentiable nucleolus, nucleus and cytoplasm; there are some pyriform oocytes (fig. 2f).
- Hd 6 Females in spawn stage 6: There are almost spherical oocytes in some follicles that signal spawning. In this phase, the inside of the follicles can be almost empty, with cellular remains (rc), immature oocytes (oi), pyriform oocytes (op) and mature oocytes (om) that were not spawned (fig. 3a).
- Hr 7 Females in regression stage 7: The mature oocytes are spherical or almost spherical and some present signs of degeneration (cytolysis and pycnosis).

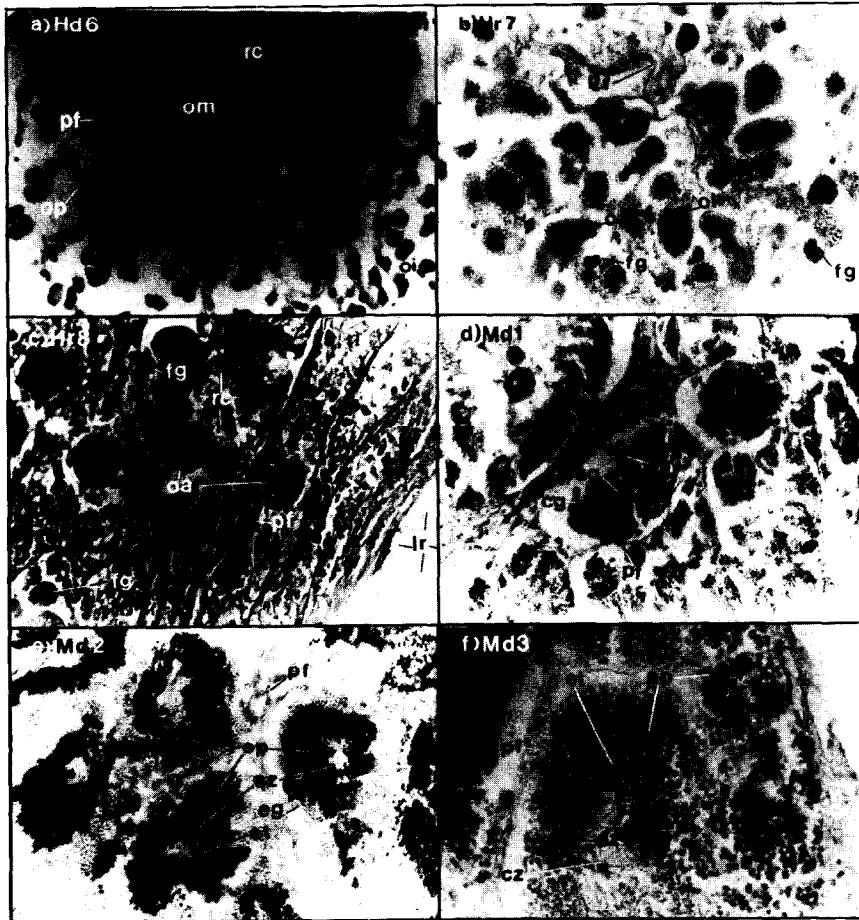


Figura 3. (a) Hembra en desove, estadio 6 (Hd 6), $\times 10$. (b) Hembra en regresión, estadio 7 (Hr 7), $\times 200$: el corte muestra regresión y el organismo no tuvo un desove tan intenso como se observa en el cuadro anterior. (c) Hembra en regresión, estadio 8 (Hr 8), $\times 200$: prácticamente sólo se observan restos de gametos y células gaméticas ocasionales. (d) Macho en desarrollo, estadio 1 (Md 1), $\times 200$. (e) Macho en desarrollo, estadio 2 (Md 2), $\times 200$. (f) Macho en desarrollo, estadio 3 (Md 3), $\times 40$. Tipos celulares y estructuras: cg, células germinales primarias; cz, colas de espermatozoides; eg, espermatogonia; ep, espermatocitos; et, espermátidas; ez, espermatozoides; fg, fagocitos; lr, líquido residual; oa, óvulo atrésico; oi, ovocito inmaduro; om, óvulo maduro; op, ovocitos piriformes; pf, pared folicular; rc, restos celulares.

