

**Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada**



**VARIACION DE LA MADUREZ GONADICA DEL
ERIZO MORADO (*Strongylocentrotus purpuratus*),
EN UN GRADIENTE LATITUDINAL DEL PACIFICO
NORORIENTAL (OTOÑO, 1998).**

**TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS**

MARIA DEL CARMEN ESQUEDA GONZALEZ

ENSENADA, B. C., DICIEMBRE DEL 2000.

TESIS DEFENDIDA POR
María del Carmen Esqueda González

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



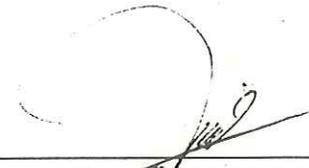
Dr. Oscar Sosa Nishizaki

Director del Comité



M. C. Olivia Margarita Tapia Vázquez

Miembro del Comité



Dr. Jorge Cáceres Martínez

Miembro del Comité



M. C. Vicente Ferreira Bartrina

Miembro del Comité



Dr. Jaime Farber Lorda

*Jefe del Departamento de
Ecología*



Dr. Federico Graef Ziehl

Director de Estudios de Posgrado

06 de diciembre del 2000

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE EDUCACIÓN
SUPERIOR DE ENSENADA

DIVISIÓN OCEANOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA

VARIACIÓN DE LA MADUREZ GONÁDICA DEL ERIZO MORADO
(*Strongylocentrotus purpuratus*), EN UN GRADIENTE LATITUDINAL DEL
PACÍFICO NORORIENTAL (OTOÑO, 1998).

TESIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

MARÍA DEL CARMEN ESQUEDA GONZÁLEZ

ENSENADA, B. C., 2000.

RESUMEN de la Tesis de María del Carmen Esqueda González presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en ECOLOGÍA MARINA. Ensenada, Baja California México. Noviembre del 2000.

VARIACIÓN DE LA MADUREZ GONÁDICA DEL ERIZO MORADO
(*Strongylocentrotus purpuratus*), EN UN GRADIENTE LATITUDINAL
DEL PACÍFICO NORORIENTAL (OTOÑO, 1998).

Resumen aprobado por:



Dr. Oscar Sosa Nishizaki
Director de la Tesis

En el presente estudio se analizó la variación de los estadios de madurez gonádica del erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*) a lo largo de un gradiente latitudinal del Pacífico Nororiental, visitando 23 localidades. El límite norte fue en Isla San Clemente, California (EUA) ubicada a los 32°54'58"N, 118°31'53"W, y el sur la Isla Asunción 27°6'19"N, 114°18'12"W en Baja California Sur (México). Los muestreos se realizaron del 28 de octubre al 12 de noviembre de 1998 abordo de la embarcación M/V Horizon, en el crucero al Pacífico de Baja California UCSB-CICESE (No. 98-017). Se capturaron un total de 196 erizos en sólo ocho de las localidades distribuidas entre Isla San Clemente (EUA) a Arrecife Sacramento (México) (29°43'27"N, 115°46'1"W). La muestra estuvo conformada por adultos y un individuo inmaduro, el intervalo de tallas osciló de los 12.2 a los 70mm de diámetro de la testa, siendo los más abundantes entre los 40 a 45mm, en este mismo rango se ubicó la mayoría de las hembras. Del total de especímenes un 72% (n=142) presentaron cierto grado de desarrollo gonadal; en los erizos restantes no se observó desarrollo. Las 142 gónadas se analizaron microscópicamente determinando seis estadios de madurez gonadal, uno de los cuales es indiferenciado sexualmente. La talla a la cual los erizos presentaron células maduras fue a los 31.9mm de diámetro. Se observó un individuo hermafrodita con células germinales de ambos sexos en la misma gónada, dominando células testiculares. Se observó una variación en los estadios de madurez a lo largo del gradiente latitudinal. Los valores más altos del índice gonadosomático (IG) se observaron en Punta Banda y Punta Colnett, localidades con un gran número de individuos en etapa reproductiva. Mientras que el valor más bajo de IG se presentó en Isla San Martín con la mayoría de erizos desovados. La variación observada se atribuye a las condiciones que presenta el hábitat. Se presentó sincronía en el desarrollo gonadal en las poblaciones más o menos cercanas, no teniendo influencia la disponibilidad de alimento. Este resultado corrobora la plasticidad fenotípica que expresa esta especie ante los cambios ambientales y de recursos. Así mismo se identificó un parásito de la clase Aspidogastrea (*Phylum Platyhelminthes*) en las gónadas, encontrándose en un 31.6% (n=62) del total de individuos, prevaleciendo principalmente en la parte norte de Baja California (Isla Coronados y Punta Jatay) y la sur (Arrecife Sacramento).

Palabras clave: *Strongylocentrotus purpuratus*, madurez gonádica, gradiente latitudinal, Pacífico Nororiental.

GONAD MATURITY VARIATIONS OF THE PURPLE SEA URCHIN
(*Strongylocentrotus purpuratus*) IN A LATITUDINAL GRADIENT OF THE
NORTHEASTERN PACIFIC (AUTUMN, 1998).

The variations of the gonad maturity stage of the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*) at 23 localities, along a latitudinal gradient of the northeastern Pacific were analyzed. The north limit of the gradient was in San Clemente Island, California (USA) located at 32°54'58"N, 118°31'53"W, and its southern limit was Isla Asuncion 27°6'19"N, 114°18'12"W, off Baja California Sur (Mexico). Samples were taken from October 28 to November 12, 1998 onboard of the M/V Horizon during a cruise to Baja California's Pacific side (UCSB-CICESE, number 98-017). The limit of this invertebrate distribution in this study was from San Clemente Island (USA) to Arrecife Sacramento (Mexico) (29°43'27"N, 115°46'1"W), where a total of 196 individuals were captured at 8 localities. Most of the samples included ripe individuals, although one unripe individual was observed. Sea urchin size interval ranged from the 12.2 to the 70mm of test diameter, where the most abundant were among the 40 at 45 mm size range. In this range most of the females were observed. The 72% (n=142) of the individuals had certain degree of gonad development, while the remaining sea urchins did not showed any development. The 142 gonads were microscopically analyzed and six stages of gonad development were determined, including sexually undeveloped individuals. Sea urchins presented mature cells from a size of 31.9 mm of diameter. An hermaphrodite individual was observed with germinal cells of both sexes in the same gonad, dominating male cells. Variations in the stage of maturity were present along the latitudinal gradient. The highest values of the gonadosomatic index (GI) were observed in Punta Banda and Punta Colnett, localities with a great number of individuals in reproductive stages. Lowest values in GI were present in Isla San Martín with most individuals in spent stage. A synchrony in the gonadal development was observed in populations of localities close together, where the availability food seems to not have any influence. These results corroborate the phenotypic plasticity that this species can express in the face of the environmental changes and resources. In addition, a parasite of the class Aspidogastrea (Phylum Platyhelminthes) was observed in the sea urchin gonads. A total of 62 (31.6%) individuals were infested with this parasite, prevailing mainly in the northern part of Baja California (Isla Coronados and Punta Jatay) and the south (Arrecife Sacramento).

Words key: *Strongylocentrotus purpuratus*, gonadic maturity, latitudinal gradient, Northeastern Pacific.

*Ser humilde para con
los superiores
es un deber,
para con los iguales
una muestra
de cortesía,
para con los inferiores
es una prueba
de nobleza.*

DEDICATORIAS

Con todo mi amor a mi hijo, Paul Esqueda González porque me haz enseñado todo lo hermoso que puede ser la vida, sobre todo agradezco tu paciencia, y que a pesar de la distancia siempre estuvimos unidos.

A mis padres José Manuel y María, porque fueron parte fundamental de este trabajo, la confianza que me depositaron fue mi firmeza para seguir adelante. Este nuevo paso se los debo a ustedes, gracias peyños.

Con cariño, a mi hermano José Manuel (el Mane), porque paso a paso hemos llegado a la superación.

AGRADECIMIENTOS

Con gran afecto al Dr. Oscar Sosa Nishizaki mi director de tesis, por su ayuda constante para concluir este trabajo, además de darme su confianza y ser un buen amigo.

A mis grandes sinodales la M. C. Olivia Tapia Vázquez, al Dr. Jorge Cáceres Martínez y al M. C. Vicente Ferreira Bartrina por su tiempo, confianza y sugerencias para mejorar este trabajo, y sobre todo les agradezco su paciencia.

Con enorme cariño a quienes tuve la fortuna de encontrarlos en mi camino y me demostraron su amistad en todo momento. Gracias: Adriana, Alejandro, Alicia, Ana, Beatriz, Benigno, Danténoc, Emmanuel, José Luis, Laura, Lorena, María, Marisol, Mireya y Rosina. En especial a Jorge Fonseca (el Fon) quien además de ser un buen amigo y permitirme ser su amiga, es mi FTP.

A la Quim. Nury López Fraga, por su importante ayuda en el procesamiento de las técnicas histológicas realizadas en este trabajo, así como su dirección en el uso del equipo de laboratorio

Al Dr. Milton Love de la Universidad de California en Santa Barbara por su invitación en participar en el crucero al Pacífico de Baja California, abordo del M/V Horizon.

Al amigo inigualable Oceanólogo Cesar Almeda, por su colaboración en los muestreos de erizo morado, y a José María Domínguez por su valiosa ayuda en escanear y editar las fotografías, que se presentan en este trabajo. Gracias por tu paciencia Chema.

Al Biol. Héctor Valles Ríos del CRIP Ensenada (INP), por las facilidades prestadas en el laboratorio de Histología, para la toma de fotografías que se presentan en este trabajo.

A la Sra. Ana María Espinosa Peralta y al Dr. Julio Santos Santiago, quienes me ayudaron de manera desinteresada cuando más lo necesitaba, y me enseñaron a dar mis primeros pasos en Ensenada.

A los que son y serán siempre mis grandes amigos, Andrea Furlong Hernández, Adrián López González, Edgar Huante, Lulú y Carolina (las de Mazatlán), Cesar Barragán, Elena Enríquez de Barragán, Oscar González Ochoa, Julio Cesar Hernández León y Arturo Ocampo, gracias por alegrar mi estancia en Ensenada.

Al Dr. Eduardo Ríos Jara por sus consejos que me ha brindado y motivarme a seguir en esta carrera.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, por haberme permitido ingresar, y realizar este grado académico.

Infinitamente agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por haberme otorgado una beca para realizar la maestría en ecología marina.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1 Características biológicas y ecología	2
I.2 Antecedentes	3
II. OBJETIVOS	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS	9
III.1 Área de estudio	9
III.1.1 Descripción de localidades	9
III.2 Trabajo de campo	13
III.2.1 Colecta	13
III.3 Trabajo de laboratorio	14
III.3.1 Recepción de muestras	14
III.3.2 Peso de las gónadas	14
III.3.3 Técnica metacromática (azul de Toluidina)	15
III.3.4 Procesamiento histológico	16
III.4 Análisis de los datos	17
III.4.1 Lectura y clasificación de las categorías de madurez	17
III.4.2 Descripción de las gónadas	18
III.4.3 Categorías de Madurez	19
III.4.4 Medición de células	26
III.4.5 Toma de fotografías	27
III.4.6 Proporción sexual	27
III.4.7 Técnicas de sexado	27
III.4.8 Variación en el desarrollo gonadal	28
III.4.9 Índice Gonadosomático	28
IV. RESULTADOS	29
IV.1 Distribución de Tallas	29
IV.1.1 Proporción sexual	37

CONTENIDO (Continuación).

	Página
IV.2 Escala morfocromática	39
IV.3 Dimensión de células	45
IV.4 Organismo hermafrodita	49
IV.5 Técnicas de sexado	50
IV.6 Variación en el desarrollo gonadal	51
IV.7 Índice Gonadosomático	54
IV.8 Parasitismo	56
V. DISCUSIÓN	58
V.1 Distribución de tallas	58
V.2 Proporción sexual	60
V.3 Escala morfocromática	61
V.4 Dimensión de células	64
V.5 Organismo hermafrodita	67
V.6 Técnicas de sexado	68
V.7 Variación en el desarrollo gonadal e índice gonadosomático	68
V.8 Parasitismo	73
VI. CONCLUSIONES	75
LITERATURA CITADA	77

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Área de estudio.	12
2	Observación del ovario y testículo de erizo morado (<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>) con la técnica metacromática azul de Toluidina.	15
3	Esquema del volumen de la gónada en seis categorías de madurez.	18
4	<i>Strongylocentrotus purpuratus</i> . Estadio 0, indeterminado.	20
5	Porcentaje del desarrollo gonadal de erizo morado, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> , colectados en un gradiente latitudinal de la costa del Pacífico Nororiental.	30
6	Distribución de frecuencia de tallas para el total de individuos de erizo morado, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> , colectados en un gradiente latitudinal en la costa del Pacífico Nororiental.	31
7	Distribución de frecuencia de tallas para los grupos de hembras, machos e indeterminados de erizo morado, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> colectados en un gradiente latitudinal en la costa del Pacífico Nororiental.	33
8	Distribución de frecuencia de tallas de los estadios de madurez para el erizo morado, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> , colectados en un gradiente latitudinal en la costa del Pacífico Nororiental.	36
9	<i>Strongylocentrotus purpuratus</i> . Estadio I, etapa inactiva.	40
10	<i>Strongylocentrotus purpuratus</i> . Estadio II, etapa gametogénica.	41
11	<i>Strongylocentrotus purpuratus</i> . Estadio III, etapa premaduro.	42
12	<i>Strongylocentrotus purpuratus</i> . Estadio IV, etapa reproductiva	43
13	<i>Strongylocentrotus purpuratus</i> . Estadio V, desove y expulsión.	44

LISTA DE FIGURAS (Continuación).

Figura		Página
14	Hermafrodita de erizo morado, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> , colectados en Arrecife Sacramento, Baja California, México (29°43'27"N, 115°46'1"W).	49
15	Variación en el desarrollo gonadal y distribución de frecuencia de tallas para el erizo morado, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> en un gradiente latitudinal de la costa del Pacífico Nororiental.	53
16	Relación del índice gonadosomático con el régimen de temperatura en las localidades de la costa del Pacífico Nororiental.	55
17	Parásito encontrado en las gónadas de erizo morado, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> , colectado en un gradiente latitudinal de la costa del Pacífico Nororiental.	57

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Resumen de la distribución de tallas (mm) del erizo morado, <i>Strongyloentrotus purpuratus</i> colectados en la costa del Pacífico Nororiental.	34
II	Resumen de la distribución de tallas de los estadios de madurez del erizo morado, <i>Strongyloentrotus purpuratus</i> colectados en las costa del Pacífico Nororiental.	37
III	Proporción de machos por localidad con los valores de X^2 ($X^2_{0.05,1} = 3.84$).	38
IV	Proporción de machos por estadio de madurez con los valores de X^2 ($X^2_{0.05,1} = 3.84$).	39
V	Diámetro de las células entre individuos para el grupo de las hembras del erizo morado (<i>Strongyloentrotus purpuratus</i>) de la costa del Pacífico Nororiental.	46
VI	Diámetro de las células celulares entre individuos para el grupo de las machos del erizo morado (<i>Strongyloentrotus purpuratus</i>) de la costa del Pacífico Nororiental.	47
VII	Análisis de varianza de dos vías del diámetro de las células entre estadios para machos y hembras de erizo morado, (<i>Strongyloentrotus purpuratus</i>) de la costa del Pacífico Nororiental.	48
VIII	Determinación del sexo por medio de tres técnicas diferentes (n=141).	50
IX	Indice gonadosomático (IG) entre localidades con los valores de X^2 ($X^2_{0.05,1} = 3.84$), para hembras (H) y machos (M).	54

LISTA DE TABLAS (Continuación).

Tabla		Página
X	Prevalencia del parásito en el erizo morado, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> , en las localidades y para ambos sexos.	56
XI	Comparación de los diámetros de las células del ovario en erizo morado, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> .	66

VARIACIÓN DE LA MADUREZ GONÁDICA DEL ERIZO MORADO
(*Strongylocentrotus purpuratus*), EN UN GRADIENTE LATITUDINAL
DEL PACÍFICO NORORIENTAL (OTOÑO, 1998).

I. INTRODUCCIÓN

Por el valor comercial de sus gónadas el erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson, 1857) se ha convertido en un importante recurso pesquero en Baja California en la última década. Esta pesquería es de reciente inicio como una especie alternativa al erizo rojo, *S. franciscanus* mismo que se ha explotado desde los años 70's en la costa de Baja California. Es hasta 1985 cuando se empieza a extraer eventualmente erizo morado, y es en 1992 cuando se tienen los primeros registros publicados de captura en Baja California (Pérez y Calderón Aguilera, 1996). A pesar de su importancia económica, no existe ninguna medida de regulación pesquera. Posiblemente la razón principal de esta ausencia, es que se han realizado pocos estudios sobre su biología en la zona.

La explotación de esta especie es permitida para aquellos permisionarios que soliciten autorización técnica (Palleiro Nayar *et al.*, 1992). Como ya se ha dicho, los estudios sobre pesquerías de erizo de mar específicamente de la especie *S. purpuratus* no han sido muchos para Baja California. Hasta el momento los trabajos enfocados a este erizo se basan en aspectos biológico-pesqueros (Pérez y Rodríguez, 1995), análisis de la pesquería (Cota Villavicencio, *et al.*, 1996) y crecimiento y desarrollo gonadal (Velez Andrade, 1997). Estos estudios han aportado información esencial para este recurso, sin embargo, ésta no es suficiente para establecer una buena administración pesquera.

Para complementar la falta de información biológica que podría auxiliar en el desarrollo de una regulación pesquera razonable, en el presente trabajo se describe microscópicamente los estadios gonadales de este erizo, además de analizar la variación de este desarrollo a lo largo de un gradiente latitudinal de la costa del Pacífico Nororiental.

I.1 Características Biológicas y Ecología

La especie *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson, 1857), pertenece al Phylum Echinodermata, Clase Echinoidea, Orden Echinoida, familia Strongylocentrotidae. Es un equinodermo regular con simetría radial pentámera, tiene una forma circular u oval, notablemente aplanado a lo largo del eje bucal aboral. El esqueleto lo conforman los osículos que se encuentran fusionados en una caja sólida, comúnmente conocida como testa. Su cuerpo se divide en hemisferio bucal y aboral; en el polo bucal se encuentra la boca la cual tiene contacto con el sustrato y en el polo aboral se halla la región anal (periprocto) (Barnes, 1977). En la parte interna del hemisferio oral presenta una compleja disposición de las mandíbulas llamada linterna de Aristóteles. Esta estructura es lo suficientemente fuerte para masticar algas calcáreas (Meglitsch, 1978). Este aparato mandibular presenta líneas de crecimiento por lo que ha sido utilizado para determinar su curva de desarrollo (Vélez-Andrade, 1997).

La superficie corporal se divide en diez secciones radiales extendiéndose en los dos polos. Cinco de estas secciones poseen pies tubulares llamadas áreas ambulacrales, entre las cuales existen divisiones carentes de pies conocidas como áreas interambulacrales. Las dos áreas convergen hacia los dos polos en forma alternada. A lo largo de los interambulacros existen cinco gónadas suspendidas en la parte interna de la testa; y en la externa presentan

espinas movibles dispuestas más o menos simétricamente en las áreas ambulacrales e interambulacrales; las espinas largas se encuentran en torno al ecuador y, las pequeñas en los polos, éstas las utilizan para la locomoción junto con los pies ambulacrales (Barnes, 1977).

Son organismos con sexos separados aunque se han observado hermafroditas. Llegan a ser sexualmente maduros durante su segundo año de vida, aproximadamente a los 25mm de diámetro, y no muestran dimorfismo sexual (Morris *et al.*, 1980).

