



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

**BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE *Anadara tuberculosa* (Bivalvia:
Arcidae) EN EL ESTERO SANTO DOMINGO, B.C.S., MÉXICO.**

TESIS

**Que para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS
Con especialidad en
MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

PRESENTA:

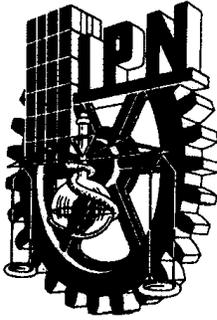
ING. PESQ. DOLORES RENÉ PÉREZ MEDINA

DIRECTOR

DRA. BERTHA PATRICIA CEBALLOS VÁZQUEZ

LA PAZ B.C.S, MÉXICO

JUNIO DE 2005



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 10 del mes Noviembre del año 2005, el (la) que suscribe DOLORES RENÉ PÉREZ MEDINA alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B031462 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DRA. BERTHA PATRICIA CEBALLOS VÁZQUEZ y cede los derechos del trabajo titulado: "BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE *Anadara tuberculosa* (BIVALVIA: ARCIDAE)
EN EL ESTERO SANTO DOMINGO, B.C.S., MÉXICO"
al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: dperezm@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


DOLORES RENÉ PÉREZ MEDINA

nombre y firma

DEDICATORIAS

A DIOS

Por el hecho de darme la oportunidad de vivir y ser quien soy.

A MIS PADRES:

Por ser siempre un estímulo muy importante en cada una de mis metas a cumplir, gracias por confiar en mí y saben que todo lo que hago siempre es pensando en ustedes.

A MIS HERMANOS:

Omar, “Chenta”, Júnior, Yan y Dulma por respetar y apoyarme siempre en objetivos a cumplir durante mi formación. En particular y sin quitar importancia los restantes dedico este trabajo a mi Hermana “Chenta” que pese a la distancia y tanto tiempo de no vernos siempre he tenido tu apoyo y amistad incondicional, gracias por ser mi amiga, entenderme y apoyarme siempre “Te quiero y extraño mucho”.

A MIS SOBRINOS:

Yomara, Omar y Dari por alegrarme el poco tiempo en el que hemos estado juntos.

A MIS AMIGOS Y DEMAS FAMILIARES:

Quienes de alguna manera han estado presentes siempre, dándole un sentido positivo a mi vida

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, por todo el apoyo brindado durante mi formación, así como al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por el apoyo económico brindado.

Al **Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI)**, por el apoyo económico otorgado durante mi formación, en particular a los proyectos CGPI 20050066 y 20040861.

A la **Dra. Bertha Patricia Ceballos Vázquez**, por la paciencia y confianza que depositó en mi, por brindarme la oportunidad de seguir trabajando con mi formación y por todo el apoyo que he recibido durante este tiempo.

Al **M.C. Esteban Fernando Félix Pico**, por la oportunidad brindada de seguir adelante con mi formación y por facilitarme las muestras utilizadas en este trabajo.

Al comité revisor de tesis, **Dr. Oscar Olguín Quiñónez, Dr. Federico Andrés García Domínguez, Dr. Marcial Arellano Martínez y M.C. Marcial Villalejo Fuerte**, por sus enriquecedores comentarios y valiosas observaciones hechas a este trabajo.

Al **Laboratorio de Invertebrados Marinos**, en especial a los Técnicos **Sr. Fidel Camacho y M. C. Jorge Rocha** por el apoyo brindado en el procesamiento de las muestras.

A mis mejores Amigos, que pese a la distancia me han brindado su apoyo incondicional en todo momento, gracias **Araceli y Flavio** por ser siempre mis mejores amigos.

A Grandes Amigos (Clika), **Mabel, Elfrego, Lina, Cintya, Juanito, Miguel, Ulises y Cheupe** que durante cada vacaciones disfrutadas existía el estímulo para seguir mirando siempre adelante.

A **Elmo e Iván** por disfrutar buenos y malos momentos vividos juntos durante dos años bajo el mismo techo.

A mis compañeros y amigos de generación **Elmo, Iván, Claudia, Alfredo, Erik, José Ángel, Susi y Norma** con los que compartí bonitas aventuras que nunca se olvidaran, a seguir adelante con los planes futuros y mucha suerte.

A **Buenos Compañeros y Amigos Guerrerenses** por ser quienes son y brindarme su apoyo incondicional y saber ser amigos en todo momento, mil gracias por todo **Bety, Carmen, Jazmín, Dámaris y Deivis**.

Al **C.P. Humberto Ceseña Amador**, por su paciencia y buena atención brindada en asuntos y tramites escolares.

Al **Personal de la Biblioteca Rubén Lasker** por las mejores facilidades posibles durante mi estancia como estudiante.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Porcentaje de captura de almejas en Baja California Sur de 1966-2001.....	3
Figura 2. Principales regiones de captura de <i>A. tuberculosa</i> en Baja California Sur.....	4
Figura 3. Ejemplares de <i>A. tuberculosa</i>	7
Figura 4. Localización geográfica del área de estudio.....	13
Figura 5. Ejemplar de <i>Anadara tuberculosa</i> mostrando la longitud y altura de la concha.....	16
Figura 6. Morfología interna de <i>Anadara tuberculosa</i>	17
Figura 7. Proporción de sexos de <i>Anadara tuberculosa</i> en el estero Santo Domingo.....	25
Figura 8. Fases de desarrollo gonádico en hembras de <i>Anadara tuberculosa</i>	29
Figura 9. Fases de desarrollo gonádico en machos de <i>Anadara tuberculosa</i>	31
Figura 10. Corte de un organismo hermafrodita de <i>Anadara tuberculosa</i>	32
Figura 11. Ciclo reproductivo de <i>Anadara tuberculosa</i> en el estero Santo Domingo.....	33
Figura 12. Talla de primera madurez de <i>A. tuberculosa</i> en el estero Santo Domingo.....	34
Figura 13. Variación del índice de madurez en <i>A. tuberculosa</i> en el estero Santo Domingo.....	35
Figura 14. Variación mensual de las medias del diámetro de los ovocitos de <i>Anadara tuberculosa</i> en el estero Santo Domingo.....	36
Figura 15. Variación mensual de las medias del factor de condición de <i>Anadara tuberculosa</i> en el estero Santo Domingo.....	37
Figura 16. Variación mensual de las medias del índice de peso de en el estero Santo Domingo.....	38
Figura 17. Comparación del índice de peso con el índice de condición de <i>Anadara tuberculosa</i> en el estero Santo Domingo.....	39

Figura 18. Variación de la temperatura de un año tipo calculado a partir de datos históricos en el estero Santo Domingo.....	40
Figura 19. Variación de la concentración de clorofila a de un año tipo calculado a partir de datos históricos en el estero Santo Domingo.....	41
Figura 20. Relación del índice de madurez de <i>Anadara tuberculosa</i> con la clorofila a en el estero Santo Domingo.....	42
Figura 21. Variación del fotoperiodo en el estero Santo Domingo.....	43

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla I. Principales especies de bivalvos que se explotan en Baja California Sur.....	2
Tabla II. Tiempos de inmersión para el procesamiento histológico.....	17
Tabla III. Tiempos de inmersión para el proceso de tinción.....	18
Tabla. IV. Frecuencia de hembras y machos, valores de X^2 y proporción de <i>Anadara tuberculosa</i> por mes.....	26
Tabla. V. Proporción de sexos por clase de talla de <i>A. tuberculosa</i> del estero Santo Domingo.....	27
Tabla VI. Correlación entre la temperatura y las variables morfométricas de <i>Anadara tuberculosa</i>	40
Tabla VII. Correlación entre la clorofila <i>a</i> y las variables morfométricas de <i>Anadara tuberculosa</i>	42
Tabla VIII. Correlación entre el fotoperiodo y las variables morfométricas de <i>Anadara tuberculosa</i>	44



GLOSARIO

Bisexual: Que tiene los dos sexos.

Células foliculares: Células que envuelven al gameto femenino formando el folículo; estas células proveen los elementos con que se nutre el gameto femenino.

Células germinales: Término colectivo para las células de los órganos reproductivos de los organismos multicelulares, que se dividen por meiosis para producir gametos.

Células sexuales: Células pertenecientes a la estirpe germinal, que sufren una diferenciación en células masculinas o femeninas y cuya finalidad es la fecundación.

Ciclo gonádico: Evento repetitivo dentro de las gónadas y que conducen a la producción de gametos.

Ciclo ovárico: Serie de estadíos de desarrollo por los que pasa la gónada femenina desde el reposo hasta el desove.

Ciclo reproductivo: Eventos repetitivos dentro de las gónadas que conducen a la producción de gametos.

Desove espontáneo: En peces se refiere al hecho de que estos logren la puesta de los huevos sin que se de una manipulación manual de los organismos.

Dióico: Relativo a aquellos organismos en los cuales los órganos reproductores femeninos y masculinos se encuentran en diferentes individuos.



Epitelio germinal: Epitelio peritoneal colonizado por las células germinales primitivas y que al final del desarrollo embrionario se localiza en las gónadas conteniendo las células sexuales.

Espermatocito: Célula germinal de la estirpe masculina en vías de maduración.

Espermatogénesis: Proceso biológico mediante el cual se producen espermatozoides en las gónadas masculinas de los organismos.

Espermatogonia: Célula germinal masculina, diploide, que se multiplica activamente por mitosis en la zona germinativa de los testículos.

Espermatozoide: Gameto masculino maduro, caracterizado por su movilidad, proporcionada por la posesión de uno o más flagelos; en el extremo anterior del espermatozoide, se encuentra el núcleo y el acrosoma.

Estrategia reproductiva: Toda aquella organización genotípica.

Estrógenos: Nombre común a varias hormonas femeninas en los vertebrados.

Factor de condición: Valor numérico utilizado para comparar las condiciones de los organismos, con base a la talla del mismo y su peso.

Fecundación: la fusión de dos gametos (espermatozoides y óvulo) que produce un cigoto que desarrollará un nuevo individuo con una herencia genética derivada de sus dos progenitores. Estrictamente la fecundación puede dividirse en dos procesos, el primero corresponde a la unión de los citoplasmas de los gametos (plasmogamia) y el segundo a la fusión de sus núcleos (cariogamia).

Folículo: (L. folliculus, esfera pequeña) membrana de células que rodea al óvulo en maduración.



Folículo postovulatorio: Membranas externas que rodean al oocito y permanecen como residuo después de que el oocito ha sido liberado.

Gametogénesis: Proceso mediante el cual se forman los gametos en la reproducción sexual. Puede ser difusa, cuando los gametos son producidos en el celoma y son expulsados por un gonópodo; o localizada, cuando los gametos son producidos en un órgano especial (ovario y testículo) formado por un estroma y una cápsula. Salen al exterior por un conducto y un poro genital.

Gameto: Célula reproductora haploide(n) que cuando su núcleo se fusiona con otro gameto (n) del sexo opuesto origina un cigoto ($2n$), que por mitosis desarrolla un individuo con células somáticas diploides ($2n$), en algunos hongos y protistas puede, por meiosis, producir células somáticas haploides (n).

Gónada: Órgano productor de gametos de los animales pluricelulares, ovario o testículo

Gonocorismo: Condición de una especie en la que los organismos presentan órganos sexuales de un solo sexo, macho o hembra.

Hermafrodita: Individuo que posee órganos sexuales masculinos y femeninos.

Hermafroditismo: Tipo de sexualidad propio de las especies cuyos componentes (individuos hermafroditas) desarrollan simultáneamente gametos masculinos y femeninos.

Hermafroditismo casual: Cuando en un individuo de una especie se presentan gónadas en las que se observan gametos masculinos y femeninos al mismo tiempo, sin que esto sea una condición normal dentro de la especie.



Hormona: Es una sustancia que es secretada en cantidades pequeñas por una parte del cuerpo y es transportado a otra parte, el órgano plano, donde produce una respuesta fisiológica.

Índice de madurez: Valor numérico que expresa el peso de la gónada en relación a la longitud del pez.

Lúmen: En los cortes histológicos, el espacio iluminado que se encuentra entre las estructuras o células que se presentan.

Meiosis: Del griego meio = menor; meiosis = reducción.- División celular en la cual la copia de los cromosomas es seguida por dos divisiones nucleares. Cada uno de los cuatro gametos resultantes recibe la mitad del número de cromosomas (número haploide) de la célula original.

Mitosis: Del griego mitos = hebra, filamento. La división del núcleo y del material nuclear de una célula; se la divide usualmente en cuatro etapas: profase, metafase, anafase, y telofase. La copia de una célula. La mitosis ocurre únicamente en eucariotas. El ADN de la célula se duplica en la interfase y se distribuye durante las fases de la mitosis en las dos células resultantes de la división.

Nucléolo : Cuerpo redondeado u oval que se observa en el núcleo de las células eucariotas; consiste en bucles de cromatina que sirven de molde para la producción de rARN (ácido ribonucleico ribosomal).

Oocito: célula sexual femenina en fase de crecimiento y que experimenta la meiosis.

Oogénesis: El proceso de formación de células haploides femeninas u óvulos.

Oogonia: La célula madre de los gametos femeninos u óvulos. Células germinales primordiales. Célula sexual diploide que todavía no ha iniciado su crecimiento, en hembras.



Ovario: Glándula genital femenina en la que tiene lugar la ovogénesis.

Óvulo: Célula sexual o célula germen femenina.

Patrón reproductivo: Es la frecuencia con que se presenta el evento reproductivo en una población, pudiendo ocurrir rítmicamente o esporádicamente durante parte o todo el año.

Proporción sexual: La relación de hembras y machos en un grupo de organismos.

Protándria: La formación de espermatozoides funcionales antes de los óvulos en animales hermafroditas.

Protoginia: Tipo de hermafroditismo en el que las actividades masculina y femenina son sucesivas en el tiempo, y en el que se desarrollan en primer lugar óvulos y posteriormente espermatozoides.

Reproducción: La acción y efecto de la perpetuación de las formas orgánicas en las generaciones.

Testículo: Órgano reproductor masculino de los animales donde se producen los espermatozoides.

Vitelo: Material nutritivo en forma de gránulos, presente en el citoplasma de un óvulo.

Vitelogénesis: Proceso por el cual el oocito adquirirá características para llegar a óvulo. La formación del vitelo o yema del huevo.



RESUMEN

A nivel nacional, el estado que captura la mayor cantidad de almejas es Baja California Sur y entre ellas se encuentra la pata de mula *Anadara tuberculosa*, la cual está siendo explotada tanto para consumo local como nacional. Tomando como base estudios realizados hace casi dos décadas, se ha establecido su veda en abril, la cual sigue vigente. Sin embargo, se ha detectado una depleción de sus poblaciones provocada tanto por la creciente demanda del recurso como por la alteración ecológica de los manglares, hábitat de esta especie. En este sentido, los estudios biológicos de una especie son un primer acercamiento básico cuando se pretende proteger el recurso a través de la regulación pesquera y así evitar su sobreexplotación. Por lo tanto, considerando la importancia económica de este recurso, se planteó como objetivo analizar diferentes aspectos de la biología reproductiva de *Anadara tuberculosa*, en el Estero Santo Domingo, B.C.S. durante un ciclo anual y relacionarlos a factores ambientales. Los especímenes se obtuvieron mensualmente durante un año a partir de la pesca comercial en el Estero de Santo Domingo, B.C.S., México. Las almejas se fijaron con formol al 10%. Se registraron la talla y peso y se extrajo la masa visceral (incluida la gónada) para procesarla histológicamente. El desarrollo gonádico se dividió de acuerdo con sus características cualitativas en 4 fases (desarrollo, madurez, desove o evacuación parcial y posdesove o eyaculada). Se calcularon las frecuencias relativas mensuales de las fases para establecer la estacionalidad del proceso reproductivo. Adicionalmente, se calcularon la proporción sexual, talla de primera madurez y los índices de madurez, de condición y de peso. Para establecer la posible relación de las diferentes variables con el proceso reproductivo se aplicaron análisis de correlación (Spearman) entre los índices y la temperatura del agua, el fotoperiodo y la concentración de clorofila *a*. De un total de 205 individuos examinados el 43.9% resultaron machos y el 55.12% fueron hembras; además se detectó la presencia de dos hermafroditas (0.98%), condición que no ha sido reportada para esta especie. La proporción de sexos total (1.2H:1M) no resultó significativamente diferente de la proporción 1:1 ($P > 0.05$). Las almejas maduras se encontraron dentro del rango de longitudes que va de 36 a 59 mm, encontrando el mayor número de organismos a tallas de 36.5 - 59 mm de longitud. La talla mínima de madurez fue de 36.5 mm. El índice de peso tuvo una media de 22.8% (0.5 error estándar), con un máximo en mayo (28.08, 0.56 error estándar) y un mínimo en enero (20.25, 0.70 error estándar). Se encontró que *A. tuberculosa* presenta un ciclo reproductivo continuo, con dos periodos principales de desove (mayo-junio y noviembre-diciembre). El promedio mensual más alto del diámetro de los ovocitos se registró en marzo ($49.38 \mu\text{m} \pm 0.33$ error estándar), y el mínimo en noviembre ($40.65 \mu\text{m} \pm 0.51$ error estándar); sin embargo, no hubo diferencia significativa ($P > 0.05$) a lo largo del periodo de estudio. El índice de condición presentó el valor máximo en mayo (0.0069) y el mínimo en enero (0.0042). El rango en el índice de madurez fue 0.62-1.9, con un promedio de 1.22 (± 0.53 DS), el valor más bajo correspondió a una proporción relativamente alta de individuos en etapa de posdesove (enero y febrero), mientras que el valor más alto coincide con un alto porcentaje de individuos maduros. El índice de madurez no se correlacionó significativamente ($P > 0.05$) con ninguna de las variables ambientales. Por lo tanto, se puede concluir que en el estero Santo Domingo la población de *A. tuberculosa* se reproduce de manera continua pero con mayor intensidad en mayo-junio y noviembre-diciembre. La proporción sexual es 1:1 y *A. tuberculosa* presenta hermafroditismo casual.

