

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



**COMPARACIÓN DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE LA
ESTRELLA DE MAR (*Pisaster ochraceus*) EN DOS ZONAS DE
CAPTURA DE BAJA CALIFORNIA EXPUESTAS A DIFERENTES
INTENSIDADES POR PESCA.**

T E S I S

**QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA

PRESENTA

ELIZABETH ROMERO HERNÁNDEZ.

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MEXICO. JUNIO DE 2007.

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFIA COSTERA

**COMPARACIÓN DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE LA
ESTRELLA DE MAR (*Pisaster ochraceus*) EN DOS ZONAS DE
CAPTURA DE BAJA CALIFORNIA EXPUESTAS A DIFERENTES
INTENSIDADES POR PESCA.**

TESIS

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

ELIZABETH ROMERO HERNÁNDEZ.

Aprobada por:



Dra. Gabriela Montaña Moctezuma.
Presidente del jurado



Dr. Eugenio Carpizo Ituarte
Sinodal



M en C. Ricardo Vidal Talamantes
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por incluirme en su programa de becas.

A la Universidad Autónoma de Baja California del estado de Baja California, Ensenada (UABC). Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) y a la Facultad de Ciencias Marinas (FCM) por aceptarme en su programa de maestría en Oceanografía Costera.

A mi directora de tesis, Dra. Dra. Gabriela Montaña Moctezuma, por toda la asesoría, el apoyo y la amistad que me brindó, así como también por todas sus enseñanzas profesionales y personales.

A mis sinodales el M en C. Ricardo Vidal Talamantes, por su dedicación, tiempo y enseñanza que me brindó en todo el camino de esta tesis. Al Dr. Eugenio Carpizo Ituarte, por enseñarme que sábado y domingo es el inicio de semana.

A todos mis compañeros que hicieron posible mi estancia en Ensenada al inicio y termino de esta tesis. A todos los que hayan colectado una estrella de mar y los que no también.

A mi familia: Amparo (mamá), Trini (papá), Cesar (hermano), Paty (hermana), los anexados: Ana (cuñada), Ernesto (cuñado) y mis sobrinos, Cesar, Adrian y Sebastián. A mi anexado principal Toño, por aguantar todo el tiempo y estar siempre ahí cuando más lo necesitaba.

GRACIAS POR SU APOYO

LOS AMO

*El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo inalcanzable.
Para los temerosos, lo desconocido. Para los valientes es la
oportunidad.*

Jorge Santayana.

INDICE

	PÁGINA
RESUMEN.	I
ÍNDICE DE FIGURAS.	II
ÍNDICE DE TABLAS.	V
I. INTRODUCCIÓN.	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS.	
II. 1 Área de estudio.	8
II. 2 Muestreo poblacional.	9
II. 3 Disección de las estrellas de mar y fijación de gónadas.	14
II. 4 Tratamiento histológico.	15
II. 5 Aspectos Poblacionales.	18
II. 5.1 Densidad.	18
II. 5.2 Estructura de talla.	18
II. 5.3 Biomasa.	18
II. 6 Aspectos reproductivos.	19
II. 6.1 Interpretación del ciclo gonadosomático.	19
II. 6.2 Talla de primera madurez.	20
II. 6.3 Razón de sexos.	21
II. 6.4 Fecundidad individual y poblacional.	21

II. 7Análisis estadísticos.	22
III. RESULTADOS.	
III. 1 Aspectos Poblacionales.	23
III.1.1 Densidad.	23
III.1.2 Estructura de talla.	27
III.1.3 Biomasa.	30
III. 2 Aspectos reproductivos.	33
III.2.1 Interpretación del ciclo gonádosomal.	33
III.2.2 Talla de primera madurez.	50
III.2.3 Razón de sexos.	53
III.2.4 Fecundidad individual y poblacional.	55
IV. DISCUSIÓN.	58
V. CONCLUSIONES.	69
VI. RECOMENDACIONES.	70
VII. LITERATURA CITADA.	71
VIII. ANEXOS.	78

ESTIMACION DE PARÁMETROS POBLACIONALES DE LA ESTRELLA DE MAR (*Pisaster ochraceus*) EN DOS ZONAS DE CAPTURA DE LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA.

RESUMEN

Las estrellas de mar son depredadores importantes en los ecosistemas del intermareal y submareal rocoso, ya que pueden llegar a tener un impacto considerable en las poblaciones de moluscos y equinodermos, de las cuales se alimentan. La presencia de *Pisaster* en la comunidad promueve una alta diversidad en la zona, por lo que se le ha considerado un depredador tope en el sistema, capaz de determinar la estructura de la comunidad. A pesar de que *Pisaster ochraceus* se explota comercialmente en Baja California desde la década de los 70's, no existen estudios relacionados con sus principales parámetros poblacionales. La falta de información biológica de esta especie ha impedido proponer estrategias adecuadas para su manejo y conservación. El presente trabajo plantea estimar los principales parámetros poblacionales de *Pisaster ochraceus*, así como determinar el efecto de la pesca en las poblaciones estudiadas.

Se seleccionaron dos localidades en el estado de Baja California, cuyas poblaciones de estrella han sido muy explotadas (Punta Piedra), y poco explotadas (Bajamar). Se realizaron muestreos mensuales de febrero de 2005 a enero del 2006 y se determinó la abundancia, estructura de tallas, biomasa, ciclo reproductivo, fecundidad, relación de sexos y talla de primera madurez. El efecto de la pesca fue evidente principalmente en la estructura de tallas, abundancia y biomasa de la población, encontrándose valores más altos de éstos parámetros en la zona poco explotada (Bajamar). *Pisaster ochraceus* presenta un ciclo reproductivo anual, con picos de desove en febrero y marzo en ambas zonas. La talla de primera madurez fue de 5.6 cm y no se encontraron diferencias significativas entre zonas. A pesar de que la fecundidad individual fue similar en ambas zonas, la fecundidad poblacional ó potencial reproductivo fue significativamente mayor en la zona poco explotada. El presente estudio contribuirá a proponer un esquema de manejo adecuado para la estrella de mar *Pisaster ochraceus* en Baja California.

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	PÁGINA
1	Mapa de Baja California con acercamiento a las zonas de estudio.	12
2	a) Litoral rocoso de Bajamar. b) Litoral rocoso de Punta Piedra.	13
3	Medición de la estrella de mar <i>Pisaster ochraceus</i> , del centro del disco a la punta de cada brazo.	13
4	Disección de la estrella de mar <i>Pisaster ochraceus</i> .	17
5	Secuencia del tratamiento histológico.	17
6	a) Densidad de <i>Pisaster ochraceus</i> (# estrellas/m ²) por cuadrante en la zona de Bajamar durante los muestreos de primavera 2005 e invierno 2006.	25
7	a) Densidad de <i>Pisaster ochraceus</i> (# estrellas/m ²) por cuadrante en la zona de Punta Piedra durante los muestreos de primavera 2005 e invierno 2006.	25
8	Densidad por grupo de organismos: adultos y juveniles de <i>Pisaster ochraceus</i> en Bajamar (BM) y Punta Piedra (PP) \pm error estándar.	26
9	Cobertura en porcentaje promedio del mejillón (<i>Mytilus californianus</i>), principal alimento de la estrella de mar <i>Pisaster ochraceus</i> , en Bajamar (BM) y Punta Piedra (PP) en cada época de muestreo.	26
10	Comparación de las estructuras de tallas de <i>Pisaster ochraceus</i> que se presentaron en primavera en Bajamar (BM) y Punta Piedra (PP).	28
11	Comparación de las estructuras de tallas de <i>Pisaster ochraceus</i> que se presentaron en invierno en Bajamar (BM) y Punta Piedra (PP).	28

12	Frecuencia de tallas de <i>Pisaster ochraceus</i> presentes al juntar los datos de los muestreos intensivos (primavera 2005 e invierno 2006) en Bajamar (BM).	29
13	Frecuencia de tallas de <i>Pisaster ochraceus</i> presentes al juntar los datos de los muestreos intensivos (primavera 2005 e invierno 2006) en Punta Piedra (PP).	29
14	Relación talla peso (\log_{10}) de los organismos colectados de <i>Pisaster ochraceus</i> en el año 2005-2006 en Punta Piedra.	31
15	Relación talla peso (\log_{10}) de los organismos colectados de <i>Pisaster ochraceus</i> en el año 2005-2006 en Bajamar.	31
16	Biomasa promedio y \pm error estándar, en 2 épocas del año (primavera del 2005 e invierno del 2006) en Bajamar (BM) y Punta Piedra (PP).	32
17	Promedio mensual y \pm error estándar del I.G. de la estrella de mar <i>Pisaster ochraceus</i> a) Bajamar y b) Punta Piedra.	34
18	Corte histológico de <i>Pisaster ochraceus</i> . Etapa 0.	35
19	Corte histológico de una hembra de <i>Pisaster ochraceus</i> . Etapa 1.	37
20	Corte histológico de una hembra de <i>Pisaster ochraceus</i> . Etapa 2.	39
21	Corte histológico de una hembra de <i>Pisaster ochraceus</i> . Etapa 3.	40
22	Corte histológico de una hembra de <i>Pisaster ochraceus</i> . Etapa 4.	41
23	Corte histológico de una hembra de <i>Pisaster ochraceus</i> . Etapa 5.	42
24	Corte histológico de un macho de <i>Pisaster ochraceus</i> . Etapa 1.	43
25	Corte histológico de un macho de <i>Pisaster ochraceus</i> . Etapa 2.	44

26	Corte histológico de un macho de <i>Pisaster ochraceus</i> . Etapa 3.	45
27	Corte histológico de un macho de <i>Pisaster ochraceus</i> . Etapa 4.	46
28	Corte histológico de un macho de <i>Pisaster ochraceus</i> . Etapa 5.	47
29	Número de organismos de <i>Pisaster ochraceus</i> en Punta Piedra que fueron clasificados en cada etapa de madurez.	49
30	Número de organismos de <i>Pisaster ochraceus</i> en Bajamar que fueron clasificados en cada etapa de madurez.	50
31	a) Talla de primera madurez para <i>Pisaster ochraceus</i> en Punta Piedra, b) talla del 50% de organismos maduros.	51
32	a) Talla de primera madurez para <i>Pisaster ochraceus</i> en Bajamar, b) talla del 50% de organismos maduros.	52
33	Comparación del porcentaje de sexos para <i>Pisaster ochraceus</i> en cada zona de muestreo: Bajamar (BM) y Punta Piedra (PP).	54
34	Proporción hembra/macho para <i>Pisaster ochraceus</i> Bajamar (BM) y Punta Piedra (PP)	54
35	Fecundidad individual durante el periodo de enero a abril en Bajamar.	56
36	Fecundidad individual durante el periodo de enero y abril en Punta Piedra.	56

INDICE DE TABLAS

TABLA	CONTENIDO	PÁGINA
1	Fecundidad individual de la estrella de mar <i>Pisaster ochraceus</i> en Bajamar y Piedra.	55
2	Fecundidad poblacional de la estrella de mar <i>Pisaster ochraceus</i> , por clase de talla para Punta Piedra (PP) y Bajamar (BM).	57

I. INTRODUCCIÓN

Características Biológicas

La estrella de mar *Pisaster ochraceus* se distribuye a lo largo de la costa del Pacífico Nororiental. desde Prince William Sound (Alaska) hasta Isla de Cedros, Baja California, México (Lambert, 1981; 2000). Habita en el intermareal rocoso, desde el mesolitoral hasta los 30 m de profundidad, alcanzando su máxima abundancia en la zona del infralitoral (Paine, 1969).

Morfológicamente, *P. ochraceus* se caracteriza por presentar una coloración variable (pasando por una gama de colores desde morado a naranja o amarillo). Posee simetría pentagonal con cinco brazos que se extienden de un disco central. La boca está situada en la región ventral del disco, junto a la superficie inferior de los brazos, y posee sobre sus placas dos robustas espinas marginales. Cuenta con cuatro filas de apéndices tubulares, denominados pies ambulacrales o podios. Algunas especies tienen la capacidad de eviscerar el estómago para cubrir las presas y digerir sus tejidos blandos. La superficie dorsal es cóncava, reticular irregularmente y con pequeñas espinas gruesas (Lambert, 1981). Este género presenta un par de gónadas por brazo que usualmente son blancas o de color crema en los machos maduros y de color rosa pálido, naranja o aceitunado en las hembras. El color del espermatozoide es blanco y el de los huevos es rosa-salmón (Pearse y Eernisse, 1982).

Las estrellas de mar poseen fertilización externa y una etapa larval prolongada, 76 a 228 días (Loosanoff *et al.*, 1955; Strathmann, 1987), que les permite tener una alta dispersión. Esta estrategia reproductiva tiene la ventaja de reducir la competencia intraespecífica local y permitir la localización y colonización rápida de áreas ricas en alimento (Town, 1980). Algunas especies presentan una reproducción sincronizada con los cambios estacionales de temperatura. *Pisaster ochraceus* presenta un ciclo reproductivo anual en California, con picos de desove en primavera, (Nimitz, 1971 y Pearse y Eernisee, 1982). Puede desovar al aumentar bruscamente la temperatura del agua y el alimento disponible (Pearse y Eernisee, 1982 y Strathmann, 1987).

Dinámica Poblacional y Pesquerías

Las poblaciones y comunidades están reguladas fundamentalmente por factores bióticos (reclutamiento, depredación, competencia, disponibilidad de alimento) y afectadas por factores abióticos como el oxígeno, temperatura, humedad, pH, entre otros. Sin embargo, se ha demostrado que, además de estos disturbios, varias formas de perturbación antropogénica pueden jugar un papel importante en la estructuración de poblaciones y comunidades bentónicas. Estos agentes de impacto incluyen, entre otros, a la pesca, la acuicultura, las construcciones a lo largo de la costa y la descarga de desechos provenientes de procesos de urbanización y de actividades agrícolas (Carlson y Pfister, 1999; Defeo y Lercari, 1999-2001).

El aprovechamiento de los recursos naturales es una de las actividades humanas más antiguas; sin embargo, solo recientemente se han realizado estudios que permiten conocer las fluctuaciones de la abundancia y los efectos antropogénicos en la dinámica poblacional de los recursos explotados (Sharov, 1991).

Conocer las fluctuaciones de una población con respecto al tiempo es importante para realizar predicciones que permitan proponer estimaciones del rendimiento pesquero para las temporadas de pesca subsecuentes (Torres-Lara, 1991; Tomanek y Helmuth, 2002). Los estudios de dinámica poblacional son necesarios pero no suficientes para alcanzar este objetivo, pues el entendimiento de los procesos biológicos y ecológicos proporciona un conocimiento más amplio, y consecuentemente de mayor certidumbre en las estimaciones que se realicen sobre los diferentes parámetros pesqueros (Torres-Lara, 1991).

La pesca puede tener efectos directos a nivel poblacional. Algunos autores han documentado cambios en la historia de vida de algunas especies debido al efecto de la pesca. Se han reportado efectos en la densidad, estructura de edades y tallas (Castilla, 1999), talla de primera madurez, fecundidad (Horwood *et al.*, 1986; DeMartín *et al.*, 1993; Koslow *et al.*, 1995;) y razón de sexos (Smith y Jamieson, 1991).

Además de los efectos directos causados a la especie explotada, existen efectos indirectos a nivel ecosistema, especialmente si el recurso

explotado es una especie clave como la estrella de mar *Pisaster ochraceus*. La presencia de la estrella de mar del género *Pisaster* en la comunidad del intermareal y submareal rocoso promueve una alta diversidad en la zona al controlar la distribución y abundancia del mejillón *Mytilus californianus*. Debido a esto se le ha considerado un depredador tope o clave en el sistema, capaz de determinar la estructura de la comunidad (Paine, 1966; Feder, 1970; Laudien y Wahl, 1999; Noda, 1999; Vickery y McClintock, 2000; Wootton, 2002 y Navarrete y Castilla, 2003).

La pesquería de la estrella de mar (*P. ochraceus*) se inicia en la década de los 70's y ha llegado a ser una pesquería importante en Baja California. Este recurso es explotado con fines de ornato; una parte de su producción se destina a la manufactura de artesanías en la región y otra parte se exporta. Esta pesquería genera divisas anuales para Ensenada de \$252,631.50 USD y crea aproximadamente 200 empleos, que representan el sostén de cerca de 50 familias. Los valores de captura reportados, oscilan entre 560 y 4,203 organismos, que corresponden a 55 kg y 650 kg, respectivamente. (Registro de Producción de Pesca-CRIP Ensenada, Noviembre 2003, Diario Oficial 2004).

La pesquería ha presentado un considerable descenso en sus capturas, disminuyendo de 450 ton en 1971 a 70 ton durante el año 2000. En los últimos 5 años se han reportado en promedio 40,786 kg de producción pesquera. Las mayores capturas se registraron en los años 2000 y 2003 (65,447 kg y 74,427

kg respectivamente), durante los meses de mayo, junio y julio (Registro de Producción de Pesca-CRIP Ensenada, Noviembre 2003, Diario Oficial 2004) Anexo 1.