Esta especie se distribuye a lo largo de la costa del Pacífico, desde Alaska (EUA) a Isla de Cedros, Baja California, México (Ebert, 1968). Habita en el bentos marino adaptado a sustratos duros en la zona más baja del intermareal formando agregaciones (Gonor, 1972). Es preferentemente herbívoro, las algas cafés (*Macrocystis pyrifera*) y rojas (*Iridophycus flaccidum*) son su principal fuente de alimento; pastorea sobre algas adheridas a las rocas, es oportunista atrapa el pasto flotante como *Phyllospadix* (Lasker y Giese, 1954; Ebert, 1968).

I.2 Antecedentes

La mayoría de los estudios relacionados con la especie *Strongylocentrotus purpuratus* se han realizado principalmente en las costas de Oregon y California (EUA). Aspectos biológicos como fisiología y reproducción se han abordado intensamente desde los años 50's. Uno de los primeros trabajos relacionados con la fisiología de erizo morado es el publicado por Lasker y Giese (1954), quienes estudiaron la dieta, el proceso digestivo y nutricional, en las localidades de la Península de Monterey, Yankee Point y Pescadero Point de la costa de California, EUA.

Estos autores mencionan que el proceso digestivo se debe en gran parte a las bacterias alojadas en el intestino del erizo, ya que son capaces de digerir la galactosa iridoficina del alga roja *Iridophycus flaccidum*. Una década después Farmanfarmaian y Phillips (1962), realizaron un estudio en la costa de California, en el cual abordaron el proceso digestivo, el almacenamiento y transporte de nutrientes. En el experimento observaron que la digestión y absorción de nutrientes se lleva a cabo en el esófago y estómago mientras que el material absorbido se almacena preferentemente en el intestino; finalmente el transporte de nutrientes se lleva a cabo por el fluido perivisceral.

Lawrence *et al.* en 1965, en la localidad de Yankee Point (California), realizaron un estudio en el cual corroboraron la función del intestino como órgano de almacenamiento, además de actuar en los procesos digestivos y de absorción; así mismo señalaron que los nutrientes almacenados son transferidos de alguna manera a las gónadas para el desarrollo gametogénico.

Los trabajos enfocados a la reproducción han sido de gran importancia para el conocimiento del ciclo gametogénico, así como los factores que influyen en él. El estudio de Bennett y Giese (1955), realizado durante un año sobre el ciclo reproductivo y nutricional en la península de Monterey, California, determinó que el desarrollo de la gónada alcanza su mayor incremento en otoño. Estos autores mencionan que los factores climáticos tales como la temperatura son los que tienen mayor efecto sobre la gónada que el estado nutricional.

El trabajo de Holland y Giese (1965), sobre reproducción es uno de los primeros que describen en detalle el proceso de gametogénesis mediante varias técnicas histológicas. La duración de los eventos ovogénesis y espermatogénesis se determinó siguiendo la síntesis de ADN por autoradiografía; este trabajo lo realizaron durante un ciclo anual, en Yankee Point (California).

Chatlynne (1969), aportó un importante trabajo realizado durante un año en Yaquina Head, Oregon, donde detalla el proceso de ovogénesis. Se realizó mediante técnicas histoquímicas, las cuales demostraron las etapas de madurez gonadal y la composición celular. Estos resultados los correlacionó con las variaciones estacionales y la temperatura del agua.

Estos estudios relacionados con la maduración gonadal del erizo morado, coinciden en que son varios factores los que influyen en la madurez, tales como la temperatura, alimento, hábitat, y el grado de oleaje. Otras investigaciones destacan la relación en la talla del cuerpo con el crecimiento de la gónada; uno de estos trabajos es el realizado por Gonor (1972), en Yaquina Head y Bahía Boiler en la costa central de Oregon; quien durante un ciclo anual examinó la correlación de tallas con el crecimiento de la gónada, encontrando positiva esta relación. Un año después, el mismo autor en la misma área de estudio, realizó un minucioso trabajo durante cuatro años del ciclo reproductivo. En este estudio menciona que el desarrollo gonadal varía anualmente y entre sitios, indicando que ambos son influenciados por factores, tales como la disponibilidad de alimento y acción del oleaje en un determinado hábitat.

Ebert y Russell (1988), analizaron la estructura poblacional del erizo morado con relación a las características costeras y los procesos oceanográficos en la parte central de la

costa de California hasta la de Oregon. Los resultados indicaron que las intensas surgencias están directamente relacionadas con el proceso de asentamiento y reclutamiento.

Por otra parte Kenner y Lares (1991), determinaron la talla de primera madurez mezclando gametos de sexos opuestos, si ocurría la fertilización, ambos individuos se consideraban maduros. Se encontraron erizos fértiles a los 16 mm de diámetro, este trabajo se realizó con una población de Stillwater Cove en Bahía Carmel, California, estos autores mencionaron que la madurez dependía del alimento disponible en un hábitat en particular.

Las investigaciones en Baja California, México han aportado interesantes trabajos en el área de biología así como aspectos pesqueros. Pearse (1980), evaluó los efectos de la temperatura en la reproducción de *S. purpuratus* en las bahías de Papalote y Todos Santos; el patrón de desarrollo gonadal fue similar en las dos localidades con un régimen distinto de temperatura, por lo que concluyó que tal factor, no influye en la sincronía de la actividad reproductiva. Sus observaciones demostraron que el alimento en abundancia tiene gran influencia en el crecimiento gonadal. Además indicó que el patrón estacional de desarrollo gonadal presenta variaciones de un año a otro.

Pearse *et al.* (1986), en bahía Papalote, demostraron en un experimento, que el fotoperíodo influye en el desarrollo de las células germinales y el crecimiento somático del erizo morado.

Pérez Rodríguez (1995), analizó la biología y evaluó las pesquerías de *S. franciscanus* y *S. purpuratus* en las temporadas de pesca de 1990 a 1994. Este estudio lo realizó en la zona de pesca II (Punta Banda-Punta Colnnett); indicó un aumento en la captura de gónada de la temporada 92-93 a la 93-94, mientras que la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) se mantuvo estable en los mismos años.

Posteriormente, Cota Villavicencio *et al.* (1996), analizaron el cambio ocurrido de la pesquería del erizo de mar (*S. franciscanus* y *S. purpuratus*) del año 1972 a 1996. En este trabajo mencionan que la captura importante para el erizo morado se presentó en 1994 con un peso entero de 468t. Finalmente Velez Andrade, (1997), en la Isla de Todos Santos, estudió durante un ciclo anual el crecimiento del erizo morado y estimó el desarrollo gonadal mediante el índice gonadosomático. Encontró los valores más altos de este índice en noviembre y los más bajos en los meses de abril a junio.

Como se ha visto falta mucho por investigar respecto a la biología del erizo morado en la costa de Baja California, esto ha motivado a la realización de este estudio el cual pretende describir el estadio gonadal de esta especie, además de analizar la variación de madurez gonádica en distintas latitudes del norte de California (EUA) a Baja California (México), donde se discutirá esta variación con respecto al hábitat y alimento.

Estos resultados permitirán asentar parte del conocimiento básico requerido para una adecuada explotación, manejo y conservación de este importante recurso comercial.

II. OBJETIVOS

II.1 Describir microscópicamente los estadios gonadales del erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus*.

II.2 Analizar las diferencias de los estadios de madurez de *Strongylocentrotus purpuratus*, en un gradiente latitudinal del Pacífico Nororiental (costa de California y Baja California), durante otoño de 1998.

HIPÓTESIS

Para el presente estudio, se plantea la hipótesis de que este invertebrado presentará variación, en su desarrollo gonadal a lo largo del gradiente latitudinal, establecido para este trabajo.

III. Materiales y Métodos

III.1 Área de Estudio

El área de estudio comprende parte de la costa del Pacífico Nororiental donde se distribuye el erizo morado, limitada en la parte norte con la Isla San Clemente (EUA) ubicada en 32°54'58"N, 118°31'53"W, y con la zona sur la Isla Asunción 27°6'19"N, 114°18'12"W en Baja California Sur. La zona se dividió en 23 localidades de las cuales un 70% aproximadamente corresponden a la costa de Baja California, esto es, la porción sur del rango geográfico de la especie según lo reportado por Ebert (1968) (Fig. 1).

Los muestreos se realizaron durante el período del 28 de octubre al 12 noviembre de 1998 abordo de la embarcación M/V Horizon, San Diego (EUA) en el crucero No. 98-017 al Pacífico de Baja California UCSB-CICESE.

III.1.1 Descripción de localidades

De las 23 localidades visitadas sólo en ocho se encontró erizo morado, de las cuales el 76% de los organismos se obtuvieron en la costa de Baja California (México) y el 24% en la costa de California (EUA).

Las características de las localidades estudiadas y su posición geográfica se presentaran ordenadas de norte a sur (Fig. 1). Cabe mencionar que los parámetros como temperatura y densidad (individuos por m²) no se registraron para todas las localidades.

Isla San Clemente (1) (EUA) (32°54'58"N, 118°31'53"W) se muestreo en Seal Cove, algunos kilómetros al norte de la Isla, el lugar tenía extensos mantos de macroalgas sobre un fondo rocoso con altura media (menos de tres metros), lo que hacia difícil la captura de erizos. Los organismos fueron colectados a 13 metros de profundidad, había una densidad aproximada de 3 por m² en los recovecos.

Isla San Clemente (2) (EUA) (32°50'11"N, 118°28'26"W) se muestreo en un lugar denominado China Point, este lugar presentó características similares al anterior, la colecta se hizo a los 20 metros con una temperatura de 16°C en el fondo.

Isla Coronados (4) (32°26'1"N, 117°17'47"W) se encuentra muy cerca de la frontera de Estados Unidos con México en el lado oeste de la Isla del Norte. Los ejemplares se colectaron entre los 13 y 20 metros, donde se encontró una pared llena de ellos aproximadamente con una densidad de 30 por m² aumentando a 120 por m² conforme disminuía la profundidad; la temperatura de fondo fue de 17°C.

Punta Jatay (5) (32°0'59"N, 116°53'29"W) se encuentra al norte del puerto de Ensenada, este lugar esta caracterizado por extensos mantos de macroalgas con el fondo rocoso y un relieve alto. Los erizos colectados se encontraron a los 10 metros con una densidad aproximada de 40 por m²; la temperatura de fondo fue de 14°C.

Punta Banda (6) ($31^{\circ}44'28''\text{N}$, $116^{\circ}44'34''\text{W}$), en esta localidad se ubica a unos kilómetros al sur de Puerto de Ensenada. En la zona se encuentra un arrecife rocoso extenso con un manto de macroalgas, la colecta se hizo a una profundidad de 6 y 14 metros; la temperatura de fondo fue de 16.2°C .

Punta Colnett (8) ($30^{\circ}54'42''\text{N}$, $116^{\circ}31'4''\text{W}$), tiene una plataforma poco profunda con un arrecife somero y escasa presencia de macroalgas; con una temperatura de fondo de 16°C .

Isla San Martín (9) ($30^{\circ}28'59''\text{N}$, $116^{\circ}12'41''\text{W}$), el arrecife presentó una altura media (menos de tres metros) con mantos de macroalgas de tamaño medio, la colecta se realizó a una profundidad de 12 a los 19 metros, se observó una densidad aproximada de 10 por m^2 y 2 por m^2 respectivamente, los erizos se encontraron en recovecos junto con algunos erizos rojos y la temperatura de fondo fue de 17°C .

Arrecife Sacramento (11) ($29^{\circ}43'27''\text{N}$, $115^{\circ}46'1''\text{W}$), el fondo presentó un relieve (aproximadamente de tres metros) con sustrato rocoso, la colecta se llevo a cabo a una profundidad de 19 metros, los erizos se encontraban en oquedades con una densidad de aproximadamente de 20 por m^2 ; la temperatura de fondo fue de 15°C .

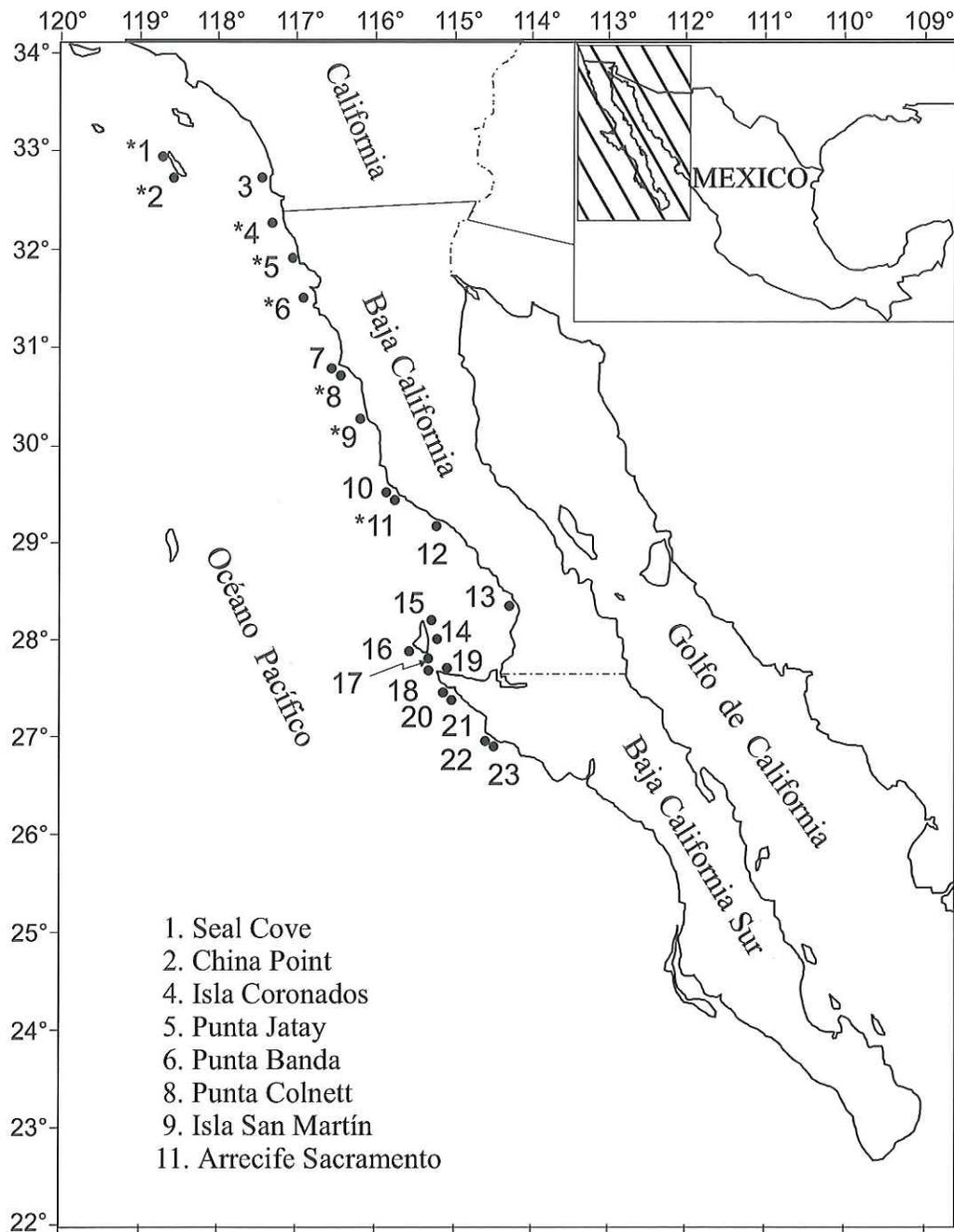


Figura 1. Área de Estudio. * = localidades donde se encontró erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*).

III.2 Trabajo de campo

III.2.1 Colecta

La metodología utilizada fue diseñada especialmente para el análisis de comunidades de peces de arrecifes costeros, de la cual se tomó ventaja para la colecta de erizo morado.

Los erizos fueron colectados manualmente en un rango de profundidad de 6 hasta ≈ 20 m con ayuda de equipo de buceo autónomo (SCUBA), se capturó parte de la población por localidad, dependiendo del número de individuos encontrados y de la accesibilidad de la zona.

Una vez a bordo de la embarcación los erizos capturados se les midió el diámetro con un vernier de 0.1mm de precisión. Posteriormente se abrió la testa con ayuda de un “matador” (instrumento usualmente utilizado para abrir las testas del erizo en las plantas de procesado) y se tomó una muestra del tejido gonadal. En algunos casos por el tamaño y la fragilidad del tejido se obtuvieron sólo pequeñas secciones de una de las gónadas. Algunos erizos se observaron sin desarrollo gonadal, en estos casos sólo se les midió el diámetro de la testa.

Enseguida se determinó el sexo de cada individuo de forma visual, clasificándolo por el color de las gónadas, donde las hembras presentan una coloración anaranjada mientras que los machos blanco o amarillo claro, los individuos sin desarrollo gonadal fueron considerados como indeterminados.

Finalmente las gónadas fueron depositadas en bolsas de plásticos con etiqueta fijándolas con formol al 10%. Al final del crucero las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Ecología Pesquera del Departamento de Ecología de CICESE.

III.3 Trabajo de Laboratorio

III.3.1 Recepción de muestras

Las gónadas se cambiaron cuidadosamente de las bolsas de plástico a frascos con formalina buffer. Se tomaron fotografías de las gónadas con el objeto de hacer una escala morfocromática, que junto con los resultados de la técnica de hematoxilina y eosina (sección III.3.4), permitirá obtener una escala-base para posteriores estudios de evaluación de madurez en el erizo morado.

III.3.2 Peso de las gónadas

Las gónadas y las pequeñas secciones de tejido gonadal se colocaron en papel secante para que se absorbiera el líquido fijador, y posteriormente se pesaron en una balanza analítica de 0.1mg de precisión.

III.3.3. Técnica metacromática (azul de toluidina)

La técnica de coloración con azul de toluidina, nos permitió identificar y separar, hembras y machos de una manera rápida, la cual se llevó a cabo antes del procesamiento histológico para evitar una posible contaminación en los tejidos gonadales.

Esta técnica consiste en tomar una pequeña fracción de tejido (aún estando en líquido fijador), la cual se coloca en un porta objetos haciendo un frotis con la ayuda de una espátula, inmediatamente después se añade una gota de azul de toluidina, removiendo para homogeneizar la preparación, posteriormente se coloca un cubre objetos y se observa directamente en un microscopio estereoscópico para examinar el tejido (Palma y Arana, 1996; Tapia Vázquez *et al.*, 1997).

En las hembras se observaron células de gran tamaño (ovocitos) dispersas y formando conglomeraciones, teniendo una apariencia granulosa y heterogénea. Los machos presentaron células de menor tamaño (espermatozoides) poco definidos, con una apariencia homogénea (Fig. 2).

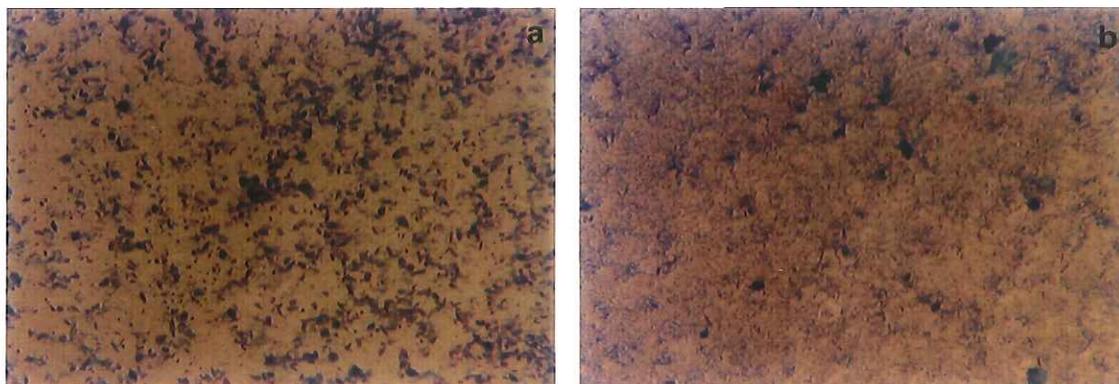


Figura 2. Observación del tejido gonadal de hembra y macho de erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*) con la técnica metacromática azul de toluidina. a) hembra; b) macho (120x).

