

# Ciclo reproductor de *Anadara (Anadara) tuberculosa* (Sowerby, 1833). Enfoque histológico (Mollusca:Pelecypoda:Arcidae)

ESPERANZA ORTIZ-ORDÓÑEZ y ESTHER URÍA-GALICIA

Laboratorio de Histología  
Departamento de Morfología  
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN  
Prol. de Carpio y Plan de Ayala, Col. Santo Tomás  
Apartado Postal 42-186, 11340 México, D.F.

ORTIZ-ORDÓÑEZ, E. y E. URÍA-GALICIA, 1998. Ciclo reproductor de *Anadara (Anadara) tuberculosa* (Sowerby, 1833). Enfoque histológico (Mollusca:Pelecypoda:Arcidae). *An. Esc. nac. Cienc. biol.*, Méx., **44**:81-97.

**RESUMEN:** En este trabajo se realizó el estudio histológico de la gónada masculina de ejemplares machos de *Anadara (Anadara) tuberculosa* (Sowerby, 1833), adquiridos en el comercio durante los años de 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 y 1997. Se trata de un órgano no capsulado, bilobular, cuyos componentes fundamentales son los túbulos seminíferos, en ellos se identifican las células sexuales como espermatogonias, espermatoцитos, espermátides y espermatozoides, los cuales presentan un desarrollo asincrónico y las células de sostén o de Sertoli. Los túbulos se comunican con los conductos intragonadales y éstos al principal, están rodeados por tejido conjuntivo laxo y fibroso el cual contiene haces de fibras musculares lisas y nervios. Entre ellos se observa una cantidad variable de fibras colágenas, fibroblastos y células de la hemolinfa. La irrigación es por medio de arteriolas que se ramifican formando una red capilar fina.

El análisis de las gónadas a través de los meses y años estudiados, señala que la espermatogénesis y espermiogénesis son continuas con picos de máxima actividad, por lo que no se puede dividir el ciclo reproductor en etapas o fases, teniendo este organismo la posibilidad de reproducirse durante todo el año.

## INTRODUCCIÓN

Desde hace siglos, el hombre ha aprovechado muchas especies de moluscos para su cultivo y explotación; pero los conocimientos científicos basados en su biología son recientes. En la actualidad existen numerosos trabajos que abordan, desde diversos puntos de vista, lo relativo a este asunto, entre ellos los referentes al desarrollo embrionario y al comportamiento sexual de especies de importancia comercial.

Loosanoff (1937) indica que desde fines del siglo diecisiete ya hay referencias acerca de la sexualidad de los pelecípodos y, desde entonces, diversos autores han señalado la importancia de saber en qué momento una especie dada puede explotarse sin poner en peligro su supervivencia; es decir, conocer el proceso de su desarrollo hasta la edad reproductiva y su ciclo reproductor, llamado también gonádico o gonadal.

Al respecto cabe aclarar que existe coincidencia entre los investigadores en el sentido de que las especies atraviesan etapas sexuales que pueden ser reconocidas macroscópicamente y microscópicamente; sin embargo no es del todo claro lo que se refiere a los criterios con los que se elaboran las descripciones y, por lo tanto, si la referencia es al desarrollo gonádico o al ciclo gonádico. En ocasiones, lo que se llama ciclo reproductor gonadal o gonádico, se refiere a un proceso que se inicia con una gónada indiferenciada y, en otras, al proceso de gametogénesis a partir de que las células sexuales ya se han diferenciado. En ambos casos se incluye invariablemente una etapa de reproducción (Brousseau, 1982).

No obstante se reconoce, en lo general, que las especies de climas tropicales y subtropicales, donde las variaciones estacionales no están muy marcadas, tienen la posibilidad de reproducirse todo el año, aunque pueden existir meses en los que la expulsión de gametos sea mayor y que, por lo tanto, durante ellos se incrementa el fenómeno.

Por otra parte, en especies de zonas más frías o de amplia distribución, su reproducción está restringida a ciertas épocas del año. Como se podrá apreciar, los factores climatológicos tienen una gran importancia para entender los ciclos gonadales o reproductores, tanto como puede ser el análisis mismo de los cambios estructurales (Brousseau, 1982).

En el caso particular de *Anadara (Anadara) tuberculosa* (Sowerby, 1833); es importante en México y otros países latinoamericanos como recurso alimentario (Flores, 1971), porque es un molusco que se distribuye ampliamente en las costas del Pacífico, desde la Laguna de Ballenas (Baja California), Mazatlán (Sinaloa), Salina Cruz (Oaxaca), hasta llegar a Perú (Squires, *et al.*, 1977). Igualmente se le conoce por trabajos sobre problemas de contaminación biológica en Costa Rica (Fernández y Brunker, 1977).

*Anadara tuberculosa*, conocida en México con el nombre de "pata de mula", es un organismo que alcanza una talla promedio de 62 mm de altura por 49 mm de longitud; es típico de la zona de mareas, llegando a su máxima densidad en las raíces de mangle. El intervalo de las temperaturas en las zonas donde se desarrolla se encuentra entre los 17°C en marzo y los 27°C en agosto, y en mangles pantanosos desde los 20.5°C a 35°C. En cuanto a salinidad los límites están entre los 30-49‰ para una población en manglares localizados en el Mogote, de la Bahía de la Paz, Baja California Sur (B.C.S) (Baqueiro, *et al.*, 1982).

Si bien se han practicado diversos métodos para comprender el proceso fisiológico de la reproducción, en lo que se refiere en particular al desarrollo y ciclos gonadales, es a últimas fechas que se ha reconocido el criterio histológico como de mayor precisión para determinar cuáles son los cambios que sufren las gónadas maduras y que culminan con la espermiogénesis.

Los trabajos que hacen referencia a la histología de *Anadara tuberculosa* son únicamente dos, el de Flores en 1971, en el que se describen de una manera general las variaciones del aparato reproductor femenino durante el ciclo anual y concluye que existen diferentes etapas durante el ciclo reproductor de las hembras de esta especie, entre ellas una reproductiva, durante la cual hay expulsión parcial y total de los gametos. El otro estudio es el realizado por Baqueiro, *et al.*, en 1982, quien analiza la estructura de una población de machos y hembras bajo presión pesquera con el objeto de determinar un patrón de reproducción. Compara las características del ciclo reproductor por él determinado, con las que obtuvo Flores (1971) y concluye que no es posible definir un

patrón de reproducción dado que, según sus resultados, la especie mantiene un desove constante a lo largo de todo el año.

Por lo tanto, este trabajo contribuye al conocimiento de la estructura microscópica de la gónada masculina de *Anadara (Anadara) tuberculosa* y a la caracterización de su ciclo reproductor.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Durante los años de 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 y 1997, alrededor del décimo quinto día de cada mes, se adquirieron en el comercio de la ciudad de México un total de 60 ejemplares adultos de *Anadara (Anadara) tuberculosa*, provenientes de Mazatlán, Sinaloa.

A cada uno de ellos se les retiró la concha y lavó el cuerpo; de su parte media se hizo un corte dorso-ventral de un milímetro de grosor en el que macroscópicamente se verificó la presencia de tejido gonádico por el color blanquecino o naranja de la gónada, con lo cual se separaron los machos de las hembras, respectivamente.