La legislación pesquera en nuestro país establece que para el otorgamiento de permisos, para la explotación de recursos de fondo (bentónicos), es necesaria una evaluación previa de la población disponible, con la finalidad de conocer tanto la biología como la dinámica poblacional de las especies (Baqueiro-Cardenas *et al.*, 1992).

La regulación con respecto a la composición de la captura, generalmente se da en términos de talla de los organismos, con miras a la protección de una parte del ciclo de vida de la especie y con el objeto de proteger especialmente a las hembras. Entre los principales instrumentos que se emplean para regular la composición de la captura se encuentran: las vedas estacionales, cierre de áreas de crianza y reservas marinas, control de la selectividad del arte, restricciones en el uso de ciertos equipos y el establecimiento de tallas mínimas de captura, que usualmente es la longitud a la cual por lo menos el 50% de las hembras de esa talla se encuentran maduras y han desovado por lo menos una vez antes de ser capturadas, contribuyendo así a mantener la biomasa de la población (Schreck y Peter, 1990).

Según Romero-Orozco y Bertsch, 1984, la falta de información que existe sobre la biología de las especies sujetas a extracción y la falta de

diseños de planes de manejo adecuados para las pesquerías, conlleva a que se pueda exceder la capacidad de recuperación del recurso.

En la Costa Occidental de Baja California se han otorgado aproximadamente 11 permisos de pesca comercial de tres especies de estrella de mar (*P. ochraceus*, *P. brevenspinus*, *P. giganteus*) en un año, los cuales cubren más del 90% del litoral Pacífico de Baja California. En la mayoría de las poblaciones explotadas no se ha realizado un estudio previo a su explotación, por lo que se desconocen los parámetros poblacionales importantes para conocer el ciclo de vida de éstas poblaciones y por ende evaluar el efecto de una pesquería en desarrollo. La importancia del género *Pisaster* en el ecosistema conlleva a la relevancia de realizar estudios que permitan conocer el efecto de la pesca en las poblaciones explotadas, así como las posibles consecuencias ecológicas que causarían su remoción parcial o total del ecosistema.

OBJETIVOS

General

Estimar parámetros poblacionales de la estrella de mar (*Pisaster ochraceus*) en dos zonas de captura de Baja California, con la finalidad de conocer el estado actual de las poblaciones y proponer un esquema de manejo adecuado para Baja California.

Particulares

- a) Comparar la densidad, estructura de tallas y biomasa de la población, así como su ciclo reproductivo, talla de primera madurez y fecundidad en dos zonas de captura afectadas por diferentes niveles de explotación.

- b) Conocer el efecto de la pesca en los diferentes parámetros poblacionales estudiados.

- c) Utilizar la información generada para proponer las estrategias de manejo adecuado para ésta especie en Baja California.

II MATERIALES Y METODOS

II. 1 Área de estudio.

El área de estudio se encuentra en la costa Occidental de Baja California (Fig.1). Se seleccionaron dos zonas de acuerdo al grado de explotación (alta y baja). El grado de explotación se estimó utilizando la información recabada durante varias salidas de prospección a diferentes zonas de pesca, así como entrevistas realizadas a la persona responsable del permiso de pesca de *Pisaster ochraceus* en la zona norte de Baja California.

Se utilizaron criterios como la captura por unidad de esfuerzo, esfuerzo pesquero (frecuencia y número de pescadores que visitaban la zona por marea), historia de la zona y la disponibilidad de acceso a cada lugar. De acuerdo a las observaciones realizadas mensualmente durante el año de muestreo (febrero del 2005 a febrero del 2006), se confirmó que Punta Piedra fue la zona más explotada, ya que el número de pescadores que observamos en Punta Piedra es el doble (15 a 20) que el número que visitó Bajamar (8 a 10 pescadores).

La zona conocida como Bajamar, que es la menos explotada, es un litoral rocoso con una extensión de 5 km de línea de costa y se localiza en las coordenadas 32°05'04.20"N; 116°52'35.95"W. Presenta gran diversidad de organismos y una alta densidad de mejillón (*Mytilus spp*). La presencia del Hotel Bajamar dificulta el acceso a los pescadores, por lo que la pesca en este lugar se ve limitada (Fig. 2a).

La zona con explotación alta es Punta Piedra y se localiza en las coordenadas $32^{\circ}05'22.60''N$; $116^{\circ}53'60.80''W$. Es un litoral rocoso con una extensión de 1 km de línea de costa. Presenta poca diversidad de organismos y la abundancia de mejillón es intermedia comparada con los bancos de Bajamar. Su libre acceso así como la topografía regular de la zona facilita la pesquería del recurso (Fig. 2b).

II. 2 Muestreo Poblacional.

Para conocer los cambios en la estructura de tallas se realizaron dos muestreos intensivos por zona durante la primavera e invierno. En Bajamar, durante mayo del 2005 y enero del 2006 y en Punta Piedra durante junio del 2005 y enero del 2006.

Dentro de cada zona de estudio se ubicaron cuadrantes de 5 x10 m perpendiculares a la línea de costa. Los cuadrantes se colocaron sistemáticamente a lo largo de la zona de estudio, cubriendo toda la zona. Se tomaron las coordenadas de cada cuadrante con un Geoposicionador satélital (GPS) Meridian, con precisión de 7 m, con la finalidad de localizar los cuadrantes en muestreos posteriores. Se ubicaron 17 cuadrantes en Bajamar y 6 en Punta Piedra. El número de cuadrantes esta relacionado con el tamaño de la línea de costa, así como las características de la plataforma de cada zona.

En cada cuadrante, se estimó la densidad (número de organismos por unidad de área), se midió la longitud de las estrellas *in situ* y se obtuvo una muestra para calcular la relación talla-peso. En el metro 7 de cada cuadrante, se estimó el porcentaje de cobertura de mejillón (*Mytilus californianus*) en un área de 1 m². La colecta de la estrella de mar (*Pisaster ochraceus*) se realizó en la zona intermareal con ayuda de varillas en forma de gancho. Durante cada colecta se colocaron los organismos en una poza de marea para permitir que extendieran los brazos y medirlos con mayor facilidad. La longitud de los organismos se obtuvo del centro del disco a la punta de cada brazo (Fig.3), con una cinta métrica flexible de acuerdo con el método descrito por Landenberger, 1968; Feder, 1970 y McGovern, 2002. Posteriormente se calculó el promedio de todos los brazos medidos ver: Harrold y Pearse, 1980, a excepción de los brazos cortos que se encontraban en etapa de regeneración.

Para el análisis histológico, se realizaron muestreos mensuales, de febrero del 2005 a febrero del 2006. Se tomaron cuatro intervalos de talla (de 0.1 a 5 cm, de 5 a 10 cm, de 10 a 15 cm y mayores de 15 centímetros).

Se colectaron un total de 380 organismos por zona, distribuidos de la siguiente manera: durante el periodo de febrero a julio del 2005 se colectaron 10 organismos por intervalo de talla. A partir de agosto del 2005, después de que se observó el pico reproductivo de ambas poblaciones, se colectaron 5 organismos por intervalo. Los organismos se transportaron en una tina de plástico, se cubrieron con agua de mar y se les colocó de 4 a 5 bolsas de "gel

ice" con el fin de evitar cambios bruscos de temperatura, lo cual podría provocar posibles desoves. Las estrellas se colocaron en tanques previamente capacitados con entrada y salida de agua de mar, así como aireación para continuar con su procesamiento en laboratorio. Las disecciones se realizaron durante los 2 a 3 días posteriores a la colecta para evitar cambios en las condiciones de los organismos.

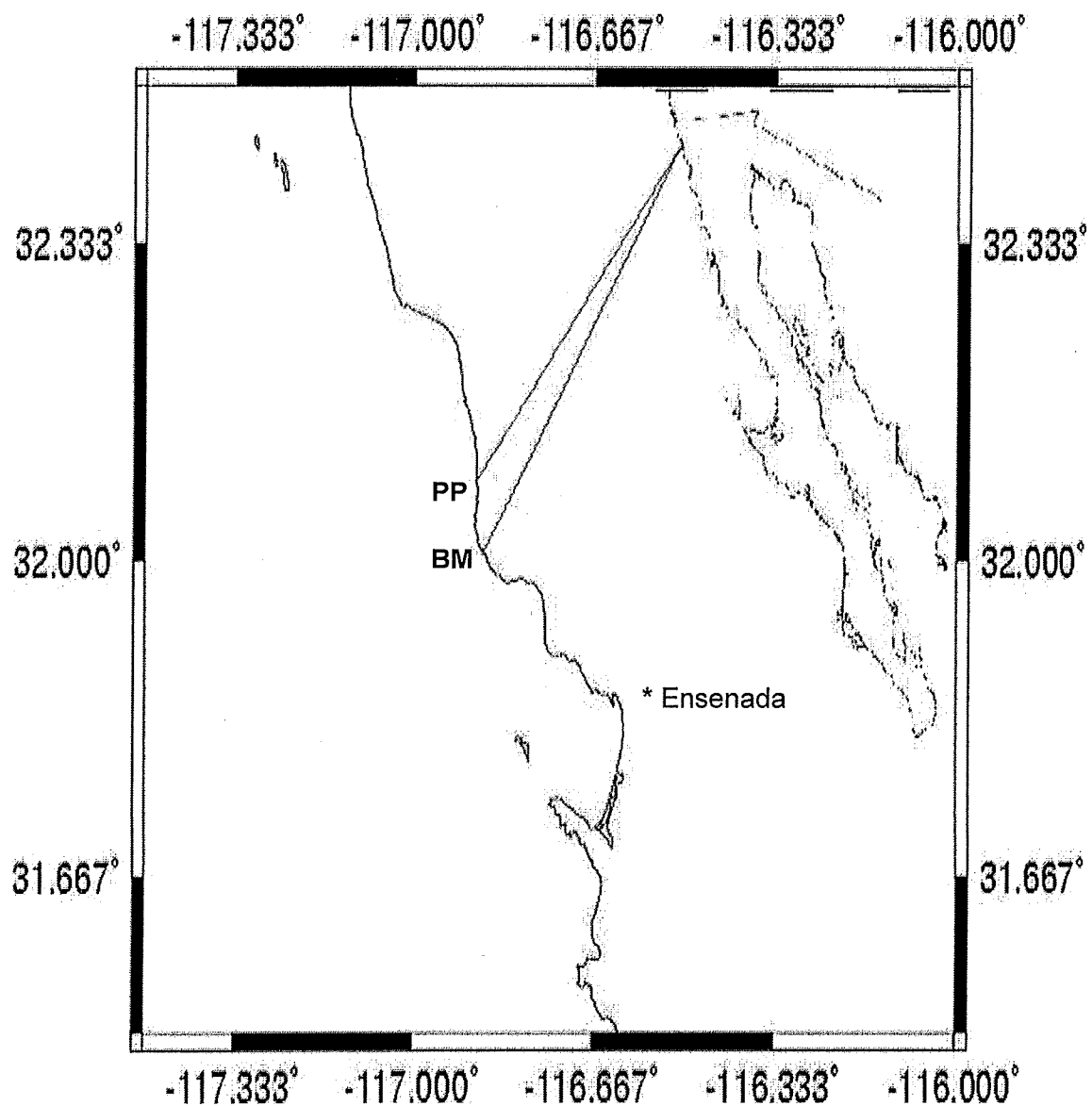


Fig 1. Mapa de Baja California en la parte superior derecha, con acercamiento a las zonas de estudio.(Fte.NGDC- Coastline extractor).

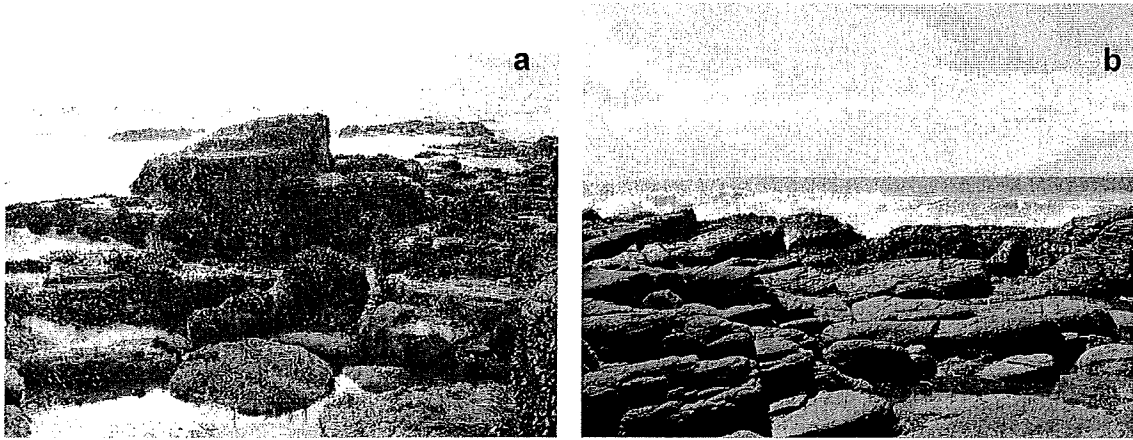


Fig 2a). Litoral rocoso de Bajamar, donde se muestra una plataforma irregular, con alto relieve, así como la presencia de algas y del mejillón *Mytilus californianus*. b) Litoral rocoso de Punta Piedra donde se observa una plataforma irregular, de bajo relieve, así como la ausencia de algas menor abundancia del mejillón *Mytilus californianus*.

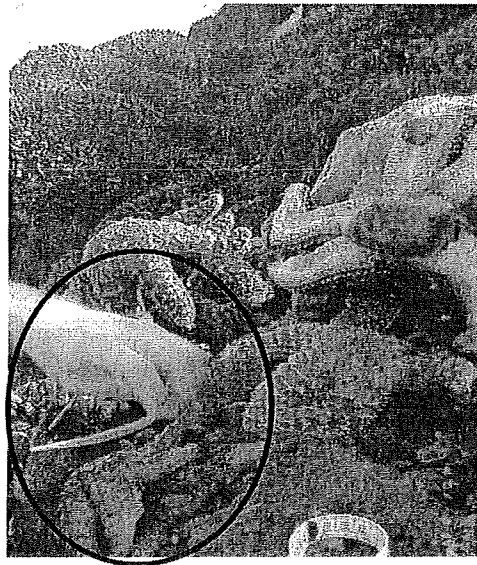


Fig 3. Medición de la estrella de mar *Pisaster ochraceus*. Las mediciones se realizaron del centro del disco de la estrella a la punta de cada brazo, utilizando una cinta métrica flexible, como se muestra en la parte inferior izquierda.

II. 3 Disección de las estrellas de mar y fijación de gónadas.

Para la extracción de gónadas, las estrellas, se dejaron reposar en charolas de unicel durante 7 minutos para eliminar el exceso de agua y obtener un peso húmedo estándar. Se cortó la cara aboral con navajas gruesas (tipo cutter) haciendo una incisión en los brazos. Se empujó la glándula digestiva suavemente para exponer la gónada subyacente; se sujetó cuidadosamente el gonoconducto con pinzas finas y se cortó, liberando la gónada de acuerdo con el método descrito por Strathmann, 1987. Una vez seccionada y abierta, se extrajeron las gónadas tanto de machos como de hembras (Fig. 4).

Después de extraer los 5 pares de gónadas, estas se pesaron para obtener el índice gonadal. Se tomó el peso húmedo de una de las gónadas, se envolvió en gasas previamente etiquetadas y se fijó en formol al 10% para posteriormente realizar el análisis de fecundidad. De una segunda gónada se tomó una porción de aproximadamente 1 cm de longitud y se almacenó en una cápsula plástica "casset" para histología. El tejido se fijó en una solución de Bouin por un periodo de 48 horas, para después pasarse a un baño de alcohol al 70% para su posterior análisis.

Para conocer el ciclo reproductivo y talla a la que empieza a reproducirse la estrella, se realizaron cortes histológicos de la gónada de acuerdo con lo descrito por Giese y Pearse, 1974.

II. 4 Tratamiento histológico.

Las gónadas ya fijadas se procesaron de acuerdo a las técnicas histológicas apropiadas. Primero, las gónadas se sacaron de la solución fijadora. Enseguida, las muestras se deshidrataron en una serie de diluciones de alcohol etílico al 70, 83, 95 y 100% con una duración de 23.5 hrs, en un procesador automático de tejidos (Histoquinet modelo Tissue-Teck II), según la técnica de Theilacker (1985).

Una vez deshidratadas, las gónadas se embebieron en dos baños de parafina (paraplast X-tra) a 56°C con una duración de una hora cada uno. Una vez obtenidas las inclusiones en bloques de parafina, se guardaron en refrigeración hasta el día siguiente. Posteriormente se hicieron cortes de 7 micras en un microtómo de rotación (American Optical modelo 820). Cada corte se colocó en baño María con grenetina a temperaturas de 40 y 50°C para extenderlo y colocarlo en un portaobjetos previamente etiquetado.