Figure 3. (a) Female in spawn stage 6 (Hd 6), $\times 10$. (b) Female in regression stage 7 (Hr 7), $\times 200$: the cut indicates regression and the organism did not have as an intense spawn as observed in the previous stage. (c) Female in regression stage 8 (Hr 8), $\times 200$: almost only gamete remains and occasional gametic cells are observed. (d) Male in development stage 1 (Md 1), $\times 200$. (e) Male in development stage 2 (Md 2), $\times 200$. (f) Male in development stage 3 (Md 3), $\times 40$. Cellular types and structures: cg, primary germinal cells; cz, spermatozoid tails; eg, spermatogonia; ep, spermatocytes; et, spermatids; ez, spermatozoids; fg, phagocytes; lr, residual liquid; oa, atresic ovule; oi, immature oocyte; om, mature ovule; op, pyriform oocytes; pf, follicular wall; rc, cellular remains.

- vacío, con restos celulares (rc), ovocitos inmaduros (oi), ovocitos piriformes (op) y ovocitos maduros (om) que no fueron desovados (fig. 3a).
- Hr 7 Hembras en regresión, estadio 7: Los ovocitos maduros se observan esféricos o casi esféricos y en algunos se detectan indicios degenerativos (citólisis y pycnosis). Hay algunos fagocitos. Los folículos están vacíos o parcialmente vacíos y contienen líquido amarillo constituido por restos de ovocitos (fig. 3b).
- Hr 8 Hembras en regresión, estadio 8: Aquí se encuentran restos celulares (rc) de ovocitos y muchos fagocitos; predomina el líquido amarillo. Todavía se distingue el sexo del organismo (fig. 3c).
- Machos**
- Md 1 Machos en desarrollo, estadio 1: En esta etapa se encuentran predominantemente células germinales primarias (cg), espermatogonias (eg) y pocos espermatoцитos (ep). Sólo se puede diferenciar el sexo si hay espermatogonias y espermatoцитos sin nucleolo visible. La presencia de fagocitos en la periferia e interior del sistema digestivo es normal en esta etapa (fig. 3d).
- Md 2 Machos en desarrollo, estadio 2: Hacia la luz del folículo se forman anillos concéntricos de las células más maduras que disminuyen en grosor en sentido centrifugo. Se observan predominantemente espermatoцитos y espermatogonias con pocas espermátidas (et) y espermatozoides (ez) (fig. 3e).
- Md 3 Machos en desarrollo, estadio 3: Casi todo el espacio está ocupado por bandas circulares de espermatogonias en un 50% del contenido folicular y las espermátidas y el espermatozoides sin citoplasma en el resto del folículo. En las espermátidas el núcleo no es reticulado y muy picnótico (fig. 3f).
- Md 4 Machos en desarrollo, estadio 4: Se observan casi exclusivamente espermátidas y espermatozoides en un 80% del contenido folicular. Los espermatozoides están en el
- There are some phagocytes. The follicles are empty or partially empty and contain yellow liquid made up of oocyte remains (fig. 3b).
- Hr 8 Females in regression stage 8: Cellular remains (rc) of oocytes and many phagocytes are present: the yellow liquid dominates. The sex of the organisms is still distinguishable (fig. 3c).
- Males**
- Md 1 Males in development stage 1: In this stage, there is a predominance of primary germ cells (cg), spermatogonia (eg) and few spermatocytes (ep). Sex can only be distinguished if there are spermatogonia and spermatocytes without visible nucleolus. The presence of phagocytes along the edge of and inside the digestive system is normal during this stage (fig. 3d).
- Md 2 Males in development stage 2: From the follicle opening in the more mature cells, concentric rings are formed that decrease in thickness the farther away they form from the opening. There is a predominance of spermatocytes and spermatogonia with few spermatids (et) and spermatozooids (ez) (fig. 3e).
- Md 3 Males in development stage 3: Almost the entire space is occupied by circular bands of spermatogonia in 50% of the follicular content; spermatids and sperm without cytoplasm make up the rest of the follicle. The nucleus of the spermatids is not reticulated or very pycnotic (fig. 3f).
- Md 4 Males in development stage 4: Almost only spermatids and spermatozooids are observed in 80% of the follicular content. The sperm are in the center and few spermatids towards the follicular walls. In the areas close to the follicular wall, there are spermatogonia that make up 20% of the gametic matter (fig. 4a).
- Md 5 Males in development stage 5: Gonad made up almost entirely of spermatozooids with an approximate diameter of 1.1 μ and tails located towards the center