III.3.4 Procesamiento histológico

El análisis histológico se realizó con 142 gónadas de erizo, mediante las técnicas descritas por López Fraga *et al.* (1997), las cuales consisten en:

a.- División de la muestra. Se recomienda tener tres secciones del tejido (posterior, centro y anterior) de aproximadamente 1 cm³, de esta manera tenemos representada la gónada completa.

b.- Deshidratación. Para el proceso de eliminación de agua en tejidos se emplean alcoholes a diferente concentración, de esta forma se deshidratan los tejidos en forma gradual, este paso permite que posteriormente la parafina se introduzca en los tejidos, para este caso se usó la técnica de Theilacker. Antes de iniciar la deshidratación es recomendable hacer un lavado para eliminar la solución fijadora.

c.- Inclusión. Este proceso se emplea un microprocesador que impregna los tejidos de parafina. Las parafinas utilizadas son de diferentes puntos de fusión, iniciándose con 54-56°C, utilizándose las más duras de 58-60°C al final para lograr bloques suficientemente duros.

d.- Corte del tejido. Para la obtención de cortes finos se utilizó un microtomo A.O. Spencer, este aparato nos permite tener secciones de tejido de aproximadamente cinco micras de espesor. Se recomienda que la profundidad del corte debe ser hasta el centro de la muestra.

e.- Tinción. La técnica de tinción utilizada fue Hematoxilina y Eosina, esta coloración contrasta las estructuras celulares, las cuales nos permite analizar la madurez gonádica.

f.- Montaje. Para el montaje se utilizó resina sintética, de esta manera las preparaciones con tejido gonadal quedan listas para su observación en el microscopio.

III.4 Análisis de los Datos

III.4.1 Lectura y clasificación de las categorías de madurez

Para la lectura de las laminillas con tejido gonadal se utilizó un microscopio de contraste de fases (marca Carl Zeiss) empleando los aumentos 32, 100, 250 y 1000x. De esta manera se determinó el sexo del tejido gonadal teñido con hematoxilina y eosina, y el estadio de madurez.

Se establecieron cinco estadios de madurez considerando las características de los procesos de ovogénesis y espermatogénesis. La descripción de cada estadio se basó en observaciones directas del tejido gonadal en el microscopio y a estudios previos sobre madurez gonadal en erizo de mar, como son los trabajos de Bennett y Giese (1955), Fuji (1960a, 1960b), Holland y Giese (1965), Chatlynne (1969), y Longo y Anderson (1969). En la figura 3 se muestra el cambio de volumen en la gónada ocurrido a lo largo del ciclo gametogénico.

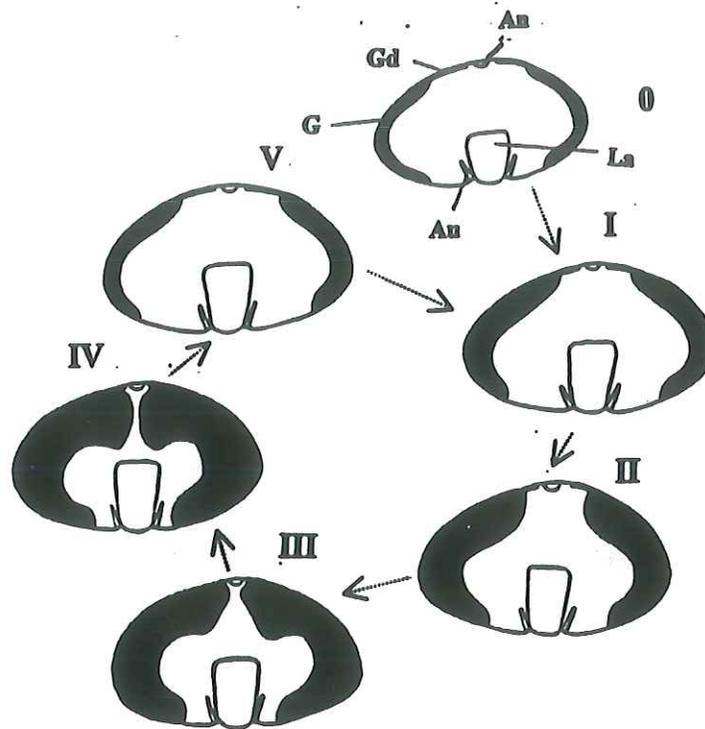


Figura 3. Esquema del volumen de la gónada en las seis categorías de madurez. An., ano; La., linterna de Aristóteles; Au., aurícula; G., gónada; Gd., gonoducto. (Tomado de Fuji, 1960a).

III.4.2 Descripción de las gónadas

El ovario y el testículo del erizo morado están conformados por un gonoducto el cual se abre hacia el exterior en la abertura genital, alrededor de éste se encuentran numerosos folículos, también llamados acinos, estas estructuras tienen forma de sacos alargados donde se lleva a cabo la gametogénesis. Ambas gónadas poseen un epitelio de revestimiento donde yacen células cúbicas, que delimita el folículo (pared externa del folículo), por debajo de éste se encuentra una membrana basal, inmediatamente después se encuentra el tejido conjuntivo el cual proporciona sostén y finalmente se haya el epitelio germinativo (pared interna) donde se ubican las ovogonias y ovocitos en las hembras y, espermatogonias y espermatoцитos en los machos.

Los fagocitos nutritivos o comúnmente llamados células accesorias presentan dos fases, la fase globulada y la no globulada. Los fagocitos en fase globulada contienen glóbulos citoplasmáticos y pueden o no tener una sola vacuola, prevalecen en los primeros estadios de desarrollo. La fase no globulada los fagocitos son vacuolados dando una apariencia de esferas huecas, observándose después del desove, permanecen así hasta que nuevamente empieza el ciclo gametogénico (Holland y Giese, 1965).

La forma de los fagocitos no está muy bien definida ya que están hacinados dentro del folículo, su función es almacenar material de reserva como lípidos y glicoproteínas que ayudan a la maduración de las células sexuales en la gametogénesis, así como para reabsorber los óvulos y espermatozoides que no fueron desovados o expulsados (Walker *et al.*, 1998).

III.4.3 Categorías de Madurez

A continuación se presentan las características macroscópicas de las gónadas y microscópicas de los estadios de madurez que se establecieron para *Strongylocentrotus purpuratus* en este trabajo. Las figuras que apoyan a la descripción de los estadios de madurez son de la escala morfocromática (ver sección IV.2).

Estadio 0. Indeterminado

En esta categoría las gónadas son pequeñas y estrechas, tienen una coloración semitransparente.

Las células goniales se encuentran en una etapa de diferenciación sexual por lo que no se distingue el sexo; el epitelio de revestimiento es muy delgado. En este estadio no se observa desarrollo gonadal, el único individuo encontrado en esta etapa se muestra en la figura 4. Cabe mencionar que este individuo no se incluyó en la escala morfocromática, así como tampoco en el análisis de la variación en el desarrollo gonadal.

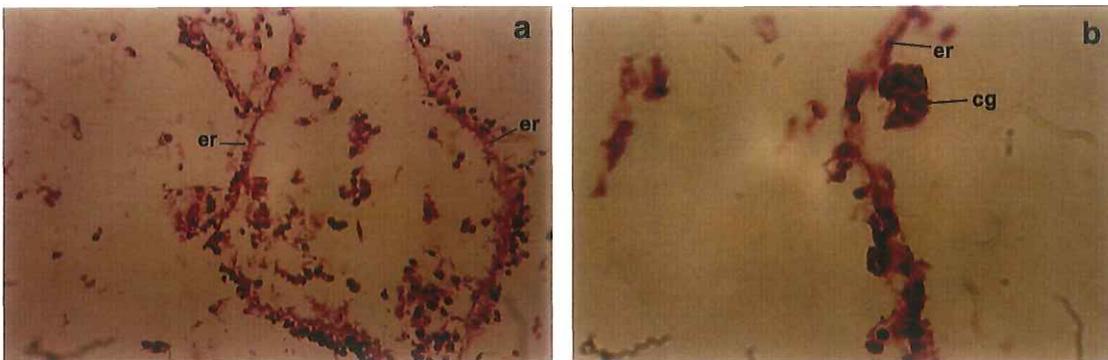


Figura 4. *Strongylocentrotus purpuratus*. Estadio 0, indeterminado.

Individuo indiferenciado; a) 126x; b) 280x. er, epitelio de revestimiento; cg, células goniales.

Estadio I. Etapa Inactiva.

Las gónadas son estrechas y delgadas, su superficie tiene una apariencia suave; los testículos presentan una coloración café rojiza clara, mientras que esta coloración en los ovarios es más oscura (fig. 9a y d).

El epitelio de revestimiento cúbico se observa muy bien definido. Las células accesorias o fagocitos nutritivos son globulados y, conforman el lumen del folículo observándose también pequeñas inclusiones. En este estadio de madurez las gónadas se encuentran en recuperación. Los folículos totalmente restablecidos del desove o expulsión tienen una forma oval casi redonda (fig. 9b y e).

En los machos el epitelio germinativo se encuentra en proliferación, lo conforman varias hileras de espermatogonias y espermatocitos, en la base del epitelio aparecen espermatogonias maduras agrupadas comúnmente llamadas espermatogonias primitivas, su citoplasma es basófilo y su núcleo contiene poca cromatina. Los espermatocitos primarios son ligeramente más pequeños que su antecesora, el núcleo tiene mucha cromatina y ocupa casi todo el espacio de la célula. En esta etapa no se observan espermátides ni espermatozoides (fig. 9c).

En las hembras el epitelio germinativo se encuentra constituido por ovogonias y ovocitos primarios; en las ovogonias se puede apreciar un gran núcleo basófilo y se encuentran dispersas a lo largo de la pared interna del folículo. En cuanto a los ovocitos primarios son pequeños con citoplasma basófilo, su núcleo es esférico y constituye casi toda la célula, también podemos apreciar los nucleolos con una fuerte basofilia (fig. 9f).

Estadio II. Etapa gametogénica

Las gónadas son ahora un poco más gruesas, la superficie es un poco más firme y tienen una coloración similar a la etapa anterior (fig. 10a y d).

A esta etapa también se le llama de maduración inicial. El epitelio cúbico es similar al estadio anterior; las células accesorias se encuentran en todo el acino, observándose proliferación celular. En ambos sexos los acinos aumentan de tamaño conforme avanza el desarrollo celular (fig. 10b y e).

Los machos presentaron un epitelio germinativo con numerosas hileras de espermatocitos, entre estos se observaron espermatogonias maduras; en esta etapa las células se agrupan formando pequeños racimos a lo largo de la pared interna del foliculo. Cerca del lumen se pueden apreciar espermátides jóvenes, los cuales son fuertemente basófilos, el núcleo es redondo, en algunos casos también podemos encontrar espermátides viejos o maduros, los cuales tienen la apariencia de un espermatozoide romo debido a la forma de su núcleo elongado. En esta etapa podemos apreciar claramente el proceso de espermiogénesis (fig. 10c).

El epitelio germinativo de las hembras comienza el proceso de vitelogénesis, por lo que se observa un aumento de tamaño de las células. Los ovocitos de primer orden empiezan acumular vitelo, su citoplasma se vuelve denso observándose una fuerte basófilia. Los ovocitos secundarios tienen un gran núcleo, desaparece el nucleolo, estas células por lo general se encuentran ubicadas perpendicularmente a la base del foliculo (fig. 10f).

Estadio III. Etapa de Premaduración.

Las gónadas son ahora gruesas, observándose un ligero incremento en sus dimensiones, la superficie es ligeramente rugosa; los testículos presentaron por lo general una coloración anaranjada al igual que los ovarios (fig. 11a y d).

En esta etapa de madurez se encuentran pocas células maduras en el lumen de algunos de los folículos, en los que se localizan en la periferia de la gónada podemos apreciar células con diferente desarrollo. En esta etapa los fagocitos nutritivos empiezan a disminuir; las células cúbicas del epitelio basal empiezan a aplanarse (fig. 11b y e).

En los machos, los espermatozoides junto con los espermátides jóvenes y viejos forman parches en la parte central de los acinos, en el epitelio germinativo se observa un considerable incremento de células, algunos de los racimos formados por espermaticitos y espermatogonias se separan de la base del folículo acercándose al lumen (fig. 11b y c).

En las hembras podemos observar ovocitos primarios y secundarios que han alcanzado su máxima talla, se ubican tanto en la base del folículo o cerca del lumen, su citoplasma continuo con una fuerte basófilia. En el lumen se aprecian ovocitos maduros y otros que están en proceso de maduración, podemos diferenciarlos por el pequeño núcleo (9μ) que presentan los ovocitos maduros, estas células presentan diversas formas (fig. 11e y f).

Estadio IV. Etapa Reproductiva.

En esta etapa las gónadas tienen una mayor consistencia y tienen un considerable incremento de volumen, la superficie continua rugosa. Los testículos y los ovarios presentaron el mismo color de la etapa anterior pero más intenso (fig. 12a y d).

En el lumen de los folículos de ambos sexos se encuentran totalmente invadidos por células maduras; en general los acinos presentan una forma semicircular y presentaron su máxima talla en esta categoría. Los fagocitos nutritivos conforman una pequeña capa, entre el epitelio germinativo y las células maduras (≈ 31 a 62μ), o son casi nulos. El epitelio de revestimiento ahora es plano simple al aplanarse totalmente sus células (fig. 12b, c y e).

En los folículos de los machos podemos observar el lumen totalmente invadido por espermatozoides y espermátides; el epitelio germinativo se reduce a unas cuantas hileras de espermatocitos. La actividad espermatogénica continua pero más lentamente (fig. 12c).

En las hembras los ovocitos maduros conformaron el lumen, su vitelo es mucho más denso y homogéneo, su forma se pierde debido al apiñamiento de éstos. En el epitelio germinativo podemos observar ovocitos con diferente tamaño (fig. 12f).

Estadio V. Desove y Expulsión.

Las gónadas son flácidas, tienen poca consistencia; tanto los testículos como los ovarios presentaron el mismo color café oscuro. La superficie de las gónadas es irregular, y es comúnmente llamada “despeinada”, en otros casos es lisa (fig. 13a y d).

En este estadio los folículos se encontraron deformes, tienen una apariencia alargada y colapsada, para diferenciar el sexo se observó los vestigios de células sexuales (fig. 13b y e). Los fagocitos nutritivos fueron muy dispersos en el folículo, en ambos sexos se observaron con una apariencia de una gran malla, debido a esto se formaron grandes espacios vacíos. El epitelio de revestimiento se observó semiplano con forma de malla poco consistente (fig. 13c y f).

En los machos los escasos espermatozoides observados en el interior folicular se localizaron en el epitelio germinativo, al igual que algunos espermatocitos (fig. 13c).

En el caso de las hembras algunos folículos presentaron células con una fuerte basófilia, se pudieron distinguir los ovocitos aún estando deformados. En otros casos las células se encontraron reducidas y extremadamente deformadas, y finalmente hubo acinos donde se distinguieron grandes espacios vacíos, con pequeñas y grandes inclusiones, los vestigios de ovocitos se localizaron cerca del epitelio germinativo (fig. 13f).

Estadio VI. Reabsorción

Este estadio es subjetivo donde se clasificaron a los individuos sin desarrollo gonadal, este fenómeno posiblemente se deba a la reabsorción progresiva de las gónadas una vez que a ocurrido el desove. Esta etapa no es reportada en la literatura, se definió con fines metodológicos y se tratará en este estudio en particular.

III.4.4 Medición de células

Los tipos celulares se determinaron de acuerdo con los procesos gametogénicos (ovogénesis y espermatogénesis), las células fueron medidas en un microscopio de contraste de fases marca Carl Zeiss con una reglilla incluida en un ocular 10x, ésta se calibró con un micrómetro de platina de 1000 μ .

Para la medición se tomaron individuos de ambos sexos representativos de los estadios I (inicial), II (gametogénica), III (premaduro), IV (reproductiva) y V (desove y/o expulsión). Se realizó una prueba de varianza de una vía ($\alpha = 0.05$) para probar si existía diferencia significativa en las dimensiones celulares entre individuos de un mismo estadio y sexo, para la cual se tomó una muestra de tres organismos, a cada uno se les midió los tipos celulares por triplicado, así mismo se realizó una prueba de varianza de dos vías ($\alpha = 0.05$) para comparar las dimensiones celulares entre estadios.

Las mediciones se hicieron con los cortes de tejido transversal de la parte central de la gónada, ya que esta sección de tejido presentó los folículos más grandes. Para medir las células se tomó el diámetro mayor con respecto a la membrana basal, los valores estuvieron en el orden de micras (μ). Cabe mencionar que en el grupo de los machos se tomaron los

espermatoцитos primarios y secundarios como una sola célula que se nombró como espermatoцитo, esto se debió a la dificultad de distinguir las dos células en el microscopio.

III.4.5 Toma de Fotografías

Se tomaron fotografías al tejido gonadal en los cinco estadios de madurez de ambos sexos con el fin de anexarlas en la escala morfocromática (ver sección III.3.1), además de apoyar la descripción de las categorías de madurez. Las fotografías se efectuaron en un microscopio (marca AO) con cámara fotográfica integrada, se utilizó película de 35mm, sin escala cromática disponible. Se emplearon los aumentos 28, 126 y 280x.

III.4.6 Proporción sexual

Para cada localidad estudiada, así como para los estadios de madurez se determinó la proporción de sexos. Para ambos casos se realizó una prueba de Chi cuadrada (X^2 ; $\alpha=0.05$), para probar la hipótesis de una proporción entre macho y hembra.

III.4.7 Técnicas de sexado

Para hacer la comparación del sexado macroscópico (visual), y microscópico (técnica azul de toluidina, y hematoxilina y eosina), sólo se utilizaron a los individuos que presentaron desarrollo gonadal. Se efectuó un análisis de varianza a un $\alpha = 0.05$, para probar la hipótesis nula del sexado por medio de las tres técnicas son diferentes.

III.4.8 Variación Latitudinal en los estadios de madurez

Para determinar la variación de madurez gonadal en el gradiente latitudinal (ver fig. 1), se tomó la frecuencia observada relativa para cada estadio de madurez tanto para hembras, machos e indeterminados (individuos sin desarrollo gonadal). Se realizó la distribución de frecuencia de tallas para cada localidad, para relacionar la talla con las etapas de madurez.

III.4.9 Índice Gonadosomático

Para el cálculo del índice gonadosomático se consideró el peso de las gónadas completas. En los casos en los que no se contó con las cinco gónadas por individuo, el peso de uno solo de ellos se utilizó para calcular el peso de las restantes. La fórmula utilizada fue (Rodríguez Gutiérrez, 1992):

$$IG = W / D^3 * 100 \quad (1)$$

Donde:

IC = Índice Gonadosomático

W = peso de la gónada fijada

D = diámetro de la testa

Se realizó la prueba de Chi cuadrada (X^2 ; $\alpha=0.05$), para probar si existían diferencias significativas entre los promedios del índice gonadosomático de los erizos obtenidos en las ocho localidades estudiadas.

IV. Resultados

IV.1 Distribución de tallas

Se colectaron un total de 196 individuos en ocho localidades a lo largo de un gradiente latitudinal de la costa del Pacífico Nororiental. El límite de distribución de *Strongylocentrotus purpuratus* para el presente estudio fue de Isla San Clemente (EUA) (32°54'58"N, 118°31'53"W) a Arrecife Sacramento (México) (29°43'27"N, 115°46'1"W), (fig. 1). Del 72% de los individuos colectados se observó cierto grado de desarrollo gonadal, el 28% restante se encontró indiferenciado.

En la figura 5 se muestran los porcentajes de individuos con desarrollo gonadal por localidad (las localidades están ordenadas de norte a sur). Podemos observar que en China Point (2), Punta Banda (6) y Punta Colnett (8) todos los organismos presentaron desarrollo gonadal, mientras que en Isla Coronados (4) y Punta Jatay (5) (zona norte de Baja California) un gran porcentaje de erizos se colectaron sin desarrollo gonadal.