En seguida, las muestras fueron teñidas mediante la técnica de Hematoxilina y Eosina (H&E). Finalmente, cada corte histológico fue montado permanentemente con cubreobjetos adheridos con resina sintética (Histoclad), para el análisis de la gametogénesis (Howard y Smith, 1983), como se muestra en la secuencia de la figura 5.

La observación de los cortes se realizó con un microscopio compuesto (AXIOSCOP-40 de Carl Zeiss). Debido a que en la literatura no se encontró una escala especializada para *P. ochraceus* para determinar la etapa

reproductiva en la que se encuentra cada organismo, se utilizó una modificación de las escalas utilizadas por Jangoux y Vloebergh, 1973; Byrne, *et al.*, 1997 y Carvalho y Ventura, 2002 para hembras y machos (Anexos 2 y 3).

Se tomaron fotografías representativas de cada estadio de madurez con una cámara digital (Sony DSC-S75 de 3.2 megapíxeles).

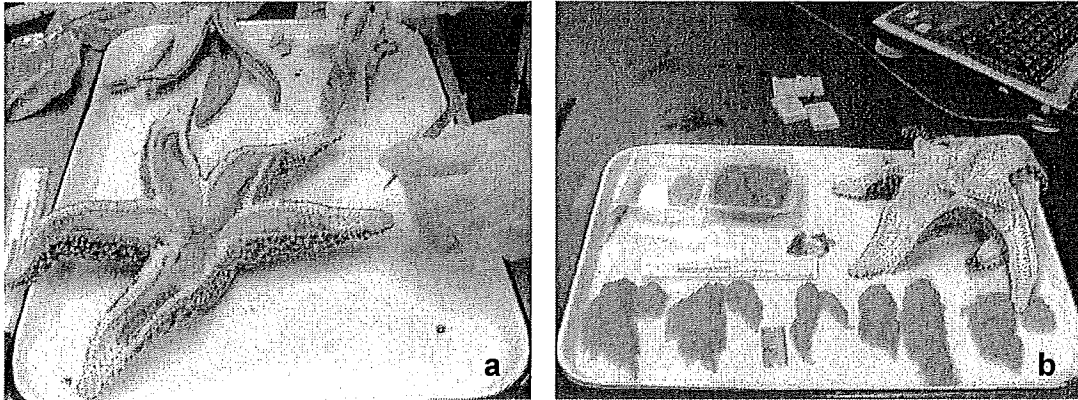


Fig 4. a) Disección de la estrella de mar *Pisaster ochraceus* entre la cara aboral y anal de la estrella con un cutre y b) separación de cada uno de los órganos de la estrella en charolas de plástico.

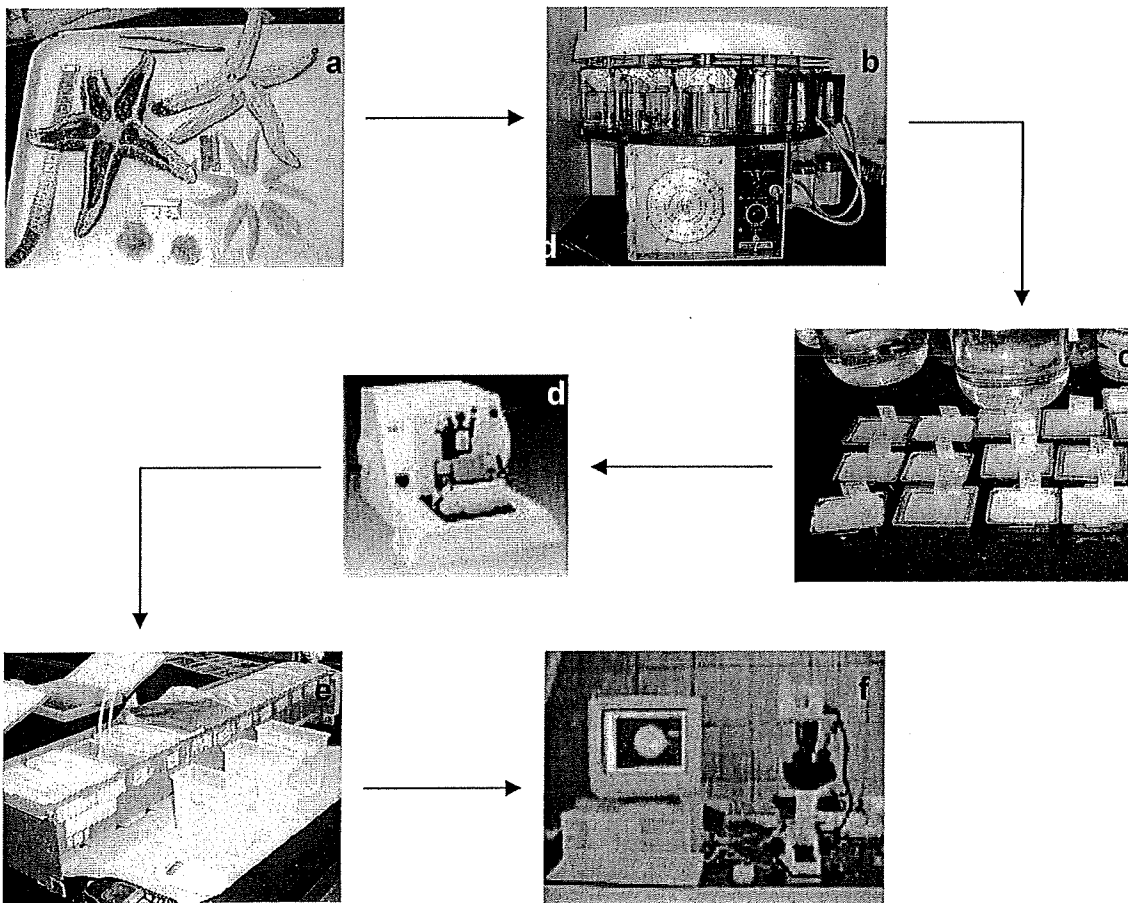


Fig 5. Secuencia del tratamiento histológico, a) disección de la estrella de mar *P. ochraceus*, b) deshidratación de la muestra (gónada) en un Histoquinet, c) inclusión de la gónada en parafina, d) cortes de la gónada con un microtómo, e) tinción de los cortes y f) su observación en un microscopio compuesto.

II. 5 Aspectos Poblacionales.

II. 5.1 Densidad.

Para obtener la densidad por metro cuadrado, se dividió el número de organismos de cada cuadrante entre 50 (unidad de área por cuadrante). Con la finalidad de conocer la proporción de juveniles y adultos presentes en cada zona, se dividió el total de los organismos encontrados en adultos (mayores a 9 cm), y juveniles (menores o igual a 9 cm). Estos valores se basaron en la talla a la que el 50% de la población alcanza la madurez sexual.

II. 5.2 Estructura de tallas

En cada muestreo intensivo (primavera e invierno), con una precisión de 0.5 mm se midió la longitud de las estrellas, utilizando una cinta métrica. Los datos se agruparon en histogramas de frecuencia para cada zona y para cada muestreo. Se utilizó un intervalo de un centímetro.

II. 5.3 Biomasa

Para calcular la relación talla (L) – peso (W) se utilizaron los organismos de la muestra mensual colectados para el análisis reproductivo. La relación talla-peso se obtuvo ajustando los datos a la función $W = aL^b$. Posteriormente, se transformaron los datos aplicando un logaritmo base 10. Se graficó $\log_{10} W(y)$ contra $\log_{10} L(x)$ y se obtuvo la siguiente relación:

$$\log_{10} W = \log_{10} a + b \log_{10} L \quad \dots\dots (1)$$

Donde $\log_{10} a$ corresponde a la intersección y b a la pendiente de la recta. Finalmente, se obtuvieron los valores de a y b de la ecuación anterior (Sparre, 1989; Jennings *et al.*, 2001).

Para obtener la biomasa, se utilizó la ecuación obtenida de la relación talla – peso y se sustituyeron en ella los valores obtenidos de las mediciones de tallas en cada muestreo (primavera e invierno), previamente convertidos a su logaritmo base 10. A los datos de biomasa obtenidos de la ecuación se les aplicó su antilogaritmo, para así obtener la biomasa en gramos (Sparre, 1989; Jennings *et al.*, 2001).

II. 6 Aspectos reproductivos.

II. 6.1 Interpretación del ciclo gonadosomático.

El Índice Gonadosomático se obtuvo de la relación del peso gonadal respecto al peso total del organismo, indicado en porcentaje ver: Harrold y Pearse, 1980 y Espino-Barr *et al.*, 1996:

$$G=(Wg/Wt)\times 100 \dots\dots (2)$$

Donde: Wg = Peso húmedo de los 5 pares de gónadas (gr)

Wt = Peso húmedo total del individuo (gr)

Cualitativamente se consideraron 5 etapas de madurez (Anexos 2 y 3). Para las hembras se tomaron en cuenta: el tamaño, posición, número de ovocitos y grosor de la pared gonadal, así como el grado de desarrollo de la

capa hemal y presencia de fagocitos. Para los machos se consideró el grosor de la columna de espermatocitos, grosor de la pared gonadal y capa hemal así como la cantidad de espermatozoides maduros en el lumen.

II. 6.2 Talla de primera madurez.

Para determinar la talla de primera madurez, se analizaron los cortes histológicos y se eligieron los organismos maduros. La talla se calculó con el promedio de los organismos seleccionados en etapa 3 (maduros). Para obtener la talla en la que el 50% de los organismos están maduros, se estimó el porcentaje de organismos que pertenecen a cada etapa reproductiva y se juntaron las etapas de madurez 3, 4 y 5, debido a que únicamente en estas fases encontramos gametos maduros. Se graficaron los datos de la talla contra el porcentaje de organismos maduros y se ajustó a la siguiente ecuación:

$$(f = a / (1 + \exp(-(x - x_0) / b))) \dots (3)$$

Donde: f = porcentaje de organismos maduros

a = el punto máximo de la curva

x = la talla

b = intersección con el eje X

Se seleccionó la talla del 50% de madurez y con ella se obtuvo la talla correspondiente.

II. 6.3 Razón de sexos.

De la muestra histológica mensual, se obtuvo el número de hembras, machos e indefinidos, sin contar aquellos organismos que por su talla pequeña no tenían o fue imposible obtener sus gónadas. La proporción hembra/macho, se obtuvo de dividir el total de hembras entre el total de machos. De la misma manera se obtuvo el porcentaje de hermafroditismo para cada mes y el total por zona.

II. 6.4 Fecundidad individual y poblacional.

La fecundidad individual se determinó únicamente en las hembras, utilizando las muestras de enero a mayo, debido a que en estos meses se encontró la presencia de organismos maduros.

La gónada previamente fijada en formol se dejó secar por 4 min, se pesó y se cortó una submuestra (1 lóbulo) de la parte central de la gónada. La submuestra se colocó en tubos de microcentrifuga de 1.0 ml, se agregó 1 ml de agua destilada y se agitó vigorosamente por 1 min al vortex, para obtener una mejor separación y homogeneidad.

El conteo se realizó en dos etapas: primero se colocaron los primeros 0.5 ml de la muestra en una cámara de conteo Sedwich-Raffer con capacidad de 1 ml, se agregaron 0.5 ml de agua destilada y con el método de barrido se contó el total de huevos. En la siguiente etapa se colocaron los 0.5 ml restantes y se realizó el mismo procedimiento.

En la misma hoja de registro se anotó el peso y el número de huevos obtenidos de cada muestra. Se extrapoló el número de huevos al peso total de las 10 gónadas y finalmente se graficó la talla contra el número de óvulos/mg de peso seco, en cada zona.

Para la fecundidad poblacional se tomó el mes de mayo para Bajamar y junio para Punta Piedra ya que son los meses en los que se encontró el mayor número de organismos maduros. La fecundidad poblacional se determinó utilizando la proporción de hembras maduras en cada intervalo de talla. Utilizando la ecuación que se obtuvo para la fecundidad individual, se calculó el número de óvulos que corresponden a cada intervalo de talla. Debido a que el área total muestreada es diferente en cada zona, se estandarizaron los resultados a una misma unidad de área.

II. 7 Análisis estadísticos.

Se realizaron pruebas de homogeneidad de varianzas, mediante el paquete Sigma Stat 3.1 utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Para conocer si existen diferencias significativas entre zonas, en los diferentes parámetros poblacionales estimados (densidad, biomasa, estructura de tallas, fecundidad, etc.), se utilizó la prueba t-Student y la prueba Mann-Whitney.

III. RESULTADOS.

III. 1 Aspectos Poblacionales.

III. 1.1 Densidad

En Bajamar, la densidad, fue mayor en los cuadrantes 8 (1.64 org/m^2) y 15 (2.83 org/m^2) en primavera y 5 (4.66 org/m^2) y 15 (3.50 org/m^2) en invierno. En Punta Piedra, la mayor densidad se encontró en el cuadrante 5 con 1.28 org/m^2 en ambas épocas de muestreo (Figs. 6 y 7). Es interesante notar que en Bajamar la densidad se duplicó (transectos 4, 6, 14 y 15) y fue hasta cinco veces mayor (transecto 5) durante la época de invierno. En Punta Piedra la densidad fue mayor en los transectos 3 y 4 y lo opuesto ocurrió en los transectos 1 y 2, en los cuales la densidad se duplicó en primavera (Figs. 6 y 7).

Al separar la densidad de juveniles y adultos se encontró que la densidad de adultos fue seis veces mayor en la zona poco explotada (Bajamar), tanto en primavera como en invierno. Por el contrario, es interesante notar que la densidad de juveniles aumentó casi al doble en Punta Piedra de invierno a primavera; por el contrario, la densidad disminuyó en Bajamar de invierno a primavera. Esto dió lugar a que se encontraran el doble de reclutas en Punta Piedra comparado con Bajamar, durante el muestreo de primavera (Fig. 8). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la densidad de juveniles entre zonas, ni entre épocas de muestreo (invierno $p=0.730$ y primavera $p=0.302$ Prueba t).

A pesar de que la densidad de adultos disminuyó en Bajamar de invierno a primavera, ésta disminución no fue significativa ($p=0.249$ Mann-Whitney). En Punta Piedra, la densidad de adultos fue similar en ambas épocas, sin encontrar diferencias significativas ($p=0.413$ Mann-Whitney).

La cobertura promedio de alimento que se obtuvo de los cuadrantes en cada zona, fue mayor en la época de primavera con un porcentaje promedio de 47.71 y 52.83% en Bajamar y Punta Piedra respectivamente. Mientras que en invierno se obtuvo en Bajamar un 45.65 % y en Punta Piedra el 31.00% de cobertura promedio (Fig. 9).

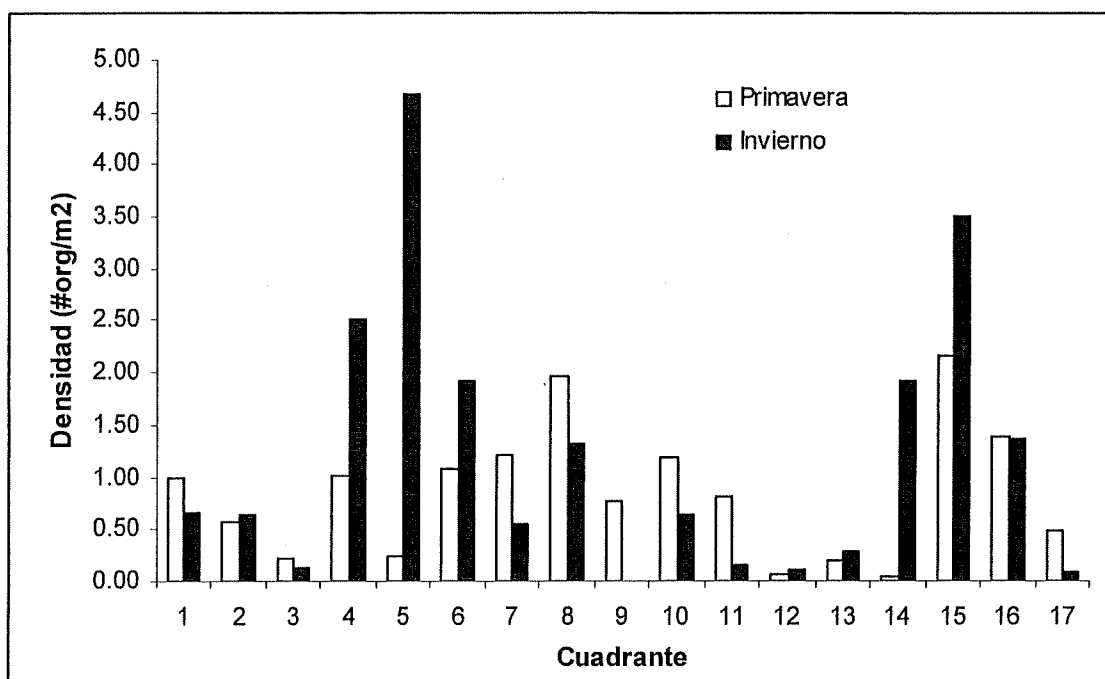


Figura 6. Densidad de *Pisaster ochraceus* (#org/m²) por cuadrante, en la zona de Bajamar durante los muestreos de primavera (barras blancas) e invierno (barras gris).