**ABSTRACT**

On the national level, the state which harvests the greatest quantity of clams, is Baja California Sur. There is found the *Anadara tuberculosa*, which is being exploited for local, as well as national, consumption. Based on studies completed two decades ago, April was established as the closed season for this species, and this remains in effect. However, a population decrease has been detected, caused by growing consumer demand and ecological changes to the mangroves, which is habitat for this species. In this sense, biological studies of a species are the first basic approach to protecting the resource through fishing regulations, thereby avoiding overexploitation. For this reason, and considering the economic importance of this resource, the objective of this study was to analyze different aspects of the reproductive biology of *Anadara tuberculosa*, in Estero Santo Domingo, B.C.S., during an annual cycle, and relate them to environmental factors. Specimens were obtained monthly for one year starting from the commercial fishing in Estero de Santo Domingo, B.C.S., México. The clams were fixed with 10% formaldehyde. The size and weight were registered, and the visceral mass (including the gonad) was extracted to process it histologically. The gonad development was divided according to its qualitative characteristics into four stages (development, maturity, spawning, and spent). The relative monthly frequencies of the stages were calculated in order to establish the seasonality of the reproduction process. Additionally, the sex ratio, the first maturity size, and the indices of maturity, condition and weight were calculated. In order to establish the possible relation of the different variables with the reproductive process an analysis of correlation was applied (Spearman) between the indices and the water temperature, the photoperiod, and the concentration of chlorophyll *a*. Of a total of 205 individuals examined, 43.9% were male and 55.12% were female. In addition to this, the presence of two hermaphrodites was detected (0.98%), a condition which has not been reported for this species. The total sex ratio (1.2H:1M) was not significantly different of the proportion 1:1 ($P > 0.05$). The adult clams were found within a range of lengths, varying from 36 to 59 mm. The majority measured from 36.5 to 59mm in length. The minimum size of maturity was 36.5mm. The weight index had an average of 22.8% (standard 0.5 error), with a maximum in May (28.08, 0.56 standard error), and a minimum in January (20.25, 0.70 standard error). It was found that *A. tuberculosa* presents a continuous reproductive cycle, with two principal periods of spawn (May-June and November-December). The highest monthly average of oocyte diameter was registered in March ($49.38 \mu\text{m} \pm 0.33$ standard error), and the minimum in November ($40.65 \mu\text{m} \pm 0.51$ standard error). Nevertheless, there was not a significant difference ($P > 0.05$) throughout the study period. The condition index showed the maximum value in May (0.0069) and the minimum in January (0.0042). The range in the maturity index was 0.62-1.9, with an average of 1.22 (± 0.53 DS). The lowest value coincides to a relatively higher proportion of individuals in a post-spawn stage (January and February), while the highest value coincides with a high percentage of mature individuals. The maturity index did not correlate significantly ($P > 0.05$) with any of the environmental variables. For this reason, it can be conclude that in Estero Santo Domingo, the population of *A. tuberculosa* reproduces in a continuous manner but with greater intensity in May-June and November-December. The sex ratio is 1:1 and *A. tuberculosa* shows casual hermaphroditism.



1. INTRODUCCIÓN

Los moluscos forman un grupo de organismos sorprendentes por su gran diversidad morfológica. Son admirables en sus adaptaciones, trascendentes en las culturas de la humanidad, hermosos en colorido y formas, importantes para la economía de muchos países, y cumplen un rol significativo en los ecosistemas marinos, fluviales y terrestres (Hernández-Valenzuela, 1996). En la actualidad este grupo de invertebrados marinos es el mejor estudiado, su diversidad se manifiesta en un número total comprendido entre 65,000 y 100,000 especies que habitan las aguas marinas, la tierra y las aguas continentales, se conocen cerca de 20,000 especies de gasterópodos y 10,000 de bivalvos (Brusca, 1980; Holguín-Quiñones y González-Pedraza, 1994) y se han descrito cerca de 3,000 especies de moluscos para la provincia panámica (Briggs, 1974).

En la República Mexicana el estado que captura la mayor cantidad de almejas es Baja California Sur (Anónimo, 2002). En el año 2002, se produjeron 11,295 ton de almejas, lo que representó el 82.6% de la producción nacional en ese año y Baja California Sur ocupó el primer lugar nacional (Anónimo, 2002). Cabe mencionar que en este estado se explotan varias especies de bivalvos, que pertenecen a diversas familias (Tabla I), y algunas otras especies de bivalvos que en décadas pasadas representaron gran importancia económica para el estado, pero que fueron objeto de una pesquería sin regulación, lo que ocasionó la disminución de sus poblaciones y el colapso de sus pesquerías. Entre éstas últimas están la almeja voladora *Pecten vogdesi* (Baqueiro *et. al.*, 1982), la madre perla *Pinctada mazatlanica* y la concha nácar *Pteria sterna* (Monteforte, 1990).



Tabla. I. Principales especies de bivalvos que se explotan en Baja California Sur (Tomado de Prado-Ancona, 1998).

FAMILIA	NOMBRE COMÚN	ESPECIE
Veneridae	Almeja Pismo	<i>Tivela stultorum</i>
	Chocolata Negra	<i>Megapitaria squalida</i>
	Chocolata Roja	<i>Megapitaria aurantiaca</i>
	Almeja Blanca	<i>Dosinia ponderosa</i>
	Roñosa de Risco	<i>Periglypta multicostata</i>
	Almeja Roñosa	<i>Chione undatella</i>
		<i>Chione gnidia</i>
<i>Chione californiensis</i>		
Pectinidae	Almeja Catarina	<i>Argopecten ventricosus</i>
	Mano de León	<i>Nodipecten subnodosus</i>
Pinnidae	Callo de Hacha	<i>Pinna rugosa</i>
		<i>Atrina maura</i>
Ostreidae	Ostión de Roca	<i>Striostrea prismatica</i>
	Ostión de Mangle	<i>Saccostrea palmula</i>
Arcidae	Pata de Mula	<i>Anadara tuberculosa</i> <i>Anadara multicostata</i>
Glycymerididae	Almeja Indio	<i>Glycymeris gigantea</i>
Spondylidae	Almeja Burra	<i>Spondylus calcifer</i>
	Almeja Viejita	<i>Spondylus princeps</i>
Cardidae	Almeja Botijona	<i>Laevicardium elatum</i>

Las almejas de la familia Arcidae son comunes a lo largo del mundo; muchas viven en zonas templadas someras (Keen, 1971). De las aproximadamente 200 especies, cuatro son comunes a lo largo del Pacífico, entre ellas *Anadara tuberculosa* (Abbott, 1986, 1991). El género *Anadara* exhibe amplias posibilidades para la maricultura (Ellis, 1968).



En Baja California Sur, la pata de mula se explota en mayor o menor intensidad, dependiendo de la localidad, tanto para consumo local como nacional (Hernández-Valenzuela, 1996), y se extrae tanto en la costa del océano Pacífico como en el Golfo de California. Para el periodo de 1966–2001 las capturas fueron del 9.5% de peso vivo del total de especies de almejas capturadas en ese periodo después de la almeja catarina (54.5%), mano de león (11.1%) y la almeja chocolata (10.5%) (Fig. 1) (Anónimo, 2002).

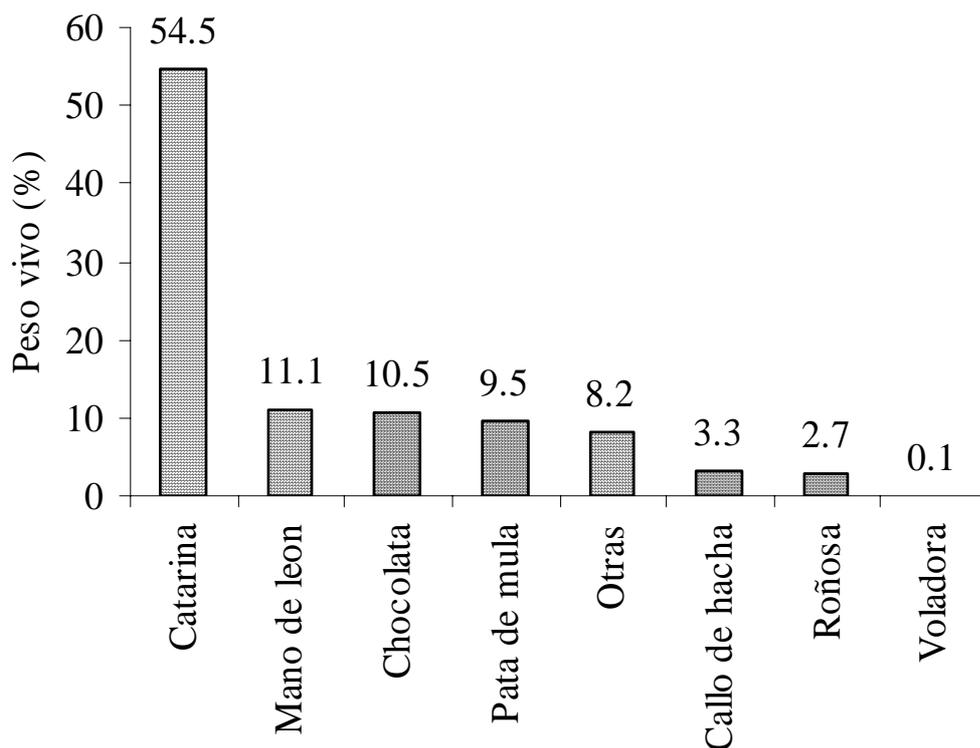


Figura 1. Porcentaje de captura de almejas en Baja California Sur, México, durante el periodo de 1966–2001. Tomado de la Carta Nacional Pesquera (Anónimo, 2002).



En la región del Pacífico su captura se realiza en la Laguna San Ignacio, en los esteros El Cardón, El Dátil, y El Bateque; así como en casi todos los esteros del complejo de Bahía Magdalena-Almejas. En el Golfo de California, su captura se realiza en la zona de manglar de Bahía Concepción, Bahía de Loreto, Isla San José, Bahía de La Paz y La Ribera (Fig. 2). Sin embargo, el área de operación con mayor registro de capturas es el complejo Bahía Magdalena-Almejas (Hernández-Valenzuela, 1996). Ahí, las operaciones de pesca han sido constantes, registrándose una alternancia de zonas conforme el abatimiento y recuperación de los bancos a través del tiempo, lo que ha sido posible gracias a su amplia distribución geográfica (Hernández-Valenzuela, 1996).



Figura 2. Principales regiones de captura de *Anadara tuberculosa* en Baja California Sur, México. El círculo indica la principal área de captura (Bahía Magdalena).



En particular, la almeja pata de mula *Anadara tuberculosa* ha formado parte de la dieta de los grupos humanos costeros de México desde tiempos prehispánicos (Lorenzo, 1995). Este recurso se ha explotado durante cientos de años. Sin embargo, recientemente se ha visto alterada la ecología de los manglares, hábitat de esta especie, por las diferentes actividades humanas (Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez, 1999). Así, la destrucción de su hábitat junto con la creciente demanda del recurso, podría poner en peligro a esta especie por lo que se hace necesario el estudio de su biología y en particular de su reproducción. Este conocimiento es básico cuando se pretende proteger el recurso a través de la regulación pesquera antes de llegar a la sobreexplotación, ya que aporta elementos como la época de reproducción, la talla mínima de madurez y posibles variaciones latitudinales e interanuales en su patrón reproductivo.

Esta investigación tiene como objetivo estudiar algunos aspectos de la biología reproductiva de *A. tuberculosa* en el Estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S, México.



2. ANTECEDENTES

2.1 Características taxonómicas de la especie

2.1.1. Ubicación taxonómica

Reino: Animalia

Phylum: Mollusca

Clase: Bivalvia

Orden: Arcoida

Familia: Arcidae

Género: *Anadara*

Especie: *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833)

2.1.2. Descripción y hábitat

Es un organismo con valvas simétricas y delgadas que presenta de 33 a 37 costillas en cada una. El margen dorsal se encuentra ligeramente angulado en cada extremo. Sobre las costillas se distinguen claramente algunos nódulos, sobre todo en el extremo anterior, razón por la cual se le dió el nombre específico que ostenta. Su longitud promedio es de 56 mm con una altura de 42 mm (Fig. 3).



Figura 3. Ejemplares de *Anadara tuberculosa*.

La almeja pata de mula (*A. tuberculosa*), es un molusco bivalvo frecuente en los ecosistemas de manglar desde Baja California, México hasta Perú, incluyendo el Golfo de California (Keen, 1971). Este molusco es uno de los más importantes en la costa de Centroamérica, en donde es muy buscado por los pescadores. Al descubrirse algunos restos arqueológicos se ha confirmado que este recurso ha sido utilizado a lo largo del tiempo como fuente de alimento (Keen, 1971).

2.2. Reproducción

El desarrollo de la gónada esta determinado por una serie de factores que aunque tienen diferente origen, actúan de modo simultáneo, dichos factores son endógenos, si se originan en los individuos a través de características propias de la especie (como el control endocrino) y exógenos, si tienen su origen en las características físicas y químicas propias del ambiente que les rodea (Arsenault y



Himmelman, 1998). Los factores exógenos, junto con las características genotípicas propias de la especie, determinan el ciclo reproductivo del organismo, lo que da como resultado un patrón particular de reproducción, en el que se regulan la duración, intensidad y frecuencia del mismo, de modo que los individuos presentan un patrón característico del ciclo reproductivo (Rose *et al.*, 1990).

Los pocos estudios que abordan el tema de la reproducción de *A. tuberculosa* para las costas mexicanas revelan que se reproduce de manera continua durante un ciclo anual, tanto de manera silvestre (Baqueiro *et al.*, 1982; Cruz, 1982; Cruz, 1984; Ampie y Cruz, 1989; Vega, 1994) como en cultivo (Ortiz y Uría-Galicia, 1998; Félix-Pico, 2004). Cruz (1984), Ampie y Cruz (1989) y Vega (1994) obtienen resultados muy similares entre sí para Costa Rica, este último informa una proporción sexual de 1:1 y una talla mínima de madurez de 23.2 y 26 mm para hembras y machos respectivamente. Flores-Mendoza (1971) en Sinaloa, Baqueiro *et al.*, (1982) en Bahía de La Paz, encuentran además una talla mínima de madurez de 38 y 28 mm para hembras y machos respectivamente. Por su parte, Ortiz *et al.* (2003) describen las principales diferencias entre células espermatogénicas de *A. tuberculosa*, Borda y Cruz (2004) mencionan que para el Pacífico Colombiano *A. tuberculosa* se reproduce durante todo el año con la máxima en noviembre y febrero, mientras que el ciclo reproductivo y su relación con la temperatura ha sido estudiada por Cruz (1984) y Vega (1994).

En lo que se refiere a estudios para especies del género *Anadara* son pocos los que hacen referencia a aspectos de reproducción. Tal es el caso de *A. broughtoni* para las costas sur de Japón (Dzuba y Maslennikova, 1982), *A. rhombea* para



Puerto Novo (Natajara y Jhon, 1983), *A. antiquata* para Filipinas (Toral y Gómez, 1985), *A. grandis* para Costa Rica (Cruz, 1986) y de *A. ovalis* y *A. transversa* para las costas de Georgia (Power y Walker, 2002; Walker y Power, 2004).

2.3. Otros estudios

Además de la reproducción, el crecimiento de *A. tuberculosa* ha sido estudiado por Squires *et al.* (1977) en Colombia, y Baqueiro (1980) Bahía Magdalena. Baqueiro *et al.* (1982) estiman que en la Bahía de la Paz, B.C.S., México esta especie crece a razón de 4 a 6 mm por mes. Cruz y Palacios (1983) determinan que el crecimiento de esta especie en Punta Morales, Puntarenas, Costa Rica es alométrico. Villalobos y Báez (1983) evaluaron el crecimiento y mortalidad bajo dos sistemas de cultivo. Por su parte, Félix-Pico (2004) en Bahía de La Paz, B.C.S. reporta un incremento mensual en talla de 1.17 mm y 0.64 g de peso.

Campos (1990) hace una estimación poblacional para Sierpe Térraba, Costa Rica. Mientras que Borda y Cruz (2004) abordan aspectos de la pesquería y su relación con eventos ambientales para las costas de Colombia en *A. tuberculosa* y *A. senilis*. Para otras especies del género *Anadara* son pocos los trabajos hechos. Broom (1982) realiza un estudio de crecimiento en *A. granosa* para las costas de Malasia. Naramsimham (1988) estudia la biología de *A. granosa* para la bahía de Kakinada. Walker (1998) determina el crecimiento en una población de *A. ovalis* de las costas de Georgia. Fernández-Arias *et al.* (1988) identifican algunos componentes y propiedades del plasma en *A. tuberculosa*.



3. JUSTIFICACIÓN

La almeja pata de mula *A. tuberculosa* es un recurso pesquero de gran importancia en Baja California Sur. Actualmente rige una veda durante el mes de abril, la cual se estableció a partir de estudios biológicos realizados en la bahía de La Paz hace casi dos décadas. En este sentido, se sabe que la reproducción esta controlada por factores ambientales, los cuales pueden variar en el tiempo y de un lugar a otro. Por lo tanto, existe la posibilidad de que ésta especie presente un patrón reproductivo diferente en Bahía Magdalena-Almejas (lugar donde se encuentra el Estero Santo Domingo), lo cual estaría impactando negativamente en el aprovechamiento racional del recurso en esa zona. Es por ello que es importante realizar estudios de biología reproductiva en las distintas áreas de captura; los cuales dan información útil para establecer medidas regulatorias más precisas y un manejo adecuado del recurso. Por lo tanto, considerando la importancia económica de este recurso, es indispensable ampliar los conocimientos de su biología reproductiva y sus interrelaciones con el ambiente.



4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar diferentes aspectos de la biología reproductiva de *Anadara tuberculosa*, en el Estero de Santo Domingo, B.C.S. durante un ciclo anual y relacionarlos con factores ambientales.

4.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar la proporción de sexos.
- Describir las diferentes fases de desarrollo gonádico.
- Determinar el ciclo reproductivo de *Anadara tuberculosa*.
- Determinar la época de reproducción de *Anadara tuberculosa*.
- Estimar la talla de primera madurez de *Anadara tuberculosa*.
- Establecer la relación de los índices de condición y de peso con la época de reproducción de *Anadara tuberculosa*.
- Establecer la influencia de la temperatura del agua, de la duración del fotoperiodo y de la cantidad de clorofila *a* sobre el ciclo reproductivo de *Anadara tuberculosa*.