La distribución de frecuencia de tallas para el total de organismos tuvo un intervalo de tallas de 12.2 a 70 mm de diámetro, este grupo tuvo una media de 42.8mm, una desviación estándar de ± 8.6 con un coeficiente de variación (C. V.) del 20% (fig. 6).

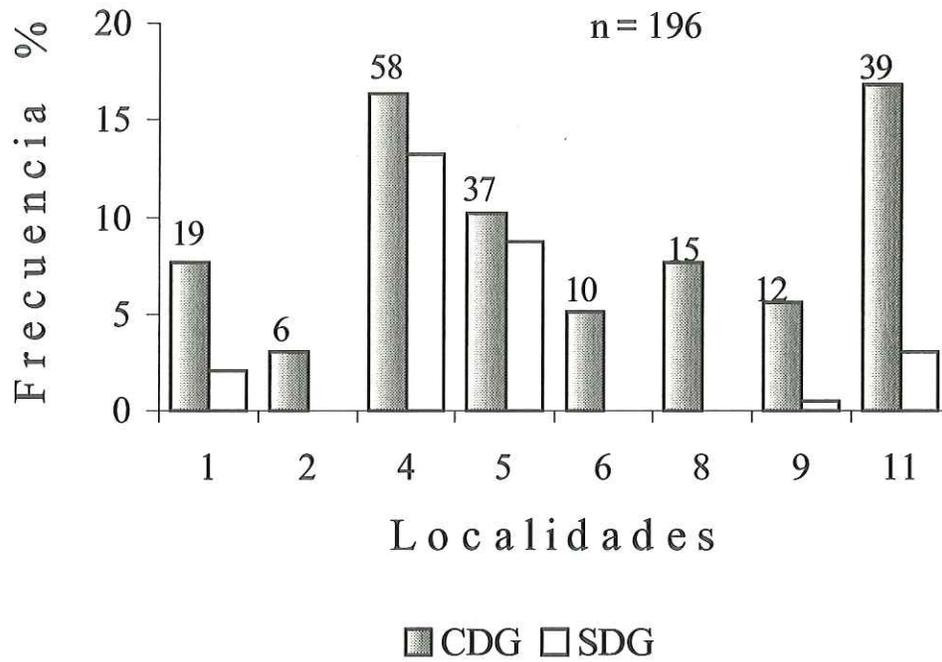


Figura 5. Porcentajes del desarrollo gonadal en el erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus*, colectados en un gradiente latitudinal de la costa del Pacífico Nororiental. Número arriba de la barra indica el número total de organismos colectados por localidad. CDG = con desarrollo gonadal; SDG = sin desarrollo gonadal.

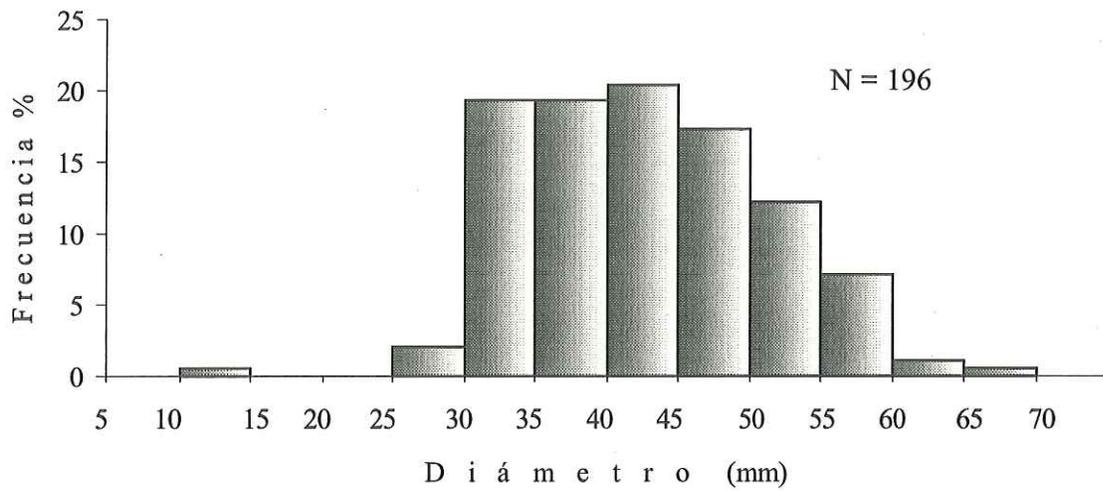


Figura 6. Distribución de frecuencia de tallas para el total de individuos de erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus*, colectados en un gradiente latitudinal en la costa del Pacífico Nororiental.

Del total de erizos examinados ($n = 196$) un 34.2% correspondió a hembras, el 37.2% a los machos, el 28.1% a individuos indeterminados y el 0.5% a un hermafrodita (ver sección IV.3).

La talla promedio de las hembras fue de 45mm, una desviación estándar de ± 7.6 con un C. V. del 16.8%. El 30% de los individuos estuvieron en la clase de talla de 40 a 45mm de diámetro. En cuanto a los machos la media fue de 44.6mm con una desviación estándar de ± 8 y un C. V. de 17.9%, un 22% de los individuos se observó en la clase de talla de 35 a 40mm (fig. 7).

Los individuos indeterminados obtuvieron una media de 38mm, una desviación estándar de ± 7.8 con un C. V. de 20.5%. Se observaron un 39% de los erizos en la clase de talla de 30 a 35mm. La media de este grupo correspondió a una talla menor que los individuos que se les determinó el sexo (fig. 7).

Se realizó un análisis de varianza para probar la hipótesis de igualdad de medias entre los grupos de las hembras, machos e indeterminados, el resultado indicó diferencias significativas entre los tres grupos ($p < 0.00$; $F = 13.9$).

Los parámetros estadísticos (número de individuos, intervalo de talla, media, desviación estándar y el coeficiente de variación) de los cuatro grupos se muestran en la tabla I.

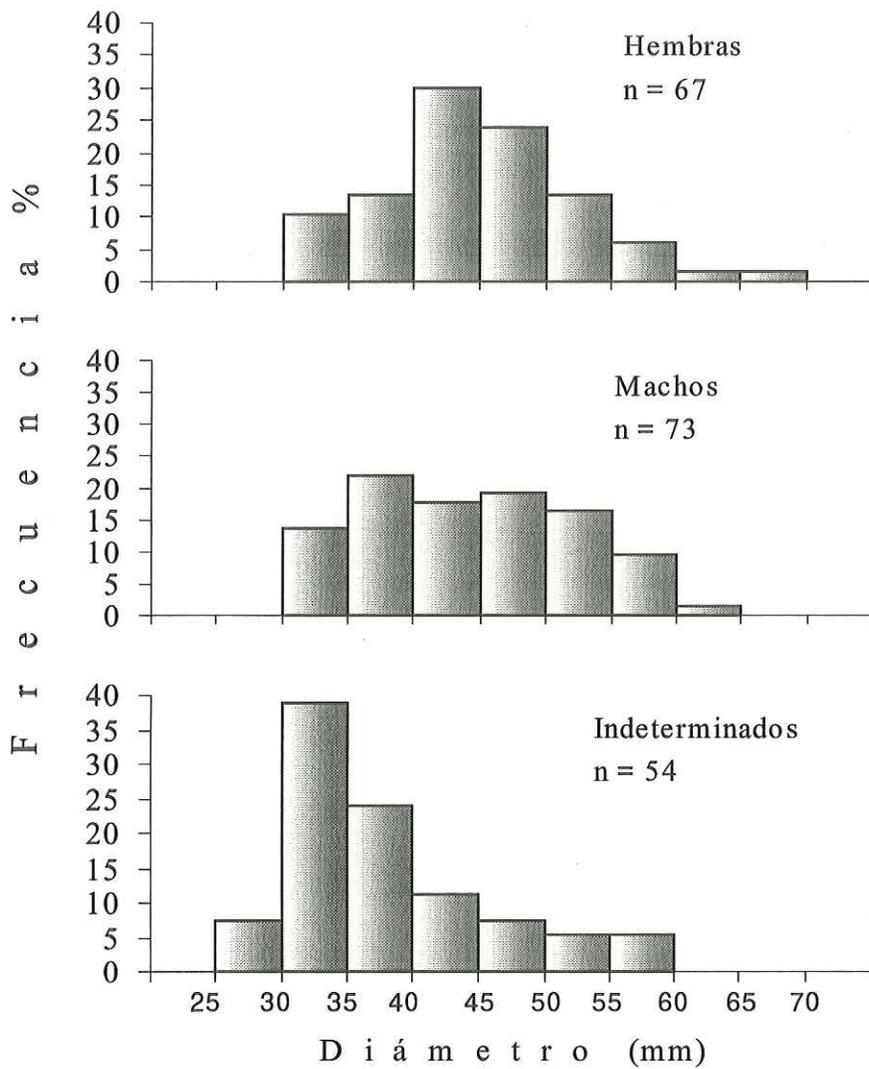


Figura 7. Distribución de frecuencia de tallas para los grupos de hembras, machos e indeterminados de erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus*, colectados en un gradiente latitudinal en la costa del Pacífico Nororiental.

Tabla I. Resumen de la distribución de tallas (mm) del erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus* colectados en la costa del Pacífico Nororiental.

Grupo	N	Intervalo de talla	Media	Desviación Estándar (\pm)	C. V. (%)
Total	196	12.2 - 70	42.8	8.6	20
Hembras	67	31.9 - 70	45	7.6	16.8
Machos	73	31.8 - 62.2	44.6	8	17.9
Indeterminados	54	26.9 - 58.2	38	7.8	20.5

Considerando seis de los estadios de madurez gonadal (ver sección III.4.1) se realizó la distribución de frecuencia de tallas por sexo (fig. 8). Todos los erizos que presentaron desarrollo gonadal estuvieron por arriba de los 30mm de diámetro.

El estadio cero (indiferenciado sexualmente), estuvo representado por un solo individuo, las características se muestran en la sección III.4.3

En el estadio I (inicial) cubrió el 15% del total de erizos morados colectados. La mayoría de los individuos se observaron entre las tallas de los 31.9 a los 69.1mm para ambos sexos (fig. 8). El 11% del total de individuos correspondió al estadio II (etapa gametogénica). Los erizos se ubicaron entre los 34 a 70mm de diámetro. El intervalo de tallas de 35 a 70mm correspondió a las hembras y de 34 a 42.6mm a machos (fig. 8).

En cuanto el estadio III (premaduro) el 22% del total de individuos se observó en esta etapa. La mayoría de los erizos se encontró entre los 40 a 45mm, el rango de tallas de 31.9 a 64.6 correspondió a las hembras y de 33 a 62.2mm para los machos.

El estadio IV (reproductiva) las hembras tuvieron un rango de talla de 34.7 a 53.8mm de diámetro y los machos de 31.8 a 55mm. En esta etapa se encontró un 19% del total de individuos. Finalmente el estadio V (desove o expulsión) obtuvo el 5% del total de individuos. El intervalo de tallas para este estadio estuvo entre los 36.2 a 58.2mm para las hembras y de 39 a 58.2 para machos (fig. 8).

Los parámetros estadísticos de la distribución de tallas los estadios de madurez se muestran en la tabla II. Tomando en cuenta los estadios III y IV (etapas premaduro y reproductiva) y considerando el valor mínimo observado, la talla a la cual se observó células maduras en las hembras fue de 31.9mm y para los machos de 31.8mm.

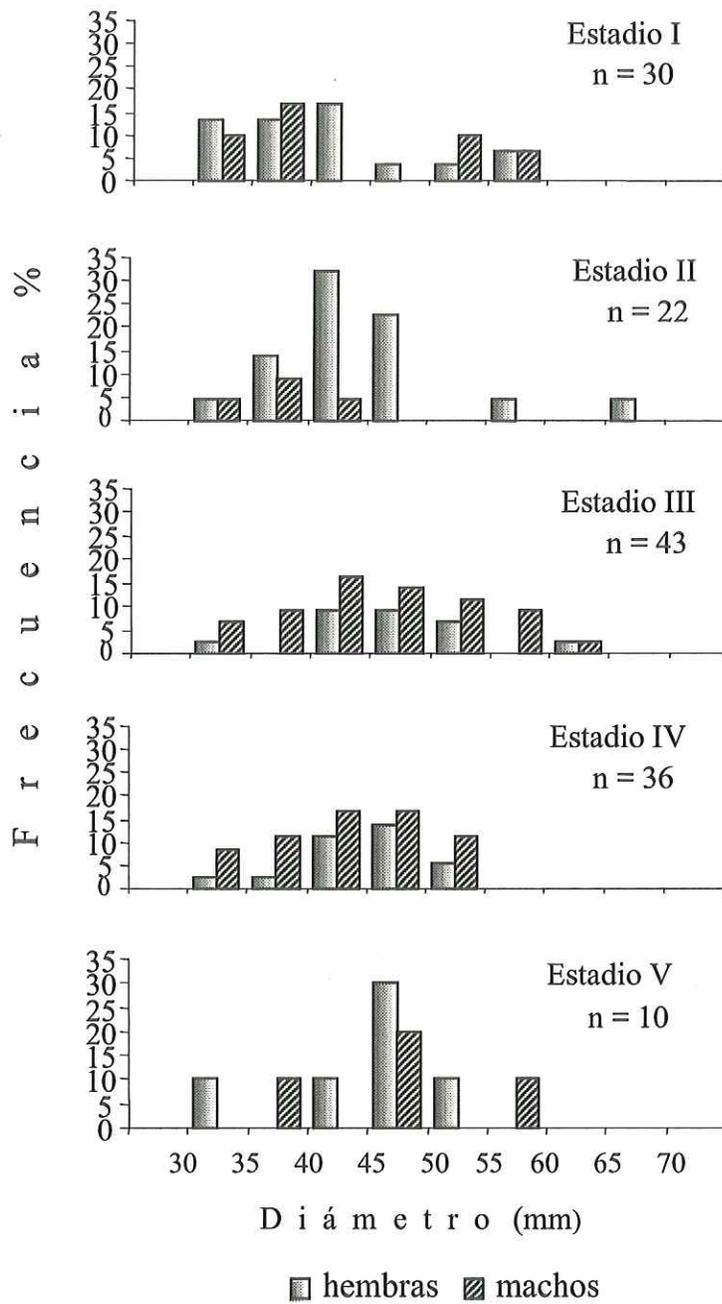


Figura 8. Distribución de frecuencia de tallas de los estadios de madurez para el erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus*, colectados en un gradiente latitudinal en la costa del Pacífico Nororiental.

Tabla II. Resumen de la distribución de tallas (mm) de los estadios de madurez del erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus* colectados en la costa del Pacífico Nororiental. H, hembras; M, machos. () = total de individuos.

Estadio		Intervalo de talla	Media	Desviación estándar (\pm)
I	H (17)	32.4 – 59.4	41.6	8.2
	M (13)	31.9 – 69.1	43	9.8
II	H (18)	35 – 70	45.2	8.2
	M (4)	34 – 42.6	38	3.5
III	H (13)	31.9 – 64.6	47.3	7.6
	M (30)	33 – 62.2	46.2	8
IV	H (13)	34.7 – 53.8	45	5.2
	M (23)	31.8 – 55	43.8	7.1
V	H (6)	36.2 – 58.2	49.4	7.3
	M (4)	39 – 58.2	48.6	7.8

IV.1.1 Proporción sexual

En la zona norte del área de estudio como en Seal Cove (1), China Point (2), e Isla Coronados (4) predominaron los machos, mientras que las hembras prevalecieron en la parte central como Punta Colnett (8) e Isla San Martín (9), por otro lado en las localidades de Punta Jatay (5) y Arrecife Sacramento (11), la proporción fue de 1:1.

De acuerdo al análisis de Chi cuadrada (X^2) no hubo diferencia significativa entre el número de machos y hembras de la población total ($X^2=0.35$; $F_{0.05,1}=3.84$; $p<0.05$). En la tabla III se muestra la proporción de machos y los valores de X^2 por localidad, de las cuales ninguna presentó diferencias significativas entre la proporción.

Tabla III. Proporción de machos por localidad con los valores de X^2 ($X^2_{0.05,1} = 3.84$).
 () = número de gónadas examinadas.

Localidad	Proporción de machos	$X^2_{obs.}$	p
1 (15)	0.6	0.60	0.44
2 (6)	0.83	2.6	0.10
4 (32)	0.56	0.5	0.48
5 (20)	1	-	1
6 (10)	0.60	0.4	0.53
8 (15)	0.33	1.6	0.19
9 (11)	0.45	0.09	0.76
11 (32)	1	-	1

La proporción de machos y los valores de Chi cuadrada ($\alpha = 0.05$) de los cinco estadios de madurez se muestran en la tabla IV, las etapas gametogénica y premaduro (estadios II y III), presentaron diferencia en la proporción 1:1.

Tabla IV. Proporción de machos por estadio de madurez con los valores de X^2 ($X^2_{0.05,1}=3.84$). () = número de gónadas examinadas; * = $p < 0.05$.

Estadio	Proporción de machos	$X^2_{obs.}$	p
I (30)	0.43	0.53	0.5
II (22)	0.18	8.9	0.05*
III (43)	0.69	6.7	0.05*
IV (36)	0.63	2.7	0.09
V (10)	0.4	0.4	0.5

IV.2 Escala morfocromática

Se presentan en las figuras de la 9 a la 13, las escalas morfocromáticas para la evaluación de madurez en el erizo morado.

Las características macroscópicas y microscópicas de cada estadio de madurez se muestran en la sección III.4.2 y III.4.3.

IV.2.2 Escala morfo cromática para determinar madurez en *Strongylocentrotus purpuratus*.