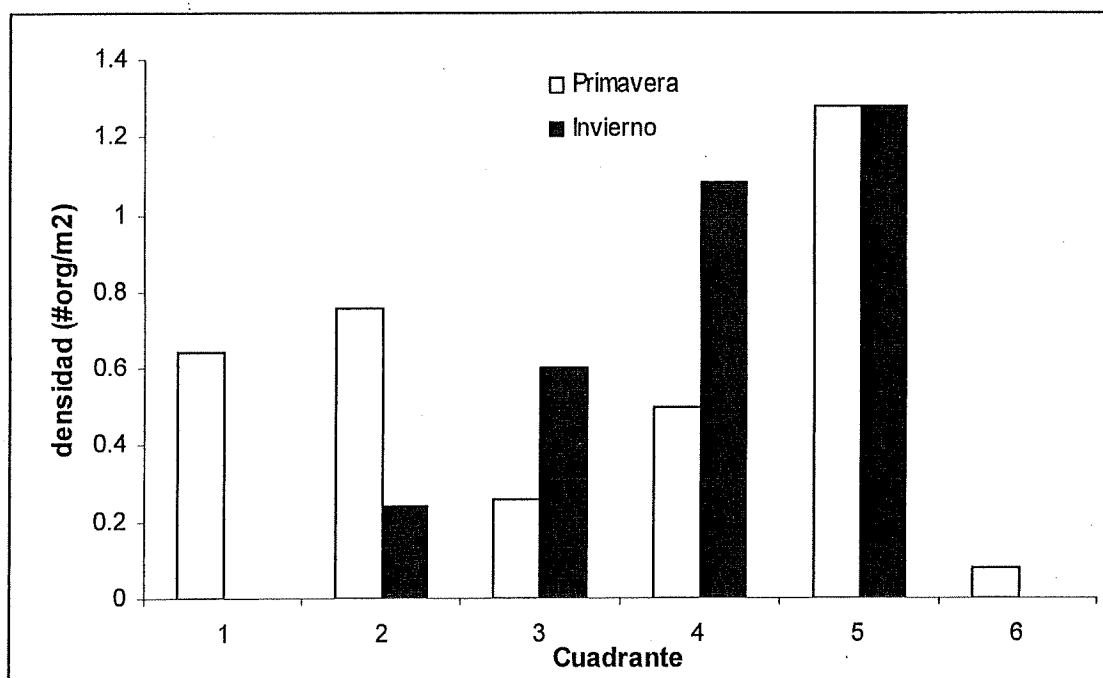


Figura 7. Densidad de *Pisaster ochraceus* (#org/m²) por cuadrante, en la zona de Punta Piedra durante los muestreos de primavera (barras blancas) e invierno (barras gris).

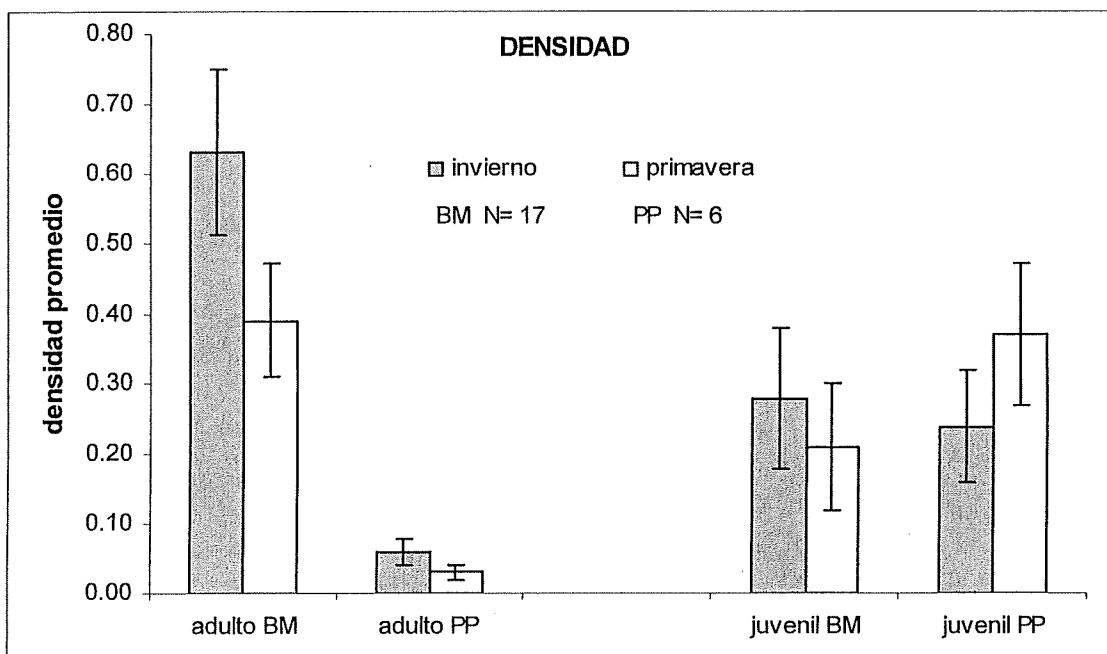


Figura 8. Densidad por grupo de organismos: adultos y juveniles en Bajamar (BM) y Punta Piedra (PP) y \pm error estándar.

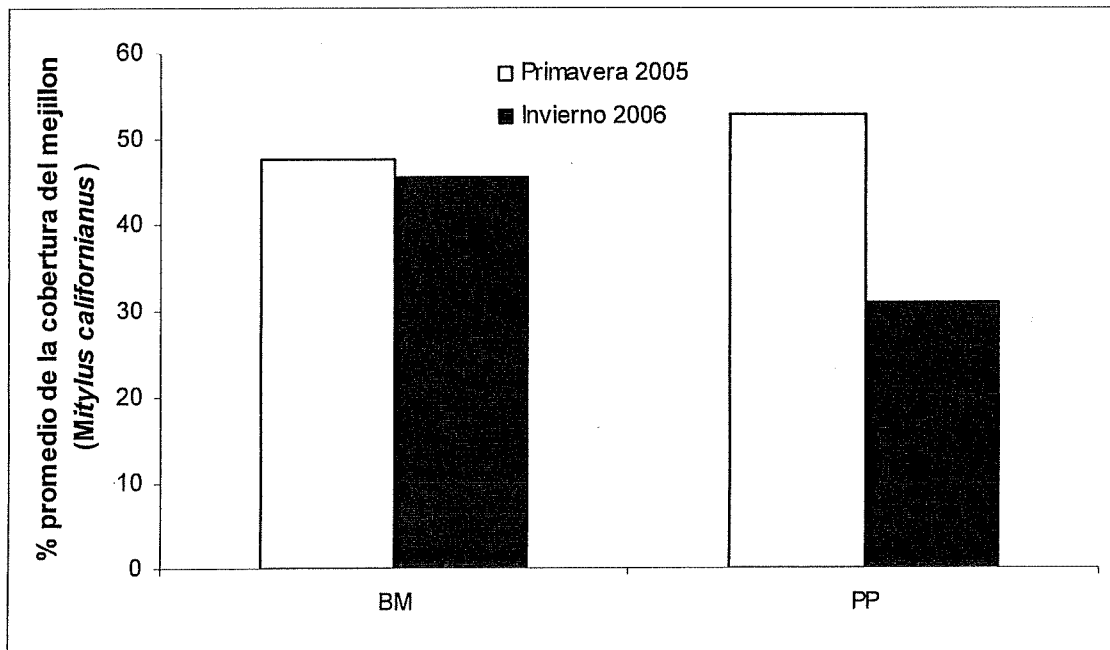


Figura 9. Cobertura en porcentaje promedio del mejillón (*Mytilus californianus*) principal alimento de la estrella de mar (*Pisaster ochraceus*), en Bajamar y Punta Piedra en cada época de muestreo. Las barras blancas indican el periodo de primavera y las barras gris el periodo de invierno.

III. 1.2 Estructura de talla

Debido a que no se encontraron diferencias significativas entre las estructuras de tallas en las dos épocas de muestreo, tanto de Bajamar como de Punta Piedra ($p= 0.986$ y $p=0.691$, respectivamente; Mann-Whitney), los datos se agruparon para realizar la comparación entre zonas (Figs. 10 y 11). La población de Bajamar esta representada principalmente por organismos de 13 a 17 cm (Fig. 12), con un porcentaje de frecuencia acumulado del 44.94%. En Punta Piedra, las tallas más frecuentes fueron de 6 a 9 cm (Fig. 13), con un porcentaje acumulado del 66.3%. En Bajamar es notable la ausencia de organismos pequeños, menores a 5 cm y en Punta Piedra la ausencia de organismos grandes, mayores a 14 cm. La talla promedio en Bajamar fue de 12.67 y en Punta Piedra de 7.13. Al comparar la estructura de tallas se encontró una diferencia significativa entre zonas ($p = 0.005$; Mann-Whitney).

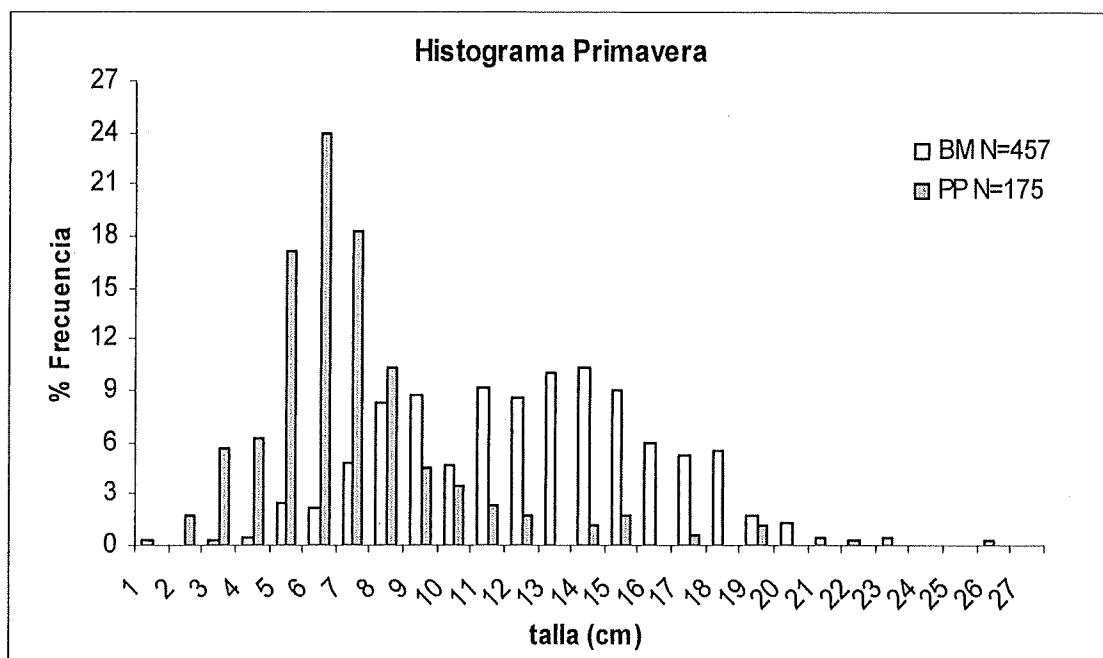


Figura 10. Comparación de las estructuras de tallas de *P. ochraceus* que se presentaron en primavera en Bajamar (BM) barras blancas y Punta Piedra (PP) barras gris.

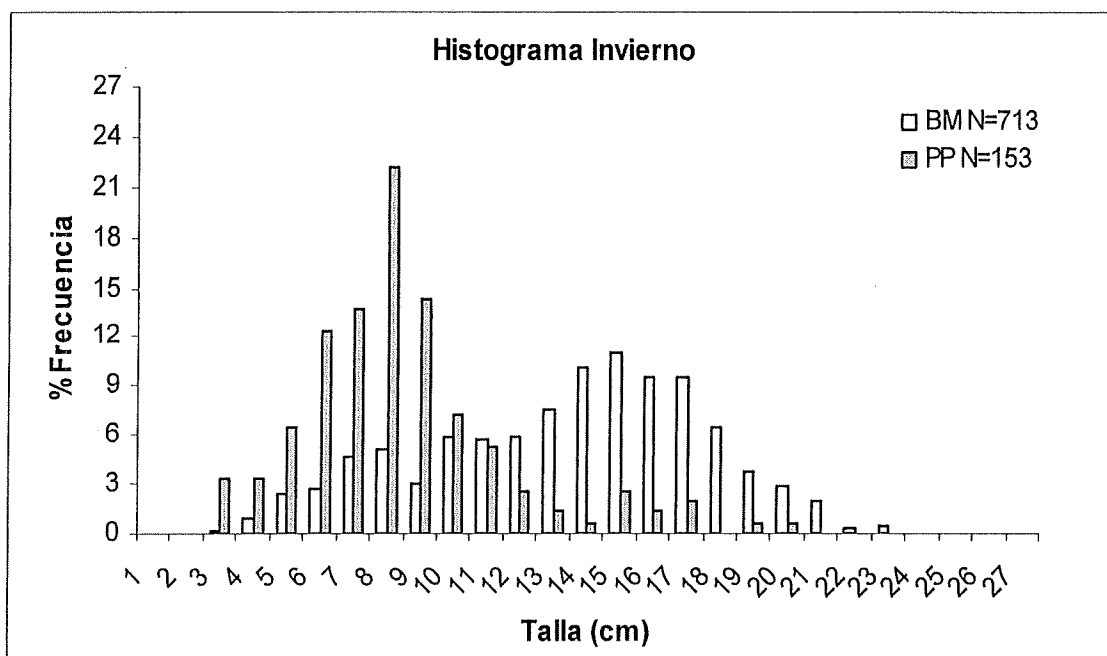


Figura 11. Comparación de las estructuras de tallas de *P. ochraceus* que se presentaron en invierno en Bajamar (BM) barras blancas y Punta Piedra (PP) barras gris.

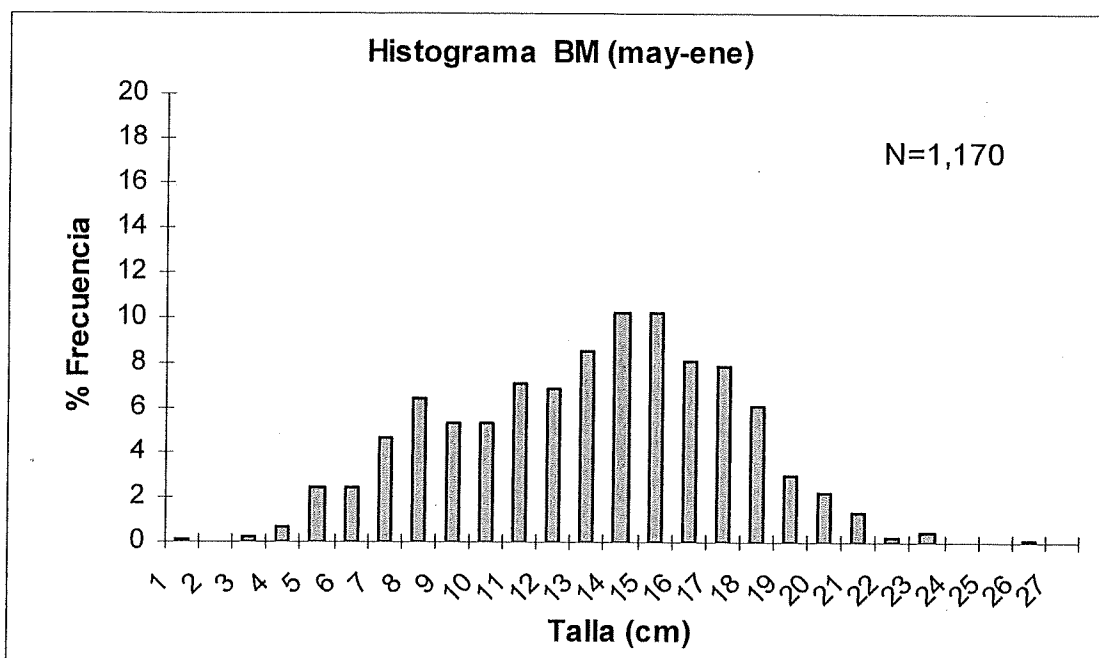


Figura 12. Frecuencia de tallas de *P. ochraceus* presentes al juntar los datos de los muestreos intensivos (primavera 2005 e invierno 2006) en Bajamar (BM).