5. ÁREA DE ESTUDIO

El complejo lagunar bahía Magdalena–Almejas se localiza en la costa occidental de la península de Baja California Sur, entre los 24°15' y 25°20' N y 111°30', 112°12' W (Fig. 4). Este complejo se divide en tres zonas: (Álvarez–Borrego *et al.*, 1975)

- I. Al noroeste se encuentra la zona de canales en la cual se localiza el área de estudio (Santo Domingo) la cual es de forma irregular, compuesta por esteros, lagunas y canales, tiene una profundidad promedio de 3.5 m y un área de 137 km².
- II. La zona central o bahía Magdalena, esta conectada con el océano Pacífico a través de una boca ancha con una profundidad promedio de 38 m y abarca una superficie de 883 km².
- III. La zona suroeste o bahía Almejas, comunicada a la zona central por medio de un canal de 2.5 km de ancho y una profundidad aproximada de 3 m. Tiene un área de 370 km² y está conectada con el mar abierto a través de dos bocas que no permiten la navegación de embarcaciones mayores.

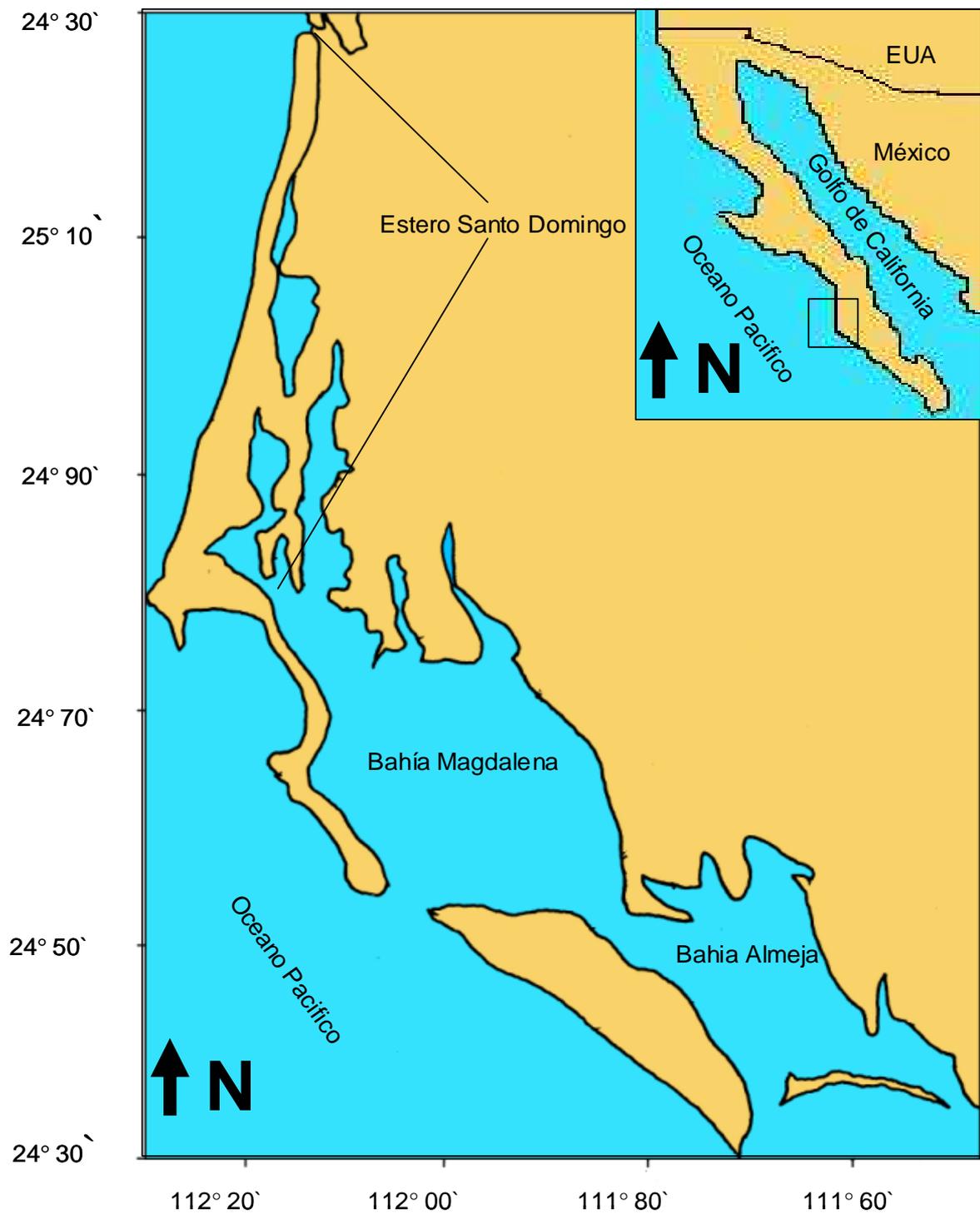


Figura 4. Localización geográfica del área de estudio



El tipo de clima en Bahía Magdalena es el que corresponde al BW seco desértico, semicálido, con una temperatura mayor de 18 °C y con un factor de pluviosidad muy bajo. El máximo promedio de lluvia al año es de 14 mm y el mínimo es de poco menos de 1 mm (Álvarez–Borrego *et al.*, 1975).

En lo que respecta a la vegetación, para la costa occidental de Baja California Sur, se han observado algunos manglares tipo arbusto, con una distribución muy irregular. En el área comprendida desde la boca Soledad (al norte de la zona de canales), hasta la curva del Diablo (al sur de la zona de canales), predomina el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), aunque también se puede encontrar mangle negro (*Avicennia germinans*), la distribución de este último alcanza la parte sur de Bahía Magdalena (Ramírez, 1997).

Por lo que se refiere a su hidrología; las temperaturas más elevadas del agua se registran a finales de verano y a principios de otoño (23-27 °C), mientras que las mínimas (16-21 °C) se registran a finales de primavera (Zaytesv *et al.*, 2003). Como es característico de las lagunas costeras, y a pesar de que no cuenta con un aporte importante ni constante de agua dulce, el complejo lagunar de Bahía Magdalena–Almejas presenta una elevada productividad biológica (Álvarez–Borrego *et al.*, 1975).



6. METODOLOGÍA

6.1. Muestreo

Los especímenes se obtuvieron a partir de las capturas comerciales que se realizaron en el Estero de Santo Domingo, B.C.S., México. Las capturas se realizan durante la bajamar, rascando en el lodo, entre las raíces del mangle con un tridente de jardinería y guantes, hasta una profundidad de 30 a 50 cm. Los organismos son colocados en costales (arpillas). La recolecta se hizo mensualmente de enero a diciembre del 2000, excepto en abril (mes en el que la especie esta sujeta a veda) y en agosto (mes en el que no fue posible obtener muestras). La recolecta fue de un promedio de 20 ejemplares por mes, los cuales se fijaron con formol al 10% para su posterior traslado al laboratorio donde fueron procesados histológicamente.

Adicionalmente, y para poder establecer la talla de primera madurez en el mes de febrero del 2005 se hizo un muestreo masivo en el que se incluyeron organismos pequeños. Además se utilizaron muestras obtenidas de un cultivo hecho en el estero el Conchalito (estero de 20 ha) dentro de la Ensenada de La Paz, B.C.S. México, en el que las tallas máximas fueron de 26 mm.

Una vez en el laboratorio las almejas fueron lavadas para eliminar el exceso de formol y posteriormente fueron medidas con un vernier (precisión de 1 mm), se registraron la longitud y altura de su concha (Fig. 5). Asimismo, se procedió a pesar cada uno de los organismos con una balanza electrónica marca Scout Pro-



600 precisión de 0.1g, registrando el peso húmedo total y el peso húmedo sin concha de cada uno de los organismos.

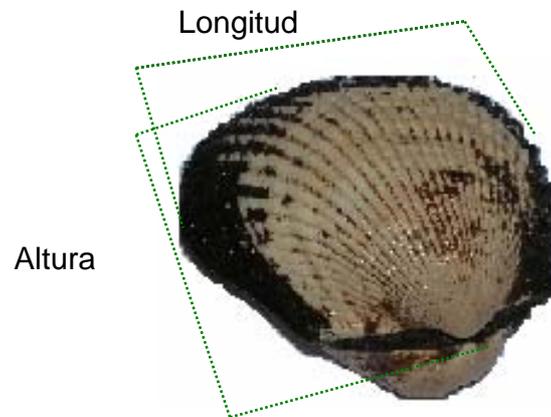


Figura 5. Ejemplar de *Anadara tuberculosa* mostrando la longitud y altura de la concha.

6.2. Procesamiento histológico de las muestras

En primer lugar se realizó la disección de las almejas. Cabe señalar que en los Árcidos, al igual que en la mayoría de los bivalvos, tienen la característica de presentar una gónada “difusa”, esto quiere decir que la gónada esta inmersa en la masa visceral, por lo que no es posible separar éste órgano del resto total del cuerpo, y se hace necesario extraer la masa visceral en la cual esta embebida la gónada. Así, se cortó una porción de tejido de la parte dorsal de la masa visceral (Fig. 6) y se colocó en un casete para histología debidamente etiquetado

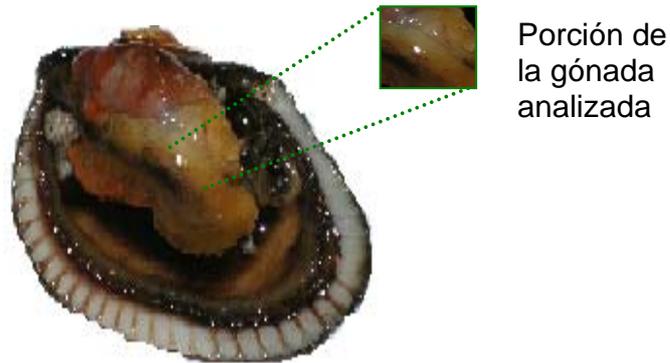


Figura 6. Morfología interna de *Anadara tuberculosa*. Se indica el lugar donde se tomó la muestra de gónada.

Después de haber obtenido la muestra de gónada se procedió a efectuar un lavado con agua corriente para eliminar los residuos del fijador. Posterior a esto, las muestras de tejido se deshidrataron en una serie de alcohol etílico en concentraciones crecientes, se aclararon con Hemo-De y se incluyeron en Paraplast (Tabla III).

Tabla II. Tiempos de inmersión para el procesamiento histológico

TIEMPO DE INMERSIÓN										
Deshidratación						Aclarado			Inclusión	
70	96	96	96	100	100	100	100-HeDe	HeDe	Paraplast	Paraplast
I	I	II	III	I	II	III		I		
1h	1h	1h	1h	1h	1h	1h	15´	15´	1.5h	2h

Abreviaciones: 70, 96 y 100, concentraciones de alcohol, h, horas; ´ minutos; He-De, Hemo-De; mezcla 1:1 de alcohol absoluto– Hemo-De; paraplast.



Con un micrótopo de rotación se hicieron cortes de tejidos de 7µm de grosor. Una vez obtenidos los cortes se desparafinaron con Hemo-De y se tiñeron con la técnica de Hematoxilina-Eosina (Tabla IV) (Humason, 1979). Finalmente las preparaciones obtenidas se montaron con cubreobjetos utilizando cytoseal.

Tabla III. Tiempos de inmersión para el proceso de tinción.

DESPARAFINADO			HIDRATACIÓN									
He De	He De	He De	OH96 I	OH96 II	OH70 I	OH70 II	Ag					
3´	3´	3´	3´	3´	3´	3´	1´					
TIEMPO DE INMERSION												
Tinción				Deshidratación								
He	Ag	OHac	Ag	AgAmo	Ag	Eo	OH96	OH100	OH100	HeDe	HeDe	HeDe
12´	1´	1"	5"	2´	1´	12"	4"	3´	4´	3´	3´	3´

Abreviaciones: He-De, Hemo-De; 70,96 y 100, concentraciones de alcohol (%); Ag, agua; AgAmo, agua amoniacal; Eo, Eosina; ´, minutos; OHac, alcohol ácido; ", segundos.

6.2.1. Proporción sexual

Se obtuvo la proporción sexual mensual, dividiendo el número total de hembras entre el número total de machos. Por clase de tallas se utilizó la longitud en intervalos de 4 mm.

Para determinar si existía diferencia de 1:1 en la proporción sexual mensual, en el total, y por clase de tallas, se hicieron pruebas de hipótesis, haciendo el análisis bajo la hipótesis nula de que existe una proporción 1:1, utilizando el estadístico de prueba χ^2 (Sokal y Rohlf, 1975):



$$\chi^2 = \frac{\sum(O-E)^2}{E}$$

Donde, O es la proporción de hembras o machos observados y E es la proporción de hembras o machos esperada. La regla de decisión se hizo considerando una confianza del 95%.

6.3. Caracterización de las fases de desarrollo gonádico

Una vez obtenidas las preparaciones histológicas se procedió a la determinación de las fases de desarrollo gonádico a través de observaciones microscópicas. Para realizar la descripción de cada fase se tomaron como base las fases de desarrollo previamente establecidas para *A. ovalis* por Power y Walker (2004) quienes dividen el ciclo gametogénico en 5 etapas: indiferenciado, desarrollo, madurez, desove parcial y posdesove.

A partir de ello, se hicieron las modificaciones necesarias de acuerdo con las propias observaciones.

6.4. Estimación de la talla de primera madurez

A partir del total de hembras maduras, se calculó la frecuencia relativa y la frecuencia relativa acumulada por intervalos de talla (4 mm) para establecer el intervalo de talla de primera madurez como aquel en el que el 50% de las hembras presentan actividad reproductiva (Arellano-Martínez *et al.*, 2004).



6.5. Ciclo reproductivo y época de reproducción

Una vez establecidas las fases de desarrollo gonádico se obtuvo la frecuencia relativa mensual de las diferentes fases de desarrollo gonádico presentes. Una vez hecho lo anterior, se estableció como periodo reproductivo los meses donde se presentaron organismos en desove.

6.6. Evaluación cuantitativa del ciclo reproductivo

6.6.1. Índice de madurez

Como una forma de obtener datos numéricos para poder hacer un análisis cuantitativo del ciclo reproductivo de *A. tuberculosa* se calculó el índice de madurez de acuerdo a Heffernan *et al.* (1989). A través de este índice es posible resaltar numéricamente el estado de madurez o la fase de desarrollo gonádico de cada una de las muestras mensuales. Este procedimiento se hizo utilizando un sistema numérico arbitrario, en el cual se asignó un valor específico de acuerdo a la fase de desarrollo del organismo. De tal manera que encontramos como valor más bajo dentro de la escala numérica arbitraria, un valor de 0, el cual corresponde a los organismos en posdesove (IV); valor de 1 a los organismos que se encontraron en desove (III), un valor de 2 a los que se encontraron en desarrollo (I); y finalmente a los organismos maduros (II) se les asignó el máximo valor con el número 3.

El valor mensual del índice de madurez se obtuvo finalmente mediante la siguiente fórmula:



$$IM = \frac{nI(2) + nII(3) + nIII(1) + nIV(0)}{Nt}$$

Donde:

IM = Índice de madurez

n = Número de individuos en cada fase de desarrollo I, II, III, IV

Nt = Número total de individuos en la muestra

6.6.2. Estimación del diámetro de los ovocitos

Otra medida cuantitativa que refleja el grado de madurez es el diámetro de los ovocitos. El análisis del tamaño de los ovocitos, soporta y facilita la interpretación del ciclo reproductivo, tomando como base que conforme avanza el desarrollo de los ovocitos su tamaño aumenta (Gaspar-Soria *et al.* 2002). Las medidas de los diámetros de los ovocitos fueron obtenidas mediante el software SCANPRO (versión 5.0, Systat Software, Inc., Richmon, C.A., Estados Unidos) a partir de imágenes digitalizadas de los cortes de la gónada. Para asegurar que se midiera el diámetro máximo, sólo se midieron ovocitos en los cuales el núcleo fue visible. Los ovocitos fueron trazados individualmente de manera manual y el área de los mismos fue medida automáticamente por el software. El diámetro se calculó utilizando la fórmula del área de un círculo. Se midieron en promedio 100 ovocitos por almeja, sin embargo, las almejas en fase de posdesove no fueron consideradas de acuerdo a los criterios de Grant y Tyler (1983).



6.7. Indicadores indirectos de la reproducción

Existen índices, como el de condición y el de peso, que no son definitivos pero sí específicos y que pueden ser usados como indicadores del estado fisiológico de los organismos, el cual a su vez están relacionados con su crecimiento y madurez sexual. Con estos índices se pueden detectar periodos en los cuales se presenten valores bajos, los cuales pueden indicar o reflejar la época de reproducción (Villalejo-Fuerte *et al.*, 2000), sin embargo estos deben ser validados histológicamente.

6.7.1. Índice de condición de Fulton

El índice de condición de Fulton (K) está basado en la relación que guarda la longitud del organismo con su peso; ésta relación puede ser grande o pequeña, progresiva o cíclica y está relacionada directamente con su crecimiento y madurez sexual (Rodríguez-Gutiérrez, 1992).

Este índice se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{P_s}{L^3} \times 100$$

Donde:

K = Índice de Condición de Fulton

P_s = Peso húmedo sin concha (g)

L = Longitud (mm)



6.7.2. Índice de peso

Otro índice que nos puede indicar el estado de condición en bivalvos es el índice de peso (IP). Este se calculó de acuerdo con Villalejo-Fuerte y Ochoa-Báez (1993), mediante la siguiente fórmula:

$$IP = \frac{P_s}{P_t}$$

Donde:

P_s = Peso húmedo sin concha (g)

P_t = Peso húmedo total (g)

7. Variables ambientales

Una vez que los organismos de la población se reclutan a la reproducción, la sincronización de la maduración de los gametos y del desove de una población generalmente se logra respondiendo al cambio de un factor ambiental particular que actúa como disparador, tales como la temperatura, la salinidad, el fotoperiodo y la disponibilidad de alimento (Rose *et al.*, 1990).

7.1. Temperatura

Los datos de temperatura utilizados en este trabajo corresponden a un año tipo calculado a partir de datos históricos (1973-1974 y 1981-1998) para Bahía Magdalena (Lluch-Belda *et al.*, 2000).

7.2. Clorofila a

La concentración pigmentaria (clorofila a) representa un indicador de biomasa fitoplanctónica confiable (Lluch-Cota *et al.*, 2000), por lo que es un buen indicador



de la cantidad de alimento disponible para los organismos filtradores como la pata de mula. Los valores de la concentración de clorofila *a* fueron obtenidos a partir de datos históricos (1978-1986) recopilados en la Colección de Información Ambiental para el Pacífico Mexicano (CD ROM.CIBNOR,S.C./CONACyT).

7.3. Fotoperiodo

En lo que respecta a la obtención de los datos de fotoperiodo, estos fueron obtenidos a partir de los Almanques Náuticos de la Secretaría de Marina (2000).