Las muestras se fijaron con una solución de formaldehído al 10% en solución reguladora de fosfatos pH 7.4 a 4°C durante 72 hrs. Transcurrido este tiempo se lavaron, deshidrataron e incluyeron en parafina para obtener cortes de 8  $\mu$  de grosor y se tificaron con las técnicas de hematoxilina-eosina, Papanicolau (1954) ácido peryódico - Schiff (P.A.S.) y tricrómica de Masson, modificadas según Uría y Mora (1996). Se midieron 500 células de cada uno de los tipos celulares sexuales. Los resultados corresponden al promedio obtenido. Las fotografías se obtuvieron con un fotomicroscopio *Reichert-Jung* modelo *Polivar*.

## RESULTADOS

### Estructura microscópica de la gónada

La gónada de *Anadara tuberculosa*, sin importar el mes o el año analizados, conserva una organización microscópica general básica. Consta de dos lóbulos que ocupan la periferia de las regiones anteriores y media dorsal y forman una herradura que rodea a los órganos digestivos. No existe cápsula que los delimite; en la parte dorsal y hacia los órganos digestivos, están rodeados por tejido conjuntivo laxo y fibroso, mientras que hacia la ventral están en contacto con el tejido muscular. De la periferia de la gónada hacia su interior parten tabiques conjuntivos y haces de fibras musculares lisas que la dividen en lobulillos, los cuales alojan a los túbulos seminíferos, delimitados por una fina membrana basal. Entre ellos, y en cantidad variable, se observa tejido conjuntivo intersticial formado por fibras colágenas, fibroblastos y células de la hemolinfa (eritrocitos y leucocitos). La irrigación de la gónada se lleva a cabo por medio de arteriolas que se ramifican, formando finalmente una red capilar que se ubica en el tejido intersticial entre los túbulos seminíferos. También se puede observar la presencia de nervios que atraviesan la gónada (figuras 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13 y 15).

Los túbulos seminíferos, hacia la parte ventral, se unen directamente a un sistema de conductos (conductos intragonadales) que desembocan en un conducto principal que corre entre el tejido muscular y la gónada, frecuentemente lleno de espermatozoides y eritrocitos (figuras 6 y 7). Los conductos tienen un epitelio cilíndrico simple ciliado; entre

las células del epitelio se observan glándulas unicelulares con gránulos acidófilos de secreción proteica. El conducto principal desemboca en la cavidad suprabranquial y de ahí salen con la corriente exhalante (Barnes, 1989).

### **Estructura de los túbulos seminíferos**

Los túbulos seminíferos tienen un curso irregular. Su pared está formada por el epitelio germinativo, las células de Sertoli y la membrana basal. Las diferentes células se organizan conformando estructuras piramidales en los túbulos en cuyas bases se observan las espermatogonias, mientras que los espermatozoides ocupan el ápice y las paredes laterales. Los espermatoцитos se encuentran a diferentes alturas, lo mismo que las espermátides (figuras 3, 5, 10, 13, 15 y 16).

### **Células de Sertoli**

Son de forma triangular, con tamaño promedio de 7 a 8.4  $\mu\text{m}$  (estas dimensiones se refieren solamente a la porción del citoplasma perinuclear), un núcleo grande con cromatina reticular y un nucleolo muy evidente; el citoplasma es acidófilo. Este tipo celular se encuentra siempre en contacto con la membrana basal del túbulo (figuras 15 y 17).

### **Espermatogonias**

Las espermatogonias de forma redonda, al igual que su núcleo, tienen un tamaño de 4 a 6  $\mu\text{m}$ , existen dos tipos, uno de ellos presenta cromatina densa y grumosa distribuida homogéneamente en el núcleo, y el otro cromatina finamente granular y perinuclear; el citoplasma en ambos casos es acidófilo. Ambos tipos los encontramos ubicados en contacto con la membrana basal del túbulo. No siempre es fácil localizarlas debido a que la mitosis ocurre rápidamente (figuras 15 y 17).

### **Espermatoцитos**

Los espermatoцитos se observan en las diferentes etapas de la meiosis, son células cuyo tamaño promedio varía de 3 a 5  $\mu\text{m}$ . El núcleo contiene cromatina densa distribuida en grumos y el citoplasma lo rodea formando un fino halo acidófilo. Aunque siempre están presentes, en determinados meses su número aumenta o disminuye. Se les encuentra en contacto con la membrana basal hasta la parte media del túbulo, entre las espermatogonias y las espermátides, por lo que se distribuyen heterogéneamente (figuras 15 y 17).

### **Espermátides**

Las espermátides son redondas y presentan un tamaño promedio de 1.4 a 4  $\mu\text{m}$ , la cromatina se presenta bajo diversos aspectos: en forma de anillo, de media luna y de grumos pequeños y densos; su citoplasma es acidófilo. Esta diversidad en la estructura nuclear corresponde a diferentes etapas de la espermiogénesis, conocida también como espermioteliosis. Las células de mayor tamaño con cromatina compacta, en forma de herradura o media luna, corresponden a las primeras, continuándoles las células con pequeños grumos y las de material nuclear denso de un tamaño similar a la cabeza de un espermatozoide (figuras 15 y 17).

## Espermatozoides

Los espermatozoides presentan un acrosoma ovoide y un flagelo orientado hacia la luz del túbulo. El acrosoma tiene un tamaño promedio de 0.7  $\mu\text{m}$  y el flagelo de 11.2  $\mu\text{m}$ . Es posible reconocer en cierto grado la madurez de los espermatozoides por la longitud del flagelo, de manera que los que salen hacia los conductos llegan a medir en promedio de 12 a 12.5  $\mu\text{m}$ . El núcleo es intensamente basófilo y el flagelo es acidófilo (figuras 7, 8, 9, 13, 14, 15 y 16).

## Ciclo reproductor

Después de analizar las imágenes de la gónada masculina de *A. tuberculosa* a través de varios ciclos anuales, encontramos que no existen variaciones ni a lo largo del ciclo ni comparando varios de ellos, es decir, siempre se conserva una estructura básica en los túbulos seminíferos y es similar a la que se ha descrito con anterioridad. Los cambios mensuales observados, se refieren fundamentalmente a la cantidad de células sexuales que se encuentran en los túbulos y al tipo celular predominante o característico en él. Este proceso es continuo a través de todo el año y, si bien la estructura de una gónada dada en los cortes analizados y en un momento determinado es similar, no todos los túbulos presentan exactamente el mismo aspecto. Es decir, pueden observarse ligeras diferencias en el proceso de formación de los espermatozoides ya que, dependiendo del mes, predomina la espermatogénesis o la espermiogénesis (figuras 15 y 16). Sin embargo, algo que es constante en todos los ciclos observados, es la expulsión de material que se reconoce por la presencia de espermatozoides en los conductos y/o la fusión de túbulos seminíferos (figuras 2, 3, 4, 6, 7 y 8).

La organización histológica de la gónada en cada mes se indica a continuación; los tipos celulares predominantes en los túbulos se resumen en la figura 1.