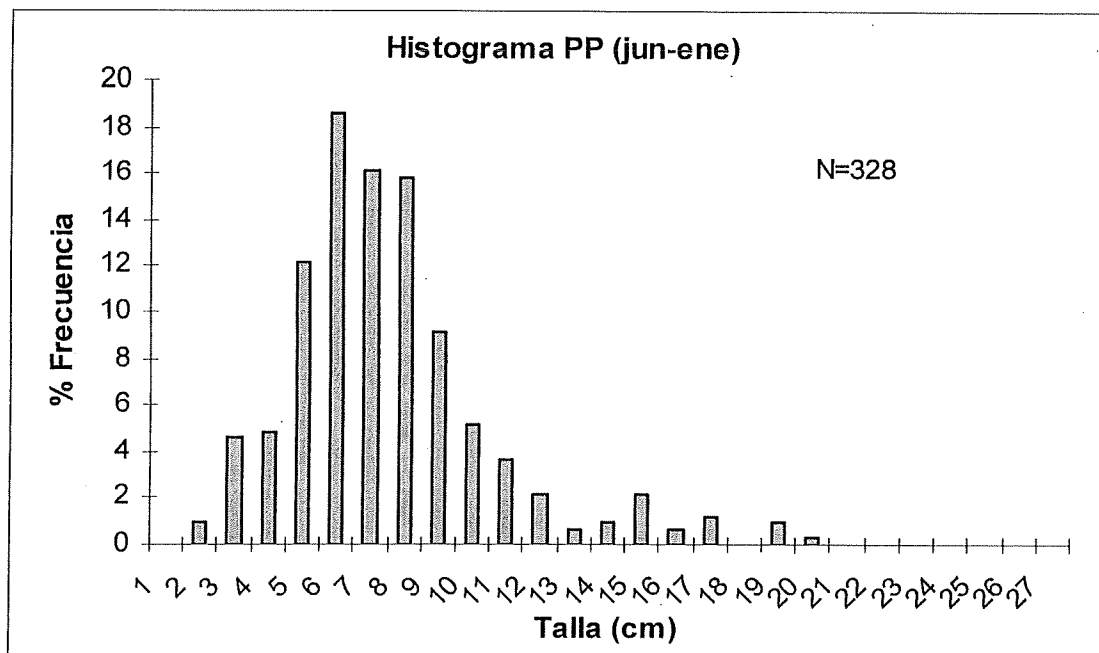


Figura 13. Frecuencia de tallas de *P. ochraceus* presentes al juntar los datos de los muestreos intensivos (primavera 2005 e invierno 2006) en Punta Piedra (PP).

III. 1. 3 Biomasa

De los organismos colectados durante el año de muestreo, los de Punta Piedra presentaron una talla promedio de 9.96 centímetros con 161.37 gramos promedio de peso sin gónada y 229.52 gramos promedio del peso húmedo. Mediante una conversión a logaritmo base 10 de la talla y peso húmedo, se observa que la relación talla-peso, es directamente proporcional (Fig 14).

Bajamar presentó durante el año, una talla promedio de 10.48 centímetros con 196.53 gramos promedio de peso sin gónada y 265.69 gramos promedio de peso húmedo. La relación entre la talla y el peso fue directamente proporcional (Fig 15).

Al considerar la diferencia entre el peso húmedo y el peso sin gónada, se observó que los organismos tienen una pérdida de peso de 68.15 g en Punta Piedra y 69.16 g en Bajamar. Esta diferencia refleja la etapa reproductiva en aquellos meses donde el organismo tiene mayor peso, debido al crecimiento de la gónada.

La prueba de Mann-Whitney, indicó que no existe una diferencia estadística ($P= 0.133$), entre los pesos húmedos promedios que presentó cada zona de estudio.

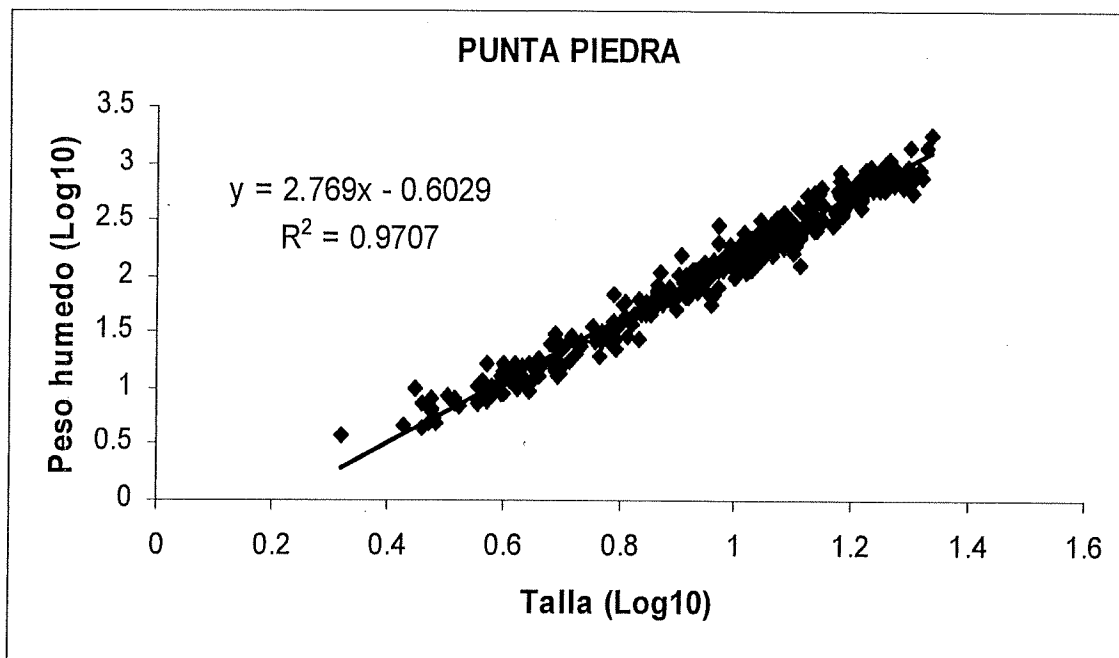


Figura 14. Relación talla peso (\log_{10}) de los organismos colectados de *P. ochraceus* durante febrero del 2005 a febrero del 2006 en Punta Piedra.

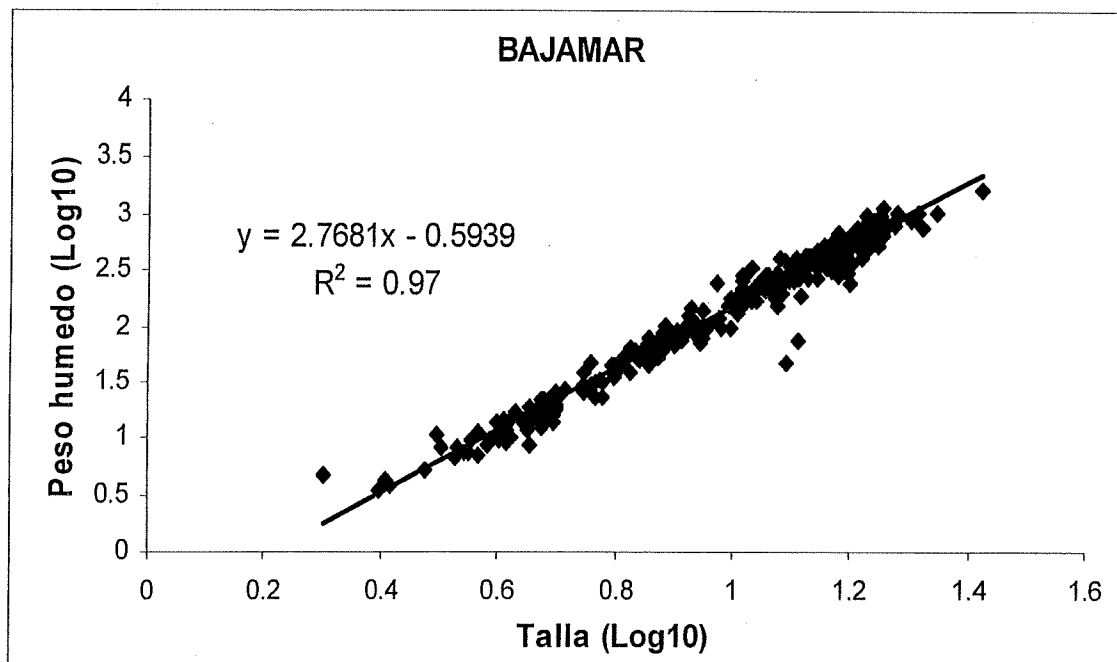


Figura 15. Relación talla peso (\log_{10}) de los organismos colectados de *P. ochraceus* durante febrero del 2005 a febrero del 2006 en Bajamar.

La biomasa promedio en Bajamar durante el primavera fue de 307.71 g y en invierno de 390.19 g. No se encontraron diferencias significativas entre épocas del año. Tampoco se encontraron diferencias significativas entre primavera (64.11 g) e invierno (109.78 g) en Punta Piedra. La biomasa promedio fue significativamente mayor en Bajamar que en Punta Piedra, en las dos épocas del año (Fig. 16); ($p = 0.001$; Mann-Whitney)

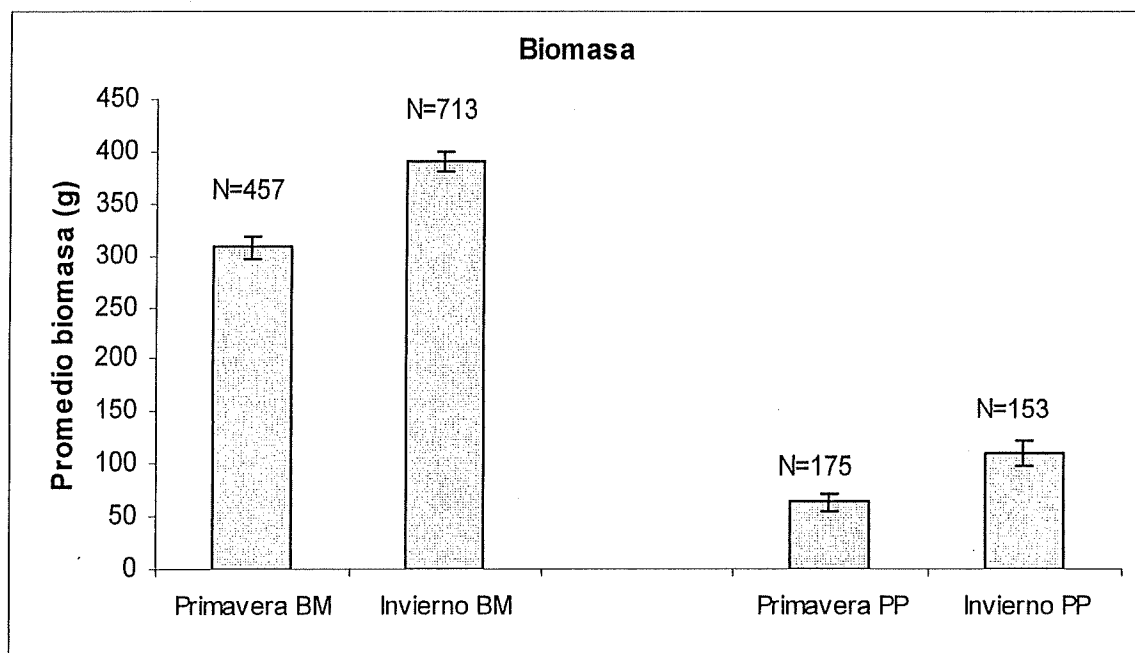


Figura 16. Biomasa promedio y \pm error estándar, en 2 épocas del año (primavera del 2005 e invierno del 2006) en Bajamar (BM) y Punta Piedra (PP).

III. 2 Aspectos reproductivos.

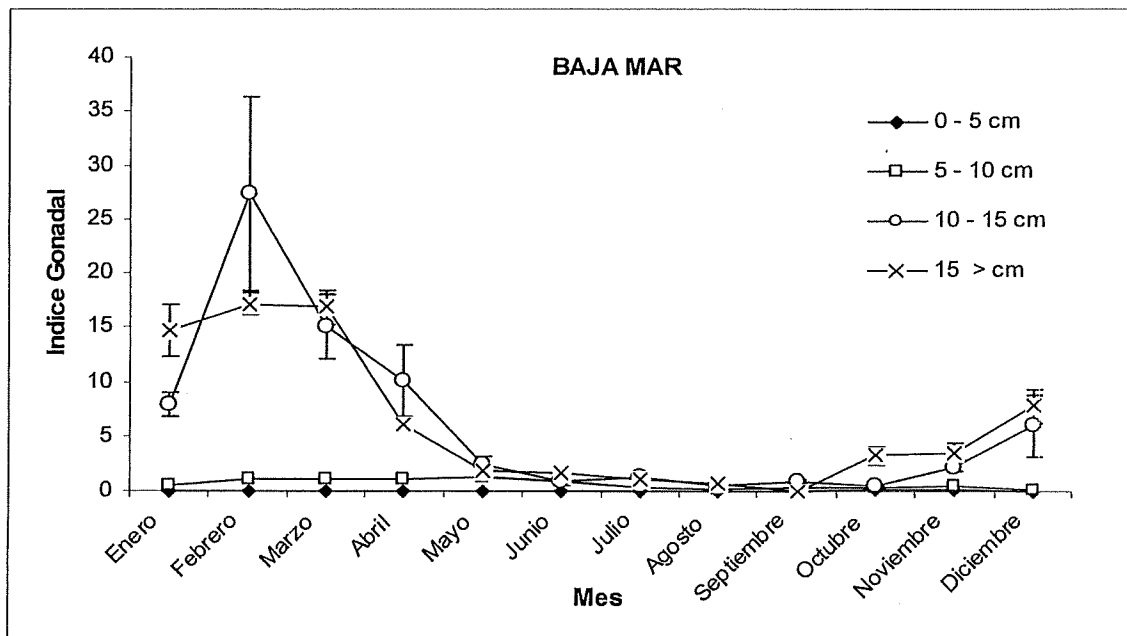
III. 2.1 Interpretación del ciclo gonadosomático.

INDICE GONADAL

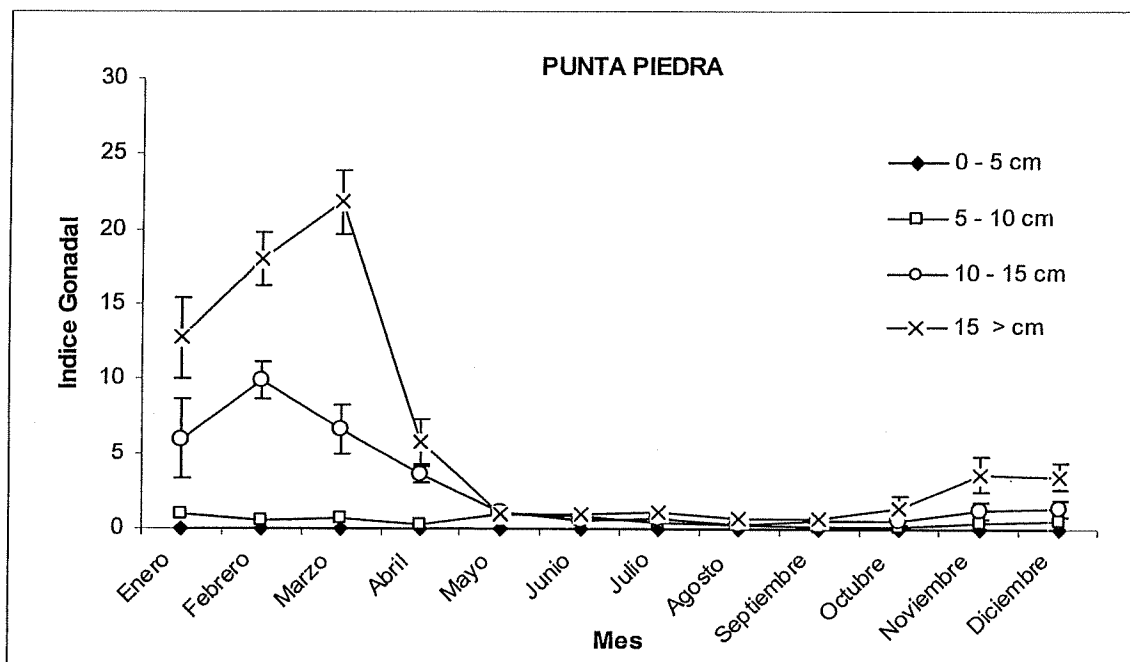
Las estrellas de 0.1 a 5 centímetros, presentaron un índice gonadosomático (I.G.) ≤ 0.1 en ambas zonas (Bajamar y Punta Piedra). Esta clase de talla se caracterizó por la ausencia de gónadas y en ocasiones se perdió la muestra de gónada por lo pequeño de su tamaño.

Los valores del I.G. para organismos de 5 a 10 centímetros, oscilaron entre 0.12 y 1.32 en Bajamar y entre 0.13 y 0.96 en Punta Piedra. En ambas zonas el valor más alto se registró en mayo del 2005, y el valor más bajo fue en agosto para Bajamar y septiembre para Punta Piedra.