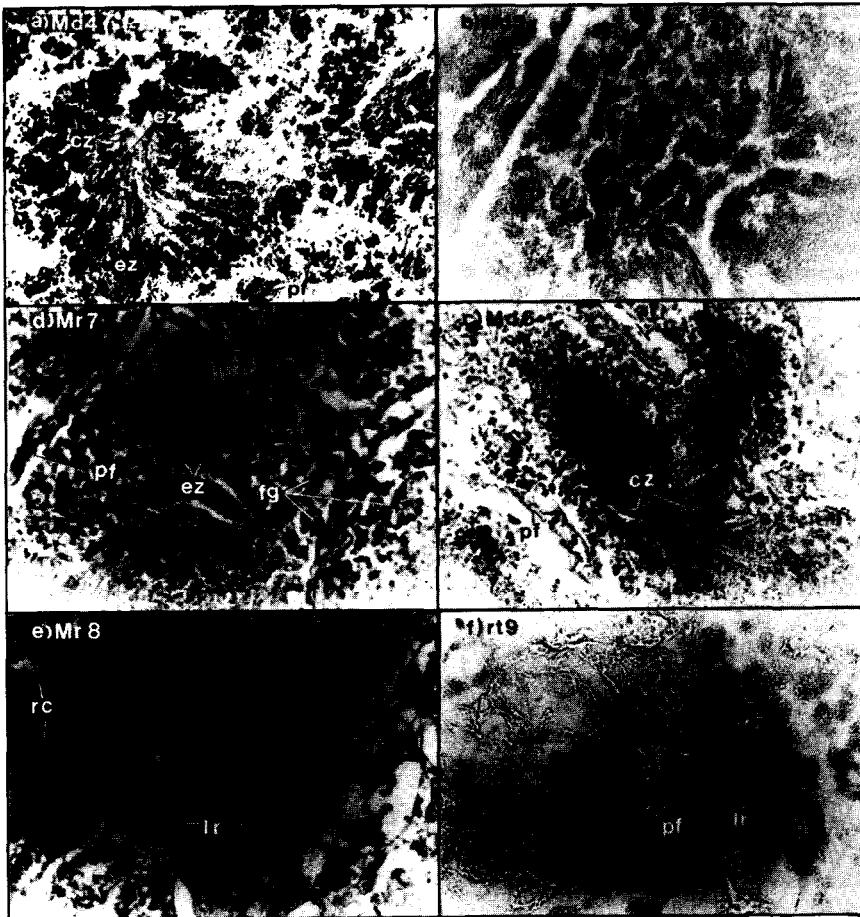


Figura 4. (a) Macho en desarrollo, estadio 4 (Md 4), $\times 200$. (b) Macho en desarrollo, estadio 5 (Md 5), $\times 200$. (c) Macho en desove, estadio 6 (Md 6), $\times 500$. (d) Macho en regresión, estadio 7 (Mr 7), $\times 40$: los restos espermáticos están agrupados hacia el centro del folículo y rodeados de algunos fagocitos. (e) Macho en regresión, estadio 8 (Mr 8), $\times 10$: sólo se observan restos celulares y líquido residual. (f) Gónada en regresión total, estadio 9 (rt 9), ocurrida después de un desove en la cual no se puede distinguir el sexo, $\times 200$. Tipos celulares y estructuras: cz, colas de espermatozoides; et, espermatidas; ez, espermatozoides; fg, fagocitos; lr, líquido residual; pf, pared folicular; rc, restos celulares.

Figure 4. (a) Male in development stage 4 (Md 4), $\times 200$. (b) Male in development stage 5 (Md 5), $\times 200$. (c) Male in spawn stage 6 (Md 6), $\times 500$. (d) Male in regression stage 7 (Mr 7), $\times 40$: the spermatic remains are grouped towards the center of the follicle, surrounded by some phagocytes. (e) Male in regression stage 8 (Mr 8), $\times 10$: only cellular remains and residual liquid are observed. (f) Gonad in total regression stage 9 (rt 9), occurring after a spawn, sex cannot be distinguished. $\times 200$. Cellular types and structures: cz, spermatozoid tails; et, spermatids; ez, spermatozoids; fg, phagocytes; lr, residual liquid; pf, follicular wall; rc, cellular remains.

centro y pocas espermátidas hacia las paredes del folículo. En las zonas cercanas a la pared del folículo hay espermatogonias que constituyen el 20% del material gamético (fig. 4a).