En el mes de enero los túbulos tienen una estructura piramidal definida con luz evidente. El tejido intersticial escaso, contiene algunos eritrocitos. En los túbulos se encuentran células de Sertoli, espermatogonias y espermatoцитos escasos con predominio de espermátides en sus diferentes etapas y espermatozoides.

Hay confluencia de algunos túbulos hacia el conducto principal, el cual contiene algunos espermatozoides, eritrocitos y leucocitos. Los conductos intragonadales y el principal, tienen epitelio cilíndrico simple ciliado con glándulas interepiteliales con gránulos acidófilos.

En febrero los túbulos contienen escasas células sexuales, por lo que no se observa el arreglo piramidal. El tejido intersticial escaso contiene algunos eritrocitos. En los túbulos hay escasas células de Sertoli, espermatogonias, espermatoцитos, espermátides y espermatozoides. Hay confluencia de algunos túbulos hacia los conductos intragonadales; dentro de éstos se encuentran escasos espermatozoides y eritrocitos.

Los túbulos tienen un arreglo piramidal, con abundantes células sexuales, las cuales obliteran la luz. El tejido intersticial es escaso, con abundantes eritrocitos y vasos capilares (con células de la hemolinfa) en los meses de marzo, abril y mayo.

En cuanto a los tipos celulares presentes en los túbulos, encontramos que para el mes de marzo los túbulos tienen escasas células de Sertoli, espermatogonias y espermatoцитos, predominando las espermátides en sus diferentes etapas y espermatozoides. Algunos túbulos confluyen hacia los conductos intragonadales. El conducto principal contiene abundantes espermatozoides y eritrocitos en expulsión.

Durante abril los túbulos se presentan con escasas células de Sertoli y espermatogonias, abundantes espermatoцитos y espermátides en sus diferentes etapas y escasos espermatozoides. Hay confluencia de algunos túbulos hacia los conductos, dentro de éstos existen algunos espermatozoides, leucocitos y abundantes eritrocitos.

En mayo los túbulos tienen escasas células de Sertoli, espermatogonias, espermatoцитos y espermatozoides y abundancia de espermátides en sus diferentes etapas. Los conductos intragonadales presentan algunos espermatozoides y eritrocitos.

Durante los meses de junio y julio la organización de los túbulos es piramidal con abundantes células sexuales que obliteran la luz del túbulo. El tejido intersticial es escaso y contiene pocos eritrocitos.

Para junio las células de Sertoli y espermatogonias son escasas, los tipos celulares que predominan son los espermatoцитos y las espermátides. Los espermatozoides se incrementan con respecto a mayo. El conducto principal contiene abundantes espermatozoides y eritrocitos en expulsión.

En el mes de julio en los túbulos se presentan escasas las células de Sertoli y espermatogonias, los espermatoцитos disminuyen y las espermátides se mantienen igual con respecto al mes de junio, y los espermatozoides se incrementan. Hay confluencia de túbulos y en el conducto principal se presentan abundantes espermatozoides y eritrocitos en expulsión.

En agosto y septiembre los túbulos están bien definidos, con estructura piramidal; contienen gran cantidad de material que oblitera la luz. El tejido intersticial es escaso, con pocos eritrocitos. En los túbulos son escasas las células de Sertoli y las espermatogonias, el número de espermátides aumenta en relación con el mes anterior, pero no es el tipo celular predominante. Se presenta confluencia de algunos túbulos, y el conducto principal contiene gran cantidad de espermatozoides y abundantes eritrocitos.

En octubre, noviembre y diciembre los túbulos están bien definidos con estructura piramidal, contienen abundantes células sexuales y las colas de los espermatozoides obliteran la luz. El tejido intersticial escaso contiene algunos vasos sanguíneos y eritrocitos.

Durante el mes de octubre en los túbulos son escasas las células de Sertoli y las espermatogonias, predominan los espermatoцитos y espermátides y los espermatozoides siguen disminuyendo en relación con las meses de agosto y septiembre. Existe confluencia de algunos túbulos. El conducto de salida contiene algunos espermatozoides y eritrocitos.

En el mes de noviembre en los túbulos hay escasas células de Sertoli, espermatogonias y espermatoцитos. Las espermátides aumentan considerablemente y los espermatozoides disminuyen. Se presenta confluencia de algunos túbulos. El conducto principal contiene algunos espermatozoides y eritrocitos.

En diciembre en los túbulos disminuyen las espermátides con respecto a noviembre y se incrementan los espermatozoides. Se presenta confluencia de algunos túbulos. Los conductos intragonadales presentan abundantes espermatozoides y eritrocitos.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El estudio de los ciclos reproductores en los moluscos es un tema interesante y de gran importancia, porque los que se han hecho al respecto permiten orientar acciones para una explotación racional del recurso. Varios de estos trabajos se refieren a especies

nacionales de importancia comercial (Aguilar, 1964; Austin y Short, 1982; Belmar, 1988; Estévez, 1975; Espinoza, 1980; Silva, 1984). Por otra parte, los trabajos sobre ciclos gonádicos establecen los momentos en los que las especies expulsan ovocitos y espermatozoides (Baqueiro y Stuardo, 1977; Flores, 1971; Rogers y García, 1981; Ruiz, 1974; Sevilla, 1959; Téllez et al., 1988).

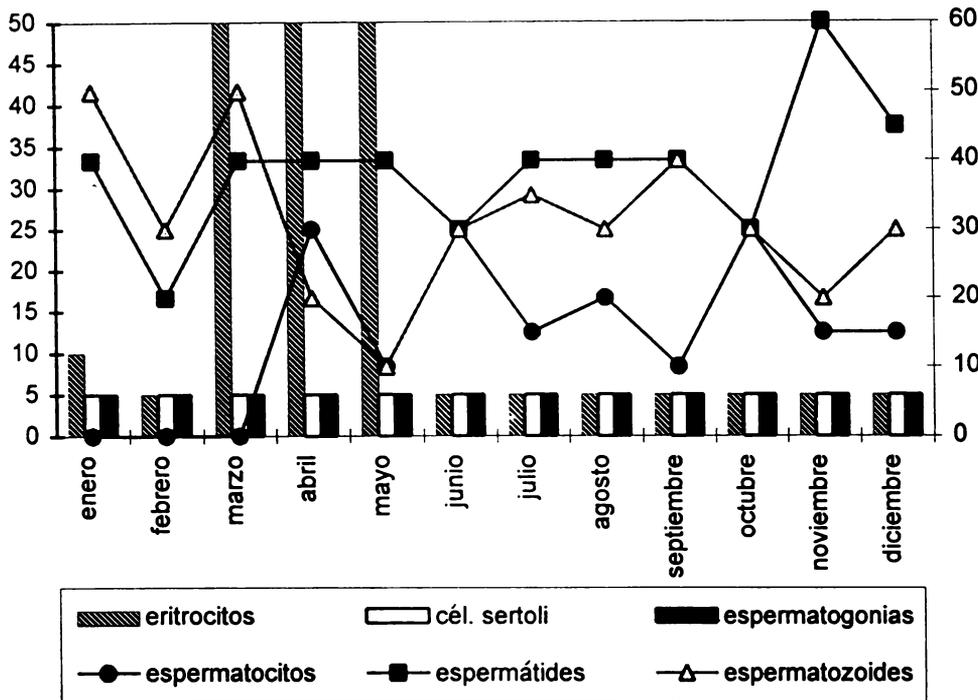


FIG. 1. Predominio de los tipos celulares de *A. tuberculosa* en los túbulos a lo largo de un ciclo reproductor. En *A. tuberculosa* existe un proceso continuo de formación de gametos durante todo el año, con un pico máximo de gametogénesis en el mes de abril y otro pico máximo de espermiogénesis en los meses de enero, marzo, mayo, julio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre.