8. Análisis estadísticos

Se aplicaron análisis de correlación de rangos de Spearman para establecer si existe relación entre la actividad reproductiva (medida cuantitativamente mediante el índice de madurez, y el diámetro de los ovocitos) y las variables ambientales (clorofila *a*, temperatura del agua y fotoperiodo), y para establecer la posible relación de los indicadores indirectos de la reproducción (K y IP) con el diámetro de ovocitos.

Se realizaron además análisis de varianza de una vía para establecer si existía diferencia significativa de los diámetros de los ovocitos entre meses y una prueba *a posteriori* para comparación de medias (Tukey) para establecer donde están estas diferencias.



9. RESULTADOS

9.1. Proporción de sexos por mes

El rango de tallas examinados para este estudio fue de 9 mm a 61 mm (\bar{x} =33.4 mm, 1.06 desviación estándar). De un total de 205 individuos examinados, el 43.9% resultaron machos y el 55.12% fueron hembras mientras que el 0.98% resultaron ser hermafroditas (Fig. 7). La proporción de sexos total fue de 1.2 hembras por cada macho, y aunque está levemente balanceada a favor de las hembras, no resultó significativamente diferente (χ^2 , $P>0.05$) de la proporción 1:1. (Tabla V). Asimismo, la proporción sexual por mes no difirió significativamente (χ^2 , $P>0.05$) de la proporción 1:1 (Tabla IV).

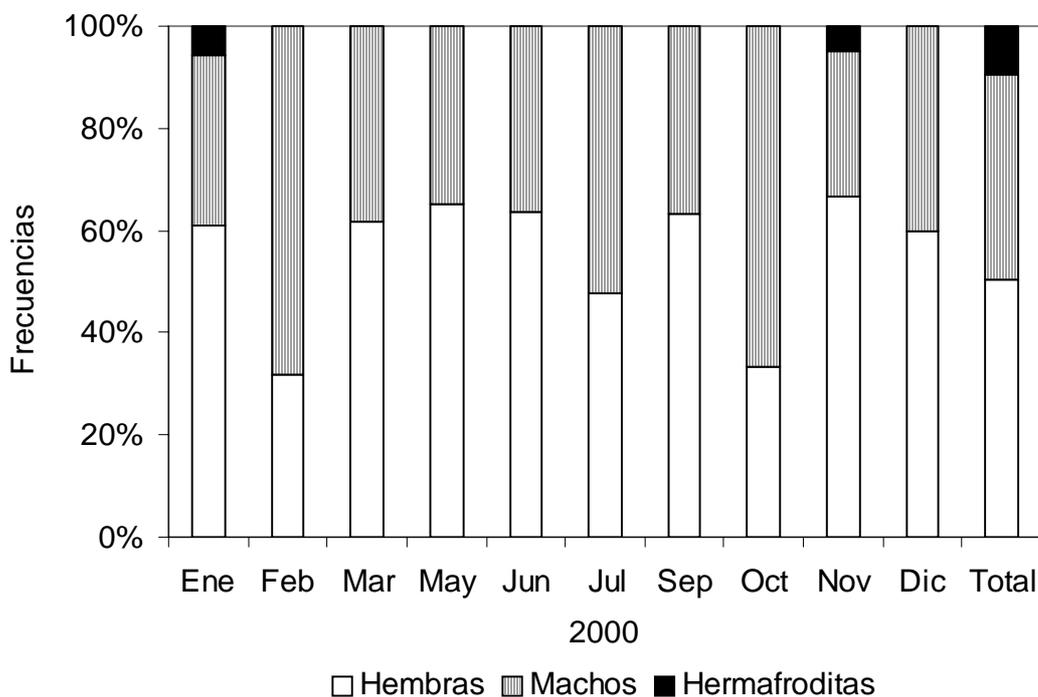


Figura 7. Proporción de sexos de *Anadara tuberculosa* en el estero de Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S., México.



Tabla. IV. Frecuencia de hembras y machos, valores de χ^2 y proporción sexual de *Anadara tuberculosa* por mes.

Mes	Hembra	Macho	Proporción sexual	χ^2
Enero	11	5	2.2	2.25
Febrero	8	16	0.5	2.67
Marzo	13	8	1.6	1.19
Mayo	15	8	1.9	2.13
Junio	16	8	2.0	2.67
Julio	11	12	0.9	0.04
Septiembre	12	6	2.0	2.00
Octubre	6	12	0.5	2.00
Noviembre	15	6	3	3.86
Diciembre	9	6	1.5	0.60

9.2. Proporción de sexos por clase de tallas

Se realizó un análisis por clase de tallas para observar si existe una relación entre las proporciones de hembras y machos, y a su vez nos pudiera dar algún indicio de reversión sexual (protoginia o protandría) y de esta manera determinar si el hermafroditismo es una condición propia de la especie.

Se pudo observar que la proporción de hembras y machos se presentó de una manera constante dentro de las diferentes tallas, manteniéndose una proporción aproximada de 1H:1M



Tabla. V. Proporción de sexos por clase de talla de *Anadara tuberculosa* del estero Santo Domingo, bahía Magdalena, B.C.S.

Longitud	Hembra	Machos	Total	X ²	Proporción ♀:♂
36-40	6	2	8	2.00	3.0
40-44	4	3	7	0.14	1.3
44-48	5	1	6	2.67	5
48-52	12	7	19	1.32	1.7
52-56	38	23	61	3.69	1.7
56-60	28	22	50	0.72	1.3
60-64	9	13	22	0.73	0.7
64-68	11	6	17	1.47	1.8
68-72	2	6	8	2.00	0.3
72-76	1	3	4	1.00	0.3
76-80	0	1	1	1.00	0.0

9.3. Fases de desarrollo gonádico

Se caracterizaron 4 fases de desarrollo gonádico para cada sexo, y no se encontraron organismos sexualmente indiferenciados

9.3.1. Hembras

Desarrollo

Dentro del tejido gonádico se pudo observar gran cantidad de folículos que contienen ovocitos en crecimiento adheridos a la pared de los folículos. En los más desarrollados



se observa un pedúnculo que los sostiene de la pared folicular. Los folículos se encontraron rodeados por tejido conectivo ligeramente espaciados entre ellos (Fig. 8a).

Madurez

La principal característica presente en esta fase fue la abundancia de ovocitos maduros que se encuentran libres y ocupan todo el espacio en el lumen de los folículos. En los ovocitos maduros se observan gránulos de vítelo, presentan un núcleo grande y de uno a dos nucleolos (Fig. 8b).

Desove parcial

Esta fase fue la que mayor predominancia tuvo durante el ciclo estudiado. Se caracteriza por la presencia de folículos parcial o totalmente vacíos dependiendo del grado de desove que presente la gónada. Cabe mencionar que en algunas ocasiones se observaron ovocitos en desarrollo pegados a las paredes de los folículos, lo cual nos indica que la gónada tiene la capacidad de volver a madurar (Fig. 8c).

Posdesove

La característica de esta fase es la presencia de ovocitos residuales rodeados por una gran cantidad de fagocitos y en proceso de reabsorción. La mayoría de los folículos se encuentran vacíos y su tamaño se ha reducido (Fig. 8d).

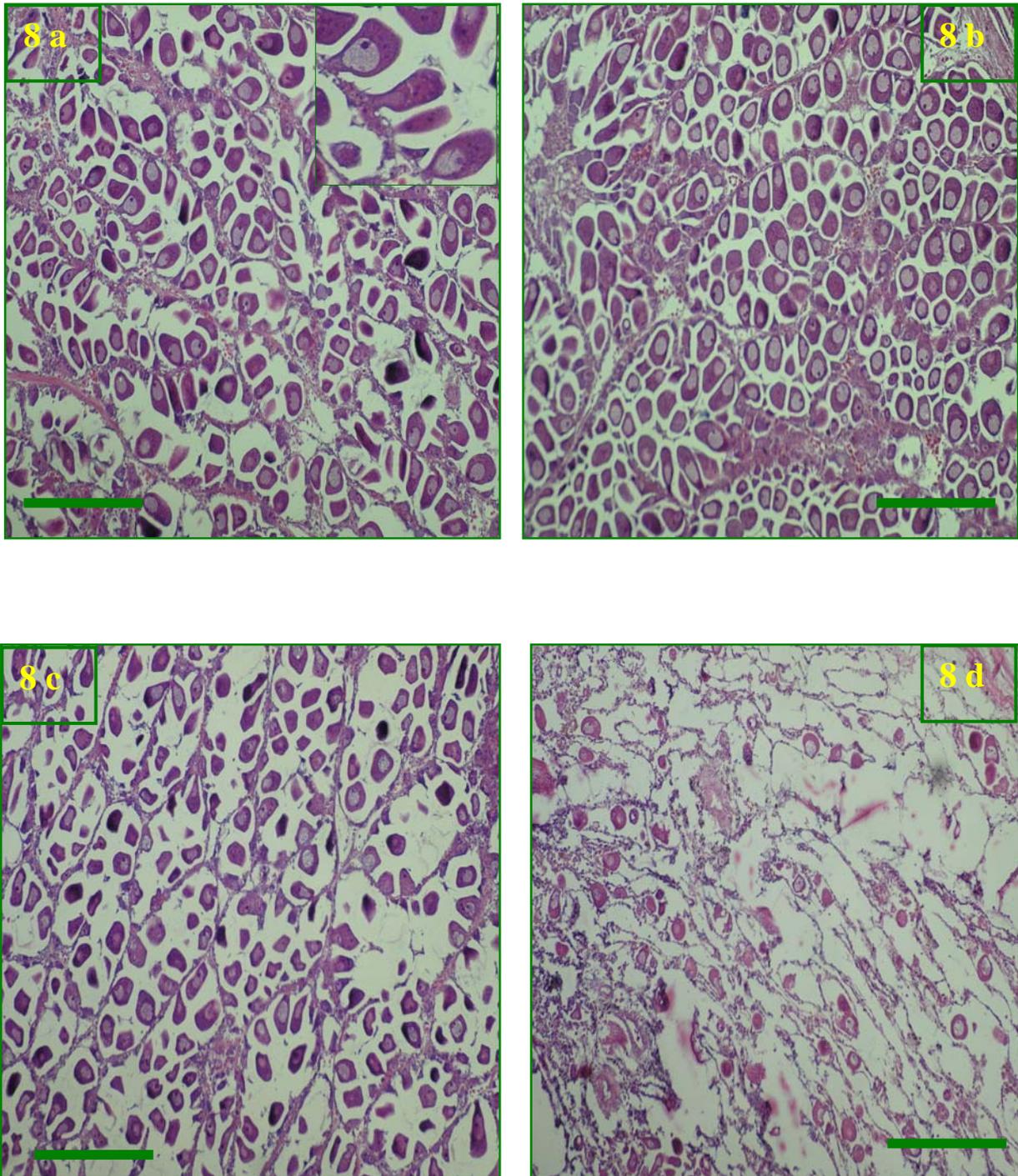


Figura 8. Fases de desarrollo gonádico en hembras de *Anadara tuberculosa* a)

En desarrollo (aumento = ovocitos pedunculados), b) madurez, c) desove parcial y d) posdesove. Escala 300 μm .



9.3.2. Machos

Desarrollo

Esta fase se caracterizó por presentar un gran número de espermatogonias y espermatocitos adheridos a las paredes de los folículos, en el lumen se pudieron observar espermatozoides libres. Con el aumento en la cantidad de espermatozoides los folículos se aprecian de mayor tamaño (Fig. 9a).

Madurez

En esta fase se observaron folículos totalmente llenos de espermatozoides. Los túbulos se comprimen unos con otros. En el interior de los folículos no se observan espacios vacíos y los espermatozoides se agrupan en forma de haces de espermatozoides con sus colas orientadas hacia el lumen del túbulo (Fig. 9b).

En eyaculación

En esta fase la cantidad de espermatozoides dentro de los folículos presentó variaciones, en algunas zonas los espermatozoides se encontraban dispersos, mientras que en otras se aprecian huecos dejados por el esperma recién expulsado (Fig. 9c).

Posteyaculación

En la mayoría de los folículos seminíferos se pudieron observar espermatozoides residuales que están siendo fagocitados. Conforme progresa esta fase, disminuye el tamaño de los folículos y aumenta la cantidad de tejido conjuntivo (Fig. 9d).

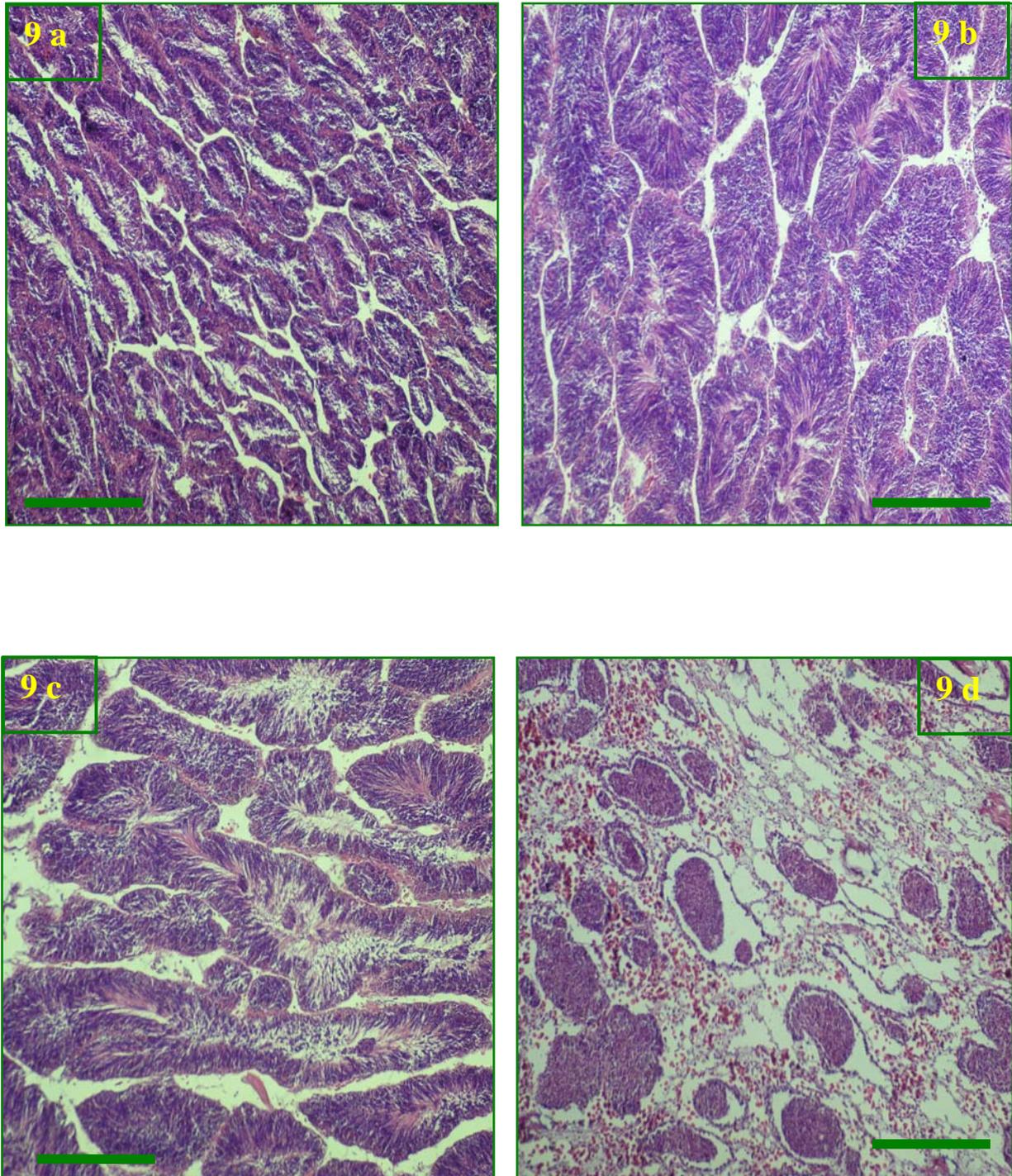


Figura 9. Fases de desarrollo gonádico en machos de *Anadara tuberculosa* a) En desarrollo, b) madurez, c) eyacuación d) posteyacuación. Escala 300 μ m.



9.4. Hermafroditas

Mediante el análisis microscópico que se hizo a las gónadas, se observó la presencia de dos organismos hermafroditas (54 y 47 mm de longitud). La porción con desarrollo testicular se encontró en una clara fase de posteyaculación con gran cantidad de fagocitos, mientras que la porción de ovario, la cual fue mayor en proporción, se encontró en desove parcial (Fig. 10)

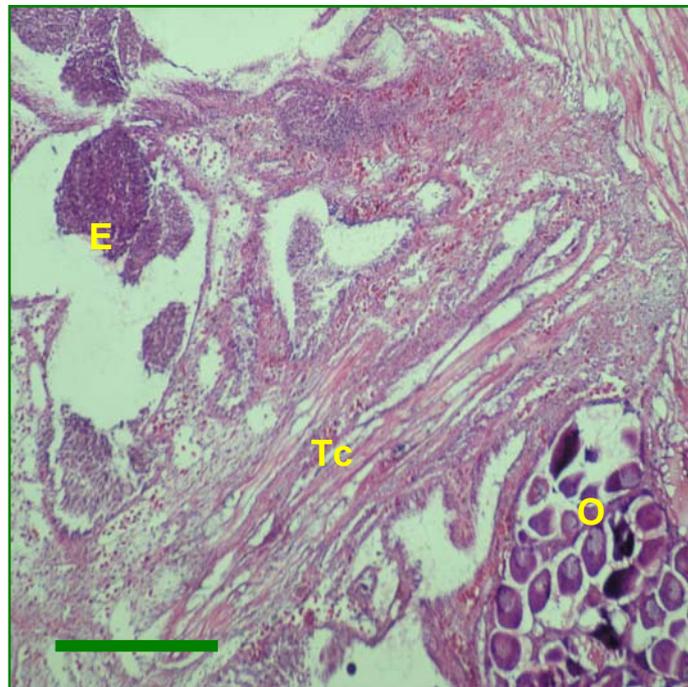


Figura 10. Corte de un organismo hermafrodita de *Anadara tuberculosa* en fase de desove parcial E = Espermatozoides, O = Ovocitos, Tc = Tejido conectivo. Escala 300 μ m.