Para los organismos de 10 a 15 centímetros el I.G. más alto se registró en febrero del 2006, en ambas zonas, y los valores fueron significativamente mayores en Bajamar (27.3) que en Punta Piedra (9.95) ($p = 0.010$; Mann-Whitney). Por último, para los organismos mayores a 15 centímetros, los valores más pequeños del I.G fueron de 0.80 y 0.66 para Bajamar y Punta Piedra respectivamente. Los mayores valores se encontraron en febrero del 2006 y marzo del 2005, con 17.09 y 21.84 en Bajamar y Punta Piedra, respectivamente (Fig. 17a y 17b). Las diferencias no fueron significativas en febrero ($p = 0.740$; prueba t) ni en marzo ($p = 0.069$; prueba t).



a)



b)

Figura 17. Promedio mensual y \pm error estándar del I.G. de la estrella de mar *Pisaster ochraceus* a) Bajamar y b) Punta Piedra. En la parte superior derecha de cada grafica se presentan el símbolo que representa cada intervalo de talla.

DESCRIPCIÓN DE LAS FASES GONÁDICAS. ESTADIO 0 (No Diferenciados)

No se observan células sexuales con claridad en la gónada de las estrellas analizadas y la membrana gonadal es gruesa y rugosa. En ocasiones se observa un espacio casi totalmente vacío y en algunas gónadas hay presencia de numerosos fagocitos, que se identificaron por su estructura irregular en forma de telaraña. (Fig 18).

Este estadio fue frecuente en la mayoría de los organismos entre los 4 y 5.5 cm, en cualquier época del año.

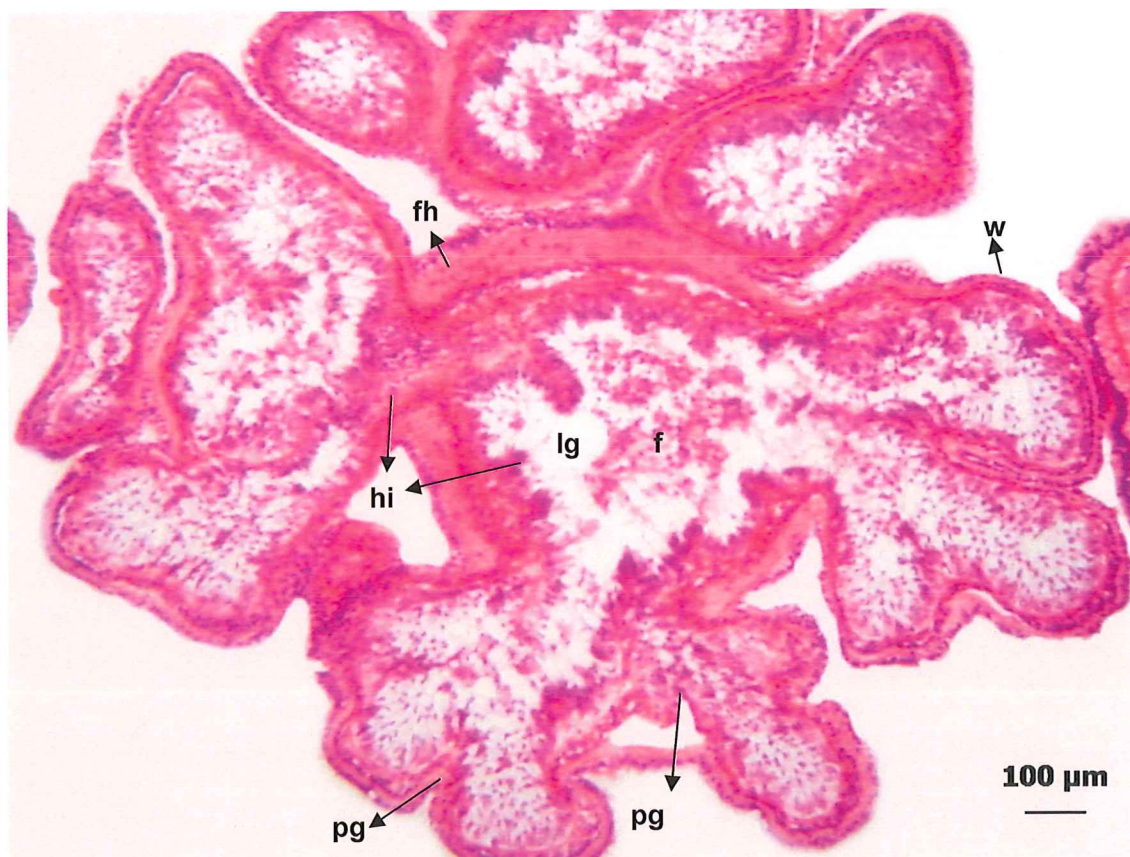


Figura 18. Corte histológico de *Pisaster ochraceus*. Etapa 0. Indiferenciado (16x). Fluido hemal (fh), lumen de la gónada (lg), membrana gonadal (w), pliegues de la gónada (pg), células no diferenciadas (hi) y fagocitos (f).

HEMBRAS

ESTADIO 1 (Etapa De Recuperación)

La membrana gonadal es gruesa, presenta dobleces ocasionalmente y doble saco de la pared gonadal. Entre los dobleces presenta una telaraña de fluido hemal. En ocasiones presenta material amorfo en el centro de la gónada, con pocos ovocitos previtelogénicos o ausencia de ellos. Hay presencia de oogonias en la capa germinal. En ocasiones puede confundirse con desove, pero la presencia de ovocitos previtelogénicos abundantes indica que no se trata de un desove (Fig 19).

Este estadio no es característico necesariamente de organismos de talla pequeña o mediana ya que también se encontró en organismos de talla grande que desovaron y están en etapa de recuperación.

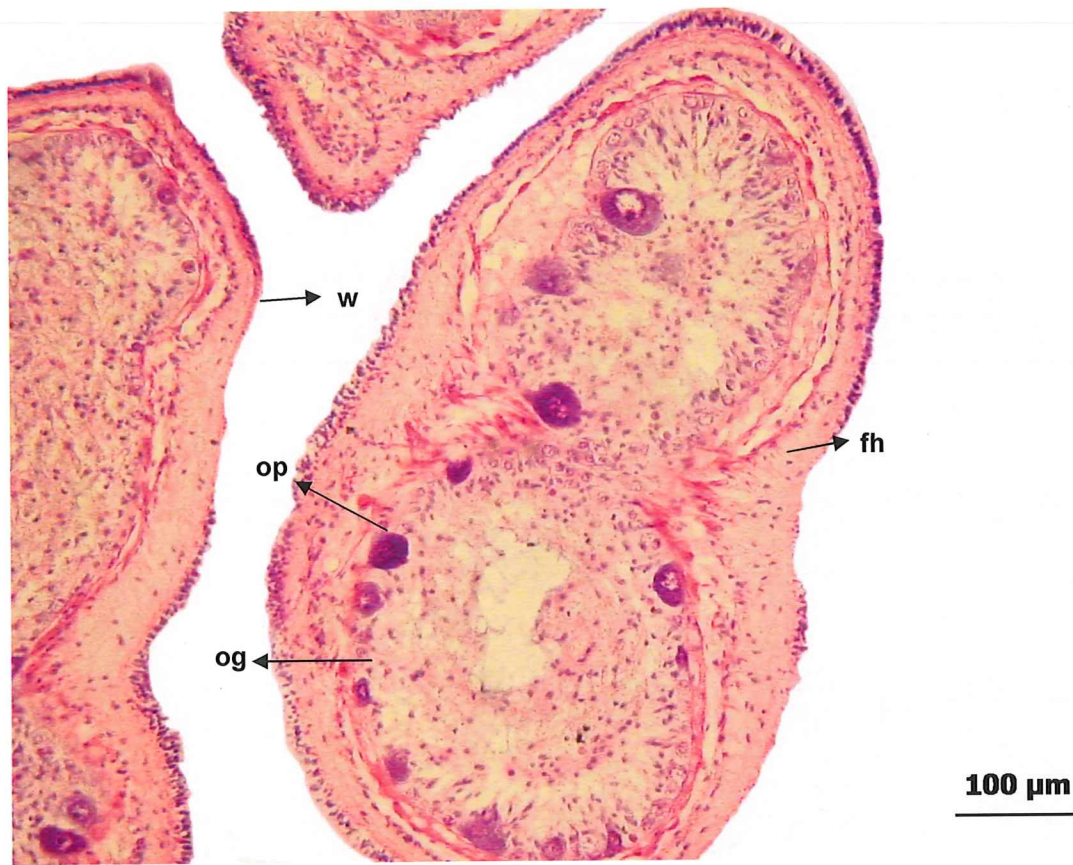


Figura 19. Corte histológico de una hembra de *Pisaster ochraceus*. Etapa 1. Recuperación (20x). Fluido hemal (fh), membrana gonadal (w), ovocitos previtelogénicos (op) y oogonias (og).

ESTADIO 2 (Etapa De Crecimiento)

La membrana gonadal es gruesa y en ocasiones presenta doble saco, con abundantes oocitos en diferentes estadios de desarrollo. En etapas avanzadas la membrana gonadal se atenúa. Presenta fluido hemal en forma ramificada con muchos oocitos previtelogénicos cubriendo casi el 30% de la gónada. En tallas menores a 7cm los oocitos llegan a cubrir toda la gónada, y presentar una forma circular en la periferia e irregular en el centro. En la mayoría de los organismos analizados se encontraron residuos en el centro de la gónada (Fig 20).



Figura 20. Corte histológico de una hembra de *Pisaster ochraceus*. Etapa 2. Crecimiento (10x). Fluido hemal (fh), membrana gonadal (w) y ovocitos previtelogénicos (op).

ESTADIO 3 (Etapa Madura)

La membrana gonadal es delgada, con pocos o nada de ovocitos previtelogénicos en la periferia de la gónada. Abundantes ovocitos vitelogénicos cubriendo el lumen, muy pocos en etapa temprana. Los ovocitos vitelogénicos presentan una forma irregular, tamaño mayor a 100 micras, con muy poco o casi nada de espacio entre ellos y se encuentran cubriendo en su totalidad la gónada (Fig 21).

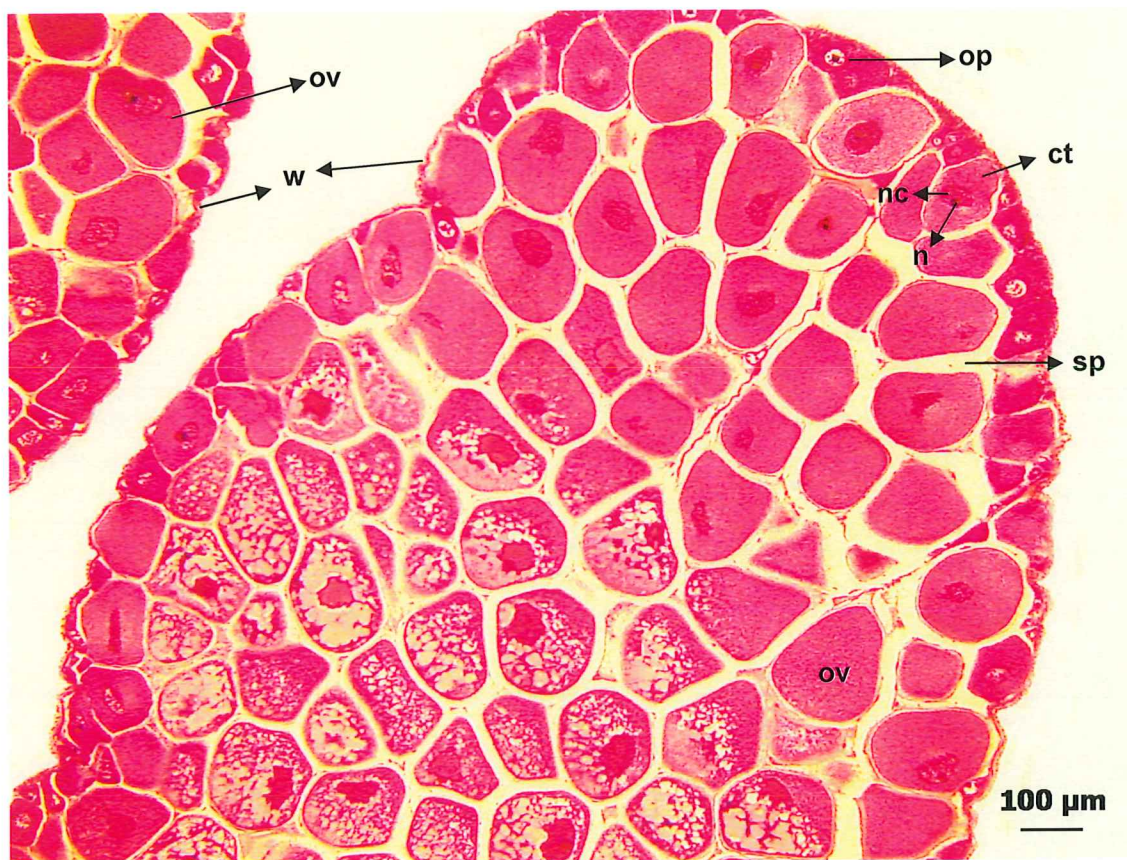


Figura 21. Corte histológico de una hembra de *Pisaster ochraceus*. Etapa 3. Madurez (10X). Membrana gonadal (w), ovocitos previtelogénicos (op), ovocitos vitelogénicos (ov), núcleo (n), nucleolo (nc), citoplasma (ct) y espacio (poco) entre ovocitos (sp).

ESTADIO 4 (Etapa Parcialmente Desovado)

La membrana gonadal se adelgaza. En ocasiones presenta poco fluido hemal en forma ramificada, con algunos oocitos previtelogénicos en la periferia de la gónada. Los oocitos vitelogénicos completamente crecidos están libres en el lumen y dependiendo del avance de desove será el espacio entre ellos. Algunos organismos presentaron fagocitos en el lumen con poco material amorfo (Fig 22).

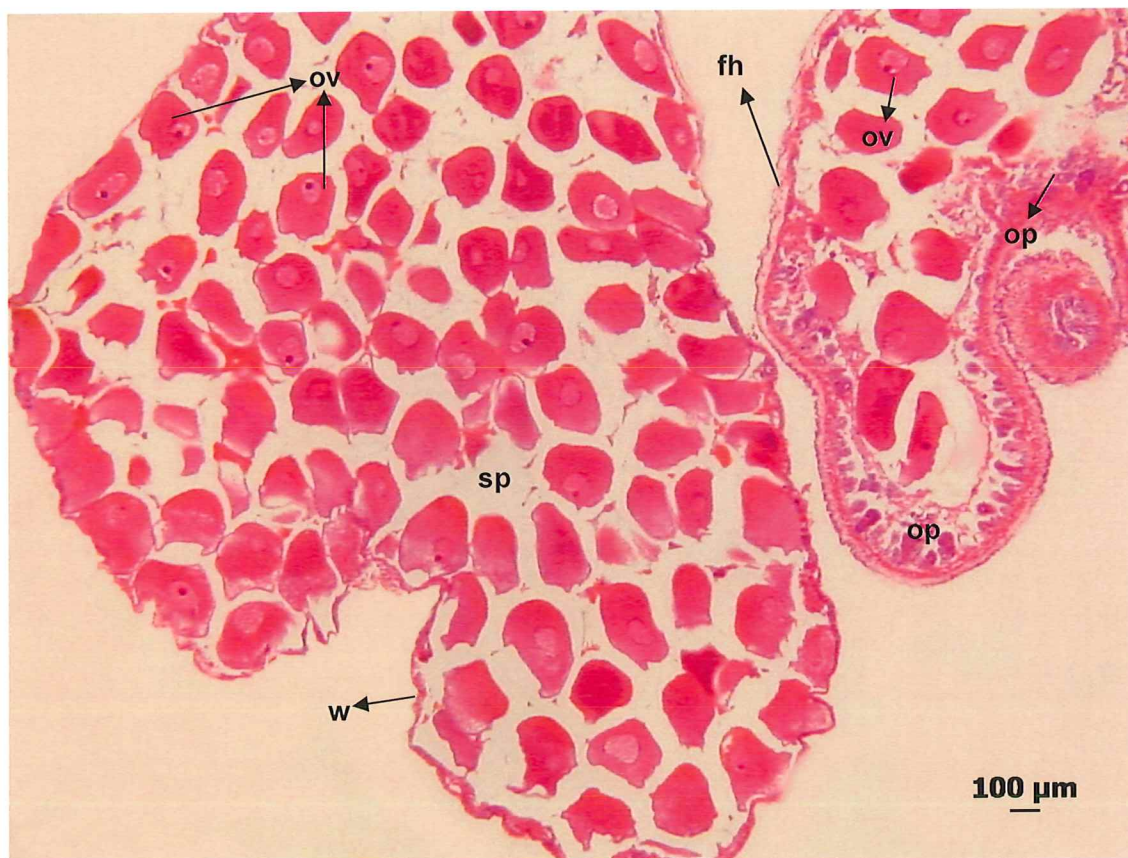


Figura 22. Corte histológico de una hembra de *Pisaster ochraceus*. Etapa 4. Parcialmente Desovado (5x). Membrana gonadal (w), fluido hemal (fh), ovocitos previtelogénicos (op), ovocitos vitelogénicos (ov) y espacio (mayor) entre ovocitos (sp).