### Estructura microscópica de la gónada

Nuestros resultados indican que *A. tuberculosa* es un molusco con sexos separados, como ocurre también en *A. trapezia* (Sullivan, 1960) pero no con otra especie del mismo género, *A. senilis* (Yoyole, 1975), hermafrodita protándrica. Después de revisar más de sesenta ejemplares a los que se refiere este trabajo, solamente en un caso encontramos una gónada bisexual en la que se reconocía una pobre cantidad de ovocitos en el interior de los túbulos seminíferos. Por su parte Flores (1971) informa de la presencia de algunos hermafroditas como casos raros y Baqueiro (1982) no logra observar ninguno.

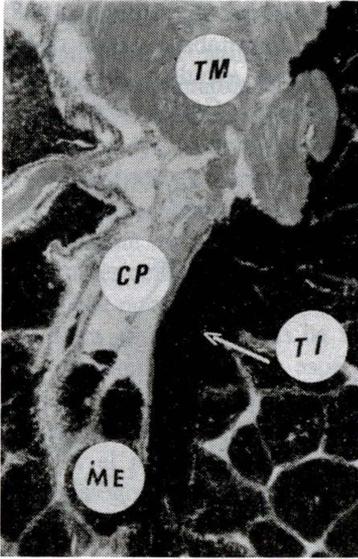


Figura 2

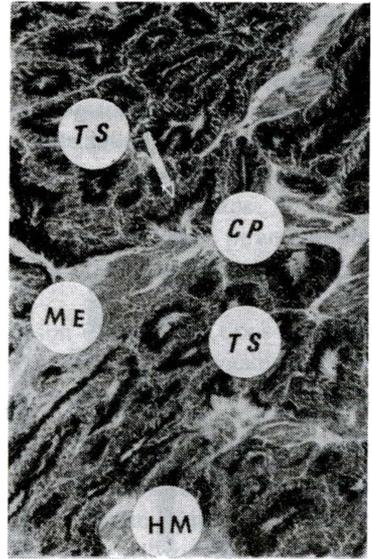


Figura 3

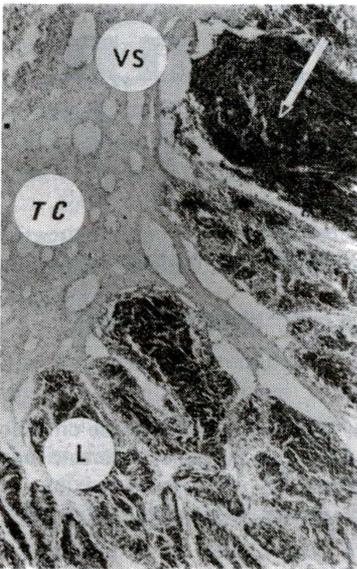


Figura 4

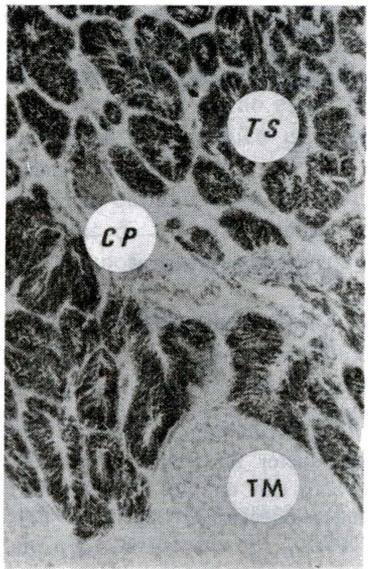


Figura 5

**FIG. 2.** Gónada de *A. tuberculosa*. Confluencia de túbulos seminíferos (→), tejido conjuntivo intersticial (TI), túbulos seminíferos (TS), tejido muscular (TM), conducto principal (CP), material en expulsión (ME). Tec. hematoxilina-eosina 12.5X. **FIG. 3.** Gónada de *A. tuberculosa*. Confluencia de túbulos seminíferos (→), túbulos seminíferos con estructura piramidal (TS), conducto principal (CP), material en expulsión (ME), haces musculares (HM). Papanicolaou 10X. **FIG. 4.** Gónada de *A. tuberculosa*. Confluencia de túbulos seminíferos (→), lobulillo (L), tejido conjuntivo (TC), vasos sanguíneos (VS). Papanicolaou 12.5X. **FIG. 5.** Gónada de *A. tuberculosa*. Túbulos seminíferos con estructura piramidal (TS), tejido muscular (TM), conducto principal (CP). Papanicolaou 5X.