9.5. Ciclo reproductivo y época de reproducción

El ciclo reproductivo de *A. tuberculosa* se presenta en la figura 11. La fase de desarrollo se presentó durante todo el año con el máximo porcentaje en julio (78.2%) y el mínimo en junio (4.1%). La madurez se presentó durante casi todo el año con excepción de julio y noviembre, la mayor frecuencia se registró en marzo (42.8%) y la menor en diciembre (7.1%). La madurez se presentó durante casi todo el año con excepción de julio y noviembre, la mayor frecuencia se registró en marzo (42.8%) y la menor en diciembre (7.1%). La máxima actividad de desove se presentó en mayo, 54.16% y diciembre, 57.14% y la más baja en septiembre (5.2%). Sin embargo, se observó que después de los máximos picos de desove se presentó claramente un proceso de remaduración, en el mes de julio se observó la frecuencia más alta de organismos en desarrollo. Por otra parte, en enero se presentó el mayor porcentaje de almejas en posdesove (75%) y el menor en mayo (8.3%). Por lo tanto, *Anadara tuberculosa* presenta un ciclo reproductivo continuo sin una época de reproducción bien definida pero con dos periodos principales de desove (mayo-junio y noviembre-diciembre).

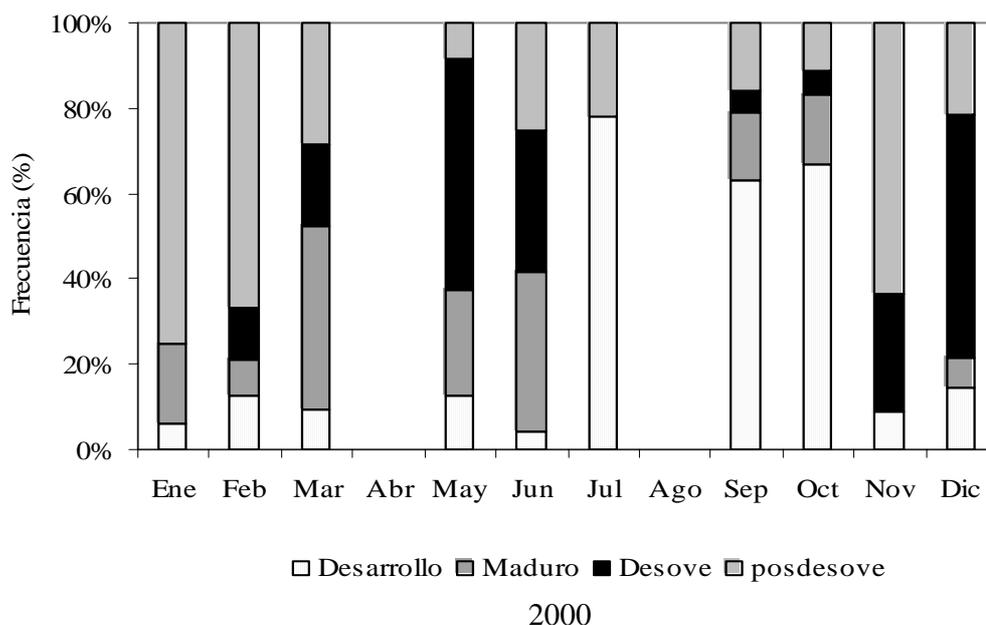


Figura 11. Ciclo reproductivo de *Anadara tuberculosa* en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S. México.



9.6. Talla de primera madurez

Las almejas maduras se encontraron dentro del rango de longitudes que va de los 16 a 58 mm. El intervalo de talla en el cual el 50% de las almejas están maduras es 36-38 mm; y de acuerdo con el ajuste del modelo logístico la talla de primera madurez es 36.5 mm (Fig. 12).

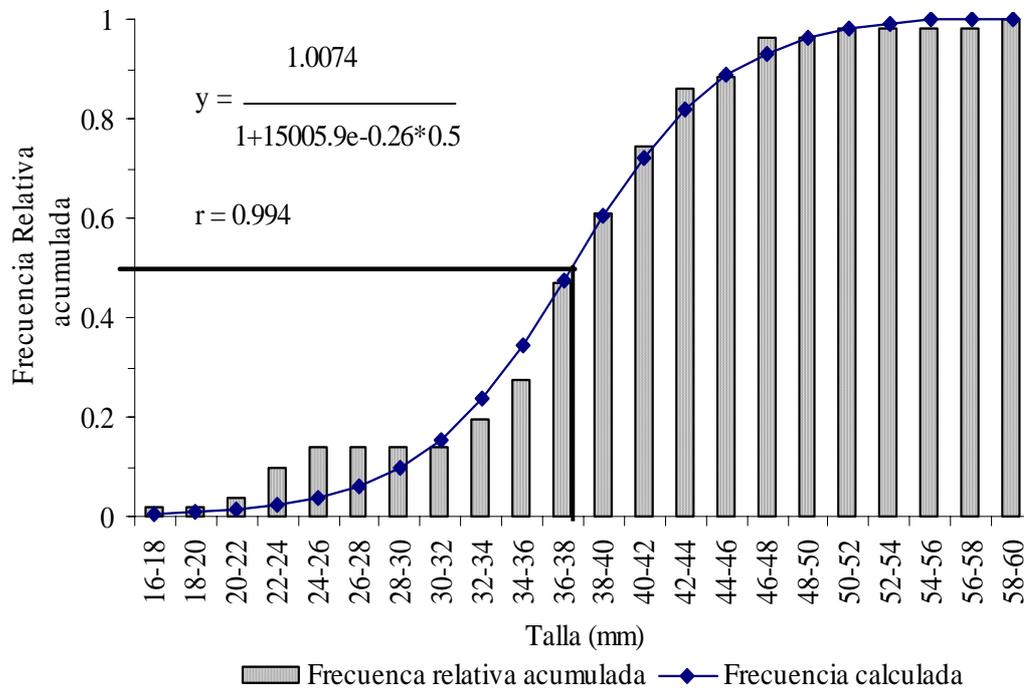


Figura 12. Talla de primera madurez de *Anadara tuberculosa* en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S. México.



9.7. Indicadores de la reproducción

9.7.1. Índice de madurez

Durante el periodo de estudio, el índice de madurez promedio fue de 1.22 (0.53 de desviación estándar). El valor mínimo (0.62) se presentó en enero y febrero y corresponde a las frecuencias más altas de individuos en fase de posdesove. El valor más alto (1.95) está relacionado con un alto porcentaje de individuos en fase de madurez y se presentó en mayo (Fig. 13).

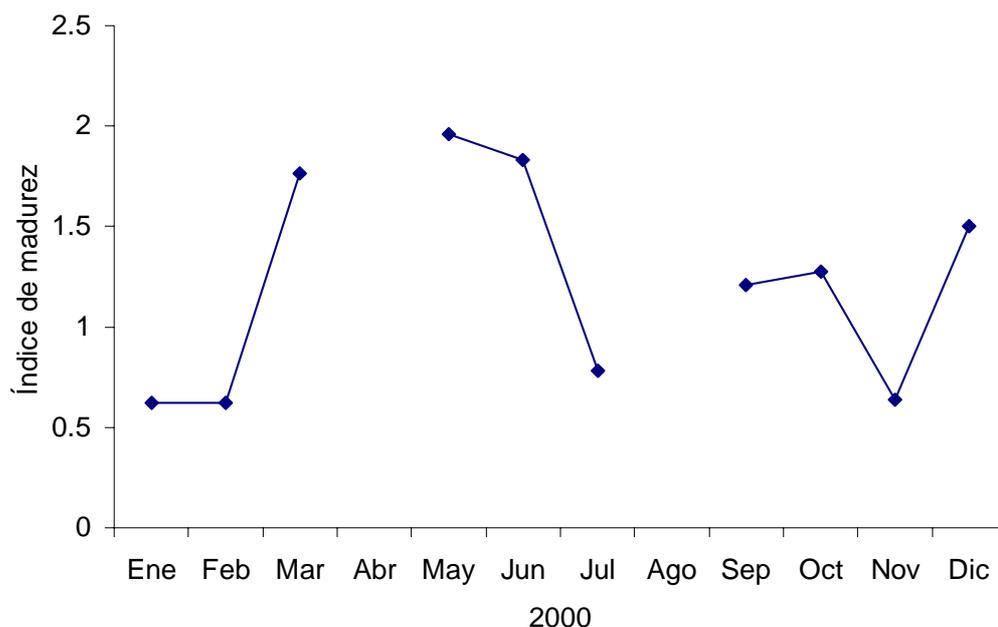


Figura 13. Variación del índice de madurez de *Anadara tuberculosa* en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S. México.



9.7.2. Diámetro de ovocitos

El diámetro promedio de los ovocitos varió significativamente (ANOVA, $P < 0.01$) a lo largo del periodo de muestreo. El promedio significativamente más alto (Prueba *post-hoc* de tukey, $P < 0.01$) se registró durante marzo, con $49.38 \mu\text{m}$ (0.33 error estándar) y el promedio significativamente más bajo (prueba *post-hoc* de Tukey, $P < 0.5$) en noviembre con $40.64 \mu\text{m}$ (0.51 error estándar) (Fig. 14). Los meses restantes representan valores que se mantienen en rangos de 41.3 a $44.4 \mu\text{m}$.

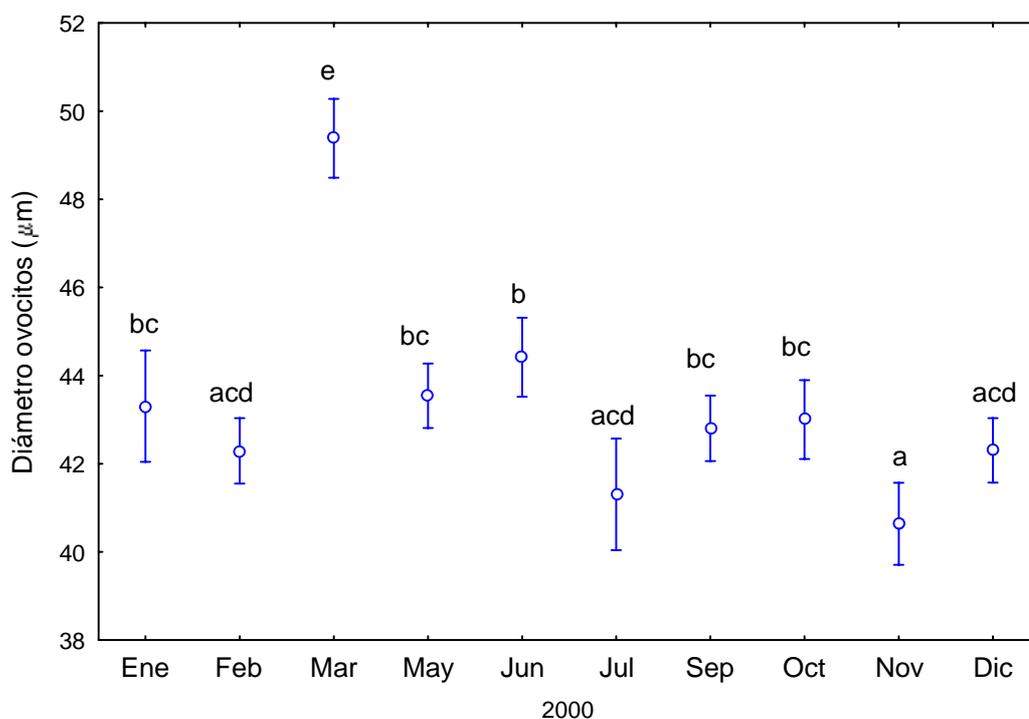


Figura 14. Variación mensual de las medias del diámetro de los ovocitos de *Anadara tuberculosa* en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S., México, durante el periodo de estudio. Las barras corresponden al error estándar. Letras distintas indican diferencia significativa ($P < 0.05$).



9.8. INDICADORES INDIRECTOS DE LA REPRODUCCIÓN

9.8.1. Factor de condición de Fulton

Los valores del Factor de condición presentaron variaciones significativas (ANOVA, $P < 0.01$) a lo largo del periodo de estudio (Figura 15). El valor significativamente mas alto (prueba *post-hoc* de tukey, $P < 0.01$) se presentó en mayo (0.00698 ± 0.0001 error estándar), mientras que los mínimos se presentaron en enero (0.0043 ± 0.0002 error estándar) y julio (0.0043 ± 0.0002 error estándar).

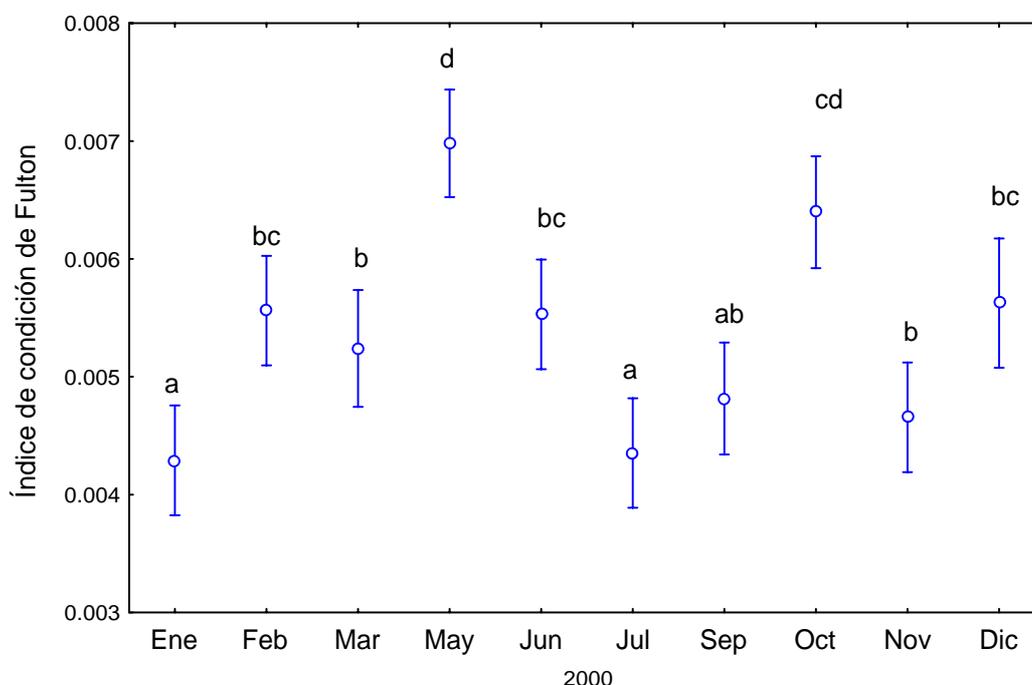


Figura 15. Variación mensual de las medias del factor de condición de *Anadara tuberculosa* en el estero de Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S., México, durante el periodo de estudio. Las barras corresponden al error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).



9.8.2. Índice de peso

Los valores de índice de peso presentaron variaciones significativas (ANOVA, $P < 0.001$) a través del periodo de estudio (Fig. 13). El valor significativamente mas alto (prueba *post-hoc* de tukey $P < 0.0000$) en el mes de mayo (28.09 ± 0.56 error estándar) y los valores significativamente más bajos (prueba *post-hoc* de tukey $P < 0.01$) se presentó en enero (20.25 ± 0.70 error estándar), marzo (21.0 ± 0.67 error estándar), julio (21.01 ± 0.50 error estándar) y noviembre (21.14 ± 0.71 error estándar) (Fig. 16).

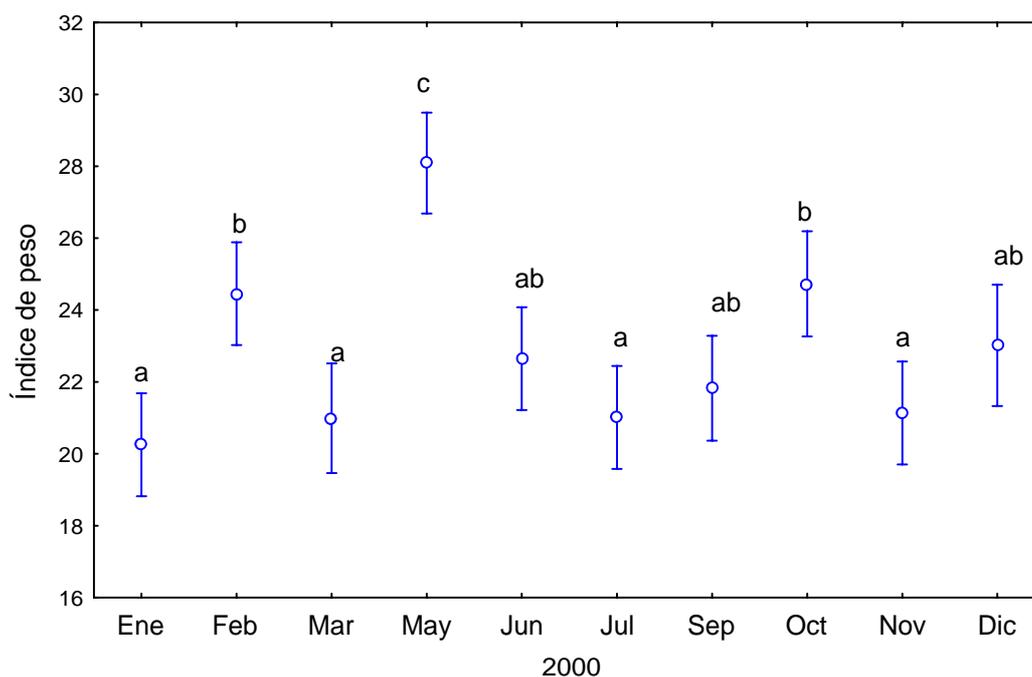


Figura 16. Variación mensual de las medias del índice de peso en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S., México, durante el periodo de estudio. Las barras corresponden al error estándar durante en periodo de estudio. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).



Se encontró una correlación significativa entre el índice de peso y el índice de condición ($R = 0.91$, $P = 0.0002$) (Fig. 17).