- Md 5 Machos en desarrollo, estadio 5: Gónada constituida casi exclusivamente de espermatozoides de un diámetro aproximado de 1.1 μ , con las colas ubicadas hacia el centro del folículo. Hay pocas espermátidas (10%) y espermatogonias ocasionales (fig. 4b).
- Md 6 Machos en desove, estadio 6: Folículos parcialmente vacíos; se observan muy pocos espermatozoides separados entre sí. La pared folicular puede ser discontinua; hay más espacios intra e interfoliculares. Quedan núcleos de espermatozoides (fig. 4c).
- Mr 7 Machos en regresión, estadio 7: En los folículos, la masa de espermatozoides se observa discontinua y hay muchos fagocitos (fg) cercanos a las paredes del folículo (fig. 4d).
- Mr 8 Machos en regresión, estadio 8: Se distinguen restos celulares espermáticos (rc), líquido residual (lr) y fagocitos; el sexo aún es determinable (fig. 4e).
- rt 9 Etapa indiferenciable, estadio de regresión total: Sólo quedan restos de material celular y líquido residual; no se puede distinguir el sexo de los individuos y en ocasiones se comienzan a observar algunos folículos con células inmaduras que reiniciarían la gametogénesis (fig. 4f).

En el primer año del ciclo de maduración gonádica de los organismos se produce una gran dispersión dentro de los estadios de maduración. Al inicio del segundo año, cuando estos animales se exponen a condiciones de baja temperatura, la población asentada sincroniza sus estadios gonadales y la distribución cambia a altos porcentajes de ocurrencia dentro de unos pocos estadios gonadales, como se observa en los últimos muestreos (fig. 5).

De agosto a diciembre de 1987 predominan los estadios inmaduros y de febrero a agosto de 1988 hay una marcada dominancia de los grados de madurez más avanzados y menos

of the follicle. There are few spermatids (10%) and occasional spermatogonia (fig. 4b).

- Md 6 Males in spawn stage 6: Partially empty follicles; very few separated spermatozooids are observed. The follicular wall can be discontinuous; there are more intra- and interfollicular spaces. There are spermatozoid nuclei (fig. 4c).
- Mr 7 Males in regression stage 7: The spermatozoid mass in the follicles is discontinuous and there are many phagocytes (fg) close to the follicular walls (fig. 4d).
- Mr 8 Males in regression stage 8: Spermatic cellular remains (rc), residual liquid (lr) and phagocytes are observed; sex can still be determined (fig. 4e).
- rt 9 Undifferentiable phase, total regression stage: There are only remains of cellular matter and residual liquid; the sex of the individuals cannot be distinguished and occasional follicles with immature cells can begin to be observed restarting gametogenesis (fig. 4f).

During the first year of the gonadal maturation cycle of the organisms, there is much dispersion within the maturation stages. At the beginning of the second year, when these animals are exposed to low-temperature conditions, the settled population synchronizes its gonadal stages and the distribution changes to high percentages of occurrence within a few gonadal stages, as observed in the latter samplings (fig. 5).

From August to December 1987, the immature stages dominate, and from February to August 1988 there is a marked predominance of the higher levels of maturity and fewer organisms in the immature stages; in April 1988, there was an important group of individuals that restarted the maturity cycle (fig. 5).

The females mature and spawn sooner than the males, which can be a trigger effect in the sexual maturity of the species. First maturity (stage d5) occurred in the females in August 1987 and in the males during October of the same year; however, the first reproduction of the population was in December 1987, with two more important spawns during February and