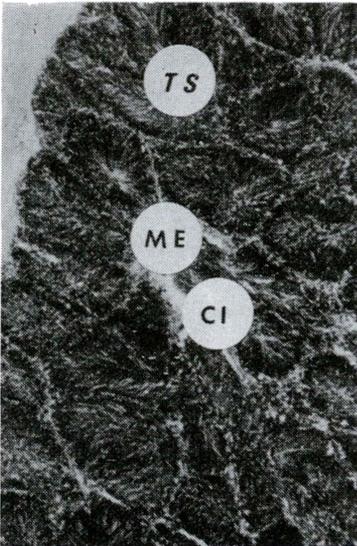


Figura 6

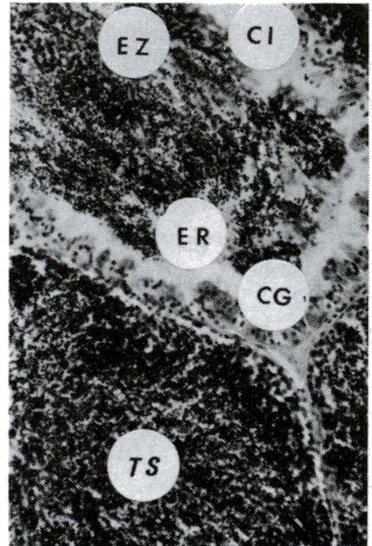


Figura 7

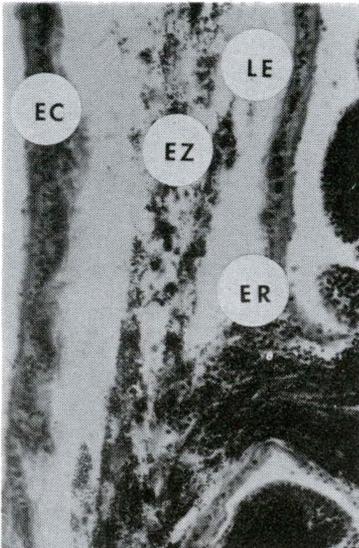


Figura 8

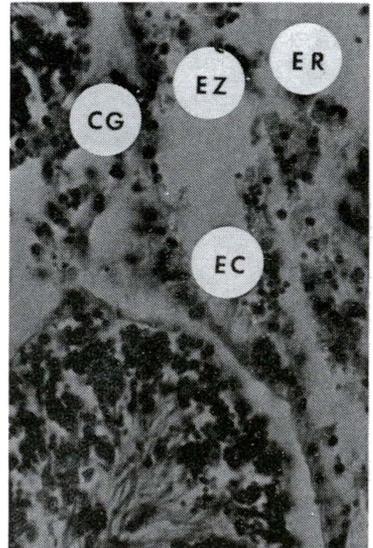


Figura 9

**FIG. 6.** Gónada de *A. tuberculosa*. Túbulo seminífero (TS), conducto intragonadal (CI), material en expulsión (ME). Tec. hematoxilina-eosina 50X. **FIG. 7.** Túbulo seminífero (TS), Gónada de *A. tuberculosa*. conducto intragonadal (CI), células glandulares acidófilas (CG), espermatozoides (EZ), eritrocitos (ER). Tec. hematoxilina-eosina 50X. **FIG. 8.** Gónada de *A. tuberculosa*. Conducto principal con epitelio cilíndrico simple ciliado (EC), espermatozoides (EZ), eritrocitos (ER), leucocitos (LE). Tec. hematoxilina-eosina 40X. **FIG. 9.** Gónada de *A. Tuberculosa*. Túbulo seminífero (TS), conducto principal con epitelio cilíndrico simple ciliado (EC), células glandulares acidófilas (CG), espermatozoides (EZ), eritrocitos (ER). Papanicolaou 50X.

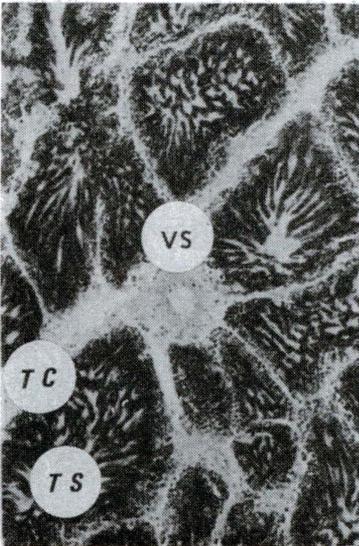


Figura 10

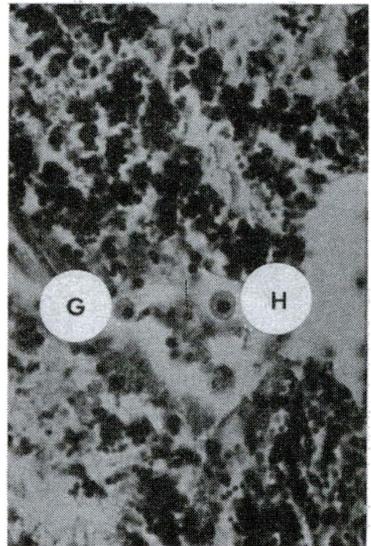


Figura 11

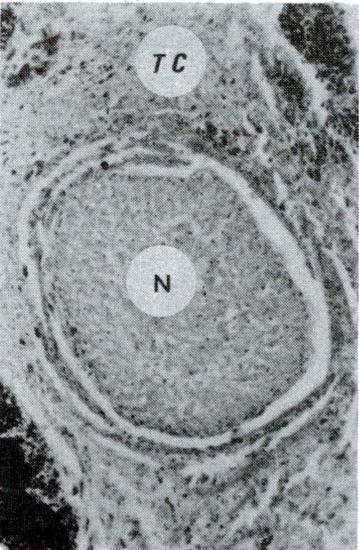


Figura 12

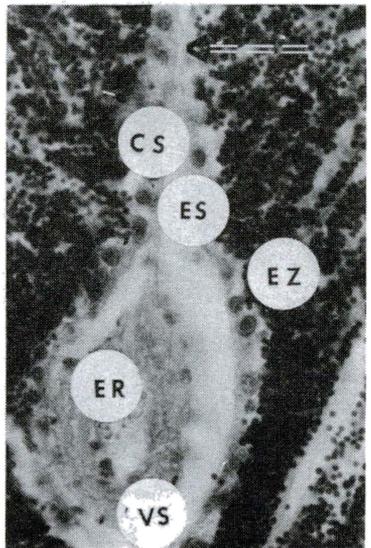


Figura 13

**FIG. 10.** Gónada de *A. tuberculosa*. Túbulos seminíferos con estructura piramidal (TS), vasosanguíneo (VS), tejido conjuntivo (TC). Tec. hematoxilina-eosina 32X. **FIG. 11.** Células de la hemolinfa de *A. tuberculosa*, hialinocito (H), granulocito (G). Tec. hematoxilina-eosina 50X. **FIG. 12.** Gónada de *A. tuberculosa*. Tejido conjuntivo (TC), nervio (N). Papanicolaou 40X. **FIG. 13.** Tipos celulares. Membrana basal (  $\Longrightarrow$  ), célula de Sertoli (CS), espermatogonias (ES), vaso sanguíneo (VS), eritrocitos (ER), espermatozoides (EZ). Papanicolaou 125X.