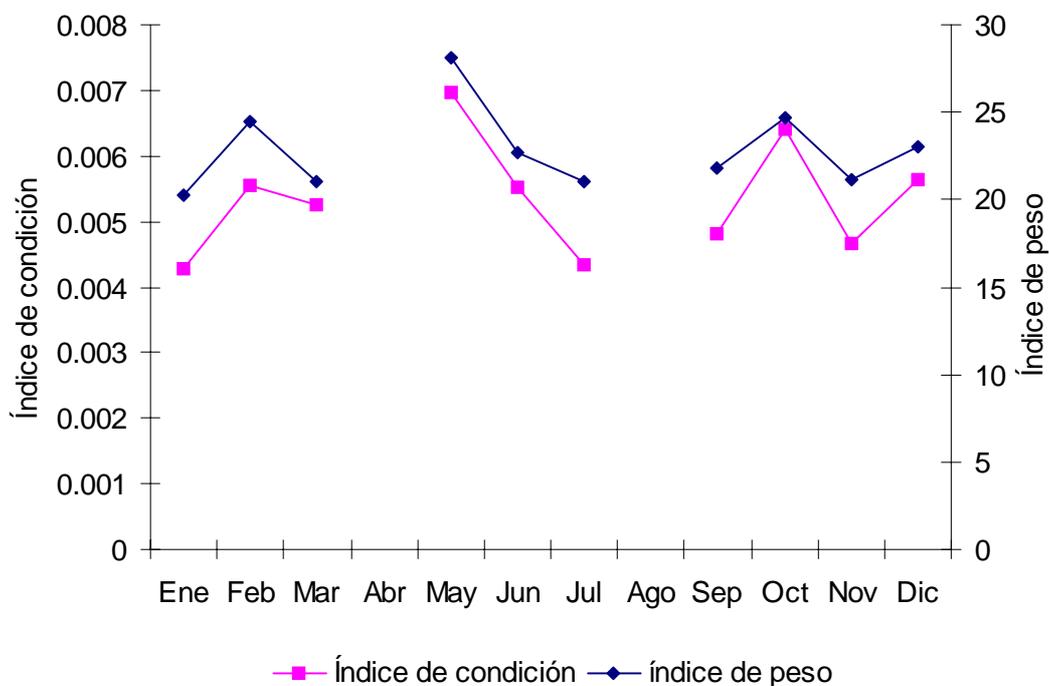


Figura 17. Comparación de los valores medios del índice de peso y el índice de condición de *Anadara tuberculosa* en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S., México, durante el periodo de estudio.

9.9. Variables ambientales

9.9.1. Temperatura

La variación de la temperatura superficial es claramente estacional, la más baja se registró en enero (19.6°C). A partir de mayo la temperatura aumentó hasta un máximo en septiembre (27.8°C) (Fig.18).

Al aplicar los análisis estadísticos de correlación no-paramétrica de Spearman no se encontró que existiera una correlación significativa entre la temperatura y los



índices de madurez, de condición y de peso. Sin embargo se encontró una correlación significativa con el diámetro de los ovocitos ($R = 0.66$, $P = 0.04$) (Tabla VI).

Tabla VI. Correlación entre la temperatura y las variables morfométricas de *Anadara tuberculosa*. * Indica diferencia significativa

Correlación Spearman Temperatura vs:		
	R	P
Índice de madurez	0.17	0.64
Índice de peso	0.08	0.83
Índice de condición	-0.08	0.83
Diámetro de ovocitos	0.7	0.037 *

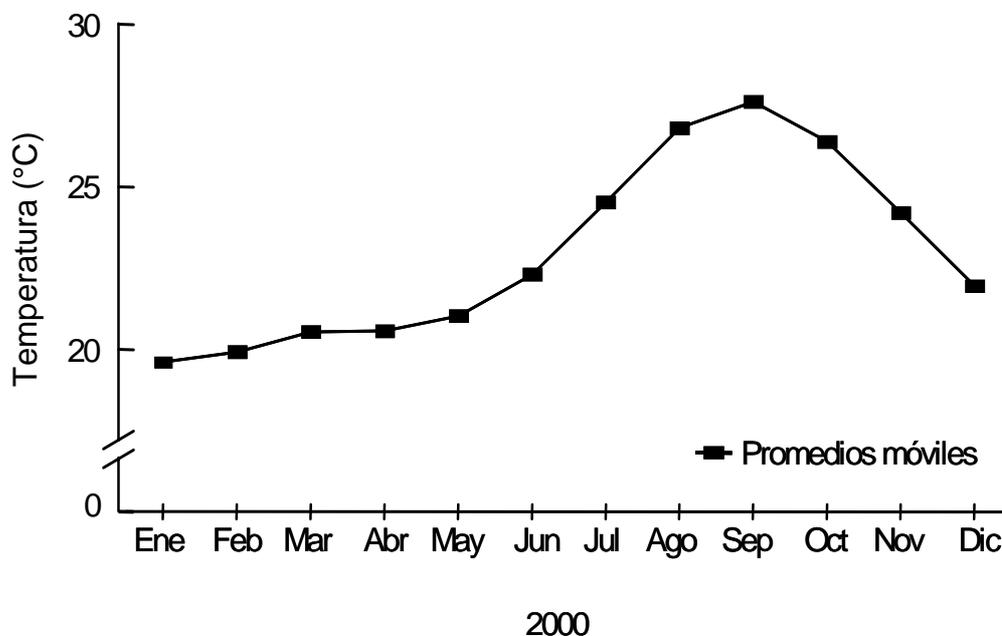


Figura 18. Variación de la temperatura de un año tipo calculado a partir de datos históricos en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S., México.



9.9.2. Clorofila a

La variación en la concentración de clorofila a es estacional (Fig.19) presenta un incremento a partir de marzo y hasta alcanzar el más alto en mayo con 2.3 mgCl/m³, para disminuir nuevamente hasta alcanzar sus valores más bajos en noviembre (0.5 mgCl/m³) y diciembre (0.49 mgCl/m³) (Fig. 19).

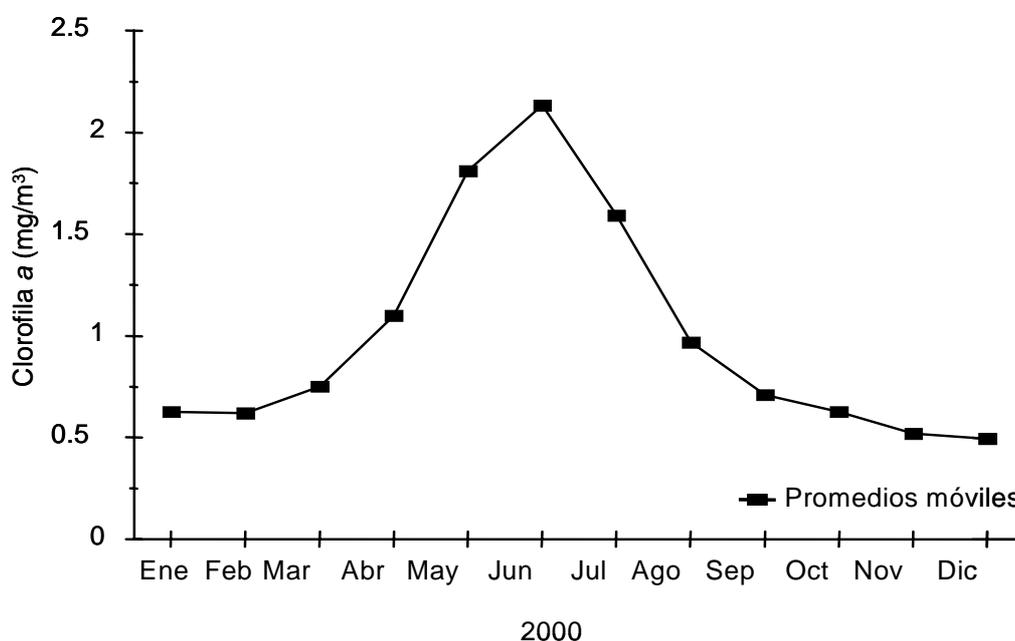


Figura 19. Variación de la concentración de clorofila a de un año tipo calculado a partir de datos históricos, en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S., México.

La prueba de Spearman no mostró una relación entre la clorofila a con los índices ó el diámetro de los ovocitos (Tabla VII). Sin embargo, los valores más altos del índice de madurez coinciden con las mayores concentraciones de clorofila a (Mayo-Junio) (Fig. 20).



Tabla VII. Correlación entre la clorofila a y las variables morfométricas de *Anadara tuberculosa*.

Correlación Spearman Clorofila a vs:		
	R	P
Índice de madurez	0.50	0.14
Índice de peso	-0.018	0.96
Índice de condición	0.006	0.99
Diámetro ovocitos	0.28	0.42

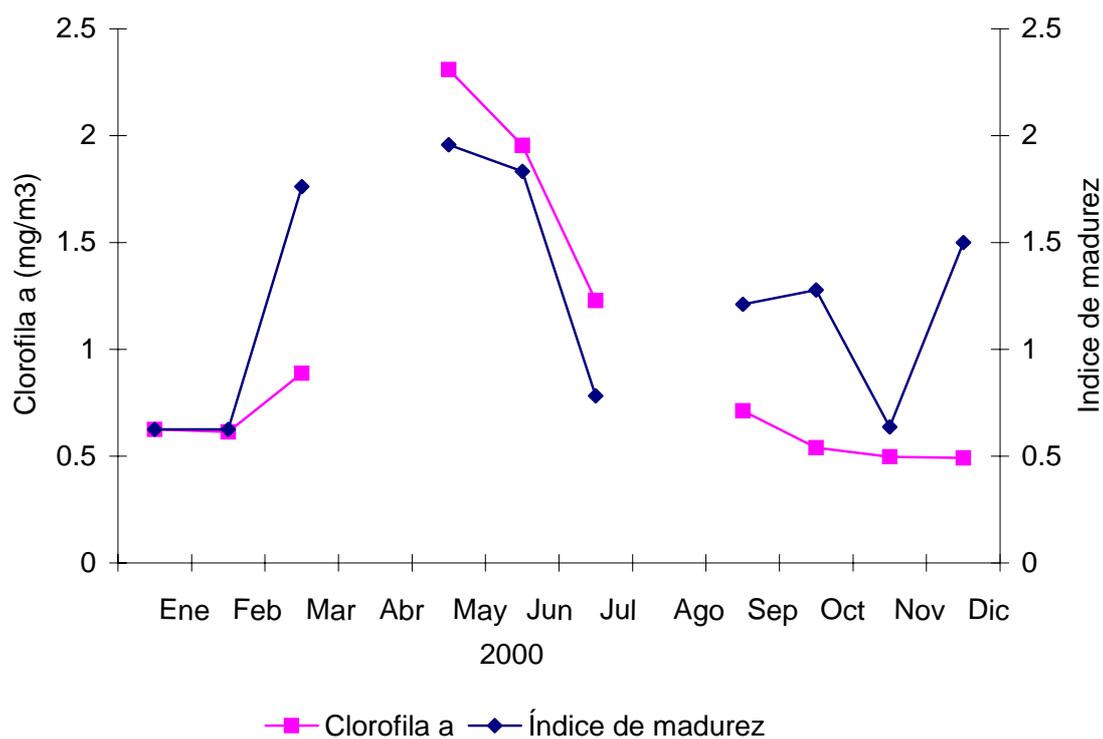


Figura 20. Relación del índice de madurez de *Anadara tuberculosa* con la Clorofila a en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S., México.



9.9.3. Fotoperiodo

La figura 21 presenta los valores de iluminación mensual. Los meses con menos tiempo de iluminación son diciembre (644 min. Luz/día), enero (641 min. Luz/día). Mientras que los meses con mayor tiempo de iluminación son junio (815 min. Luz/día) y julio (831 min. Luz/día).

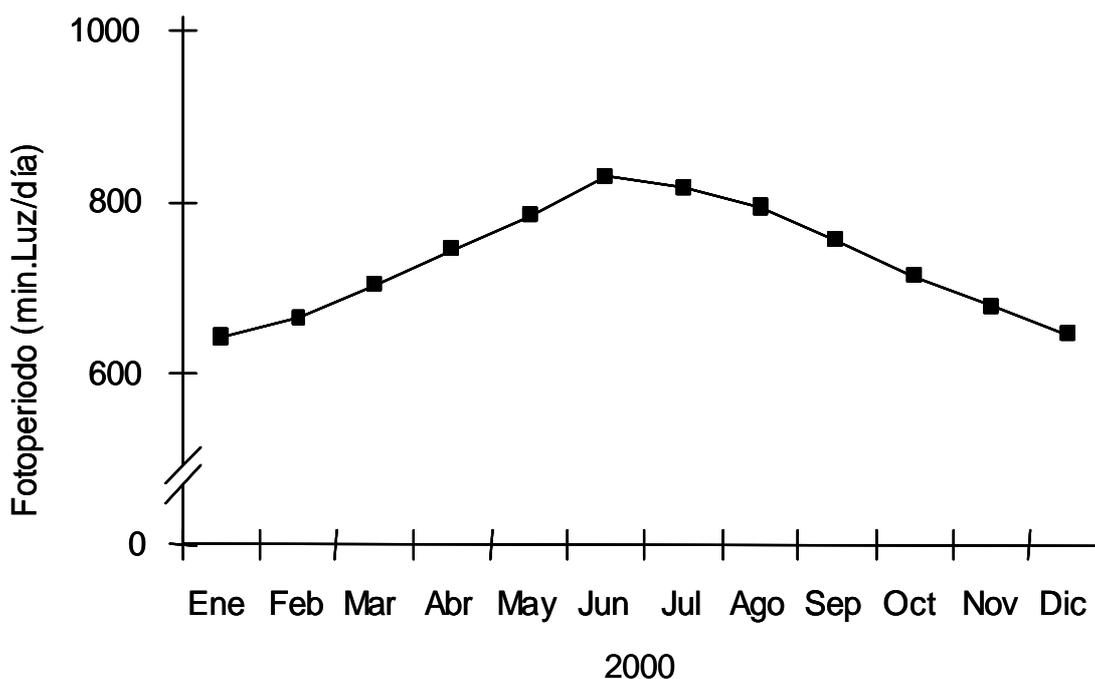


Figura 21. Variación del fotoperiodo en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S. México.



Por su parte, el análisis estadístico indicó que el fotoperiodo no presentó correlación con ninguno de los índices (Tabla VIII), pero si se correlacionó positivamente con el diámetro de los ovocitos ($R=0.65$, $P=0.04$).

Tabla VIII Correlación entre el fotoperiodo y las variables morfométricas de *Anadara tuberculosa*. * Indica diferencia significativa

Correlación Spearman Fotoperiodo vs:		
	R	P
Índice de madurez	0.565352	0.088537
Índice de peso	0.224242	0.533401
Índice de condición	0.151515	0.676065
Diámetro ovocitos	0.648485	0.042540 *



10. DISCUSIÓN

Anadara tuberculosa es una especie que es considerada gonocórica (Cruz, 1984), los resultados obtenidos de este estudio corroboran esta condición. Sin embargo, el 0.98% de las muestras presentó hermafroditismo, por lo que se confirma que puede presentar hermafroditismo casual, tal como lo reportó Flores-Mendoza (1971). En este sentido, Sevilla (1969) atribuye esta condición a diversas causas, y en su caso menciona que puede tratarse de ejemplares que estaban funcionando como machos los cuales presentaron conductos cargados de espermatozoides, mientras que en los folículos de la periferia de la gónada y debido tal vez a un cambio brusco en las condiciones ambientales, como salinidad o temperatura, se indujo a la formación de óvulos. El hermafroditismo casual es un fenómeno muy poco frecuente pero que ha sido reportado en la literatura para algunas especies de Arcidos como *A. granosa* en porcentaje de 0.003% (Broom, 1983) y para *A. senilis* en un 0.004% (Broom, 1985) (Anexo 1), así como en otras especies de bivalvos gonocóricos como *M. edulis* (Sugiura, 1962), *Atrina seminuda* (Giese y Pearse, 1979), *Mya arenaria* (Brousseau, 1987), *Ruditapes decussatus* (Delgado y Pérez, 2002) y *Megapitaria squalida* (Quiñonez, 2003).

Por otro lado, se ha reportado que una distribución bimodal en la estructura de tallas con respecto al sexo, indica entre otras cosas, una reversión sexual de una parte de la población (Aranis y Torres, 1987; Arellano-Martínez, 1997). En el análisis de la proporción de sexos por clase de tallas de *A. tuberculosa* no se



encontró esta distribución, lo cual corrobora la condición gonocórica de la especie en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S.

La proporción sexual total ($1.2\text{♀}:1\text{♂}$) no fue significativamente diferente de la proporción esperada de 1:1. Esto es acorde con lo reportado por Cruz (1984) ($1\text{♂}:1\text{♀}$) y Ampie y Cruz (1989) ($1.3\text{♂}:1\text{♀}$) en adultos de esta misma especie y en general para otros Árcidos (ver anexo). En contraste, para *A. senilis* se ha reportado una proporción de $1\text{♂}:2\text{♀}$ (Yankson, 1982), pero ésta se ha caracterizado por ser una especie hermafrodita protándrica en la que los ejemplares pequeños (5-17 mm) son machos, para luego, a los 20 mm transformarse en hermafroditas y finalmente establecerse como hembras en la población adulta (Yoyole, 1975).

La gónada de *A. tuberculosa* experimenta cambios notables durante su desarrollo, presentando fases bien diferenciadas: desarrollo, madurez, desove y postdesove. Sin embargo, en este estudio no se encontraron organismos indiferenciados en todo el ciclo anual, lo que en primera instancia indica que *A. tuberculosa* presenta actividad reproductiva continua. La ausencia de organismos indiferenciados ya ha sido reportada para *A. tuberculosa* en las costas de Costa Rica (Cruz, 1984). En contraste, en las costas de Sinaloa se ha reportado un claro periodo post-reproductor y de indiferenciación (Flores-Mendoza, 1971); mientras que en la Bahía de La Paz se ha reportado que solo un porcentaje muy pequeño de la población presenta una fase característica de posdesove después del periodo de máxima actividad desovante (Baqueiro *et al.*, 1982). En este sentido, Baqueiro y



Aldana (2000) afirman que el periodo de indiferenciación o no actividad reproductiva no es un requerimiento especie-específico sino que es más bien una respuesta a las condiciones ambientales. Villalejo-Fuerte *et al.* (2000) mencionan que la ausencia de un periodo de inactividad reproductiva de *M. squalida* de Bahía Juncalito, Golfo de California puede deberse a que ahí el alimento es abundante durante todo el año, por lo que la población produce gametos en forma continua. En este sentido, se sabe que Bahía Magdalena (sitio donde se hizo este estudio) es una zona eutrófica con alta productividad primaria (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2001), lo cual podría explicar el porque *A. tuberculosa* no presentó un periodo de inactividad reproductiva.