ESTADIO 5 (Etapa De Desove Total)

La membrana gonadal en ocasiones forma pliegues (no siempre), distinguiéndose dos sacos de gran grosor. Presenta abundante fluido hemal en forma ramificada con pocos oocitos previtelogénicos, algunos parecen continuar su desarrollo. En ocasiones se notan oocitos vitelogénicos residuales en la gónada (Fig 23).



Figura 23. Corte histológico de una hembra de *Pisaster ochraceus*. Etapa 5. Desovado (5x). Membrana gonadal (w), fluido hemal (fh), oocitos previtelogénicos (op) y oocitos vitelogénicos (ov).

MACHOS

ESTADIO 1 (Etapa De Recuperación)

La membrana gonadal es gruesa con numerosos pliegues, la presencia del fluido hemal se hace visible como material eosinófilo. La columna de espermatocitos inicia en el epitelio germinal y forma columnas basófilas. En la mayoría de los casos se nota un hueco en el centro de la gónada y en ocasiones puede presentar pocos espermatozoides en el lumen (Fig 24).

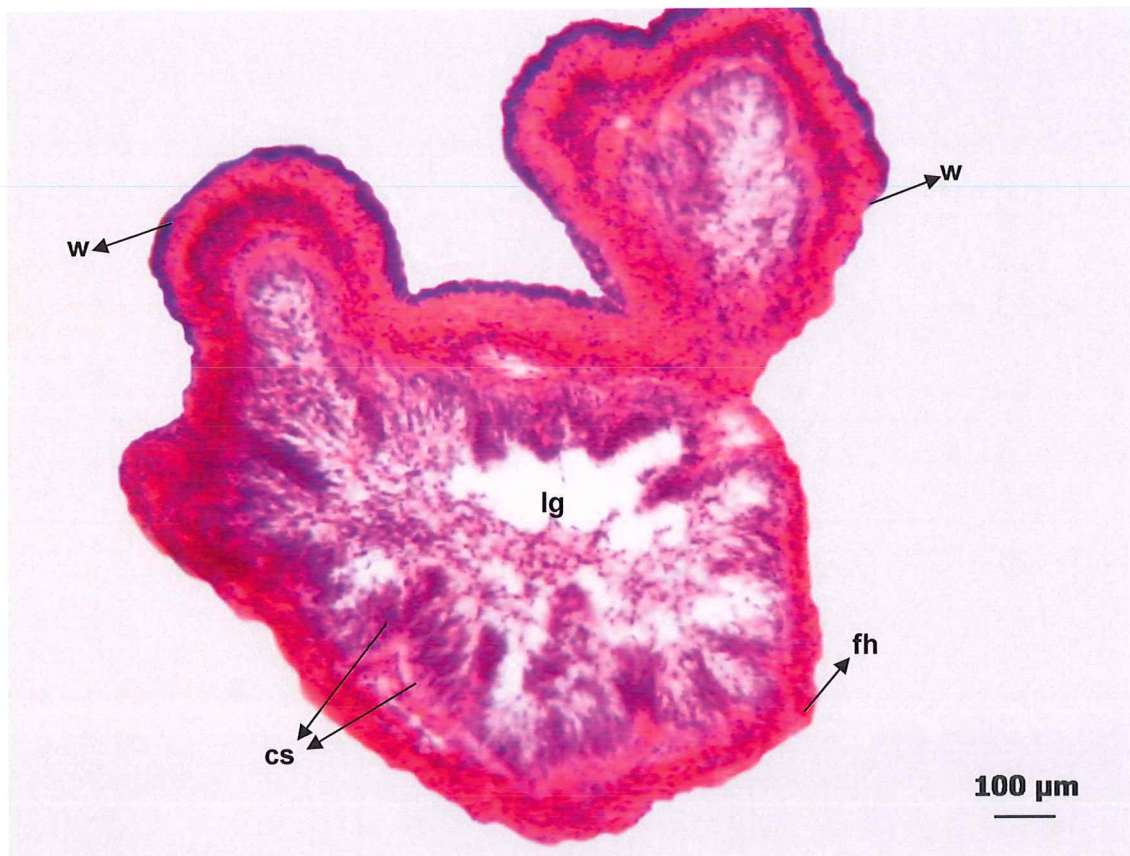


Figura 24. Corte histológico de un macho de *Pisaster ochraceus*. Etapa 1. Recuperación (16x). Membrana gonadal (w), fluido hemal (fh), columna de espermatocitos (cs) y lumen de la gónada (lg).

ESTADIO 2 (Etapa De Crecimiento)

La membrana gonadal se atenúa, los dobleces empiezan a disminuir aunque el grosor de la misma no disminuye en todos los casos. La columna de espermatocitos se extiende hacia el lumen, lugar donde se presenta una gran cantidad de espermatozoides. Las acumulaciones del fluido hemal pueden persistir en ciertas partes de la gónada (Fig 25).

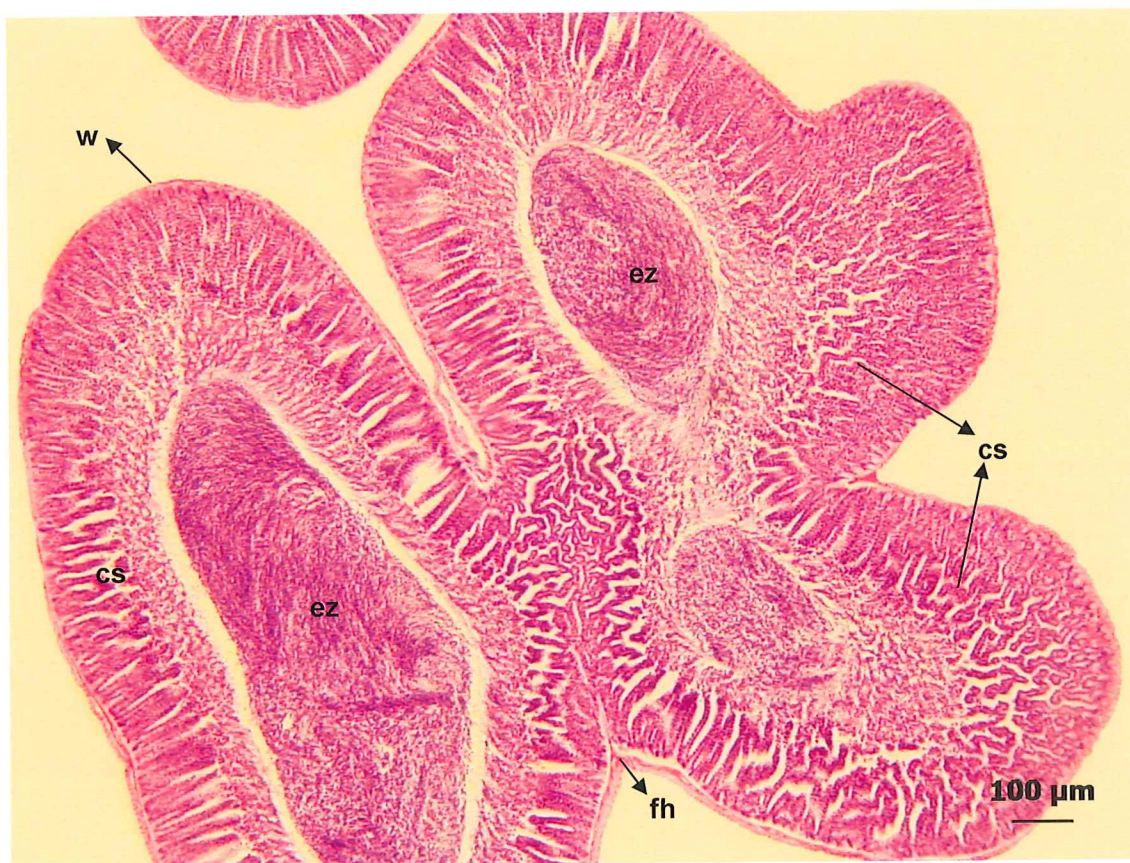


Figura 25. Corte histológico de un macho de *Pisaster ochraceus*. Etapa 2. Crecimiento (10x). Membrana gonadal (w), columna de espermatocitos (cs), fluido hemal (fh) y espermatozoides maduros (ez).

ESTADIO 3 (Etapa Madura)

Tanto la membrana gonadal como la columna de espermatocitos son delgadas. La cantidad de espermatozoides es más densa en el lumen, existe un espacio muy pequeño entre ellos y la columna de espermatocitos. La gametogénesis procede en paralelo al desove para sustituir los espermatozoides expulsados (Fig 26).

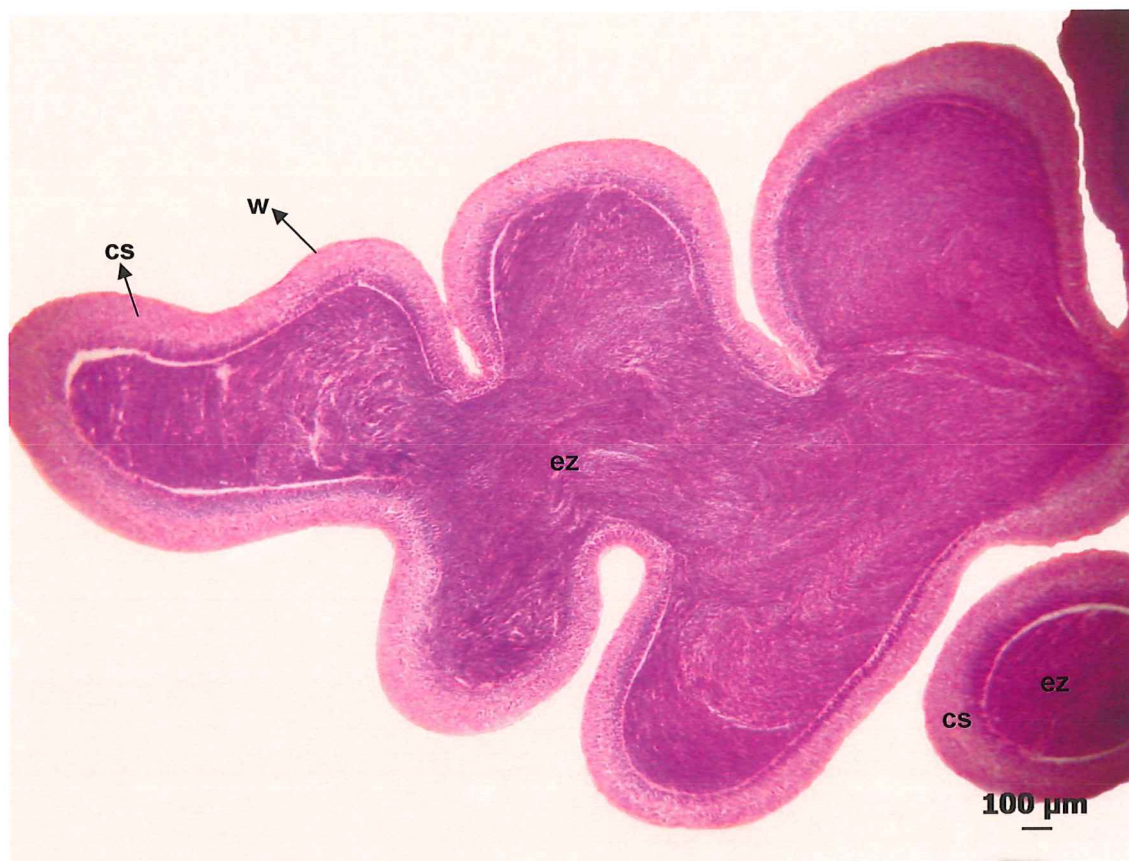


Figura 26. Corte histológico de un macho de *Pisaster ochraceus*. Etapa 3. Madurez (5X). Membrana gonadal (w), columna de espermatocitos (cs) y espermatozoides maduros (ez).

ESTADIO 4 (Etapa Parcialmente Desovado)

La membrana gonadal es delgada, así como la capa de espermatocitos presentes en la periferia de la gónada. La cantidad de espermatozoides en el lumen es menos densa y existe un espacio de tamaño variable entre los espermatozoides periféricos y la masa central, debido a la expulsión de gametos (Fig 27).



Figura 27. Corte histológico de un macho de *Pisaster ochraceus*. Etapa 4. Parcialmente Desovado (10x). Membrana gonadal (w), columna de espermatocitos (cs), espermatozoides maduros (ez) y espacio entre espermatozoides (sp).

ESTADIO 5 (Etapa De Desove Total)

La membrana gonadal se contrae, distinguiéndose dos sacos. Los fagocitos en el lumen se acumulan y algunos espermatozoides residuales pueden estar presentes al mismo tiempo. La capa hemal empieza a extenderse. Esta etapa presenta gran similitud con la etapa 1, lo que en ocasiones complica la interpretación de algunos cortes histológicos (Fig 28).

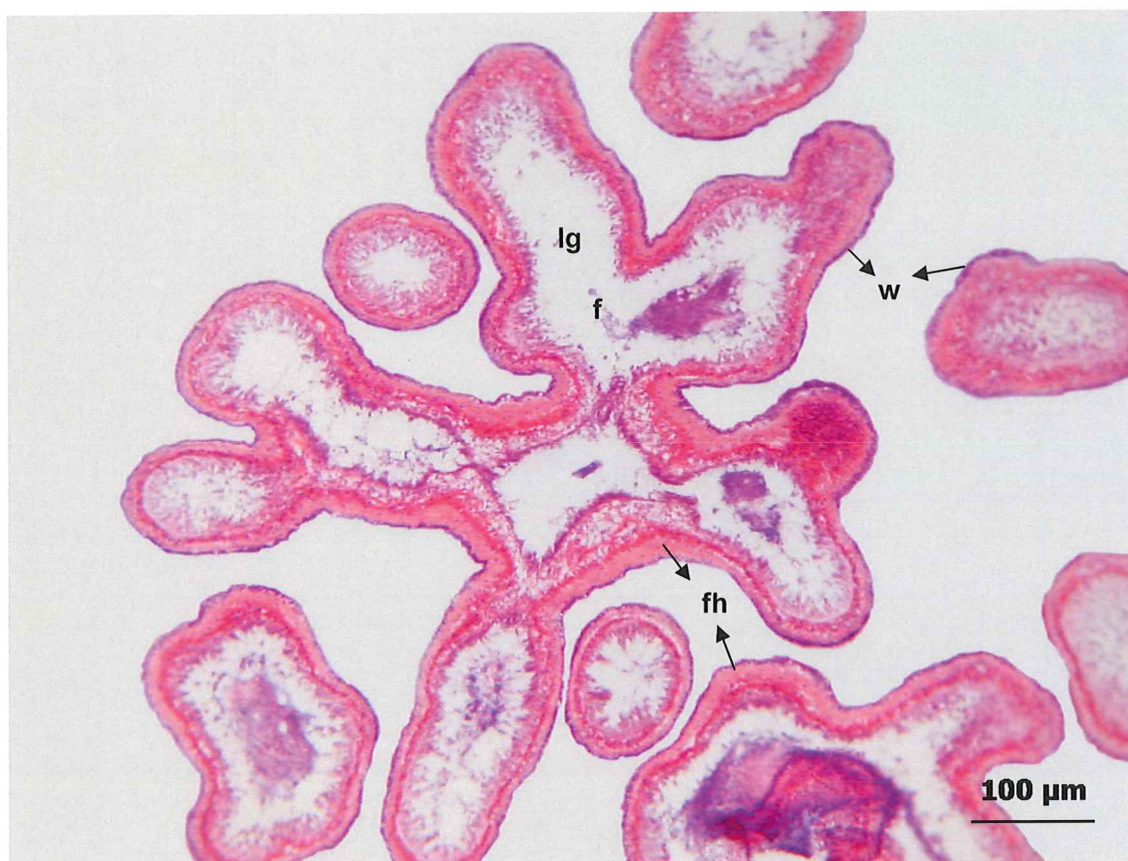


Figura 28. Corte histológico de un macho de *Pisaster ochraceus*. Etapa 5. Desovado (20x). Membrana gonadal (w), fagocitos (f), lumen de la gónada (lg) y fluido hemal (fh).

En general, el estadio 0 se presentó todo el año para Punta Piedra mientras que en Bajamar hubo ausencia en octubre y diciembre. El estadio 1 se encontró todo el año con excepción de enero en Punta Piedra y marzo para Bajamar y representó el 19.89% en Punta Piedra y el 20.90% en Bajamar, del total de organismos analizados (hembras y machos). El estadio 2, se observó todo el año, representando el 17.74% en Punta Piedra y el 18.33% en Bajamar. El estadio 3, se caracterizó por presentarse de enero a abril y noviembre en Punta Piedra y de diciembre a mayo en Bajamar. Los porcentajes de ocurrencia fueron del 11.55% en Punta Piedra y del 14.79% en Bajamar.