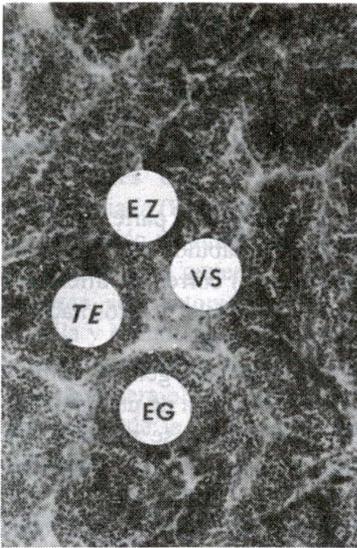


Figura 14

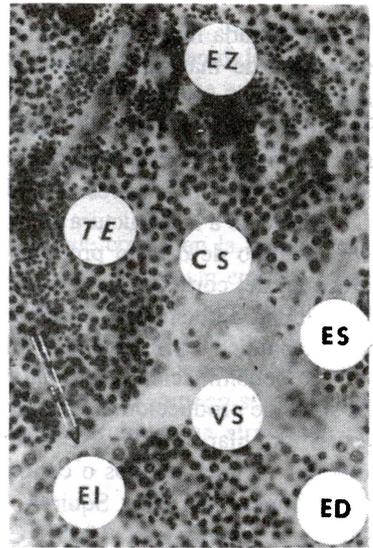


Figura 15

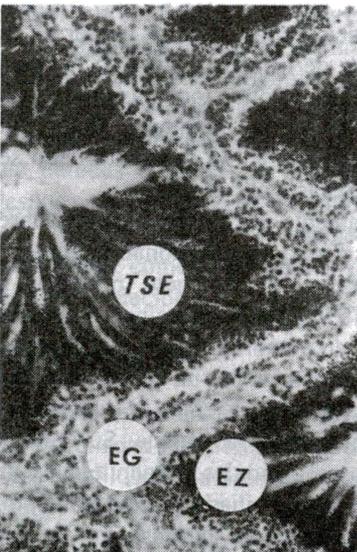


Figura 16

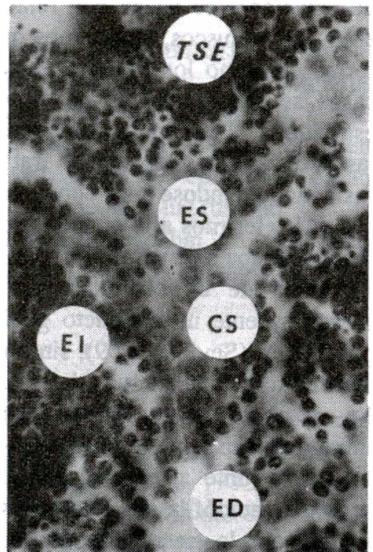


Figura 17

FIG. 14. Gónada de *A. tuberculosa*. Túbulos seminíferos en espermatogénesis (TE), epiteliogerminal (EG), espermatozoides (EZ), vaso sanguíneo (VS). Tec. hematoxilina-eosina 32X. FIG. 15. Gónada de *A. tuberculosa*. Túbulos seminíferos en espermatogénesis (TE), membrana basal (==>), células de Sertoli (CS), espermatogonias (ES), espermatoцитos (EI), espermátides (ED), espermatozoides (EZ), vaso sanguíneo (VS). Tec. hematoxilina-eosina 125X. FIG. 16. Gónada de *A. tuberculosa*. Túbulos seminíferos en espermiogénesis (TSE), epitelio germinal (EG), espermatozoides (EZ). Tec. hematoxilina-eosina 50X. FIG. 17. Gónada de *A. tuberculosa*. Túbulos seminíferos en espermiogénesis (TSE), células de Sertoli (CS), espermatogonias (ES), espermatoцитos (EI), espermátides (DE). Tec. hematoxilina-eosina 125X.

La gónada masculina se ubica siempre en la periferia de la masa visceral, y en los momentos de máxima producción ocupa parte de la zona central alrededor del tracto digestivo. Se observan, por lo tanto, organismos en fase de gametogénesis y de espermiogénesis, pero no la desaparición de la gónada como ocurre en otros moluscos ni un crecimiento que abarque toda la superficie ventral, como lo indica Flores en su estudio sobre *A. tuberculosa* (1971).

Respecto a la estructura histológica de la gónada, encontramos que la parte funcional en el sentido de órgano productor de gametos, está formada por túbulos que, según la dirección del corte de las muestras (dorso-ventrales o transversales) corren en diferentes direcciones, pero siempre desembocan hacia los conductos intragonadales y éstos hacia el conducto único o principal, a nivel de la parte media y lateral del cuerpo.

La denominación que se ha dado a la gónada tanto en su estructura general como a los sitios de producción de gametos es variada. Tenemos así que se habla de una glándula sexual (Aguilar, 1964). Así mismo, se indica que los espermatozoides se producen en folículos, acinos, túbulos o conductos y túbulos ramificados (Brosseau, 1982; Espinoza, 1980; Loosanoff, 1962; Squires, 1977; Yoyole, 1975; Tellez *et al.*, 1988, Sevilla, 1959, Sevilla y Mondragón, 1965). Cabe recordar que, según criterios histológicos, cada término obedece a una razón de estructura o de función. Además, por lo que las diferentes designaciones se hacen con relación a los sitios gametogénicos y ésta es muy variada entre los moluscos, tendríamos que buscarle una explicación sobre todo al pensar en la forma en cómo los espermatozoides abandonan su lugar de origen, la cual en algunos casos se señala que es por rompimiento de las paredes y otras por fusión de las estructuras. Las pocas imágenes que hemos encontrado en la literatura, junto con las nuestras, sugieren que se trata de estructuras tubulares que en un momento dado se fusionan, uniéndose a los conductos intragonadales y éstos hacia el principal.

Al referirnos a la gónada encontramos que, prácticamente, no hay referencias sobre los elementos a través de los cuales los espermatozoides formados abandonan la gónada. Se habla de un conducto que puede ser, por ejemplo, un conducto principal y posteriormente un conducto genital (Wilson y Seed, 1974), canal principal o canales principales (Sevilla, 1959), sin importar número de vías, su nombre o ubicación; algunos autores coinciden en que tales estructuras se encuentran revestidas por un epitelio ciliado. En el caso de *A. tuberculosa* se observa que existe un sistema de conductos intragonadales que se internan o que inician muy al interior de la gónada. Su epitelio comienza junto al epitelio germinal y contiene numerosas glándulas intraepiteliales de secreción acidófila que lo revisten. El epitelio cilíndrico simple ciliado de revestimiento, junto con la secreción de las glándulas, pueden contribuir al traslado de los espermatozoides, y en ese sentido también colaborar con haces musculares que se encuentran en el estroma o en forma de gruesas columnas que atraviesan la gónada en varios sitios.

La gónada tiene también un conducto principal de mayor diámetro que se ubica en las paredes laterales y media del cuerpo de *A. tuberculosa*, junto al tejido muscular. Hacia él desembocan los espermatozoides provenientes de diferentes zonas de la gónada. El material descargado, como ya se indicó, contiene además de espermatozoides, eritrocitos y leucocitos. Por otros estudios conocemos que tanto los eritrocitos como las células conjuntivas pigmentadas contienen hierro en cantidades importantes; por lo tanto, supondríamos que estos conductos son esenciales en la eliminación de productos relacionados con el metabolismo de la hemoglobina (Fernández *et al.*, 1995).

La red vascular que irriga la gónada está en contacto con los túbulos, de manera que es común encontrar eritrocitos y células conjuntivas pigmentadas en la pared de éstos y en su luz. De igual manera, en algunos momentos el número de estas células aumenta en el tejido intersticial y en los túbulos seminíferos. Esto, desde luego, no corresponde a un incremento en el tejido intersticial, en el sentido en que se describe por otros autores con ciertas fases del ciclo reproductor, tales como son las de inactividad sexual e indiferenciada (Baqueiro *et al.*, 1982; Flores, 1971).

También es interesante la cuestión de los mecanismos que controlan la homeostasis de la gónada en general y en particular la gametogénesis. Se descarta, sin embargo, que pudieran ser factores de tipo hormonal que "difundieran entre el tejido intersticial" (Sevilla y Mondragón, 1965), entendiéndolo como un mecanismo de transporte. Puede pensarse, más bien, en sustancias neurohormonales transportadas por la hemolinfa como se sugiere para el pulmonado *Helix aspersa* (Gomot *et al.*, 1980). Tampoco se conoce el significado de la presencia de nervios de dimensiones considerables que atraviesan las gónadas.

### **Estructura de los túbulos seminíferos**

Aunque con ciertas variantes, la organización general de las células sexuales y de Sertoli que conforman el epitelio tubular es piramidal.

Las células de Sertoli acompañan a los gametos pero no forman un cisto y están, al igual que las espermatogonias, en contacto con la membrana basal. Los espermatocitos ocupan la zona media y a continuación las espermátides se ubican más cercanas a la luz. Los espermatozoides se localizan en la luz tubular, sea en los ápices de las pirámides o en sus paredes laterales, de manera que, simplemente, se separan del epitelio y pasan después a la luz. Invariablemente se les observa con el flagelo hacia la luz tubular.