Por otro lado, se encontró que *A. tuberculosa* es un desovador parcial debido a que en la fase de desove se pudieron observar, además de folículos parcial o totalmente vacíos, folículos totalmente llenos de gametos, los cuales se asume que serían liberados en desoves posteriores, por lo que se puede asumir que el ciclo reproductivo de una población está determinado por la temporalidad en la actividad reproductiva (Villalejo-Fuerte y Ochoa-Báez, 1993) así, existen especies que se reproducen de manera continua, o de manera discreta pudiendo presentar un ciclo reproductivo anual, bianual o semestral (Sastry, 1975; Mackie, 1984). En el caso de *A. tuberculosa*, se asume que presenta un ciclo reproductivo continuo en el estero Santo Domingo, B.C.S. Lo anterior debido a que se encontró que la madurez y el desove estuvieron presentes durante todo el periodo de estudio, aunque en diferentes proporciones. Dicha continuidad también se confirma por la presencia de organismos en fase de desove pero que además están volviendo a



madurar. En este sentido, se ha reportado que *A. tuberculosa* en condiciones adecuadas tiene gran capacidad de regeneración gonádica que le permite mantener un desove constante (Baqueiro *et al.*, 1982). Giese y Pearse (1979) mencionan que en una población es difícil que el patrón reproductivo continuo sea el resultado de que los individuos tengan una producción continua de gametos a través de un ciclo anual, sino que es más bien resultado de que en cualquier momento del ciclo anual se pueden encontrar organismos en distintas fases de desarrollo gametogénico, y esto coincide con las frecuencias de desarrollo gonádico encontradas para la población de *A. tuberculosa* en el estero Santo Domingo B.C.S.

Un ciclo reproductivo continuo ya ha sido reportado para esta misma especie en poblaciones de áreas semicálidas en México como la Bahía de La Paz B.C.S. (Baqueiro *et al.*, 1982), y en áreas tropicales como Puntarenas, Costa Rica, (Cruz, 1984) y Térraba-Sierpe, Costa Rica (Vega, 1994). También ha sido observada en otros bivalvos como *Megapitaria aurantiaca* (García-Domínguez *et al.*, 1994); y *Dosinia ponderosa* (Arreola-Hernández, 1997), *Arca pacifica* y *Cardita affinis* (Gorrostieta-Hurtado, 1997).

Además de la caracterización cualitativa, el diámetro de los ovocitos permitió contar con una medida cuantitativa del proceso de maduración gonádica y al mismo tiempo nos indica la fase de crecimiento de los ovocitos durante la ovogénesis. El valor más alto (49.38 μm) registrado en marzo, corresponde con las mayores frecuencias de organismos en las fases de madurez (42.8%) y desove



(19%), por lo que la presencia de mayor cantidad de ovocitos maduros es la causa de que el diámetro promedio sea alto. Mientras que los diámetros promedio más bajos se registraron en julio (41.3 μm) y noviembre (40.64 μm) y se relacionan principalmente con la mayor proporción de individuos en desarrollo (78.2%). Por otra parte, los valores de los diámetros obtenidos en el presente trabajo fueron menores a los reportados para esta misma especie en las costas de Sinaloa (45-62 μm) (Flores-Mendoza, 1971). Se sabe que uno de los factores que pueden influir en el diámetro de los ovocitos es la cantidad y calidad del alimento; así, cuando el alimento es abundante (como es el caso del área de estudio) se producen ovocitos más grandes en comparación con los producidos cuando el alimento disminuye (Giese y Kanatani, 1989), y esto puede variar temporal o latitudinalmente. Sin embargo, el diámetro promedio de los ovocitos de *A. tuberculosa* (43.2 μm) es similar al de otros bivalvos encontrados en Bahía Concepción como *A. circularis* (Villalejo-Fuerte y Ochoa-Báez, 1993) y *M. squalida* (Villalejo-Fuerte *et al.*, 1996b).

Al igual que el diámetro de los ovocitos el índice de madurez (IM) permitió contar con los valores cuantitativos para poder correlacionarlos con los índices de condición y de peso. Así como con los factores ambientales. En *A. tuberculosa* las variaciones de los índices de condición y de peso no parecen estar influenciadas por el desarrollo gametogénico, puesto que no presentaron una correlación significativa con el IM, por lo que se concluye que el índice de condición no es un buen indicador indirecto de la época de reproducción de *A. tuberculosa*. Sin embargo, Las fluctuaciones del índice de condición se han asociado con el nivel



nutricional de los moluscos (Searcy, 1984), y con el contenido de agua en las vísceras o cambios en el volumen del tejido nutritivo (Giese y Pearse, 1979; Villalejo-Fuerte y Ceballos-Vázquez, 1995).

La mayor actividad desovante en el estero Santo Domingo se presentó en mayo-junio y en noviembre-diciembre, cuando la temperatura se mantuvo entre 21 y 24°C, mientras que en la Bahía de La Paz se ha reportado en abril, agosto y enero (Baqueiro y Guajardo, 1984). De manera general, estos periodos coinciden con los principales periodos de desove reportados en Puntarenas, Costa Rica (mayo y septiembre) (Cruz, 1984) y en Térraba-Sierpe, Costa Rica (noviembre-diciembre y abril-mayo) (Vega, 1994). Lo anterior contrasta con lo reportado para las costas de Sinaloa, donde se presenta la actividad reproductiva de junio a septiembre (Flores-Mendoza, 1972). En este sentido, se sabe que el evento reproductivo de una especie es una respuesta al medio ambiente genéticamente controlada, y en consecuencia los factores exógenos tienen influencia sobre el patrón reproductivo de una especie originando variaciones en diferentes zonas. Se sabe que la temperatura es uno de los factores exógenos que mayor influencia tienen sobre la regulación de la reproducción en bivalvos (Villalejo-Fuerte *et al.*, 2000; Kasyanov, 2001; Walker y Power, 2004). De tal forma que se ha observado de manera general, que en climas fríos (latitudes altas) se presenta un solo desove sincronizado al año, en climas templados pueden existir dos picos de desove, y en los climas tropicales hay desoves continuos a lo largo de todo el año (Giese y Pearse, 1979; Sastry, 1979; Mackie, 1984). Asimismo se ha reportado la influencia del fotoperiodo y la cantidad de alimento sobre la actividad reproductiva



(Kasyanov, 2001). A este respecto se ha considerado al fotoperiodo como uno de los factores que regulan el ciclo reproductivo de los invertebrados marinos (Giese y Pearse, 1979; Kasyanov, 2001). Por ejemplo, en equinodermos se ha encontrado que cambios en el fotoperiodo probablemente influyen en la intensidad de la mitosis de células gametogénicas, favoreciendo una intensa gametogénesis (Walker y Lesser, 1998; Walker *et al.*, 1998). El alimento es uno de los factores ambientales más importantes que tienen influencia sobre la reproducción (Bayne, 1976; MacDonald y Thompson, 1985; Jaramillo *et al.*, 1993; Kasyanov, 2001). Cuando hay una inadecuada cantidad de alimento o cuando está ausente, la fecundidad disminuye abruptamente, se detiene la gametogénesis y los gametos son reabsorbidos (Bayne, 1976; Sastry, 1979). Por otra parte, la disponibilidad de fitoplancton es un factor clave para el desove, ya que puede actuar como un estímulo directo (Bayne, 1976; MacDonald y Thompson, 1985; Jaramillo *et al.*, 1993; Kasyanov, 2001). Sin embargo, algunos autores encuentran que en algunas especies de bivalvos en las que existe una relación fuerte entre la disponibilidad de alimento y la gametogénesis, no se encuentra una relación significativa entre el desove y los valores máximos de fitoplancton (Villalejo-Fuerte *et al.*, 1996a, 2002).

El rango de temperatura en el estero Santo Domingo se encuentra dentro de los intervalos reportados en los cuales se puede desarrollar *A. tuberculosa*, siendo entre 17 °C en marzo y los 27 °C en agosto, y en mangles pantanosos desde los 20.5 °C a 35 °C (Baqueiro *et al.*, 1982). Se encontró que los periodos principales de desove de *A. tuberculosa* no estuvieron influenciados por la temperatura, en el



periodo de enero-mayo la temperatura estuvo entre 19.6 y 21.7°C y de septiembre a diciembre 27.7 a 20.5°C, Sin embargo, el porcentaje de organismos en desove es muy similar (54.1 y 57.1% respectivamente). Se pudo observar que cuando hubo aumento de la temperatura hubo poco aumento en individuos desovados y cuando ésta disminuyó de su pico máximo se pudo observar un aumento en individuos en desove, llegando a su máxima frecuencia de desove en diciembre (57.1%) con una temperatura de 20.5°C. Esto podría indicar que el cambio de temperatura actúa como disparador del desove de *A. tuberculosa* en el estero Santo Domingo, al menos en este periodo, tal como ocurre en otras especies (DiSalvo 1984, Villalaz 1994, Jaramillo *et al.*, 1993, Arsenault & Himmelman 1998, Luna-González *et al.*, 2000, Arellano-Martínez *et al.*, 2004). Es importante considerar que *A. tuberculosa* vive en la zona intermareal (y por lo tanto pasa una parte del día expuesta), es posible que la temperatura ambiental influya de manera significativa en el ciclo reproductivo de la especie, sin embargo, es necesario realizar estudios en ese sentido para poder confirmarlo.

Asimismo, en *A. tuberculosa* el ciclo reproductivo presentó una relación poco clara con la concentración de pigmentos fotosintéticos. En este sentido, Chanley (1972) menciona que *A. ovalis* y *A. transversa* se reproducen en verano en coincidencia con la mayor disponibilidad de alimento. Sin embargo, en este estudio no hubo una correlación estadísticamente significativa ($R = 0.49$, $P = 0.14$) entre el índice de madurez con la clorofila *a*. Durante primavera-verano (marzo a junio) se observó que aparentemente la mayor frecuencia de organismos en madurez y altas frecuencias de organismos en actividad desovante coinciden con el periodo en



que existen niveles altos de alimento disponible, lo cual podría indicar que la cantidad de alimento podría estar disparando el desove al menos en ese periodo.

En lo que respecta a la talla mínima de madurez, algunos autores han reportado en Arcidos, tallas de madurez y desove similares a los encontrados en el presente trabajo para *A. tuberculosa* (Ver anexo 2). Broom (1985) reporta para esta especie que en Colombia las tallas son de 32 y 36 mm para machos y hembras respectivamente, al igual que Ampie y Cruz (1989), para Costa Rica reportan maduración y desove a los 23.2 y 26.2 mm en machos y hembras respectivamente. Yankson (1982) reporta el primer desove de *A. senilis* a los 20 mm, Broom (1983) reportó la presencia de gónadas maduras en *A. granosa* entre los 18-20 mm de longitud y Cruz (1986) reportó la maduración y desove en *A. grandis* entre los 21.04 y 24 mm. Sin embargo, Ting *et al.* (1972) reportaron la presencia de gónadas en *A. subcrenata* a los 15 mm y Toyo *et al.* (1978) reportaron la madurez sexual de *A. broughtonii* entre los 48.3 y 52.5 mm. Finalmente, los resultados de este trabajo coinciden con lo reportado por Baqueiro *et al.* (1982), quienes reportan para una población bajo presión pesquera en la Bahía de La Paz, tallas mínimas de madurez de 38 mm para las hembras y 28 mm para machos y a su vez se contrasta con lo reportado por Squires *et al.* (1977) quienes encontraron para esta misma especie en Colombia que la talla mínima en machos y hembras maduros fueron de 32 y 36 mm respectivamente.



11. CONCLUSIONES

- ✓ *Anadara tuberculosa* del estero Santo Domingo presenta un desarrollo continuo de gametos, sin pasar por una fase de inactividad reproductiva (indiferenciación).
- ✓ En el estero Santo Domingo la población de *Anadara tuberculosa* presenta un ciclo reproductivo continuo con máximos desoves en mayo-junio y noviembre-diciembre.
- ✓ Tanto el diámetro promedio de los ovocitos como el índice de madurez son buenos indicadores de la época reproductiva de la especie.
- ✓ El índice de madurez no presentó correlación significativa con la temperatura, ni con la concentración de clorofila *a* (disponibilidad de alimento), sin embargo, el fotoperiodo se correlacionó positivamente con el índice de madurez.
- ✓ La talla mínima de madurez sexual en *A. tuberculosa* se estableció a los 36.5 mm de longitud. Sin embargo, se observaron organismos maduros desde los 16 mm.
- ✓ La proporción sexual de la población de *Anadara tuberculosa* en el estero Santo Domingo, Bahía Magdalena, B.C.S., es de 1:1.
- ✓ *Anadara tuberculosa* presenta hermafroditismo casual.



12. SUGERENCIAS PARA TRABAJOS FUTUROS

- ✓ Realizar estudios que aborden la biología reproductiva de la especie en otras poblaciones que están siendo explotadas, puesto que pueden existir diferencias en su ciclo reproductivo entre localidades, y por consiguiente cambiarían los criterios a usar para la regulación de su pesquería.

- ✓ Realizar experimentos en condiciones controladas para tratar de establecer la influencia real de los factores ambientales, así como para determinar las posibles causas que inducen el hermafroditismo.

- ✓ Cuando se trabaje con esta y otras especies que viven en zonas de intermarea, se debe considerar el registro de la temperatura ambiental para tratar de establecer si tiene alguna influencia sobre el ciclo reproductivo.



13. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, T. 1986. A guide to field identification, Sea Shells of North America. Edit. Golden Press, New York, USA 280 p.
- Abbott, T. 1991. Sea shell of the Northern Hemisphere. Gallery Books New York, USA 199 p.
- Álvarez-Borrego, S. A. Galindo-Bect y A. Chee-Barragán. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, Baja California Sur. *Cienc. Mar.* 2 (2): 94- 109.
- Ampie, C. L. y R. A. Cruz. 1989. Tamaño y madurez sexual de *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) en Costa Rica. *Venecia* 31: 21-24.
- Anónimo. 2002. Anuario Estadístico de Pesca. Sria. de Pesca, Dirección de Estadística y Registros Pesqueros. SEMARNAT. México.
- Aranis, R. A. y A. Torres. 1987. Un caso de hermafroditismo en la sardina (*Sardinops sagax* Jenyns, 1842) (Pises, Clupeiformes, Clupeidae). *Invest. Pesq.* 34: 149-153.
- Arellano-Martínez, M. 1997. Biología reproductiva del ángel rey *Holocanthus passer* Valenciennes, 1846 y del ángel de cortés *Pomacanthus zonipectus* (Gill, 1863) (Teleostei: Pomacanthidae), en la costa sur-occidental del Golfo de California, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México, 88 p.
- Arellano-Martínez, M., B. P. Ceballos-Vázquez, M. Villalejo-Fuerte, F. García-Domínguez, J. F. Elorduy-Garay, A. Esliman-Salgado, I. S. Racotta. 2004. Reproduction of the Lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus* Sowerby,



- 1835 (Bivalvia: Pectinidae) from Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., México. *J. Shellfish Res.* 23:15-23.
- Arreola-Hernández, F. 1997. Aspectos reproductivos de *Dosinna ponderosa*, (Gray 1838) (Bivalvia: Veneridae) en Punta Arena, Bahía Concepción, B.C.S. Tesis Maestría Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas – Instituto Politécnico Nacional, México, 85 p.
- Arsenault D. J. y J. H. Himmelman. 1998. Spawning of the iceland scallop (*Chlamys islandica* (Muller, 1776) in the Northern Gulf of St. Lawrence and its relationship to temperature and phytoplankton abundance. *Veliger* 41 (2): 180-185.
- Baqueiro, E. 1980. Population structure of the mangrove cockle *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) from eight mangrove swamps in Magdalena and Almejas Bays, Baja California Sur, México. *Proc. Nat. Shellfish Ass.* 70: 201-206.
- Baqueiro, 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. *Cienc. Pesq.* 3: 75-82.
- Baqueiro, E. y H. Guajardo. 1984. Análisis de la pesquería de almejas y caracoles en Baja California Sur. Memoria: III Simposium sobre Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 9-23.
- Baqueiro, E. y D. Aldana. 2000. A review of reproductive patterns of bivalve mollusks from México. *Bull. Mar. Sci.* 66 (1): 13-27.
- Bayne B. L. 1976. Aspects of reproduction in Bivalve mollusks. En: Estuarine processes, vol. 1, Acad. Press, N.Y. p. 432-448.



- Borda, C. y R. Cruz. 2004. Reproducción y reclutamiento del molusco *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) en el Pacífico Colombiano. *Rev. Inv. Mar.* 25 (3): 185-195.
- Borda, C. y R. Cruz. 2004. Pesca artesanal de bivalvos (*Anadara tuberculosa* y *Anadara senilis*) y su relación con eventos ambientales para el Pacífico Colombiano. *Rev. Inv. Mar.* 25 (3): 197-208.
- Briggs, J. C. 1974. Marine zoogeography. McGraw Hill. London. 475 p.
- Broom, M. J. 1982. Analysis of the growth of *Anadara granosa* (Bivalvia: Arcidae) in natural, artificially seeded and experimental populations. *Progr. Ser. Marine Ecol.* 9: 69-79.
- Broom, M. J. 1983. Gonad development and spawning in *Anadara granosa* (L.) (Bivalvia: Arcidae) *Aquaculture* 30: 211-219.
- Broom, M. J. 1985. The biology and culture of marine bivalve mollusc of the genus *Anadara* ICLARM, International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines. ICLARM Studies and Reviews 12, Contribution No. 263, 37 p.
- Brousseau, D. J. 1987. A comparative study cycle of the soft-shell clam, *Mya arenaria* in Long Island sound *J. Shellfish Res.* 6(1): 7-15.
- Brusca, R. C. 1980. Common intertidal invertebrates of the Gulf of California. 2a. Ed. The University of Arizona, Press, Tucson, Arizona, USA. 513 p.
- Campos, J. A., M. L. Fourtnier y R. Soto. (1990). Estimación de la población de *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) en Sierpe Térraba, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 32 (2b): 477-480.