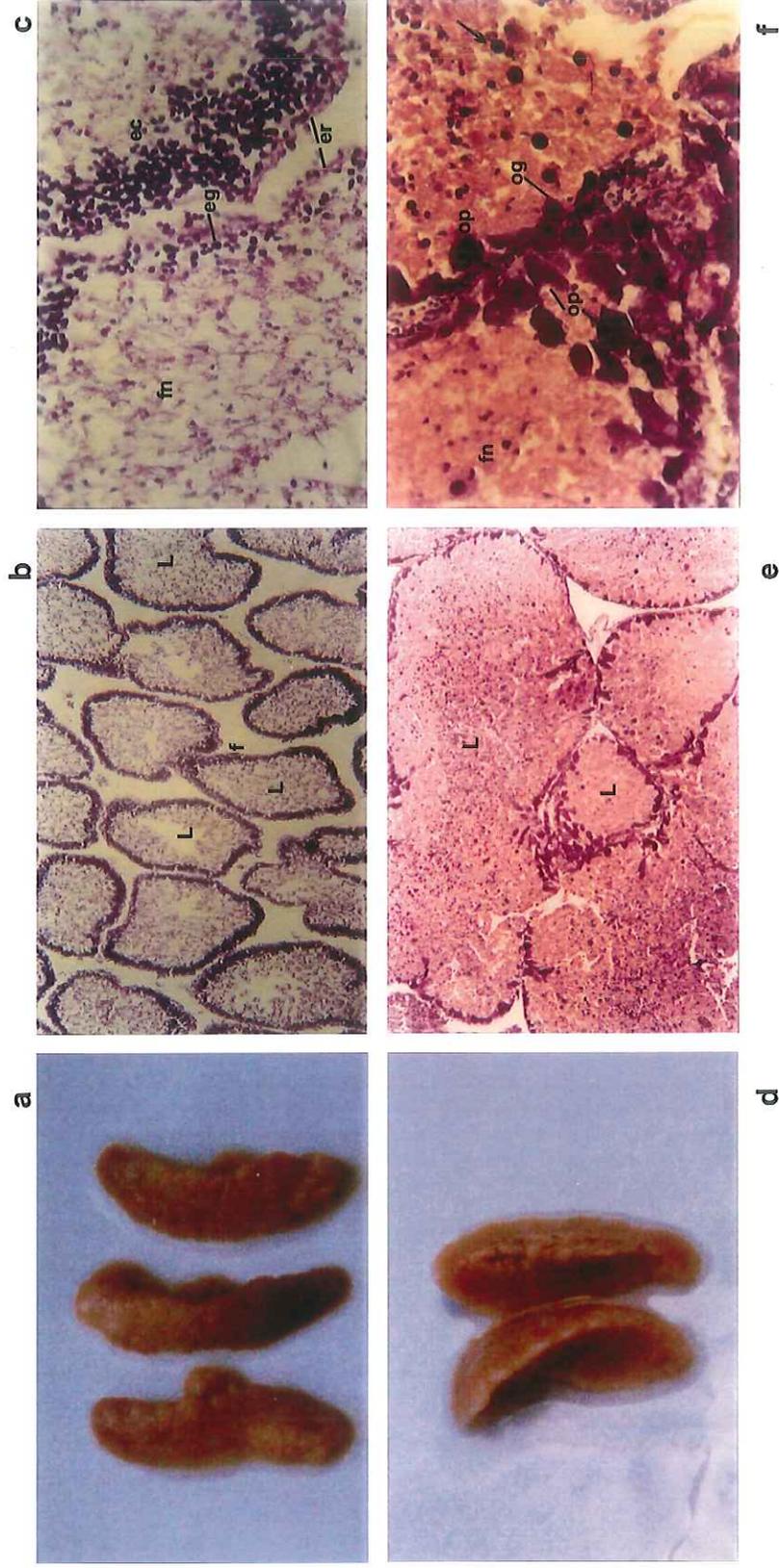


Figura 9. *Strongylocentrotus purpuratus*. Estadio I, etapa inactiva. Macho: a) Testículo; b) folículos en recuperación con grandes espacios vacíos, 28x; c) epitelio germinativo en proliferación, 126x. Hembra: d) Ovario; e) folículos recuperados llenos de fagocitos nutritivos, 28x; f) epitelio germinativo con numerosos ovocitos primarios, 126x. L, lumen; f, folículo; fn, fagocitos nutritivos; er, epitelio de revestimiento; eg, espermatogonía; ec, espermatocito; op, ovocito primario; flecha, inclusiones.

IV.2.2 Escala morfo cromática para determinar madurez en *Strongylocentrotus purpuratus*. Continuación.

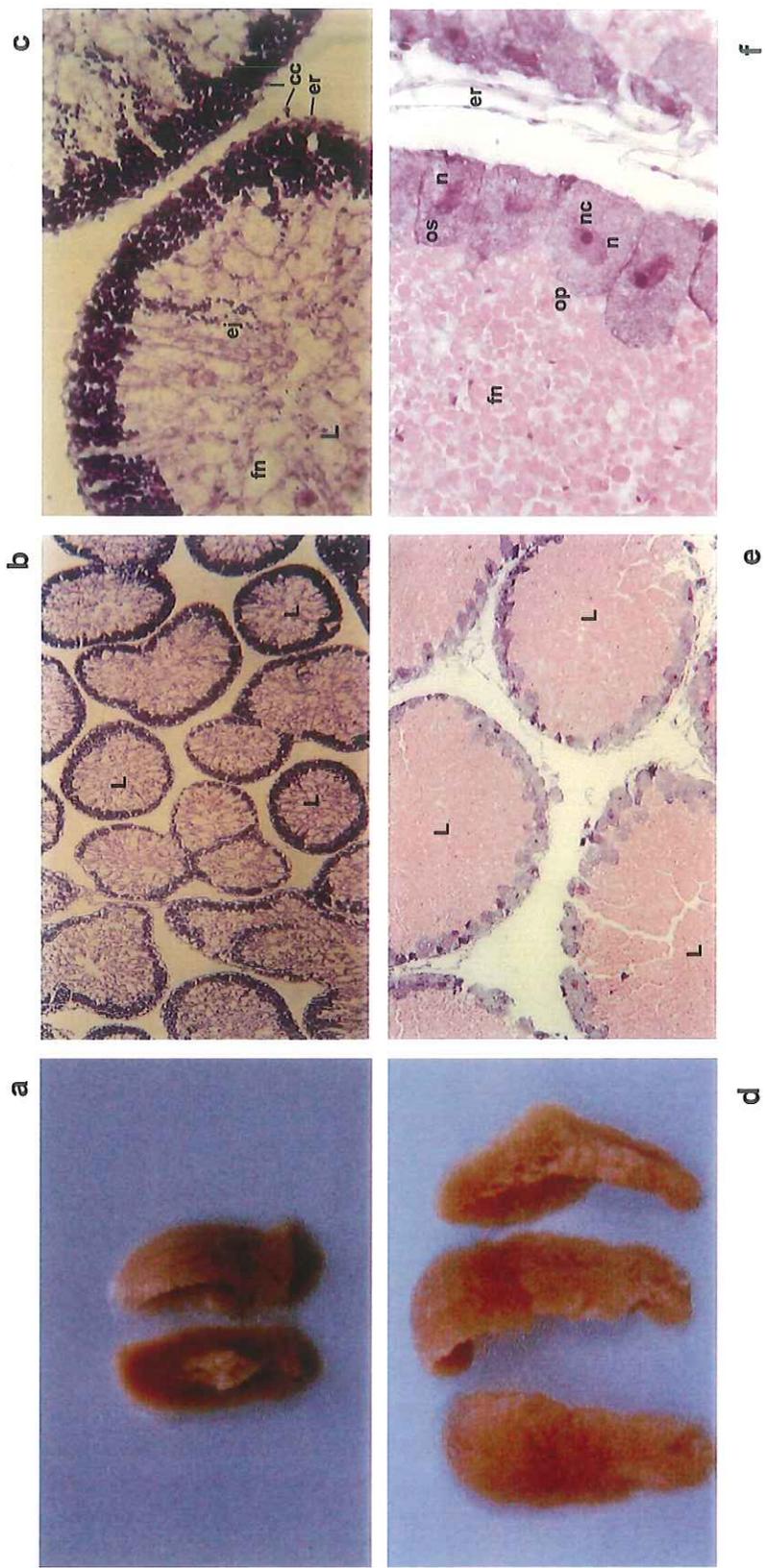


Figura 10. *Strongylocentrotus purpuratus*. Estadio II, etapa gametogénica.
Macho: a) Testículo; b) folículos bien conformados con numerosas hileras de espermatocitos, 28x; c) grupos de espermatocitos en forma de racimos, 126x.
Hembra: d) Ovario; e) folículos más grandes, las células del epitelio germinativo aumentan de tamaño, 28x; f) ovocitos primarios y secundarios, 126x.
 L, lumen; fn, fagocitos nutritivos; er, epitelio de revestimiento; cc, células cúbicas; ej, espermatocitos; op, ovocito primario; os, ovocito secundario; n, núcleo; nc, nucleolo.

IV.2.2 Escala morfo cromática para determinar madurez en *Strongylocentrotus purpuratus*. Continuación.

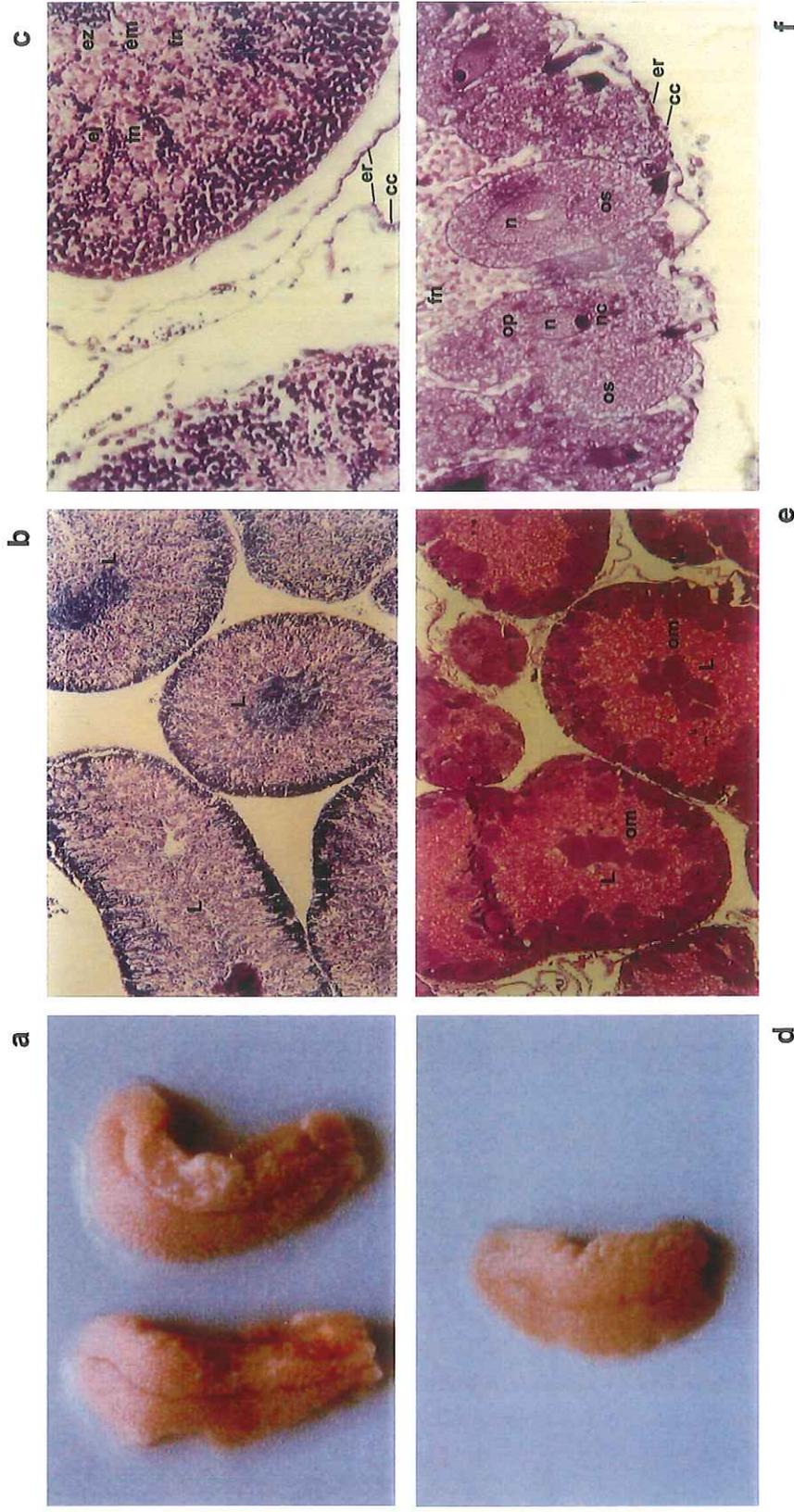


Figura 11. *Strongylocentrotus purpuratus*. Estadio III, etapa premaduro.
Macho: a) Testículo; b) lumen con parches de espermatídes y espermatozoides, 28x; c) epitelio germinativo con alta actividad de espermiogénesis, 126x. **Hembra:** d) Ovario con ovocitos maduros, 28x; e) lumen con ovocitos maduros y secundarios de gran tamaño, 126x. L, lumen; fn, fagocitos nutritivos; er, epitelio de revestimiento; cc, células cúbicas; ej, espermatíde joven; em, espermatíde maduro; ez, espermatozoide; om, ovocito maduro; op, ovocito maduro; os, ovocito secundario; n, núcleo; nc, nucleolo.

IV.2.2 Escala morfocromática para determinar madurez en *Strongylocentrotus purpuratus*. Continuación.

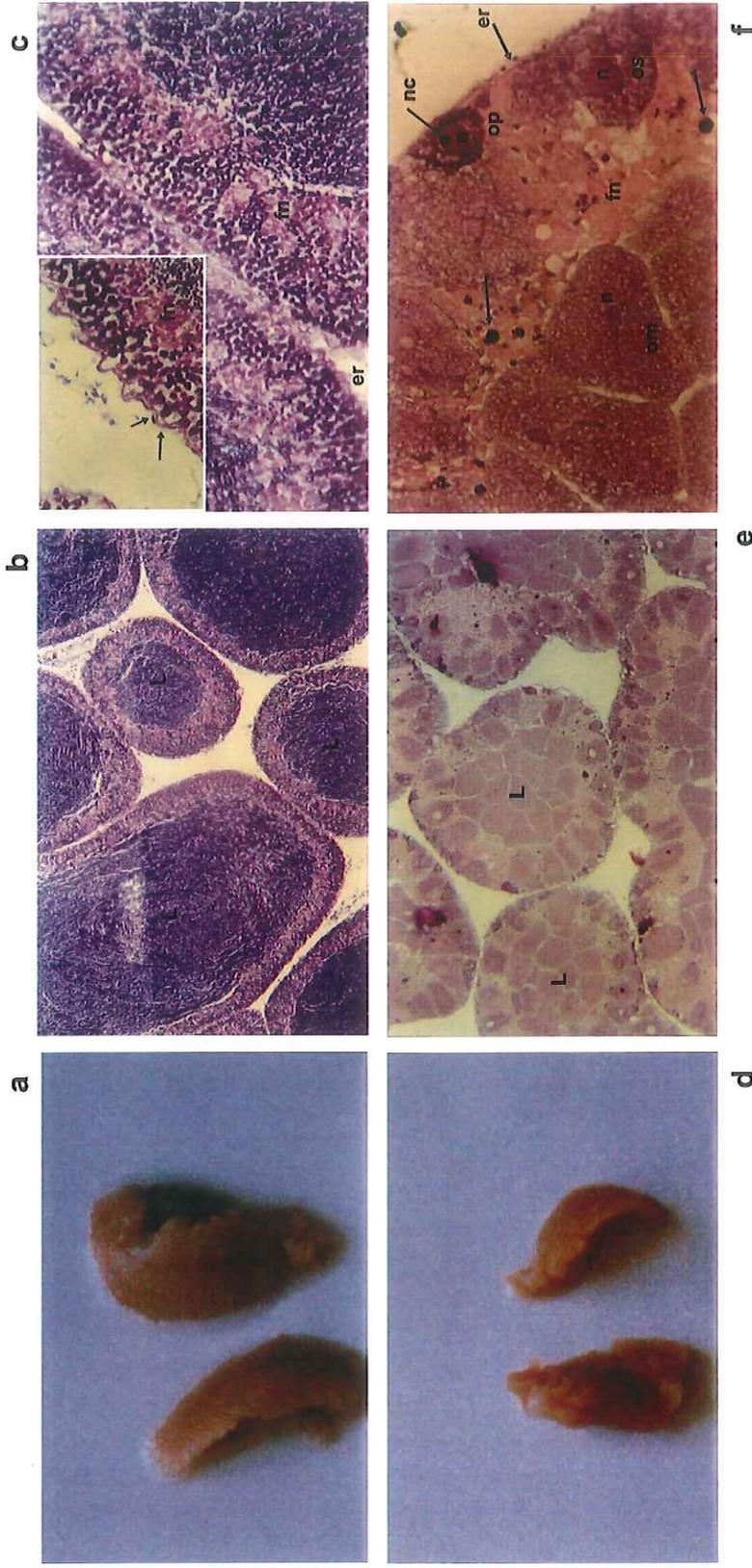


Figura 12. *Strongylocentrotus purpuratus*. Estadio IV, etapa reproductiva. **Machos:** a) Testículo; b) folículos de mayor tamaño, invadidos por espermatozoides y espermatides, 28x; c) epitelio germinativo con escasas hileras de espermatozoides, 126x. **Hembras:** d) Ovario; e) lumen conformado por óvulos, 28x; f) óvulos con su núcleo, 126x. L, lumen; er, fagocitos nutritivos; nc, núcleo; n, nucleolo; om, ovocito simple; op, ovocito maduro; os, ovocito primario; fn, fagocitos nutritivos; flecha, epitelio plano simple; flecha larga, inclusiones.

IV.2.2 Escala morfocromática para determinar madurez en *Strongylocentrotus purpuratus*. Continuación.

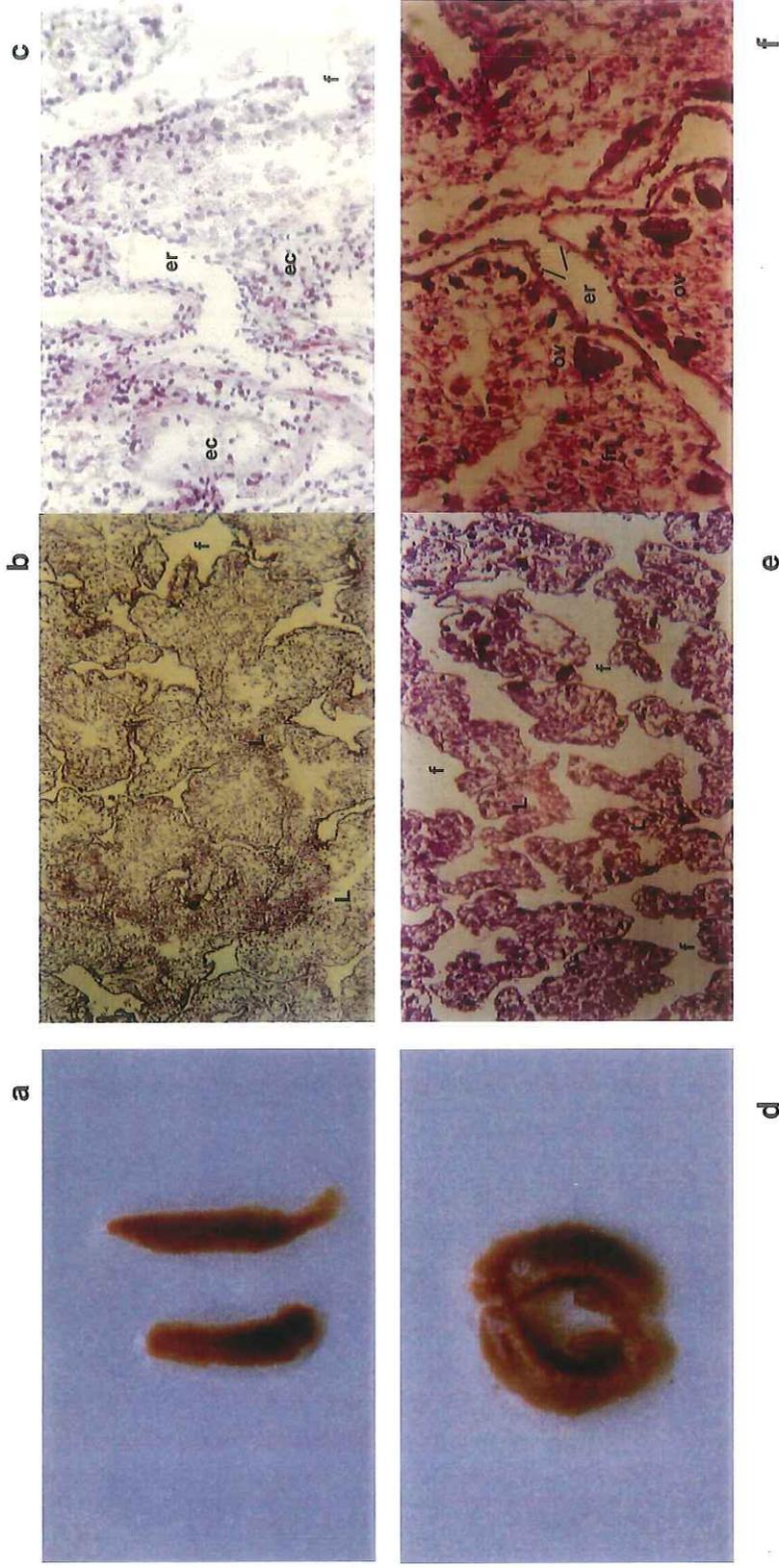


Figura 13 . *Strongylocentrotus purpuratus*. Estadio V, desove y/o expulsión.