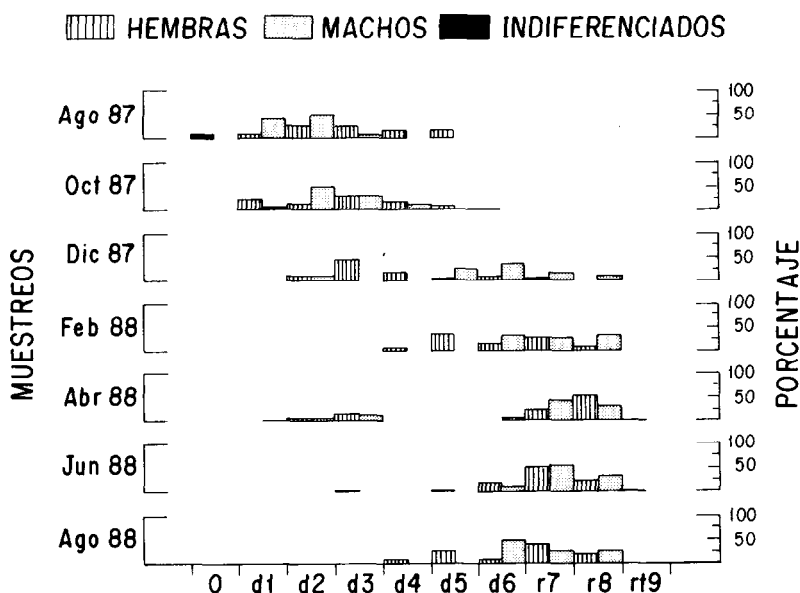


Figura 5. Distribución porcentual de los organismos por sexo y estadios de madurez en los diferentes muestreos.

Figure 5. Percent distribution of the organisms by sex and maturity stage in the different samplings.

cantidad de organismos en estadios inmaduros; en abril de 1988 se encontró un grupo importante de individuos que nuevamente inicia el ciclo de madurez (fig. 5).

Las hembras maduran y desovan más precozmente que los machos, lo que puede ser un efecto disparador en la maduración sexual de la especie. La primera madurez (estadio d5) ocurre en las hembras en agosto de 1987 y en los machos en octubre del mismo año; sin embargo, la primera reproducción de la población fue en diciembre de 1987, con otros dos desoves importantes en febrero y agosto de 1988, sin descartar los organismos que desovaron recientemente (estadios r7, r8 y rt9) a partir de diciembre que son los que predominan en los meses de abril y junio (fig. 5).

La temperatura del agua es el principal factor ambiental que afecta el índice de condición de los moluscos bivalvos que en el presente estudio es inverso a la temperatura (fig. 6). El valor bajo que tiene el índice al iniciar los muestreos (agosto de 1987), es causado porque

August 1988, without discarding the recently-spawned organisms (stages r7, r8 and rt9) in December that dominate during April and June (fig. 5).

Water temperature is the principal environmental factor that affects the condition index of bivalve mollusks, which in the present study is inverse to temperature (fig. 6). The low value in the index at the beginning of the samplings (August 1987) is due to the fact that the organisms are small, immature and growing; at the end of the samplings (August 1988) the index decreases as a result of the great percentage of spawned organisms (fig. 5).

In the histological cuts of the last three samplings, there is a greater synchronization in the gonadal stages of both sexes; that is, almost all organisms gravitate mainly in the stages d6, r7 and r8. However, during April and June, there was a large amount of cellular remains in the reabsorption process inside the follicles of most of the individuals in the regression stage (fig. 3b, c). This indicates a not very

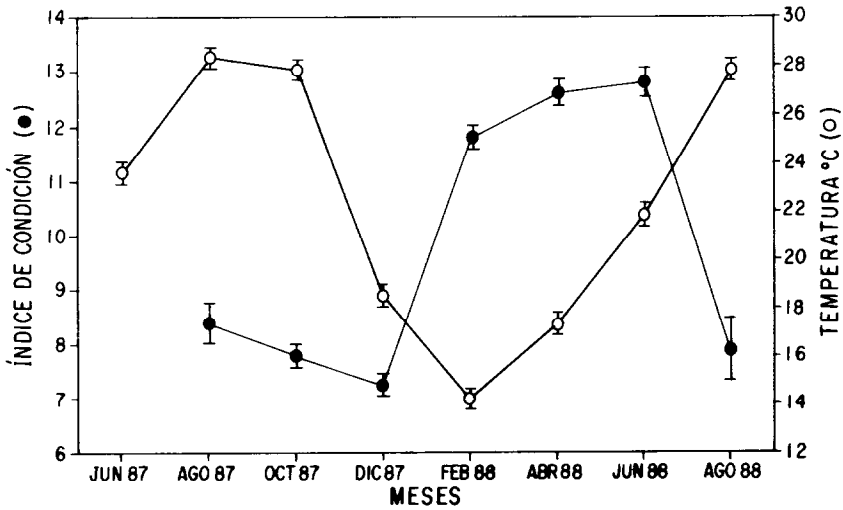


Figura 6. Índice de condición de *Pteria sterna* y temperatura del agua en la Bahía de los Ángeles. Las barras del índice de condición indican los límites de confianza ($P < 0.05$).