En este estudio se establece que las células sexuales presentan un desarrollo asincrónico, como ocurre en los vertebrados y se caracterizan las etapas de gametogénesis y de espermiación.

### **Ciclo reproductor**

En la literatura encontramos diversos trabajos que describen los cambios que ocurren en las gónadas de diferentes especies de moluscos, generalmente a lo largo de un año. A estos cambios los autores les han llamado ciclos reproductores (Brosseau, 1982; Wilson y Reed, 1974) gonádicos, gonadales (Estévez, 1975) y también de madurez gonadal (Belmar *et al.*, 1988; Silva, 1984), desarrollo gonádico (Sevilla y Mondragón, 1965) o evolución gonádica (Rogers y García, 1981). También hay formas variadas en cuanto a la manera en cómo los autores han dividido las etapas o fases que agrupan las variaciones estructurales que ocurren en esos lapsos.

Si bien reciben diferentes nombres, se refieren a imágenes en las cuales las gónadas están ausentes o en reabsorción en una activa producción de gametos o bien expulsándolos. Visto en esos términos, aparentemente no existen problemas de interpretación; sin embargo, al plantear las características de las diferentes clasificaciones, se presentan dificultades; por ejemplo, se habla de estadios gonadales tales como de inactividad o indiferenciación; desarrollo o gametogénesis, madurez, desove parcial, desove total y agotamiento, entre otros, y también de etapas o fases: indiferenciada, prerproductiva, reproductiva y posreproductiva.

Loosanoff (1965), y Baqueiro y Stuardo (1977) coinciden al incluir en las fases del ciclo a la gametogénesis. Baqueiro (1982), al tratar el caso particular de *A. tuberculosa*, divide al ciclo en cinco fases: fase I o indiferenciada, fase II de gametogénesis; fase III, madurez; fase IV, desove, y fase V de posdesove. Flores (1971), por su parte, reconoce también cinco etapas a las que denomina de inactividad sexual, gametogénica, madurez, reproductora y posreproductora.

Respecto a la primera fase, indiferenciada, Baqueiro (1982) informa que no se presentó en los ejemplares por él estudiados. Por el contrario, Flores (1971), habla de una etapa de inactividad sexual durante la cual la gónada femenina contiene algunas células sexuales (no aclara cuáles) en donde existe una reabsorción y aumento de tejido conjuntivo. Esta etapa es una de las que más dudas suscita porque los autores se refieren a ella como un momento en el que la gónada, o bien desaparece o queda reducida a los espacios en los que en otras fases se llevó a cabo la producción de gametos y que ahora contienen sólo células residuales y fagocitos.

No conocemos trabajos sobre la formación embrionaria de estas células que expliquen a satisfacción este problema. La referencia más elaborada que tendríamos es en los vertebrados (Austin, 1982), en los que a partir de células germinales indiferenciadas o primordiales se van a desarrollar las definitivas, las cuales mediante la espermatogénesis producen gametos. A la transformación de las células primordiales o definitivas y la constitución paralela de la gónadas, es lo que se conoce como diferenciación sexual. Por lo tanto, en *A. tuberculosa*, no se observa la etapa de indiferenciación o reposo.

En cuanto a la fase II o gametogénica, común en *A. tuberculosa*, Baqueiro (1982) informa que se prolonga durante casi todo el año, con un pico máximo en el que del total de hembras y machos estudiados, el 65% se encuentran en este proceso durante el mes de junio y el 35% en el mes de octubre. Nuestros resultados muestran que la gametogénesis es continua con un pico máximo en el mes de abril (Fig. 1).

De cualquier manera, para ambos autores la fase III o de madurez es el momento en que las gónadas se encuentran plenas de ovocitos o espermatozoides. Sin embargo, la descripción de Baqueiro (1982) suscita dudas ya que, si da término la gametogénesis o fase II, quiere decir que toda la gónada llega a la madurez; ¿cómo distingue, entonces, entre ambas etapas, a tal grado de dar porcentajes y explicar que existe una gametogénesis continua?

Nuestros resultados muestran que en los meses de enero, marzo, mayo, julio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre (Fig. 1) predomina en la gónada la espermiogénesis, no coincidiendo con lo señalado por Baqueiro (1982). En cuanto a la gametogénesis, al ser continua en *A. tuberculosa*, como ya se mencionó, no puede destacarse de la etapa de madurez, puesto que cualquier ejemplar que presenta la producción de espermatozoides es un individuo maduro sexualmente, como puede observarse en junio y octubre en donde la gametogénesis y espermiogénesis están en producción de gametos casi similar (Fig. 1).

Para *A. tuberculosa* existe un proceso de formación de gametos continuo durante todo el año, en donde se establecen picos de mayor actividad, habiendo producción y expulsión de gametos. Entonces, el ciclo reproductor no puede ser dividido en etapas o fases como lo hacen Baqueiro (1982) y Flores (1971). Por lo tanto, en este trabajo se indican los picos de máxima actividad gametogénica y espermiogénica a lo largo de un año, al que denominamos ciclo reproductor, de acuerdo a los trabajos de Hayes y Winston (1981), Foighil, (1985) y Barber *et al.*, (1991).

## SUMMARY

In this work was realized the histological study of the masculine gonad of male specimens of *Anadara (Anadara) tuberculosa* (Sowerby, 1833), obtained in the commerce during the years 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 and 1997. It's an incapsuled organ, bilobular, its fundamental components are the seminiferous tubules, where are identified the sexual cell as spermatogonias, spermatocytes, spermatids and spermatozoa, that present an asincronic development and the support cells or of Sertoli. The tubules are communicated with the gonoducts and this to the principal duct, they are surrounded by connective tissue areolar fibrous that contents strands of smooth muscle fibres and nerves.

Among them it's observed a variable quantity collagen fibres, fibroblast and hemolymph cell. The irrigation is by arterioles that branch out making a fine capillaries.