Machos: a) Testículo, apariencia lisa; b) individuo con reciente expulsión de gametos, 28x; c) epitelio germinativo con espermatozoides dispersos 126x. **Hembras:** d) Ovario, apariencia rugosa ("despeinada"); e) individuo recién desovado, 28x; f) epitelio germinativo con ovocitos deformados, 126x. L, lumen; ec, espermatocitos; er, epitelio de revestimiento; f, folículo; fn, fagocitos nutritivos; ov, ovocitos.

IV.2.3 Dimensión de células

Los resultados de las mediciones se presentan en las tablas VI y VII donde se muestra la media, desviación estándar y el nivel de significancia entre individuos. Para el grupo de las hembras se observó diferencia significativa entre los diámetros de la célula característica de cada estadio estabilizándose el tamaño conforme avanza el desarrollo gonadal; en el estadio V podemos observar una considerable disminución en el diámetro del óvulo (tabla VI). En el grupo de los machos se observaron diferencias significativas en los espermatoцитos, espermatogonias y folículos de los estadios I, II y III respectivamente (tabla VII).

En general los niveles de significancia fueron bajos en las hembras demostrando gran variabilidad en las dimensiones de sus células, mientras que las células del testículo no presentaron cambio en sus diámetros como puede verse en los niveles de significancia en las tablas VII y VIII.

En la tabla VIII se muestra el resultado del análisis de varianza entre grupos, donde las espermatogonias (machos), ovocitos primarios y óvulo (hembras) presentaron diferencia significativa en cuanto a los estadios de madurez; los tipos celulares se agruparon de acuerdo a como fueron apareciendo en los estadios (ver tablas VI y VII).

Tabla V. Diámetro de las células entre individuos para el grupo de las hembras del erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*) de la costa del Pacífico Nororiental. Op, Ovocito primario; Os, Ovocito secundario; DE, desviación estándar. N = 9; * = nivel de significancia $p < 0.05$. Dimensiones en micras.

Célula		Estadio	Estadio	Estadio	Estadio	Estadio
		I	II	III	IV	V
Ovogonia	Media	7.4	7.3	7	6.9	-
	DE	1.5	1.38	1.4	1.8	-
	p	0.05	0.12	0.63	0.3	-
Ovocito Primario	Media	24.2	51.6	61.3	62	-
	DE	9	12.4	12.9	13.8	-
	p	0.05*	0.1	0.62	0.5	-
Op Núcleo	Media	12	18.9	24.3	23.4	-
	DE	2.9	5.2	5.6	6.9	-
	p	0.07	0.12	0.5	0.98	-
Op Nucleolo	Media	4.3	6.9	7.3	7.4	-
	DE	1.3	1.5	0.94	1.5	-
	p	0.11	0.08	0.75	0.08	-
Ovocito Secundario	Media	-	59	64	67.9	-
	DE	-	19.8	10.6	17.2	-
	p	-	0.05*	0.14	0.23	-
Os Núcleo	Media	-	24.6	30	30.4	-
	DE	-	11	2.7	7.1	-
	p	-	0.05*	0.89	0.64	-
Óvulo	Media	-	-	74.4	70.3	13.9
	DE	-	-	10.2	6	6.1
	p	-	-	0.05*	0.19	0.26
Fagocito nutritivo	Media	28.8	27.8	31.3	24.9	25.8
	DE	9.8	6.4	4.7	4	4.3
	p	0.05*	0.13	0.3	0.38	0.17
Folículo	Media	444.8	689.2	503.1	609.2	396.4
	DE	255.5	201.5	125.5	196.9	148.1
	p	0.39	0.41	0.46	0.65	0.38

Tabla VI. Diámetro de las células entre individuos para el grupo de las machos del erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*) de la costa del Pacífico Nororiental. DE, desviación estándar. n = 9; * = nivel de significancia $p < 0.05$. Dimensiones en micras.

Célula		Estadio I	Estadio II	Estadio III	Estadio IV	Estadio V
Espermatogonia	Media	4.7	4.7	4.6	4.5	-
	DE	0.57	0.68	0.42	0.43	-
	p	0.41	0.05*	0.236	0.85	-
Espermatocito	Media	3.3	3.1	3.3	3.1	-
	DE	0.14	0.32	0.26	0.35	-
	p	0.05*	0.1	0.78	0.36	-
Espermátide Joven	Media	-	1.6	1.6	1.6	-
	DE	-	0.04	0.1	0.08	-
	p	-	0.62	1	0.63	-
Espermátide Maduro	Media	-	2.1	2.15	2.24	-
	DE	-	0.14	0.2	0.2	-
	p	-	0.6	0.5	0.5	-
Espermatozoide	Media	-	-	2.6	2.6	2.6
	DE	-	-	0.1	0.1	0.1
	p	-	-	0.31	0.42	0.63
Fagocito nutritivo	Media	25.5	26.1	24.3	26.3	26.3
	DE	4.9	6.5	3.9	4.11	7.9
	P	0.2	0.08	0.75	0.38	0.78
Folículo	Media	546.3	314.7	451.1	685.9	437.3
	DE	191.6	90.9	157.8	223.2	205.4
	P	0.45	0.172	0.05*	0.55	0.34

Tabla VII. Análisis de varianza de dos vías del diámetro de las células entre estadios para machos y hembras de erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*) de la costa del Pacífico Nororiental. * = nivel de significancia $p < 0.05$. Dimensiones en micras.

	Célula	F	P
Machos	Espermatogonia	5.05	0.05*
	Espermatocito	0.05	0.95
	Espermátide Joven	0.3	0.75
	Espermátide Maduro	1.23	0.32
	Espermatozoide	0.45	0.65
	Fagocito Nutritivo	0.05	0.95
Hembras	Ovogonia	2.45	0.13
	Ovocito Primario	6.2	0.05*
	Ovocito Secundario	1.6	0.23
	Óvulo	4.5	0.05*
	Fagocito Nutritivo	1.45	0.3

IV.3 Organismo hermafrodita

Se identificó un individuo hermafrodita colectado en Arrecife Sacramento (localidad 11), el cual midió 43.2mm de diámetro. Este erizo se encontró en estadio premaduro predominando células testiculares. Los ovocitos se localizaron en la parte central y en la pared interna de los acinos; como se puede observar en la figura 14a, ovocitos primarios y secundarios se encuentran en contacto con espermátides y espermatozoides ubicados en el lumen, a la derecha de la figura 14b se muestra un ovocito primario en el epitelio germinativo totalmente aislado de células testiculares, claramente se observa su núcleo y nucleolo, a la izquierda de la figura podemos apreciar el lumen del folículo con numerosos espermátides y espermatozoides.

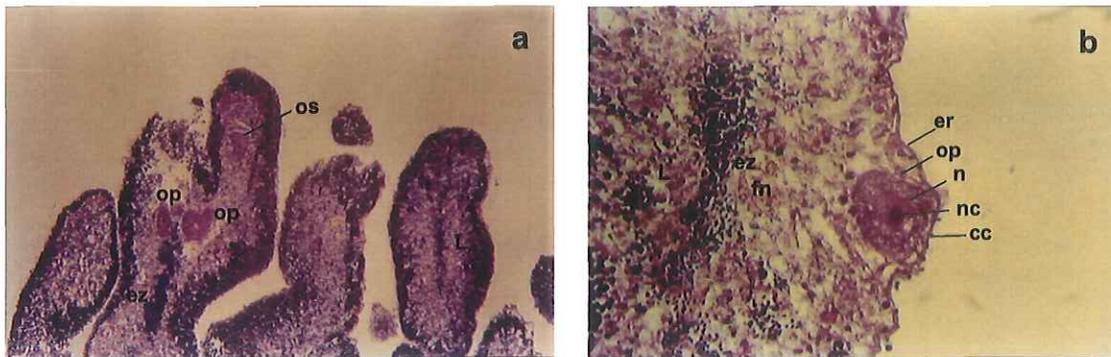


Figura 14. Hermafrodita de erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus*, colectado en Arrecife Sacramento, Baja California, México, (29°43'27"N, 115°46'1"W). a) 126x; b) 280x. L, lumen; cc, células cúbicas; fn, fagocitos nutritivos; er, epitelio de revestimiento; ez, espermatozoides; op, ovocito primario; os, ovocito secundario; n, núcleo; nc, nucleolo.

IV.4 Técnicas de Sexado

En la tabla VIII se presenta el resultado general de las tres técnicas empleadas para determinar el sexo. En los individuos diferenciados sexualmente se observó una amplia diferencia entre la técnica macroscópica (visual) y las otras dos técnicas microscópicas (azul de toluidina, y hematoxilina y eosina).

La hipótesis nula de que el sexado por medio de las tres técnicas son diferentes, se rechaza, ya que no existe diferencia significativa entre éstas de acuerdo al análisis de varianza ($p = 0.27$; $F = 1.3$; $n = 141$).

Tabla VIII.- Determinación del sexo por medio de tres técnicas diferentes (n=141). (T.A.T.: técnica azul de toluidina; H.E.: hematoxilina y eosina).

Sexo	Visual	T. A. T.	H. E.
Hembras	93	73	67
Machos	42	68	73
Indeterminado	6	0	1

IV.5 Variación en el desarrollo gonadal

La variación en el desarrollo gonadal se reporta por localidad (ordenadas de norte a sur) (fig. 15).

Las poblaciones de las localidades de Seal Cove y China Point en Isla San Clemente (EUA), se encontraron en una etapa avanzada de desarrollo gonadal. En Seal Cove el 39% de los erizos se observó en etapa premaduro (III), mientras que China Point el 66.6% se encontraba en ese mismo estadio. Las tallas en ambas poblaciones estuvieron por arriba de los 35mm de diámetro, (tabla II). Como se puede observar el intervalo de tallas es amplio en la localidad de Seal Cove, oscilo entre los 35.2 a los 64.6mm, el coeficiente de variación (C. V.) fue de 13.9%, mientras que China Point el rango de tallas estuvo entre los 49.7 a 56.6mm de diámetro y un C. V. de 4.8%. Esta última localidad a pesar del pequeño número de erizos colectados, muestra una tendencia muy similar en su desarrollo gonadal a Seal Cove.

Al norte de Baja California las localidades de Islas Coronados y Punta Jatay presentaron dos poblaciones que muestran una similitud en su desarrollo, se encontró erizos en los seis estadios de madurez prevaleciendo los organismos sin desarrollo gonadal (VI). En I. Coronados el 22% de erizos se encontraba en etapa inicial (I), mientras que en P. Jatay el 29% estaba en etapa premaduro (III). La distribución de frecuencia de tallas en I. Coronados es muy estrecha con un rango de tallas de los 29 a 44.7mm con un C. V. de 9.5%; en cambio P. Jatay se observó un intervalo de tallas mucho más amplio de 27.2 a los 70mm de diámetro y un C. V. de 20.9%.

En la parte central del área de estudio se observan dos poblaciones que muestran una clara similitud en el desarrollo gonadal, como se puede apreciar en las localidades de Punta Banda y Punta Colnett los erizos se encontraron en el estadio de gametogénesis (II), Premaduro (III) y Reproductiva (IV), prevaleciendo esta última. El 80% de los erizos en P. Banda se encontró en etapa reproductiva y en P. Colnett el 62%. El intervalo de tallas de ambas localidades fue muy estrecho de 42.1 a 55mm para P. Banda, y de 44 a 51.6mm de diámetro para P. Colnett, el C. V fue de 10.1% y de 3.8% respectivamente.

Las poblaciones de Isla San Martín y Arrecife Sacramento correspondientes a la parte sur del área de estudio fueron parecidas entre sí. En la población de I. San Martín se encontró el 40% de los erizos en estadio V (desovados y/o expulsión) y un 29% se hallaba en gametogénesis (II). En A. Sacramento un 29% se encontraba en la etapa premaduro, y un 32% a reproductiva. El intervalo de tallas fue amplio para ambas localidades oscilando de los 39 a 57.6mm con un C. V. de 12% y los 26.9 a 52.5mm de diámetro y un C. V. de 19.2% en I. San Martín y A. Sacramento respectivamente.

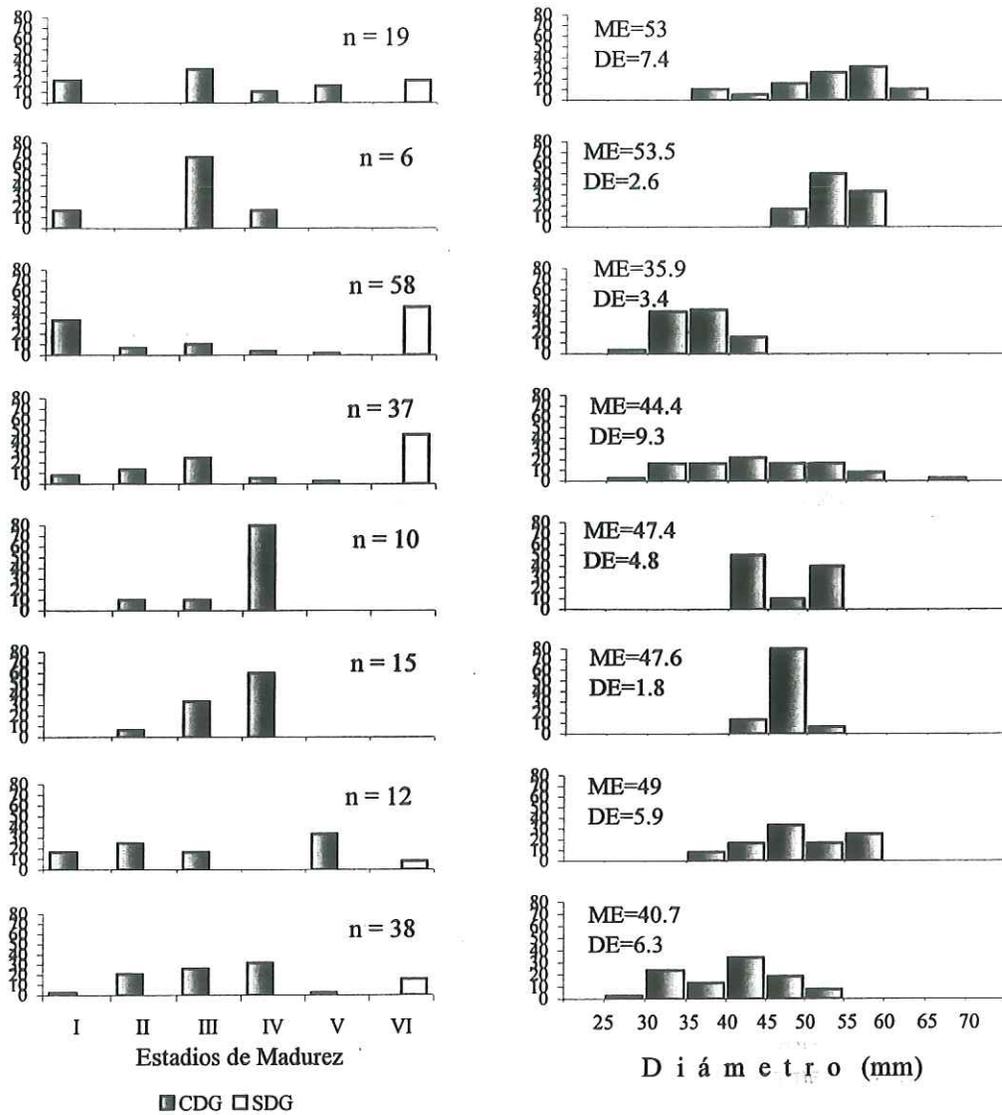


Figura 15. Variación en el desarrollo gonadal y distribución de frecuencias de tallas para el erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus* en un gradiente latitudinal de la costa del Pacífico Nororiental. CDG = con desarrollo gonadal; SDG = sin desarrollo gonadal; ME = media; DE = desviación estándar.

IV.6 Índice Gonadosomático

En la tabla IX se muestra el Índice gonadosomático (IG) por sexo para cada localidad, como se puede observar en Arrecife Sacramento (11) obtuvieron el mismo índice ambos sexos, en esa misma estación la proporción sexual fue 1:1 (tabla II), los valores más bajos se presentaron en Isla San Martín (9) y los altos en Punta Banda (6) y Punta Colnett (8); en las demás localidades mostraron un nivel de significancia mayor a $p > 0.05$ de acuerdo a la prueba X^2 ($\alpha = 0.05$).

Tabla IX. Índice gonadosomático (IG) entre localidades con los valores de X^2 ($X^2_{0.05,1} = 3.84$) para hembras (H) y machos (M). () = número de individuos.

Localidad	I G		I G Ambos sexos	X^2 obs.	p
	H	M			
1	1.5 (6)	1.7(9)	1.6	0.012	0.9
2	-	-	2.2	-	-
4	1.2 (14)	1.4 (14)	1.3	0.12	0.73
5	1.5 (10)	1.6 (10)	1.5	0.003	0.95
6	-	-	3.1	-	-
8	4.9 (7)	3.6 (4)	4.4	0.2	0.65
9	0.7 (6)	0.8 (5)	0.7	0.006	0.9
11	2.1 (14)	2.1 (14)	2.1	-	-

El índice gonadosomático no mostró relación con el régimen de temperatura como se observa en la figura 16. Con el coeficiente de correlación (r) se corroboró lo anterior ($r = 0.12$; $F = 0.075$; g. l. = 6). Los valores del IG corresponden a ambos sexos por localidad a excepción de Seal Cove (1), la cual no se tomó la temperatura de fondo.

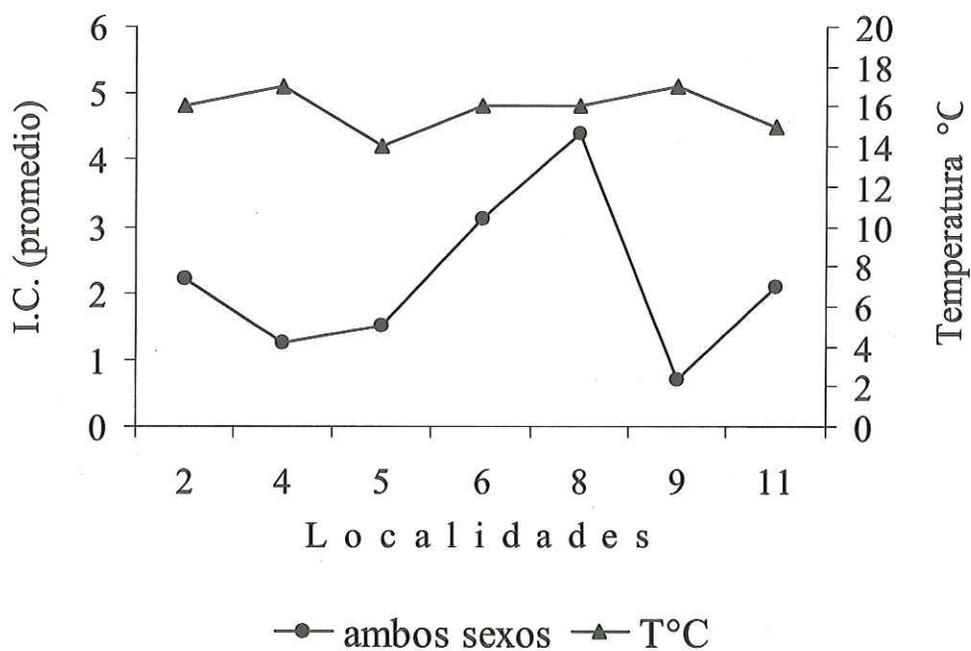


Figura 16. Relación del índice gonadosomático con el régimen de temperatura en las localidades de la costa del Pacífico Nororiental.