Figure 6. Condition index of *Pteria sterna* and water temperature in the Bay of los Ángeles. The bars in the condition index indicate the confidence limits ($P < 0.05$).

los organismos son pequeños, inmaduros y están creciendo y al finalizar los muestreos (agosto de 1988) el índice disminuye como consecuencia del gran porcentaje de organismos desovados (fig. 5).

En los cortes histológicos de los últimos tres muestreos existe mayor sincronización de los estadios gonadales de ambos sexos; es decir, casi todos los organismos gravitan principalmente en los estadios d6, r7 y r8, pero se observó que en abril y junio la mayoría de los individuos en estadio de regresión tenían dentro de los folículos abundante contenido de restos celulares en proceso de reabsorción (fig. 3b, c). Esto indica un desove poco intenso de los individuos en abril y junio de 1988, asociado con altos valores del índice de condición. En el mes de agosto las gónadas que se observaron en desove y en regresión contenían poco material gamético (desove intenso), por lo que disminuyeron los valores del índice de condición.

Cuando desciende la temperatura del mar aumenta el valor del índice de condición y disminuye cuando se acerca el verano. Este comportamiento también fue observado por Tranter (1958c) para *P. albina* del hemisferio austral.

intense spawn by the individuals in April and June 1988, associated with high values of the condition index. During August, the gonads observed in spawn and in regression contain little gametic matter (intense spawn), thus decreasing the values of the condition index.

When the temperature of the sea decreases, the condition index value increases and decreases as summer approaches. This behavior was also observed by Tranter (1958c) for *P. albina* in the Southern Hemisphere.

According to McAnally-Salas and Valenzuela-Espinoza (1990) and Araya *et al.* (1991), the veliger larva of *P. sterna* settles between 31 and 38 days after hatching. Serrano (1992) found prodissoconch II larvae during the entire study period, with peaks in March, August and September that are also similar to the settlements detected by Bückle *et al.* (1992). Upon calculating the hatch date of the larvae as well as when the recruits settled, similarities were found in the two spawning periods detected in the histological cuts, suggesting that *P. sterna* has partial spawns throughout almost the entire year, corroborating the histological observations of the present study.

Según McAnally-Salas y Valenzuela-Espinoza (1990) y Araya *et al.* (1991), la larva veliger de *P. sterna* se asienta entre 31 y 38 días después de la eclosión. Serrano (1992) encontró larvas prodisoconchas II durante todo su periodo de estudio, con picos en marzo, agosto y septiembre, que también se asemejan a los asentamientos detectados por Bückle *et al.* (1992). Al calcular la fecha de eclosión de las larvas y de las fijaciones de los reclutas, se encuentran semejanzas a los periodos de desove detectados en los cortes histológicos, lo que sugiere, además, que *P. sterna* realiza desoves parciales prácticamente todo el año y se corrobora con las observaciones histológicas del presente trabajo.

Los organismos que se fijaron a la balsa experimental se reprodujeron continuamente a partir de diciembre de 1988 (a causa de la aparición de los estadios d6, r7, r8 y rt9), con desoves importantes en diciembre de 1987, febrero y agosto de 1988. Esto es similar a lo encontrado en otras especies de la familia Pteriidae que estudiaron Tranter (1958a, b, c) y Rose *et al.* (1990) en *P. albina* y *P. maxima*, respectivamente, las cuales se reproducen continuamente, con altos índices de madurez gonádica en los meses fríos y periodos reproductivos fuertes en los meses cálidos del hemisferio austral.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Olivia Tapia su ayuda y recomendaciones en los aspectos histológicos de este trabajo. Extendemos nuestro reconocimiento al CICESE y al CONACYT, que financió parcialmente esta investigación con el proyecto No. 1205-N9203.

REFERENCIAS

- Araya, N.O., Ganning, B. and Bückle R., F. (1991). Gonad maturity, induction of spawning, larval breeding and growth in the American pearl-oyster (*Pteria sterna*, Gould). Calif. Dept. Fish and Game, 77(4): 181-193.
- Brusca, C.R. (1980). Common Intertidal Invertebrates of the Gulf of California.

The organisms that settled on the experimental float continually reproduced starting in December 1988 (caused by the appearance of stages d6, r7, r8 and rt9), with important spawns in December 1987, February and August 1988. This is similar to that found in other species of the family Pteriidae, *P. albina* (Tranter, 1958a, b, c) and *P. maxima* (Rose *et al.*, 1990); both reproduce continually and have high indexes of gonadal maturity during the cold months and strong reproductive periods during the hot months in the Southern Hemisphere.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to Olivia Tapia for her help and comments on the histological aspects. This study was partially financed by CICESE and CONACYT (project No. 1205-N9203).