- Cruz, R. A. 1984. Algunos aspectos de la reproducción en *Anadara tuberculosa* (Pelecypoda: Arcidae) de Punta Morales, Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 32 (1): 45-50.
- Cruz, R. A. 1986. Tamaño y madurez sexual en *Anadara grandis* (Pelecypoda: Arcidae) de Manzanillo, Puntarenas. Costa Rica. *Brenesia* 27: 9-12.
- Cruz, R. A. y J. A. Palacios. 1983. Biometría del molusco *Anadara tuberculosa* (Pelecypoda: Arcidae) en Punta Morales, Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 31(2): 175-179.
- Chanley, P. y J. D. Andrews. 1972. Aids for identification of bivalve larvae of Virginia. *Malacologia* 1: 45-119.
- Delgado, M. y A. Pérez-Camacho. 2002. Hermaphroditism in *Ruditapes decussatus* (L.) (Bivalvia) from the Galician coast (Spain). *Sci. Mar.* 66(2): 183-185.
- DiSalvo, L. H., E. Alarcón, E. Martínez y E. Uribe. 1984. Progress in mass cultura of *Argopecten purpuratus* with notes on its natural history. *Rev. Chilena de Hist. Nat.* 57: 33-45.
- Dzuba, S. M. and L. A. Maslennikova. 1982. Reproductive cycle of bivalve molluscs *Anadara broughtoni* in the southern part of Peter the Great Bay (Sea of Japan). *Soviet J. Marine Biol.* 3: 148-155.
- Ellis, E. M. 1968. Moluscos de Nicaragua y Costa Rica. Programa regular de Desarrollo Pesquero de Centroamérica, informes: 8 p.
- Félix-Pico, E., F. García-Domínguez, A. Holguín-Quiñones y A. Romo-Piñera 2004. Crecimiento y ciclo gametogénico de la almeja pata de mula de los manglares *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) en el estero El



- Conchalito, La Paz, B.C.S. Memorias de la IX Reunión Nacional de Malacología y Conquiología. 53 p.
- Fernández-Arias, H., T. Miranda-Ávila y E. Uria-Galicia. 1988. Estudio descriptivo de la hemolinfa de *Anadara (Anadara) tuberculosa* Sowerby, 1833. (Mollusca: Pelecipoda: Arcidae). I. Componentes y características generales del plasma. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx.* 32: 63-73.
- Flores-Mendoza, A. M. A. 1971. Contribución al conocimiento biológico de la pata de mula, *Anadara (Anadara) tuberculosa* Sowerby, 1833. Tesis Profesional, Escuela Nacional Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F., 57 p.
- García-Domínguez, F., S.A. García-Gasca y J. L. Castro-Ortiz. 1994. Spawning cycle of the red clam *Megapitaria aurantiaca* (Sowerby, 1831) (Veneridae) at Isla Espíritu Santo, B.C.S., México. *J. Shellfish Res.* 13 (2): 417-423.
- Gaspar-Soria, R., M. S. Pascual y V. H. Fernández-Cortes. 2002. Reproductive cycle the cholga paleta, *Atrina seminuda* Lamark, 1819 (Bivalvia: Pinnidae) from northern Patagonia, Argentina. *J. Shellfish Res.* 21: 479-488.
- Giese, A. C. y J. S. Pearse 1979. *Reproduction of Marine Invertebrates*. Academic Press. New York, USA. 369 p.
- Giese, A. C. y H. Kanatani. 1989. Maturation and Spawning. En: A.C. Giese, S. Pearce y V. B. Pearce (eds.). *Reproduction in Marine Invertebrates*. Vol. IV. General Aspects: Seeking Unity in Diversity. Palo Alto: Blackwell Scientific, USA. 251-339 p.



- Gómez-Gutiérrez, J., R. Palomares-García, S. Hernández-Trujillo y A. Carballido-Carranza. 2001. Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. *Rev. Biol. Trop.* 49: 545-558.
- Gorrostieta-Hurtado, E. 1997. Ciclo gonádico de *Cardita affinis* (Sowerby 1833) y de *Arca pacifica*, (Sowerby, 1833) (Mollusca: Bivalvia) en Punta Arena, Bahía Concepción, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S. México, 100 p.
- Grant, A. y P. A. Tyler. 1983. The analysis of data in studies of invertebrate reproduction. I. Introduction and statistical analysis of gonad indices and maturity indices. *Int. J. Invertebr. Repr.* 6: 259-269.
- Heffernan, P. L. Walker y J. Carr. 1989. Gametogenic cycles of three bivalves in Wasaw Sound Georgia: I. *Mercenaria mercenaria* (Lineaus, 1758). *J. Shellfish Res.* 8(1): 43-49.
- Hernández-Valenzuela, R. 1996. Pesquería de almeja pata de mula. En: M. Casas Valdez y G. Ponce Díaz (eds.). *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*. Vol. I, SEMARNAP, CICIMAR, CIBNOR, La Paz, México. 121-126 p.
- Holguín-Quiñones, O. E. y A. C. González – Pedraza. 1994. *Moluscos de la franja costera de Michoacán, Colima y Jalisco*. México. Instituto Politécnico Nacional. 133 p.
- Humasson, G. L. 1979. *Animal Tissue Techniques*. 4a Ed. W.H. Freeman and Co. San Francisco, USA. 661 pp.



- Jaramillo, R. J. Winter, J. Valencia y A. Rivera. 1993. Gametogenic cycle of the chiloé scallop (*Chlamys amandi*) *J. Shellfish Res.* 12:59.64.
- Kasyanov, V. L. 2001. *Reproductive strategy of marine bivalves and echinoderms.* Institute Biology Marine. Russia. 229 p.
- Keen, A. M. 1971. *Sea Shells of tropical West America.* Stanford Univ. Press. Stanford, California, USA. 1064 p.
- Lluch-Belda, D., M. E Hernández-Rivas, R. Saldierna-Martínez y R. Guerrero-Caballero. 2000. Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, B.C.S. *Oceanidades* 15 (1): 1-23.
- Lluch-Cota, S. E., C. A. Pacheco-Ayub, J. J. Bautista-Romero, S. Hernández-Vázquez y D. B. Lluch-Cota. 2000. Colección de información ambiental para el Pacífico mexicano CD-ROM. CIBNOR, S.C./CONACYT.
- Lorenzo, J. L. 1995. Los concheros de la costa de Chiapas. *An. Inst. Nac. Antr. Hist. México* VII (36): 15.
- Luna-González, A., C. Cáceres-Martínez, C. Zúñiga-Pacheco, S. López-López y B. P. Ceballos-Vázquez. 2000. Reproductive cycle of *Argopecten ventricosus* (Sowerby II, 1842) (Bivalvia: Pectinidae) in the rada of Puerto de Pichilingue, B.C.S., México and its relation to temperature, salinity, an quality of food. *J. Shellfish Res.* 19: 107-112.
- Mackie, G. L. 1984. Bivalves. 351-418 p En: Tompa, A. S; N. H. Verdonk y J. Van Der Biggelaar (eds.) *The Mollusca: Reproduction.* Vol. 7.
- McDonald, B. y R. J. Thompson. 1985. Influence of temperatura and food availability on ecological energetics of the grant scallop *Placopecten*



- magellanicus*. I. Growth rates of shell and somatic tissue. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 25: 279-294.
- Monteforte, 1990. Ostras perleras y Perlicultura: Situación actual en los Principales Países Productores y Perspectivas para México. *Ser. Cient.*, Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 1: 13-18.
- Narasimham, K. A. 1988. Studies on some aspects of biology and fishery of the cockle, *Anadara granosa* (Linnaeus), from Kakinada Bay. *Proceedings of the Symposium on Mollusca, Part. II Symposium Ser.* 3: 407-417.
- Natarajan, R. y G. Jhon. 1983. Reproduction in the edible ribbed clam *Anadara rhombea* (Born) from the backwaters of Porto Novo. *Indian J. Mar. Sci.* 12: 90-95.
- Ortiz, O. E. y E. Uría-Galicia. 1998. Ciclo reproductor de *Anadara* (*Anadara*) *tuberculosa* (Sowerby, 1833). Enfoque histológico (Mollusca: Pelecypoda: Arcidae) *An. Esc. Nac. Cienc. Biol. México*, 44: 81-97.
- Ortiz O. E., Uría, A. Olivares, V. Tsusumi y M. Shibayama. 2003. Estudio de la ultraestructura de la espermatogénesis de *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) (Mollusca: Pelecypoda: Arcidae). *Hidrobiológica* 13 (2): 145-150.
- Power, A. J. y R. L. Walker. 2002. Growth and gametogenic cycle of the blood ark, *Anadara ovalis* (Bruguière, 1789) in coastal Georgia. *J. Shellfish Res.* 21 (1): 157-162.
- Prado-Ancona, D. 1998. Ciclo reproductivo de tres poblaciones de *Chione californiensis* (Broderip, 1835) (Bivalvia: Veneridae) en Baja California Sur, México, Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S., México. 103 p.



- Quiñones-Arreola, M. 2003. Comparación del patrón reproductivo de *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835) en la Laguna Ojo de Liebre, Océano Pacífico y en Bahía Juncalito, Golfo de California, B.C.S., México. Tesis Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S., México. 63 p.
- Ramírez, E. J. A. 1997. Diagnóstico geobiológico para el desarrollo de una propuesta de manejo ecoturístico en la Laguna Soledad, B.C.S. México. Curso especial de titulación conservación de sistemas costeros. UABCS, México. 62 p.
- Rodríguez-Gutiérrez, M. 1992. Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. De. A.G.T. México. 79 p.
- Rose, R., R. Dybdal y S. Harders. 1990. Reproductive cycle of the western Australian silverlip pearl oyster *Pinctada maxima* (Jameson) (Mollusca: Pteridae). *J. Shellfish Res.* 9 (2): 261-272.
- Secretaría de Marina. 2000. Almanagues Náuticos 2000. Dirección General de Oceanografía Naval, México,
- Searcy-Bernal, R. 1984. Un estudio sobre la condición de la almeja Pismo *Tivela stultorum* con datos de longitud y peso de la carne de capturas comerciales. *Cienc. Mar.* 9 (2): 19-30.
- Sastry, A. N. 1975. *Physiology and ecology of reproduction in marine invertebrates*. En: F. J. Vernberg (ed). *Physiological ecology of estuarine organisms*. University of South Carolina Press, USA. 279-299 p.



- Sastry, A. N. 1979. Pelecypoda (Excluding Ostreidae). En: Giese, A. C. y J. S. Pearse, (eds.), *Reproduction of Marine Invertebrates*. New York: Academic Press, pp. 113-292.
- Seguira, Y. 1962. Electrical induction of spawning in two marine invertebrates (*Urechis unicinctus* and hermaphroditic *Mytilus edulis*). *Biol. Bull.* 123: 203-206.
- Sevilla, M. L. 1969. Contribución al conocimiento de la madre perla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1945). *Rev. Soc. Méx. Hist. Nat.* 30: 223-262.
- Sokal, R. y F. Rohlf. 1979. Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Blume ediciones. Madrid. 832 p
- Squires, H. J. M. Estévez, O. Barona y O. Mora. 1977. Mangrove cockles, *Anadara* spp. Of the Pacific coast of Colombia. *Veliger* 18 (1): 57-68.
- Ting, S. Kasahara, y N. Nakamura. 1972. An ecological study of the so-called Mogai: *Anadara subcrenata* (Lischke) cultured in Kasaoka Bay. *J. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ.* 11: 9-18.
- Toral-Barza, L. y E. D. Gómez. 1985. Reproductive cycle of cockle *Anadara antiquate* L. en Calatagan, Batangas, Philippines. *J. Coastal Res.* 1: 241-245.
- Toyo, T., I. Tesuji, y N. Inove. 1978. The culture of ark *Anadara* and their problems in Yamaguchi Prefecture. *Cult. Res.* 7: 51-66.
- Vega, A. J. 1994. Ciclo reproductivo de *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) en la Reserva Forestal Térraba-Sierpe, Puntarenas, Costa Rica. Tesis. Magisterial. Sc. Universidad de Costa Rica, Sistema de Estudios de Posgrado en Biología, San José Costa Rica. 100 p.



- Villalaz, G. J. R. 1994. Laboratory study of food concentration and temperature effect on the reproductive cycle of *Argopecten ventricosus* *J. Shellfish Res.* 13: 513-519.
- Villalejo-Fuerte, M, y R. I. Ochoa-Báez. 1993. El ciclo reproductivo de la almeja catarina, *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835), en relación con la temperatura y fotoperiodo, en Bahía Concepción, B.C.S. México. *Cienc. Mar.* 19(2): 181-202.
- Villalejo-Fuerte, M., B. P. Ceballos-Vázquez, 1995. Variación de los índices de condición general, gonádico y de rendimiento muscular en *Argopecten circularis* (Bivalvia: Pectinidae). *Rev. Biol. Trop.* 14: 591-594.
- Villalejo-Fuerte, M. y F. García-Domínguez. 1998. Reproductive cycle of *Spondylus leucacanthus*, 1833 (Bivalvia: Spondylidae) at Isla Danzante, Gulf of California. *J. Shellfish Res.* 17 (4): 1037-1042.
- Villalejo-Fuerte, M., G. García-Melgar, R. I. Ochoa-Báez y A. García-Gasca. 1996. Ciclo reproductivo de *Megapitaria squalida*. (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Veneridae) en Bahía Concepción, B.C.S. México. Instituto Nacional de la Pesca y Acuicultura. Santa Fe de Bogotá, Colombia. Boletín No. 4.
- Villalejo-Fuerte, M., B. P. Ceballos-Vázquez y F. García-Domínguez. 1996a. Reproductive cycle of *Leavocardium elatum* (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Cardidae) in Bahía Concepción, B.C.S., México. *J. Shellfish Res.* 15 (3): 1-5.
- Villalejo-Fuerte, M., M. Arellano-Martínez, B. P. Ceballos-Vázquez y F. García-Domínguez. 2000. Ciclo reproductivo de la almeja chocolata *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Veneridae) en Bahía Juncalito, Golfo de California, México. *Hidrobiológica* 10:165-168 p.



- Villalejo-Fuerte, M., M. Arellano-Martínez, B. P. Ceballos-Vázquez y F. García-Domínguez. 2002. Reproductive cycle of *Sondylus calcifer* Carpenter, 1857 (Bivalvia: Spondylidae) in the "Bahía de Loreto" National Park, Gulf of California, México. *J. Shellfish Res.* 21 (1): 103-108.
- Villalobos, C. R. y A. L. Báez. 1983. Tasa de crecimiento y mortalidad de *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) bajo dos sistemas de cultivo en el Pacífico de Costa Rica. *Rev. Lat. Acuic.* 17: 9-18.
- Walker, R. L. 1998. Growth and survival of the blood ark, *Anadara ovalis* (Bruguiere, 1789), in coastal Georgia. *Georgia J. Sci.* 56: 192-205.
- Walker, R. L. y Lesser M. P. 1998. Manipulation of food and photoperiod promotes out-of-season gametogenesis in the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*: implications for aquaculture. *Biol. Mar.* 132: 663-676.
- Walker, R. L. y A. J. Power. 2004. Growth and gametogenic cycle of transverse ark, *Anadara transversa* (Say, 1822) in coastal Georgia. *Amer. Malacological Bull.* 21 (1): 157-162.
- Yáñez-Arancibia, A. y A. L. Lara-Domínguez. 1999. Los manglares de América Latina en la encrucijada, p. 9-16 En: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.) Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecología, A. C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 p.
- Yankson, K. 1982. Gonad maturation and sexuality in the West African bloody cockle, *Anadara senilis* (L.). *J. Mollusc Stud.* 48: 294-300.
- Yoyole, V. 1975. The habitats and functional anatomy of the West African bloody cockle, *Anadara senilis* (L.), *Proc. Malac. Soc. Lond.* 41: 277-299.



Zaytesv, O., R. Cervantes-Duarte, O. Montante y Gallegos-García. 2003. Coastal Upwelling Activity on the Pacific Shelf of the Baja California Península. *J. Oceanography*, Vol. 59: 498-502.



Anexo 1. Proporción de sexos y porcentaje de hermafroditismo de varios bivalvos marinos para especies de la Familia Arcidae (Walker y Power, 2004).

Especies	Numero de muestra	Proporción sexual (♂:♀)	% de Hermafroditismo	Fuente
<i>Anadara antiquata</i>	1040	1.00:1.00		Toral-Barza y Gómez, 1985
<i>Anadara granosa</i>	300	1.00:1.00	0.003	Broom, 1983
<i>Anadara ovalis</i>	185	1.00:1.98		McGraw <i>et al.</i> , 1998
<i>Anadara ovalis</i>	747	1.00:2.48		Power y Walter, 2002
<i>Anadara rhombea</i>	1155	1.00:1.27		Natarajan y John, 1983
<i>Anadara scapha</i>	235	1.00:1.47		Baron, 1992
<i>Anadara senilis</i>	100	1.00:0.34		Yoloye, 1974
<i>Anadara senilis</i>		1.00:1.00	0.004	Broom, 1985
<i>Anadara subcrenata</i>		1.00:1.00		Broom, 1985
<i>Anadara transversa</i>	199	1.00:0.53		Walker y Power, 2004
<i>Anadara trapezia</i>		1.00:1.00		Broom, 1985
<i>Anadara tuberculosa</i>	218	1.00:1.25		Cárdenas y Aranda, 2000
<i>Anadara tuberculosa</i>	1094	1.00:1.00		Cruz, 1984
<i>Anadara tuberculosa</i>		1.00:1.00		Dzyuba y Maslennikova, 1982
<i>Anadara tuberculosa</i>	205	1.2:1.00	0.98	Este estudio
<i>Noetia ponderosa</i>	181	1.00:1.26		McGraw <i>et al.</i> , 1998



Anexo 2. Talla de gametogénesis inicial y madurez sexual para varias especies de bivalvos marinos de la Familia Arcidae (Walker y Power, 2004).

Longitud inicial de gametogénesis en almeja del genero <i>Anadara</i> (mm)				Longitud inicial de gametogénesis en almeja del genero <i>Anadara</i> (mm)			
Especie	♂	♀	Indif.	♂	♀	Indif.	Fuente
<i>Anadara cornea</i>						*20	Broom, 1985
<i>Anadara granosa</i>						21	Narasimham, 1968
<i>Anadara granosa</i>			17.5			24-25	Broom, 1983
<i>Anadara ovalis</i>				9.9	11.5		Power y Walker, 2002
<i>Anadara rhombea</i>	19	22		21-25	21-25		Natarajan y John, 1983
<i>Anadara scapha</i>			22			30	Baron, 1992
<i>Anadara seniles</i>	5.9	19	10-17				Yoloye, 1974
<i>Anadara subcrenata</i>			15				Ting <i>et al.</i> , 1972
<i>Anadara transversa</i>	4	7		10	12		Walker y Power, 2004
<i>Anadara tuberculosa</i>				36	32		Broom, 1985
<i>Anadara tuberculosa</i>					36.5		Este estudio