IV.7 Parasitismo

Se registraron 62 individuos con un parásito en sus gónadas correspondiendo a un 31.6% del total de las muestras (fig. 17). Los parásitos se observaron frecuentemente en erizos colectados en las localidades de Isla Coronado (4) y Punta Jatay (5) ubicadas al norte de Baja California, además de Arrecife Sacramento (11) localizada en la parte sur, disminuyendo el número de organismos infectados en las localidades de China Point (2), Punta Banda (6) e Isla San Martín (4). En la tabla X se indica la prevalencia del parásito en las localidades.

Tabla X. Prevalencia del parásito en el erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus*, en las localidades y para ambos sexos. () = número de individuos con parásito.

Localidad	Total de individuos	% de individuos con parásito	% de hembras con parásito	% de machos con parásito
1	19 (0)	-	-	-
2	6 (1)	16.7	-	16.7
4	58 (15)	25.9	13.8	12.1
5	37 (19)	51.4	27.1	24.3
6	10 (1)	10	10	-
8	15 (0)	-	-	-
9	12 (4)	33.3	25	8.3
11	39 (22)	56.4	30.8	25.6
Total	196 (62)	31.6	17.3	14.3

En la figura 17 se muestra la morfología del parásito; por las características que presenta y de acuerdo a la clasificación de Lamothe Argumedo (1983) se trata un gusano plano del Phylum Platyhelminthes de la clase Aspidogastrea. El parásito presenta varias capas, una cutícula gruesa exterior una capa intermedia constituida por músculo y por debajo de éste se encuentra el mesénquima, una estructura en forma de red que se encuentra llena de líquido, y en el interior se encuentra un grueso tubo digestivo (fig. 17b). Otra de las particularidades es que posee una estructura llamada acetábulo, una ventosa que se compone de músculo provisto de glándulas adhesivas (fig. 17a). Las observaciones histológicas del parásito en distintas partes de su cuerpo llevaron a la conclusión de que se trata del mismo organismo pero en diferente grado de desarrollo, localizándose en la gónada dentro del folículo, entre el epitelio de revestimiento y el epitelio germinativo, y fuera de los folículos.

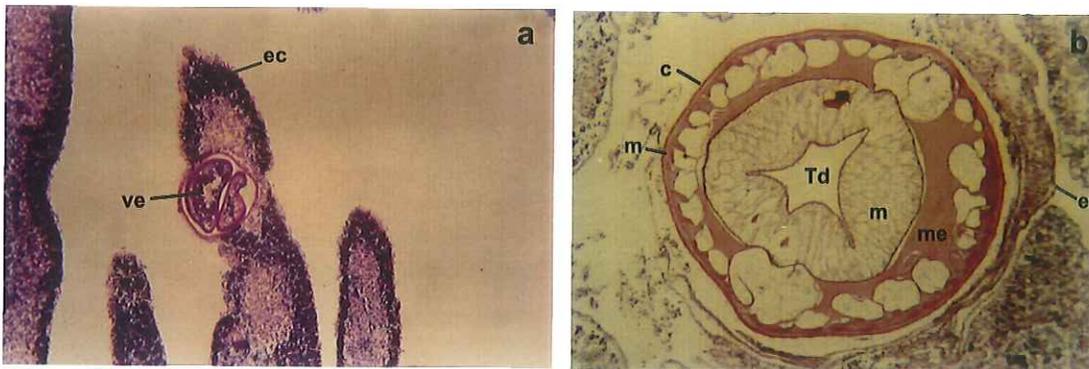


Fig.17. Parásito encontrado en las gónadas de erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus*, colectados en un gradiente latitudinal de la costa del Pacífico Nororiental. a) 28x; b) 126x. c, cutícula; ec, espermatozoides; er, epitelio de revestimiento; m, músculo; me, mesénquima; Td, tubo digestivo; ve, ventosa.

V. DISCUSIONES

V.1 Distribución de tallas

La población de erizo morado en el presente estudio, estuvo conformada principalmente por adultos y un individuo inmaduro, la distribución de tallas mostró un amplio intervalo que osciló de los 12.2 a los 70mm de diámetro, siendo los más abundantes entre los 40 a 45mm con una media de 42.8mm.

Los estudios realizados en distintas latitudes han registrado variados intervalos de tallas. Ebert (1977), en una población de Bahía Misión California (32° 46' N) reportó una talla promedio de 39mm y un rango de talla de 22.6 a 67.5mm. Kenner y Lares (1991), en una población de Stillwater Cove, California (36° 34' N, 121° 57' W) observaron tallas que oscilaban de 0.40 a 40mm. Velez Andrade (1997), durante un ciclo anual en Isla Todos Santos reportó un rango de tallas de los 20 a los 60mm de diámetro. Esta variabilidad en tallas esta asociada a que la recolectas en los diferentes trabajos se realizaron de acuerdo con criterios específicos y particulares a cada estudio. Bajo estas condiciones es difícil hacer comparaciones directas sobre la variación de tallas encontradas en este trabajo.

La profundidad es un factor importante en cuanto a la distribución de tallas como se ha reportado en la literatura. Velez Andrade (1997) observó diámetros de alrededor de los 20mm en la zona intermareal, por otro lado Pérez Rodríguez (1995), colectó erizos de aproximadamente 60mm a más de 20 metros de profundidad en Punta Cabras. Pearse *et al.*, (1986) mencionan que el intermareal es un sitio favorable para el reclutamiento, y puede encontrarse juveniles de erizo durante todo el año. Esto podría indicar que los erizos migran a aguas más profundas, posiblemente en busca de alimento y para reproducirse.

La distribución de tallas por sexos se observó gran variabilidad en tallas en las hembras que en los machos. Lo contrario a lo que se esperaba el análisis de varianza indicó diferencias significativas en la distribución de tallas entre hembras, machos e indeterminados (Tabla I).

La distribución de tallas por estadios de madurez en hembras y machos aparentemente no presentaron diferencias en cuanto a las tallas (tabla III). En este estudio se observaron individuos maduros a los 31.9mm de diámetro, sería difícil catalogar esta talla como de primera madurez de esta especie en particular, ya que las poblaciones estudiadas se limitan sólo a los sitios muestreados y parte de la estación de otoño.

Gonor (1972), registró tallas de primera madurez de 25 a 30mm de diámetro, en las poblaciones de Yaquina Head y Bahía Boiler en Oregon, inclusive por debajo de este rango. Por otro lado Kenner y Lares (1991), examinaron una población de erizo morado en la costa central de California, donde reportaron una talla reproductiva de 16mm. Morris *et al.* (1980), mencionan que en general *Strongylocentrotus purpuratus* alcanza su talla reproductiva a los 25mm, aproximadamente a su segundo año de vida.

La distribución de tallas entre poblaciones fue muy variante debido al diferente tamaño de muestra; sin embargo, se observó una tendencia a tallas más grandes en la zona norte del área de estudio (fig. 15). En las poblaciones de erizo en las localidades de Isla San Clemente (EUA) se colectaron erizos que estuvieron por arriba de los 35mm de diámetro. En Punta Banda, P. Colnett e Isla San Martín el pequeño tamaño de muestra, no permite un análisis completo de comparación entre la distribución por tallas. En el resto de las localidades como Isla Coronados y Punta Jatay los erizos presentaron tallas muy similares a las encontradas en Isla San Clemente.

Una de las hipótesis de Ebert y Russell (1988), es la existencia de un alto reclutamiento en latitudes menores y que llega a disminuir progresivamente con el incremento de la latitud, sin embargo su estudio realizado en la costa central de California y Oregon, la frecuencia de tallas de erizo morado no mostró una tendencia a disminuir o aumentar con la latitud, él atribuye esto a la topografía del sitio donde se colectaron los erizos; sus resultados podrían explicar las tallas observadas para este estudio, donde no existe una aparente disminución o incremento progresivo de las tallas de los erizos en los sitios de muestreo (fig. 15).

V. 2 Proporción Sexual

La proporción sexual entre hembras y machos recolectados en las diferentes localidades se mantuvo en una relación 1:1 (tabla III), al igual que lo reportado por Pérez y Rodríguez (1995) y Velez Andrade (1997). En cuanto a la proporción por estadios de madurez, presentaron diferencias en las etapas gametogénica (II) y premaduro (III) (tabla IV), observándose un mayor número de machos, esto puede deberse a que los machos una vez que entran en el proceso de espermiogénesis, la diferenciación de espermátide a espermatozoide es muy rápida, esto hace que maduren primero que las hembras, de esta manera el esperma esta disponible durante cualquier estación del año para garantizar la reproducción (Bennett y Giese, 1955; Fuji, 1960b; Longo y Anderson, 1969).

En general las poblaciones de distintas especies de erizo de mar no presentan diferencias con la relación a la proporción macho-hembra, como se ha observado en el erizo blanco *Loxechinus albus* en la costa de Chile (Palma y Arana, 1996) y para la especie *Stroglyocentrotus droebachiensis* en la costa Noruega (Meidel y Scheibling, 1998).

V. 3 Escala morfocromática

Los trabajos enfocados a la determinación de estadios de madurez gonadal han tomado los criterios de Fuji (1960a), este autor estableció seis etapas de desarrollo gonadal para explicar el proceso gametogénico en los erizos *Strongylocentrotus nudus* e *S. intermedius*, en Hokaido Japón, varios autores basándose en esta clasificación han realizado estudios con distintas especies de erizo en zonas geográficas diferentes, tales como los de Chathlyne (1969) quien estudio a *Strongylocentrotus purpuratus* y los de Walker y Lesser (1998), quienes estudiaron a *S. droebachiensis*.

Para este trabajo la clasificación de los estadios de madurez, se basó en la escala de madurez de las diferentes células de las gónadas, y tomando las características de los trabajos antes mencionados. Los resultados del análisis histológico del presente estudio, coinciden plenamente con lo registrado por Holland y Giese (1965), y Chatlyne (1969) para esta misma especie.

A pesar de que en este trabajo se restringe parte de la estación de otoño se colectaron individuos representantes de los seis estadios considerados, inclusive en algunos sitios se llegaron a observar individuos en todas las etapas de desarrollo gonadal. Meidel y Scheibling (1998), habían registrado este fenómeno en la especie *S. droebachiensis*, la cual presentó dos o tres estadios de madurez en una misma localidad y estación del año. Esta variación de madurez gonadal en una misma población, puede atribuirse a las perturbaciones ocasionadas por las fluctuaciones de temperatura en un determinado hábitat, el cual puede ocasionar más de un desove al año, como lo señala Gonor (1973b).

Los estadios de madurez en los trabajos antes mencionados, difieren un poco en cuanto a la clasificación. Para este estudio, en la etapa inactiva o inicial se clasificaron a los

erizos que se iniciaban reproductivamente, como aquellos que se observaron en proceso de recuperación como lo sugiere Fuji (1960a). El estadio II es referido por muchos autores como etapa de crecimiento, considerando el aumento de tamaño de las células al acumularse vitelo progresivamente al citoplasma celular (Chatlynne 1969, Holland y Giese 1969, Meidel y Scheibling 1998). Este criterio puede observarse en los ovocitos, por otro lado en los machos no ocurre así, en esta etapa no existe un crecimiento celular como tal, sino un fuerte proceso espermatogénico donde proliferan espermatozoides, por tal motivo se le llamo etapa gametogénica, ya que es en este estadio cuando nuevamente empieza este ciclo.

Los estadios de madurez prematuro y reproductivo son referidos en la literatura igual como se clasificó en este estudio. En los trabajos antes mencionados incluyen el estadio parcialmente desovado como estadio V y, desovado propiamente dicho como estadio VI, en el presente estudio ambos se anexaron en la etapa V. Cabe mencionar que se observaron tres distintas características en esta etapa de las cuales son descritas en la sección III.4.3 (estadio V, desove y expulsión). Estas diferencias pudieran estar directamente relacionadas con el proceso fagocítico. Conforme avanza este evento los vestigios celulares progresivamente se reabsorben y los fagocitos nutritivos se vuelven no globulados, por lo que se aprecian grandes espacios vacíos.

Otra característica importante de este estadio es la fácil apreciación del tejido conectivo porque se vuelve muy flexible, en los demás estadios llega a ser muy delgado y tirante lo que dificulta su observación. Esta apreciación había sido reportada por Holland y Giese (1965), quienes además mencionan que los vestigios celulares como los ovocitos

ubicados en el epitelio germinativo pueden llegar a transformarse en ovocitos maduros en el siguiente ciclo gametogénico.

En el estadio VI se anexaron a los individuos indeterminados (sin desarrollo gonadal), considerando el proceso fagocítico observado en el erizo morado en este estudio, es factible que estos individuos se encontraban en una avanzada reabsorción, por lo que la gónada se colapsa totalmente, lo cual impidió su extracción.

En la literatura (Holland y Giese, 1965, Walker *et al.* 1998), las células accesorio o fagocitos nutritivos son catalogados como elementos importantes en el ciclo gametogénico, sus funciones son diversas a lo largo de este evento, uno de ellos es el de transferir nutrientes en el proceso de ovogénesis. Walker *et al.* (1998) indicaron que en la especie *Strongylocentrotus droebachies* el principal componente de los fagocitos es una glicoproteína que llega a desaparecer de éstos, conforme avanza el evento de gametogénesis en las hembras, llegando a ser el mayor constituyente de vitelo de los ovocitos. Por otra parte no se ha identificado este componente en las células germinales de los machos en ninguna etapa del evento de espermatogénesis.

Holland y Giese (1965), mencionan que los fagocitos nutritivos también son reguladores de la tasa de acumulación de espermatozoides en el lumen, esto quiere decir, que no solamente fagocitan residuos celulares sino espermas recién formados, espermátides así como espermatoцитos. Esta aseveración se comprobó en el presente estudio observándose fagocitos con células en su interior en las etapas III y IV, sin embargo fue difícil discernir si eran espermatoцитos o espermatozoides dentro de los pequeños gránulos conformados por los fagocitos y las células. Este fenómeno ocurría sobre todo en los folículos con un grueso epitelio germinativo. Pearse (1980), reportó una característica

similar, el autor menciona que al tener muchas capas de espermatocitos el evento de espermatogénesis es más prolongado, por lo que el número de células maduras será mucho mayor, que aquellos que solo tienen pocas hileras de espermatocitos. Esta aseveración puede explicar la causa de fagocitar espermatozoides, de esta manera existe un control en la abundancia de éstos.

Toda la literatura antes citada detalla cada estadio de madurez microscópicamente. Algunos autores relacionaban estas características con las de la gónada, sin embargo no proporcionaban estas referencias de manera visual, por esta razón se propone una escala morfo cromática en este trabajo, con toda la información esencial y resumida, para optimizar la evaluación de madurez en erizo morado. Este tipo de escala se ha realizado con distintos organismos, como en la anchoveta *Engraulis mordax mordax* (Tapia Vázquez *et al.* 1988), macarela *Scomber japonicus*, pepino marino *Parastichopus parvimensis* e *Isostichopus fuscus* y erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (Tapia Vázquez *et al.* 1995).

V. 4 Dimensión de tipos celulares

El análisis de varianza de los diámetros de los ovocitos entre individuos mostró diferencias en el tipo celular característico de cada estadio en el grupo de las hembras. Esto se debió principalmente porque conforme avanza el desarrollo de las células, éstas presentan un evidente crecimiento, por tal motivo se observaron diferentes tamaños en los estadios. La variación de los fagocitos nutritivos en estadio I se debe a la extensa área para distribuirse en el acino y tienden a tener un sin fin de formas y dimensiones.

Es importante mencionar que la variabilidad en tallas del óvulo en etapa III es porque tienden a formar hexágonos, pentágonos u óvalos, al no tener una forma definida puede explicarse esta variación (tabla VI).

Las células del testículo presentan un diámetro estándar que no cambia a lo largo del evento espermatogénico. Sin embargo la variabilidad presentada por los espermatocitos en estadio I, en gran parte se debió porque se consideraron dos tipos celulares diferentes (espermatocitos primarios y secundarios). En el estadio II las espermatogonias presentaron diferencias significativas en sus diámetros. Holland y Giese (1965) mencionan que existe una alta actividad de división mitótica por parte de estas células, lo cual puede explicar su variación. Así mismo los folículos se observaron muy variantes en sus dimensiones, ya que conforme avanza el crecimiento celular éstos también aumentan de tamaño.

Con el análisis de varianza entre grupos (estadios) se comprobó la gran variabilidad de tamaños en los ovocitos primarios conforme avanza el ciclo gametogénico; el óvulo también mostró diferencias significativas, como ya se había mencionado ésta célula no presentó una forma definida. En los machos como era de esperarse las células no presentaron diferencias en sus diámetros a lo largo del ciclo gametogénico a excepción de las espermatogonias. Una hipótesis alterna para explicar esta variación sería que su actividad mitótica ocurriera durante todo el evento espermatogénico.

Haciendo una comparación de los diámetros celulares del ovario, con diferentes trabajos (tabla XI), podemos destacar que las tallas de las células reportadas por Chatlynne (1969) y Gonor (1973b), coinciden con lo registrado en este estudio (tabla VI). Cabe mencionar que los valores de los diámetros corresponden a la talla máxima observada independientemente del estadio de madurez en que se encontraban.

Tabla XI. Comparación de los diámetros celulares del ovario en erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus*. () = diámetro del núcleo.

Célula	Diámetro (μ)	Referencia
Óvulo	60	Holland y Giese, 1965
	50 - 60 (5)	Chatlynne, 1969
	70 - 80	Gonor, 1973
	87 (9)	este estudio
Ovogonia	5	Holland y Giese, 1965
	5	Chatlynne, 1969
	> 10	Gonor, 1973
	> 10	Este estudio
Ovocito primario	65 (28)	Holland y Giese, 1965
	50 - 60 (20-25)	Chatlynne, 1969
	65	Gonor, 1973
	90 (34)	Este estudio
Ovocito secundario	65 (28)	Holland y Giese, 1965
	102 (40)	Este estudio
Fagocito Nutritivo	15 - 45	Holland y Giese, 1965
	17 - 43	Este estudio

V.5 Hermafroditismo

El hermafroditismo en la especie *Strongylocentrotus purpuratus* se había reportado por Gonor (1973a), en Yaquina Head, Oregon, quien encontró dos individuos hermafroditas gonocóricos en una población de 1,354 erizos, las gónadas eran predominantemente organismos hembras, observándose en algunas secciones de tejido el proceso de espermiogénesis, así como espermatozoides. En el presente estudio se registró un individuo hermafrodita con características de un macho, conteniendo ovocitos en etapa gametogénica (II), este erizo se colectó en Arrecife Sacramento, Baja California entre 37 individuos capturados.

Hasta el momento no se había reportado hermafroditismo para esta zona en esta especie. Este tipo de expresión genética puede estar ligado a factores físicos como la temperatura, Moore *et al.* (1963) (citados por Gonor, 1973a), reportaron numerosos hermafroditas machos de 2 especies de erizo en Florida (EUA). Ellos atribuyen este efecto al régimen de temperatura tan bajo en invierno, del cual son susceptibles los individuos juveniles.

Fuji (1960a) hace mención que el hermafroditismo en equinoideos se caracteriza por tener ovarios y testículos en un mismo individuo y es extremadamente raro que en la misma gónada desarrollen ambas células germinales como se presentó en este trabajo, lo cual difiere con lo reportado por Gonor (1973a), y el presente estudio.

V.7 Técnicas de sexado

El sexado mediante la tinción con azul de toluidina no presentó diferencias significativas con el procesamiento histológico. Las observaciones que resultaron con una asignación diferente, coincidieron con aquellos organismos que se encontraron en estadio I (etapa inicial) y V (etapa desovado o expulsión), donde fue difícil distinguir entre una hembra y un macho.

La técnica de azul de toluidina ha sido utilizado en estudios biológicos pesqueros en distintas especies marinas como en la anchoveta *Engraulis mordax mordax* (Tapia Vázquez *et al.* 1988), en erizo rojo *S. franciscanus* (Tapia Vázquez, comunicación personal) y en el erizo blanco *Loxechinus albus* (Palma y Arana 1996). Esta metodología agiliza la separación de sexos para su análisis y evaluarlos separadamente, es fácil y no es costosa, lo cual se puede evaluar un gran número de muestras.