The analysis of the gonads through months and years studied, points that the spermatogenesis and spermiogenesis are continue, with picks of maximum activity, so the reproductive cycle could not be divided in stages or phases, having this organism the possibility of reproduction among the whole year.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, I. F., 1964. Contribución al estudio histológico de las gónadas de *Atrina maura*, Sowerby, 1835 (Mollusca, Fam. Pinnidae). Tesis profesional. ENCB, IPN. México.
- AUSTIN, C. R. y R. V. SHORT, 1982. Células germinales y fertilización. La Prensa Médica Mexicana, S.A., México, D.F., pp. 1-14.
- BAQUEIRO, C. E. y J. STUARDO, 1977. Observaciones sobre la Biología, Ecología y Explotación de *Megapitaria aurantica* (Sow., 1831), *M. Squaliga* (Sow., 1835) y *Diosinia pondetrosa* (Gray, 1838) (Bivalvia: Veneridae) de la Bahía de Zihuatanejo e Isla Ixtapa, Gro. México, *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol.* Univ. Nal. Autón. Méx., México, **4(1)**:161-208.
- BAQUEIRO, C. E., M. MUCIÑO y R. MERINO, 1982. Análisis de una población de pata de mula *Anadara tuberculosa* sujeta a explotación intensiva en la Bahía de la Paz, Baja California Sur México, *Ciencia Pesquera*, **3**:75-82.
- BARBER, J. B., E. S. FORD and N. R. WARGO, 1991. Genetic Variation in the Timing of Gonadal Maturation and Spawning of the Eastern oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin), *Biol. Bull.*, **181**:216-221.
- BARNES, R. D., 1989. Zoología de invertebrados, Ed. Interamericana, México, pp:453.
- BELMAR, P. J., S. A. GUZMAN del P. y M. I. MARTÍNEZ, 1991. Madurez gonádica y ciclo reproductor del caracol Panocha (*Astraea undosa* Wood, 1828; Gastropoda:Turbinidae) en Bahía Tortugas, B.C.S., *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Autón. Méx., México, **18(2)**:169-187.
- BROUSSEAU, D. J., 1982. Gametogenesis and Spawning in population of *Geukensia demissa* (Pelecypoda: Mytilidae) from Westport, Connecticut, *The Veliger*, **24(3)**:247-251.
- ESTÉVEZ, T. H. J., 1975. Aspectos generales de la biología y ecología del mejillón *Mytella strigada* (Hanley, 1843) en dos lagunas costeras del estado de Guerrero. Tesis profesional. Fac. Ciencias, Univ. Nal. Autón. Méx., México.
- ESPINOZA, M. E., 1980. Estudio gonádico en ejemplares jóvenes de *Crassostrea virginica*, Gmelin, Tesis profesional. ENCB, IPN. México.
- FERNÁNDEZ, B. y T. BRUNKER, 1977. Estudio bacteriológico de bivalvos del Golfo de Nicoya, Costa Rica, Condición del molusco recién recolectado, *Rev. Biol. Trop.*, **25(1)**:101-107.

- FERNÁNDEZ, A. H., G. E. URÍA y A. M. HERNÁNDEZ S., 1995. Demostración de fierro en eritrocitos y células conjuntivas pigmentadas de *Anadara (Anadara) tuberculosa* Sowerby, 1833. (Mollusca: Pelecípoda: Arcidae) *An. Esc. nac. Cienc. biól. México*, **40**:183-195.
- FLORES, M. A., 1971. Contribución al conocimiento biológico de la pata de mula, *Anadara tuberculosa* Sowerby 1833. Tesis profesional. ENCB, IPN. México.
- FOIGHIL, O. D., 1985. Sperm Transfer and storage in the brooding Bivalve *Mysella tumida*, *Bil. Bull.*, **169**:602-614.
- GALTSOFF, P. S., 1938. Physiology and reproduction of *Ostrea virginica* II Stimulation of spawning in the female oyster. *Biol. Bull.*, **75**(2):286-306.
- GOMOT, L., B. GRIFFOND, J. WIGDENES and J. BRIDE, 1980. Endocrine control of sexual differentiation and reproduction in the snail, *Helix aspersia* Muller, In: Advances in invertebrate reproduction, W. H. Clark, Jr and S. Adamas, eds. North Holland. Inc. pp 163-178.
- HAYES, F. P. and M. R. WINSTON, 1981. The reproductive cycle of early setting *Crassostrea virginica* (Gmelin) in the Northern Gulf of Mexico, and its implications for population recruitment, *Biol. Bull. Biol. J. Okayama Univ.*, **160**:80-88.
- IWATA, K. S., 1952. Mechanism of egg maturation in *Mytilus edulis*. The Biological Journal of the Okayama University, **1**(1-2):1-11.
- LOOSANOFF, V. L., 1937. Development of the primary gonad and sexual phases in *Venus mercenaria* Linnaeus, *Biol. Bull.*, **72**(3):389-405.
- \_\_\_\_\_, 1962. Gametogenesis and spawning of the European Oyster, *O. edulis* in waters of Maine. *Biol. Bull.*, **122**(1):86-94.
- \_\_\_\_\_, 1965. The American or Eastern Oyster, Fish and wildlife Service, United States Dept. of the interior bureau of Commercial Fisheries, Washington, D.C. USA. Circular 205, pp.1-34.
- \_\_\_\_\_, 1965. Maturation of gonads of oysters *Crassostrea virginica* of different geographical areas subjected to relatively low temperatures. *The Veliger*, **11**(3):155-163.
- PAPANICOLAOU, G. N., 1954. Atlas of Exfoliative Cytology, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass, p. 6.
- ROGERS, S. P. y A. GARCÍA, 1981. Evaluación gonádica a nivel histológico del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) del sistema fluvio-lagunar Atasta-Pom, Laguna de Términos, Campeche, México, *An. Inst. Cienc. del Mar y Limm.*, Univ. Nal. Autón. Méx., México, **8**(1):21-42.
- RUIZ, D. M. F., 1974. Estudio histológico comparativo de los ciclos gonádicos de *Ostrea corteziensis* (Hertlein), *Crassostrea virginica* (Gmelin), *Crassostrea iridiscens* (Hanley), Simposio FAO/Carpas sobre acuicultura en América Latina. Montevideo, Uruguay, pp. 1-16.
- SEVILLA, H. M. L., 1959. Datos biológicos para el cultivo del ostión de Guaymas, Sonora *Crassostrea chilensis* (Philippi, 1845). Secretaría de Industria y Comercio. Direc. Gral. de Pesca e Industrias Conexas, pp. 7-85.
- SEVILLA, H. M. L. y E. MONDRAGÓN, 1965. Desarrollo Gonádico de *Crassostrea virginica* Gmelin en la Laguna de Tamiahua, *An. Inst. Nal. Inv. Biol. Pesqueras*. **1**:53-69.
- SILVA, L. J. M., 1984. Ostión de Piedra *Crassostrea iridiscens* Hanley 1845, *Aspectos Biológicos y Ecológicos*, *Cienc. del Mar*. Univ. Aut. Sin. Ep. 1 año 2 No. 6 pp. 3-5.
- SQUIRES, H. J., M. ESTÉVEZ, O. BARONA and O. MORA, 1977. Mangrove Cockles, *Anadara* spp of the Pacific Coast of Colombia, *The Veliger*, **18**(1):57-68.
- SULLIVAN, G. E., 1960. Functional Morphology, Micro-Anatomy, and Histology of the "Sydney Cockle", *Anadara trapezia* (Deshayes) (Lamellibranchia: Arcidae), *Aust. J. Zool.*, **9**:219-157.
- TÉLLEZ, G. M. P., G. TORRES y J. L. CIFUENTES, 1988. Desarrollo gonadal del mejillón *Ischadium recurvum*, (Rafinesque, 1820) en la Laguna del Morro de la Mancha Veracruz, *Ciencia Pesquera*, Instituto Nal. Pesca. Sría. de Pesca. México, **6**:45-49.
- URÍA, G. E. y M. del C. MORA V. 1996. Apuntes para el curso teórico práctico de histología animal, Ed. IPN, México, pp. 46-48, 92-93, 131-133, 170-172.

- WILSON, J. H. and R. SEED, 1974. Reproduction in *Mytilus edulis* L. (Mollusca: Bivalvia), In: Carlingford Lough, Northern Ireland, *Ir. Fish, Invest. Ser. B. No. 15*:3-30.
- YOYOLE, V., 1975. The habitats and functional anatomy of the West African bloody cockle, *Anadara senilis* (L.), *Proc malac. Soc. Lond.*, **41**:277-299.