English translation by Jennifer Davis.

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

- Bückle R., L.F., Voltolina L., D., Morales G., E. and Valenzuela B., F. (1992). Spat settlement and growth of *Pteria sterna* (Gould) (Mollusca, Bivalvia) in Bahía de los Ángeles, Baja California, México. Trop. Ecol., 33(2): 137-147.
- Cáceres, M.C., Ruiz V., C.A. and Ramírez F., D.H. (1992). Experimental collection of pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna*, spat on a filament substrate. J. World Aquaculture Soc., 23(3): 232-240.
- Cassie, R.M. (1954). Some uses of probability paper in the analysis of size frequency distribution. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 5: 513-522.
- del Río, P.M.A., Re A., A.D. and Voltolina, D. (1992). Growth of the pearl oyster *Pteria sterna* under different thermic and feeding conditions. Mar. Ecol. Prog. Ser., 89: 221-227.
- De Wilde, P.A.W. (1975). Influences of temperature on behavior, energy, metabolism and growth of *Macoma baltica* (L.). In: H. Barnes (ed.), Proceedings of the 9th

- European Marine Biology Symposium. Aberdeen University Press, Aberdeen, Scotland, pp. 239-250.
- Kesteven, G.L. (1945). In: The Biology and Cultivation of Oysters in Australia. Publ. CSIRO, Aust. Div. Fish. (Mimeo.).
- Lynch, J.M., Raphael, S.S., Mellor, L.D., Spare, P.D. e Inwood M., J.H. (1972). Métodos de Laboratorio. 2a ed. Nueva Editorial Interamericana, SA de CV, México, 1522 pp.
- Mazón, S.J.M. (1986). Acondicionamiento y desove de cuatro especies de moluscos bivalvos, alimentados con dietas artificiales. Primer Simposio Nacional de Acuicultura, Pachuca, Hidalgo, México, 18 pp.
- McAnally-Salas, L. y Valenzuela-Espinoza, E. (1990). Crecimiento y sobrevivencia de larvas de la ostra concha nacar *Pteria sterna* en condiciones de laboratorio. Ciencias Marinas, 16(4): 29-41.
- Monteforte, M. and Cariño, M. (1991). Exploration and evaluation of natural stocks of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae): La Paz, South Baja California, Mexico. AMBIO, 21(4): 314-320.
- Mosk, S.A. (1931). Spanish voyages and pearl fisheries in the Gulf of California: A study in economic history. Ph.D. dissertation, University of California, 334 pp.
- Rose, R.A., Dybdahl, R.E. and Harders, S. (1990). Reproductive cycle of the western Australian silverlip pearl oyster, *Pinctada maxima* (Jameson) (Mollusca: Pteriidae). J. Shellfish Res., 9(2): 261-272.
- Ruiz V., C.A. y Cáceres M., C. (1990). Estudio preliminar de captación de juveniles de moluscos bivalvos en la Bahía de La Paz, BCS, México. Inv. Mar. CICIMAR, 5(1): 29-38.
- Serrano, G.S.J. (1992). Dispersión de larvas de bivalvos y seston por corrientes costeras, dentro del sistema Bahía de los Ángeles, BC, México. Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, BC, México, 169 pp.
- Singh, C.J., Bojórquez, V.G. y Meza, D.J.M. (1982). Resultados finales de las actividades de estudios de ostras perleras en la Bahía de La Paz, BCS, durante los años 1981-1982. Delegación Federal de Pesca en el Estado de Baja California Sur, Secretaría de Pesca, 50 pp.
- Tranter, D.J. (1958a). Reproduction in Australian pearl oysters (Lamellibranchia). I. *Pinctada albina* (Lamarck): Primary gonad development. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 9: 135-143.
- Tranter, D.J. (1958b). Reproduction in Australian pearl oysters (Lamellibranchia). II. *Pinctada albina* (Lamarck): Gametogenesis. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 9: 144-164.
- Tranter, D.J. (1958c). Reproduction in Australian pearl oysters (Lamellibranchia). III. *Pinctada albina* (Lamarck): Breeding season and sexuality. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 9: 191-216.