V.8 Variación en el desarrollo gonadal e índice Gonadosomático

Los trabajos para determinar el desarrollo gonadal se ha hecho mediante el índice gonadosomático siguiendo las estaciones del año. Este método se ha usado en varias especies de erizo, relacionando el peso de gónada con el peso del erizo (Holland y Giese, 1965; Lawrence *et al.* 1965; Gonor, 1972, 1973b; Pearse, 1980; Munk, 1992; Meidel y Scheibling, 1998, 1999; Walker y Lesser, 1998), o el volumen total del erizo (Lasker y Giese, 1954; Bennett y Giese, 1955; Fuji, 1960a, 1960b).

Para el presente estudio se calculo el índice gonadosomático considerando el peso de la gónada y el diámetro de la testa, ya que no se tomaron los pesos de los erizos. En algunas localidades se juntaron ambos sexos para el análisis, ya que no todas las gónadas fueron pesadas y el número de muestra se reducía al separarlos.

En general los promedios más bajos de IG se presentaron en Isla San Martín, esto se debió al alto porcentaje de individuos desovados (estadio V). Los valores más altos se localizaron en Punta Banda y P. Colnett, en ambas poblaciones se encontraban en la etapa reproductiva (estadio IV), lo cual explica los valores altos. Las demás poblaciones mostraron valores relativamente bajos, ya que predominaron los estadios de desove (V), inicial (estadio I) y gametogénica (estadio II) (fig. 15). Pearse (1980), en su trabajo realizado en las Bahías Todos Santos y Papalote, Baja California reportó promedios altos de índice gonadosomático (IG) en los meses de otoño decreciendo en primavera para las especies *S. purpuratus* y *franciscanus*. Pérez y Rodríguez (1995) registraron un alto IG en el mes de noviembre de 1993' en Punta Cabras, cercana a la localidad de Punta Colnett de este estudio; esto puede reflejar un patrón de desarrollo gonadal estable en esta área, ya que los valores máximos de IG se registraron en esa misma zona.

El análisis de IG realizado por Velez Andrade (1997) en Islas Todos Santos considerando los meses de octubre y noviembre fueron superiores a los reportados en este estudio. El IG fue alto en invierno para ambos sexos y bajos en primavera, estos valores aún fueron altos comparados con los que se muestran en la figura 15. Esta variación podría explicarse por el diferente tamaño de muestra.

En este estudio no se observó una relación directa entre el régimen de temperatura con el IG, este resultado puede deberse a que la temperatura de fondo de cada sitio corresponde al día de recolecta y no excluye que haya variación de este factor a lo largo del año.

Otros estudios han mencionado que no existe relación de estas dos variables, como lo reportado por Lasker y Giese (1954), Pearse (1980) y Velez Andrade (1997) para la especie *S. purpuratus*. El primer autor menciona que el régimen de temperatura tiene una relación con el ciclo algal, por lo que el alimento será más abundante en una determinada estación, lo cual actúa indirectamente en el desarrollo gonadal.

Por otra parte Gonor (1973b) en una población de erizo morado en Oregon observó un ciclo estacional de alimentación, siendo otoño la temporada cuando más alimento consumen, de esta manera se explica en gran parte la sincronización del ciclo reproductivo en distintas poblaciones. Sin embargo en el presente estudio se observó similitud en el desarrollo gonadal entre poblaciones con diferente disponibilidad de alimento.

Las poblaciones de los sitios Seal Cove y China Point presentaron una fuerte similitud en el desarrollo gonadal a pesar de que en esta última solo se colectaron seis individuos. En ambas localidades se observaron extensos mantos de macroalgas, esta abundancia de alimento explica también las grandes tallas observadas en la zona.

En Isla Coronados y Punta Jatay presentaron condiciones de alimento diferentes, en esta última localidad se caracterizó por grandes mantos de macroalgas y como puede verse en la figura 15 tuvo un intervalo de tallas bastante amplio, en ambas poblaciones se observó un desarrollo gonadal semejante.

Por otro lado la población de Punta Banda presentó sincronía en sus estadios de madurez con la de Punta Colnett, en la primera localidad se observó un manto de macroalgas de tamaño medio mientras que en la segunda éstas fueron escasas, a pesar de la diferencia en la disponibilidad de alimento, el IG de estas dos poblaciones fue alto y en ambas zonas presentaron el mismo rango de tallas. Finalmente las poblaciones de la parte sur del área de estudio, presentaron diferente desarrollo gonadal, en Isla San Martín se observaron mantos algales de tamaño medio, mientras que Arrecife Sacramento se caracterizó por extensos mantos de macroalgas, en esta última localidad el rango de tallas fue amplio.

En este estudio se observó sincronía en el desarrollo gonadal entre poblaciones más o menos cercanas, sin influir la diferente disponibilidad de alimento, sin embargo sí hubo diferencias en cuanto a tallas, observándose individuos grandes en aquellas zonas donde se observó amplios mantos algales. Pearse (1980) observó resultados similares en tres poblaciones en la costa de California y Oregon. Estos resultados sugieren que la cantidad de alimento no es esencial en la sincronización del ciclo reproductivo, lo cual coincide con las poblaciones estudiadas en la costa del Pacífico Nororiental.

Otra de las hipótesis para explicar la variación de la madurez gonádica de este invertebrado, son las características que presenta el hábitat. Ebert (1968), Gonor (1973b) y Munk (1992) reportaron IG's muy bajos en sitios expuestos a fuertes corrientes, el primer autor atribuye esto a que la distribución energética es ocupada principalmente en reparar las espinas dañadas por dicho factor. En este estudio sería difícil corroborar esta aseveración ya que la colecta se realizó en un corto período de tiempo, sin embargo un estudio realizado en Canadá por Meidel y Scheibling (1998) reportaron IG altos en *S. droebachiensis* en dos

localidades expuestas a la acción del oleaje que se caracterizaban por grandes mantos algales, estos autores enfatizan que el grado de exposición de la circulación costera no debe ser confundida con la abundancia de alimento.

En Isla Coronados fue un sitio donde los erizos se encontraban en un macizo rocoso totalmente expuesto al oleaje y presentaba poco alimento, su IG fue similar a Punta Jatay un sitio más o menos protegido del oleaje con bastante disponibilidad de alimento, este resultado difiere con lo registrado por Meidel y Scheibling (1998). Cabe mencionar que las tallas de los erizos de I. Coronados fueron menores a las de P. Jatay, por lo que podríamos concluir que el grado de exposición en el hábitat puede afectar el crecimiento somático sin alterar el desarrollo gonadal.

De acuerdo a lo anterior podemos indicar que la variación en el desarrollo gonadal en las diferentes localidades estudiadas se debe en gran medida a las condiciones topográficas que presenta el hábitat.

Harrold y Reed (1985), Rowley (1990) y Agatsuma *et al.* (2000), explican que el hábitat está altamente relacionado con el alimento y si éste escasea se desplazan de un lugar a otro en busca de comunidades algales. Esta conducta dentro del hábitat hace suponer que los lugares donde regularmente son encontrados sean zonas de alimentación y su permanencia es sólo temporal.

En algunos sitios de la costa de Baja California se presentan condiciones oceanográficas de surgencia que favorece el afloramiento y desarrollo de mantos algales como la que presenta Punta Banda, en esta misma localidad se registró un alto IG. A pesar de la diferente disponibilidad de alimento en Punta Colnett, sus características fueron similares con P. Banda tanto en desarrollo gonadal como en las tallas (fig. 15).

Gonor (1973b) menciona que el ciclo reproductivo del erizo morado, se adapta a las fluctuaciones de temperatura, causadas por la influencia de surgencias costeras, las cuales están presentes a lo largo de su rango geográfico.

Por otro lado algunos estudios han revelado la gran plasticidad fenotípica que presentan el erizo morado y rojo, a los cambios ambientales y de recursos. Russell (1998) observó en *Strongylocentrotus droebachiensis* en una zona con baja calidad de alimento puede incrementar su tejido gonadal rápidamente en respuesta a un repentino incremento de alta calidad de recurso alimentario.

Integrando esta información con los resultados obtenidos en este trabajo podemos indicar que la sincronía que presentaron las poblaciones en localidades con diferentes condiciones alimentarias y de hábitat en gran medida se explica por la plasticidad fenotípica que manifiesta este invertebrado.

V.7 Parasitismo

Se encontró en la gónada un parásito perteneciente al Phylum Platyhelminthes de la clase Aspidogastrea. Hasta ahora no se había registrado parásitos en la gónada del erizo morado en la costa del Pacífico Nororiental. Morris *et al.* (1980), reportó para la costa de California un platelminto llamado *Syndisyrinx franciscanus* que se aloja en el intestino de esta especie, así como comensales externos que incluyen poliquetos *Flabelligera commensalis* y un isópodo *Colidotea rostrata* que se encuentran entre las espinas del erizo. Hyman (1951), mencionó que el turbelarido *Syndisyrinx* habita en el celoma o tractodigestivo de invertebrados como los equinodermos, y es común en la costa de California.

En la costa de Noruega se ha reportado un parásito que a elevado la mortalidad en la especie *Strongylocentrotus droebachiensis*, el cual ha sido indentificado como un nemátodo llamado *Echinomermella matsi* sp n. descrito por primera vez por Jones y Hagen (1987).

Hagen (1992), investigó el incremento de prevalencia de este parásito en la costa de Noruega el cual tuvo un incremento considerable de 5.5% en 1983 a un 65% en 1991; también indico que los individuos infectados tenían un bajo índice gonadal que los no infectados, esto tiende a reducir la capacidad reproductiva en un 50% y peor aún castra a los organismos siendo imposible determinar su sexo y provoca su muerte prematura. Skadsheim *et al.* (1995), mencionan que este endoparásito tiene una distribución limitada comparada con su hospedero, el cual es ampliamente distribuido en el Atlántico norte, mar de Barents y el Pacífico Noreste, y *E. matsi* solamente se ha observado en Noruega a lo largo de 400 Km de su costa de Vikna a Bodø y Værøy.

Sería muy necesario establecer un estudio en la misma área de colecta para tratar de identificar la especie del parásito, además es de suma importancia conocer los efectos que pueden repercutir en el hospedero además en el mercado de este recurso. De esta manera podremos contestar las siguientes interrogantes: 1) ¿Afecta la capacidad reproductiva del erizo morado? 2) ¿Cual es su distribución? 3) ¿Es temporal su permanencia en el erizo? 4) ¿La prevalencia observada en las localidades fue al azar o dependió de factores externos? 5) ¿Es dañino al ser humano?.

El presente trabajo sería un comienzo de nuevas investigaciones para poder contestar estas interrogantes acerca de este endoparásito, que hasta el momento era desconocido.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis microscópico de las gónadas de erizo morado, y a los cambios observados en los estadios de madurez en los diferentes sitios estudiados, se presentan las siguientes conclusiones:

- En este estudio la talla a la cual los erizos presentaron células maduras, fue a los 31.9 ±0.1mm de diámetro.
- Se registró un individuo hermafrodita con células germinales de ambos sexos en la misma gónada, dominando células testiculares. Este organismo se colectó en Arrecife Sacramento (29°43'27"N, 115°46'1"W).
- Los promedios más altos de índice gonadosomático se registraron en Punta Banda y Punta Colnett, donde los individuos se encontraban en la etapa reproductiva (IV), y los promedios más bajos se presentaron en Isla San Martín, donde la población estaba en la etapa desove y/o expulsión (V).
- Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis planteada para este trabajo. Se observó variación en el desarrollo gonadal a lo largo del gradiente latitudinal, influyendo principalmente las condiciones que presenta el hábitat.
- Se presentó sincronía en el desarrollo gonadal entre localidades más o menos cercanas, lo cual no tuvo influencia la disponibilidad de alimento. Este resultado corrobora la plasticidad fenotípica que manifiesta este invertebrado ante los cambios ambientales y de recursos.

→ Se identificó un parásito de la clase Aspidogastrea (Phylum Platyhelminthes), en las gónadas de erizo morado. Su prevalencia se observó principalmente en la parte norte de Baja California (Isla Coronados y Punta Jatay) y la parte sur (Arrecife Sacramento).

LITERATURA CITADA

Agatsuma Y., A. Nakata y K. Matsuyama, 2000. Seasonal foraging activity of the sea urchin *Strongylocentrotus nudus* on coralline flats in Oshoro Bay in south-western Hokkaido, Japan. Fisheries Science, 66:198-203.

Barnes, R. D., 1977. Zoología de los invertebrados. Tercera edición. Interamericana. 826 pp.

Bennett, J. y A. C., Giese, 1955. The annual reproductive and nutritional cycles in two western sea urchins. Biol. Bull., 109:226-237.

Chatlynne G. L., 1969. A histochemical study of oogenesis in the sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*. Biol. Bull., 136:167-184.

Cota Villavicencio A., D. Aguilar Montero, M. Romero Martínez, R. Solana Sansores y F. Uribe Osario, 1996. Análisis de la pesquería del erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) y morado (*S. purpuratus*) en la costa noroccidental de la Baja California. Ciencia Pesquera, 12:68-75.

Ebert, T. A., 1968. Growth rates of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* related to food availability and spine abrasion. Ecology, 49(6):1075-1091.

Ebert, T. A., 1977. An experimental analysis of sea urchin dynamics and community interactions on a rock jetty. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 27:1-22.

Ebert, T. A. and Russell, M. P., 1988. Latitudinal variation in size structure of the west coast purple sea urchin: A correlation with headlands. *Limnol. Oceanogr.*, 33(2):286-294.

Farmanfarmaian A. and J. H. Phillips, 1962. Digestion, storage, and translocation of nutrients in the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*). *Biological Bulletin*, 123:105-120.

Fuji, A., 1960a. Studies on the biology of the sea urchin. I. Superficial and histological gonadal changes in gametogenic process of two sea urchins, *Strongylocentrotus nudus* and *S. intermedius*. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.* (XI, 1):1-14.

Fuji, A., 1960b. Studies on the biology of the sea urchin. III. Reproductive cycle of two sea urchins, *Strongylocentrotus nudus* and *S. intermedius*. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.* (XI, 2):49-57.

Fuji, A., 1962. Studies on the biology of the sea urchin V. Food consumption of *Strongylocentrotus intermedius*. *Japanese Journal of Ecology*, 12(5):181-186.

Fuji, A., 1967. Ecological studies on the growth and food consumption of Japanese common littoral sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius* (A. Agassiz). Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ., XV(2):82-160.

Gonor, J. J., 1972. Gonad growth in the sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson) (Echinodermata: Echinoidea) and the assumptions of gonad index methods. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 10:89-103.

Gonor, J. J., 1973a. Sex ratio and hermaphroditism in Oregon intertidal populations of the Echinoid *Strongylocentrotus purpuratus*. Marine Biology, 19:278-280.

Gonor, J. J., 1973b. Reproductive cycles in Oregon populations of the echinoid, *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). I. Annual gonad growth and ovarian gametogenic cycles. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 12:45-64.

Hagen N. T., 1992. Macroparasitic epizootic disease: a potential mechanism for the termination of sea urchin outbreaks in northern Norway?. Marine Biology, 114:469-478.

Harrold, C. and D. C. Reed, 1985. Food availability, sea urchin grazing, and kelp forest community structure. Ecology, 66(4):1160-1169.

Lawrence J. M., A. L. Lawrence and N. D. Holland, 1965. Annual cycle in the size of the gut of the purple sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). *Nature*, 205:1238-1239.

Longo, F. J. and E. Anderson, 1969. Sperm differentiation in the sea urchins *Arbacia punctulata* and *Strongylocentrotus purpuratus*. *J. Ultrastructure Research*, 27:486-509.

López Fraga, N.; R. Castro Langoria; O. Sosa Nishizaki; O. Tapia Vázquez. 1997. Manual de técnica histológica. Informe Técnico. Comunicaciones Académicas, Serie Ecología, 40p. CTECT9702.

Meglitsch, P. A., 1978. Zoología de Invertebrados. H. Blume Ediciones. 906pp.

Meidel, S. K. and R. E. Scheibling, 1998. Annual reproductive cycle of the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*, in differing habitats in Nova Scotia, Canada. *Marine Biology*, 131: 461-478.

Meidel, S. K. and R. E. Scheibling, 1999. Effects of food type and ration on reproductive maturation and growth of the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Marine Biology*, 134:155-166.

Morris R. H., D. P. Abbott y E. C. Haderlie, 1980. Intertidal invertebrates of California. Stanford University Press, Stanford California. 690pp.

Munk, J. E., 1992. Reproduction and growth of green urchins *Strongylocentrotus droebachiensis* (Muller) near Kodiak, Alaska. Journal of Sea Research, 11(2):243-254.

Palleiro Nayar, J. S., D. Aguilar Montero y J. M., Romero Martínez, 1992. Dictamen técnico. Pesquería de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* temporada de pesca 1992-1993. Baja California. Proyecto equinodermos. CRIP, Ensenada. I.N.P.

Palma G. S. y P. Arana E., 1996. Método rápido de determinación del sexo en el erizo comestible *Loxechinus albus* (Molina, 1782) y su aplicación en estudios biológico pesqueros. Invest. Mar. Valparaíso, 24:123-130.

Pearse, J. S., 1980. Synchronization of gametogenesis in the sea urchins *Strongylocentrotus purpuratus* and *S. franciscanus*. in: W. H. Clark, Jr. and T. S. Adams, editors; Advances in Invertebrates Reproduction. 53-68pp.

Pearse, J. S., V. B. Pearse y K. K. Davis, 1986. Photoperiodic regulation of gametogenesis and growth in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. The Journal of Experimental Zoology, 237:107-118.

Pérez, S. M. y L. E. Calderón Aguilera, 1996. Desarrollo de una nueva pesquería en Baja California: erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*). *Oceanología*, 2(10): 7-15.

Pérez y Rodríguez, S. M., 1995. Análisis biológico pesquero del erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) y morado (*Strongylocentrotus purpuratus*) de la zona II de pesca de Baja California, México. Tesis de Maestría en Ciencias, CICESE, Ensenada. 105pp.

Rodríguez Gutiérrez, M, 1992. Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. AGT, Editor. S. A. México, D. F. 79pp.

Rowley, R. J., 1990. Newly settled sea urchins in a kelp bed and urchin barren ground: a comparison of growth and mortality. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 62:229-240.

Russell, M. P., 1998. Resource allocation plasticity in sea urchins: rapid, diet induced, phenotypic changes in the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis* (Muller). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 220:1-14.

Skadsheim A., H. Christie y H. P. Leinaas, 1995. Population reductions of *Strongylocentrotus droebachiensis* (Echinodermata) in Norway and the distribution of its endoparasite *Echinomermella matsi* (Nematoda). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 119:199-209.

Tapia Vázquez, O. M.; J. J. Castro González; M. I. Montes Pérez y E. A. Inda Presichi, 1985. Curso teórico práctico: Determinación de la madurez y fecundidad en especies de importancia comercial. UABC y Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (INP). 51pp.

Tapia Vázquez, O. M.; C. E., Coterro Altamirano y C. A. García Cuellar, 1988. Determinación de madurez gonadal y fecundidad en anchoveta (*Engraulis mordax mordax*) de la subpoblación central. Ciencia Pesquera, 6:69-101.

Velez Andrade, L. V., 1997. Crecimiento y desarrollo gonadal del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* en las Islas de Todos Santos, Baja California, México. Tesis de Maestría en Ciencias, CICESE, Ensenada. 75pp.

Walker, C. W. y M. P. Lesser, 1998. Manipulation of food and photoperiod promotes out-of-season gametogenesis in the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*: implications for aquaculture. Marine Biology, 132:663-676.

Walker, C. W.; N. A. McGinn; L. M. Harrington y M. P. Lesser, 1998. New perspectives on sea urchin gametogenesis and their relevance to aquaculture. Journal of Shellfish Reserch, 17(5):1507-1514.