El estadio 4 se presentó 2 veces al año: de febrero a junio y en septiembre, noviembre y diciembre en ambas localidades, lo que indica el inicio del desove para *P. ochraceus*. Los porcentajes de ocurrencia fueron de 9.95% en Punta Piedra y 16.40% en Bajamar. Finalmente, el estadio 5 se inicia en abril y continúa hasta diciembre en Punta Piedra y para Bajamar inicia en abril y termina en octubre. En Punta Piedra se encontró el 25.27% de los organismos en esta etapa y en Bajamar el 18.97%.

De acuerdo con las etapas de madurez determinadas, se obtuvo el total de organismos por mes, así como su porcentaje. (Figura 29 y 30). Con base en el periodo en el cual la mayoría de los organismos están en estado maduro (etapa 3), se puede deducir que las poblaciones de *Pisaster ochraceus*

presentan su pico reproductivo en febrero y marzo en ambas zonas. Finalmente, se observa que *Pisaster ochraceus*, inicia un desove total en abril.

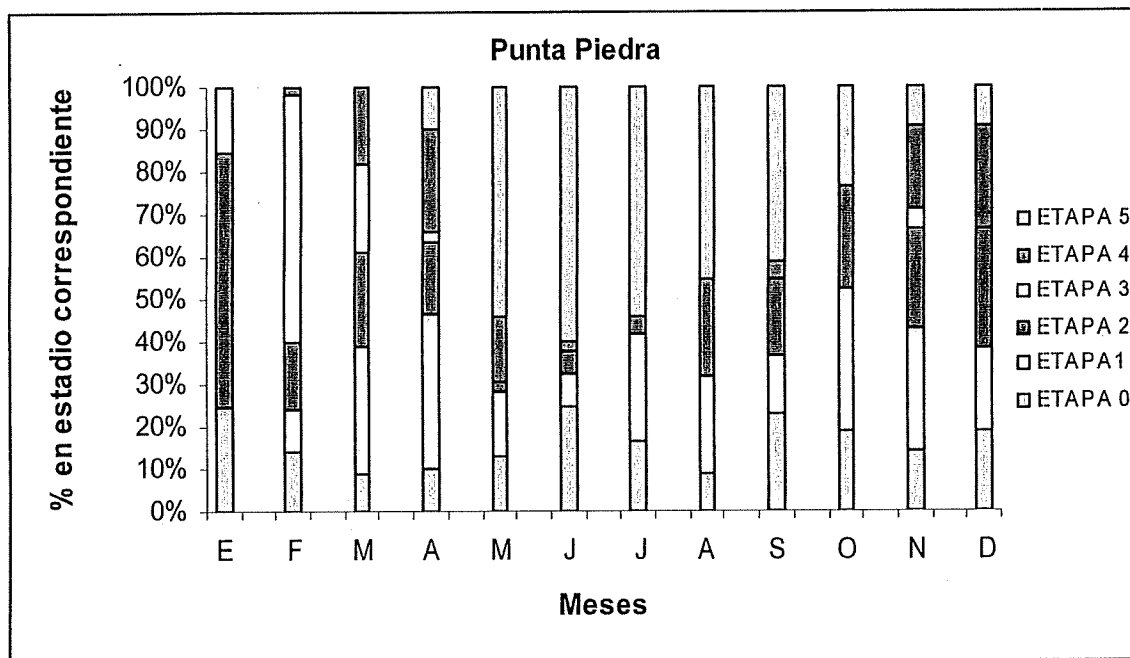


Fig 29. Número de organismos en Punta Piedra que fueron clasificados en cada etapa de madurez, así como el porcentaje que representan del total de organismos analizados cada mes.

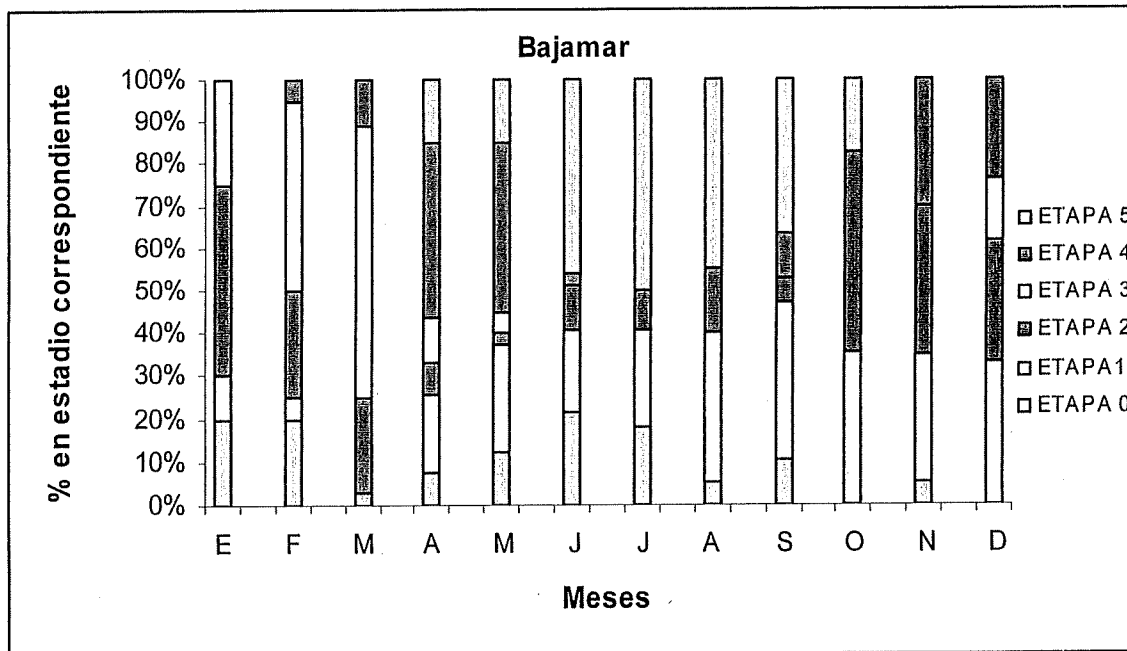


Fig 30. Número de organismos en Bajamar que fueron clasificados en cada etapa de madurez, así como el porcentaje que representan del total de organismos analizados cada mes.

III. 2.2 Talla de primera madurez.

Se estimó que la población de estrellas de Bajamar alcanzan la madurez sexual a los 6.51 cm y la de Punta Piedra a los 6.44 cm (Fig. 31a y 32a). No se encontraron diferencias significativas entre localidades ($p = 0.177$; prueba t).

La talla a la que el 50% de la población esta madura, tampoco fue significativamente diferente ($p = 0.476$; Mann-Whitney). Esta talla en Bajamar fue de 8.9 cm y en Punta Piedra de 9.0 cm. (Fig. 31b y 32b).

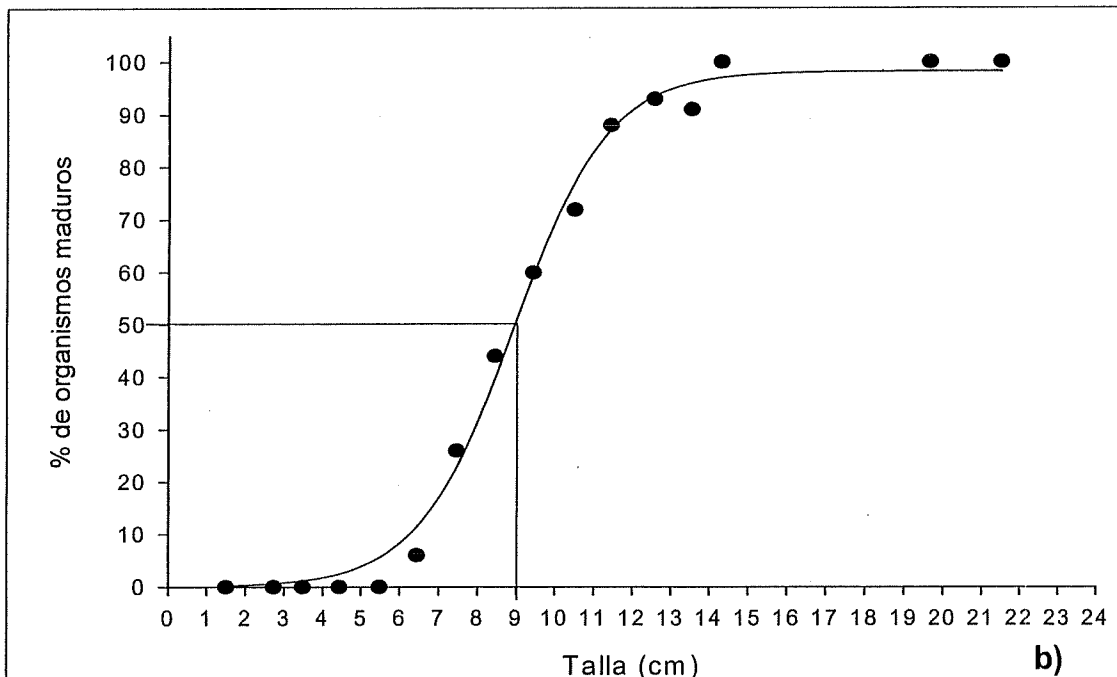
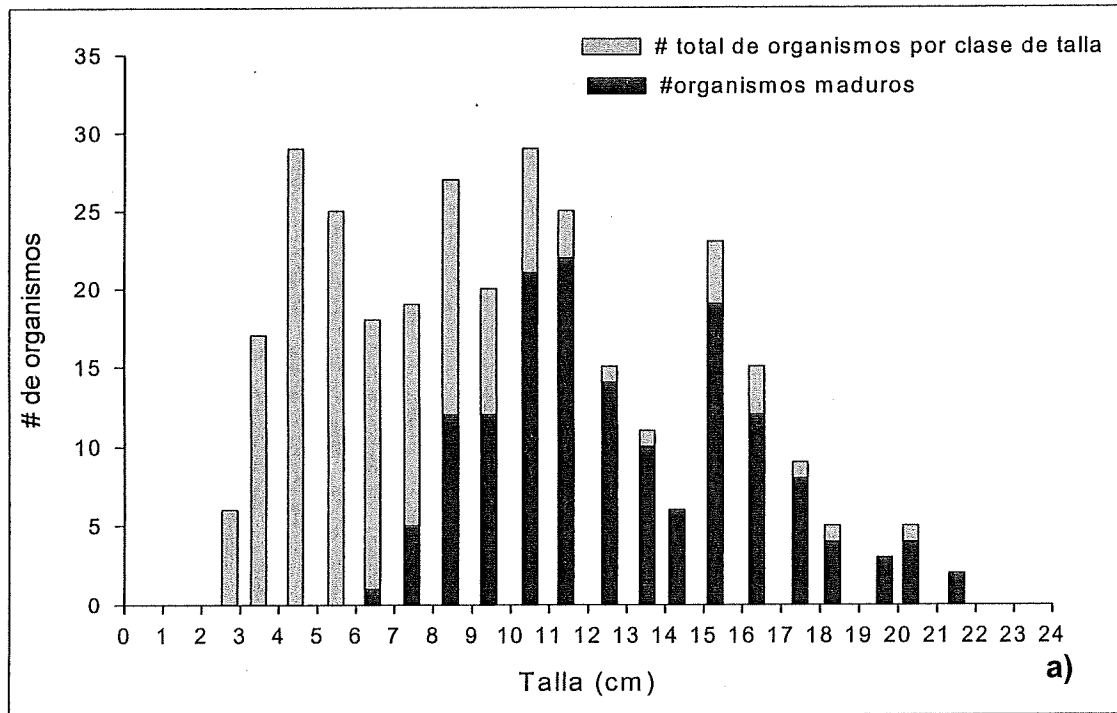


Figura 31. a) Talla de primera madurez para *Pisaster ochraceus*, las barras color gris indican el total de organismos por clase de talla y las barras rosa el número de organismos maduros. b) Talla del 50% de organismos maduros en Punta Piedra.

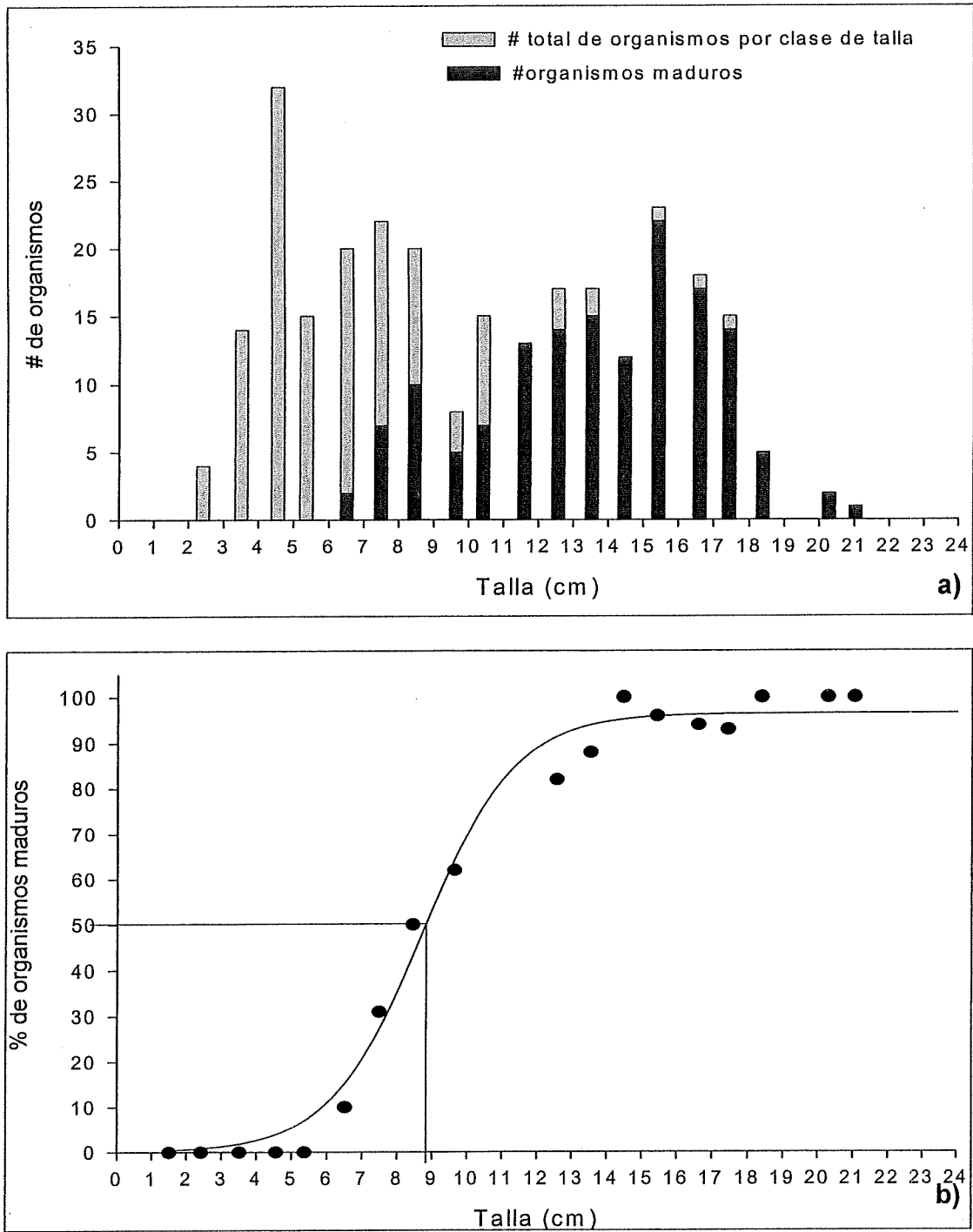


Figura 32. a) Talla de primera madurez para *Pisaster ochraceus* las barras color gris indican el total de organismos por clase de talla y las barras rosa el número de organismos maduros. b) Talla del 50% de organismos maduros en Bajamar.

III. 1.3 Razón de sexos.

Al agrupar todos los datos del año de muestreo se obtuvo que en Bajamar el porcentaje de hembras fue mayor (47%) que el de machos (39%). El porcentaje de organismos indeterminados fue de 14% en Bajamar y 6% en Punta Piedra. En Punta Piedra el porcentaje de hembras y machos fue similar; 46% y 48%, respectivamente. (Fig 33).

La razón de sexos promedio anual fue mayor en Bajamar (2.15) que en Punta Piedra (1.44); sin embargo, las diferencias no fueron significativas ($p = 0.564$; Mann-Whitney). La razón fue variable todo el año, especialmente durante los meses de junio, agosto y septiembre que se caracterizaron por tener un mayor número de hembras en ambas zonas (Fig 34).

Los organismos que presentaron hermafroditismo se clasificaron como indefinidos, excepto en los casos donde existió una mayor proporción de gametos de algún sexo. El número de organismos indefinidos fue similar en ambas zonas: 12.10% en Bajamar y 13.44% en Punta Piedra.

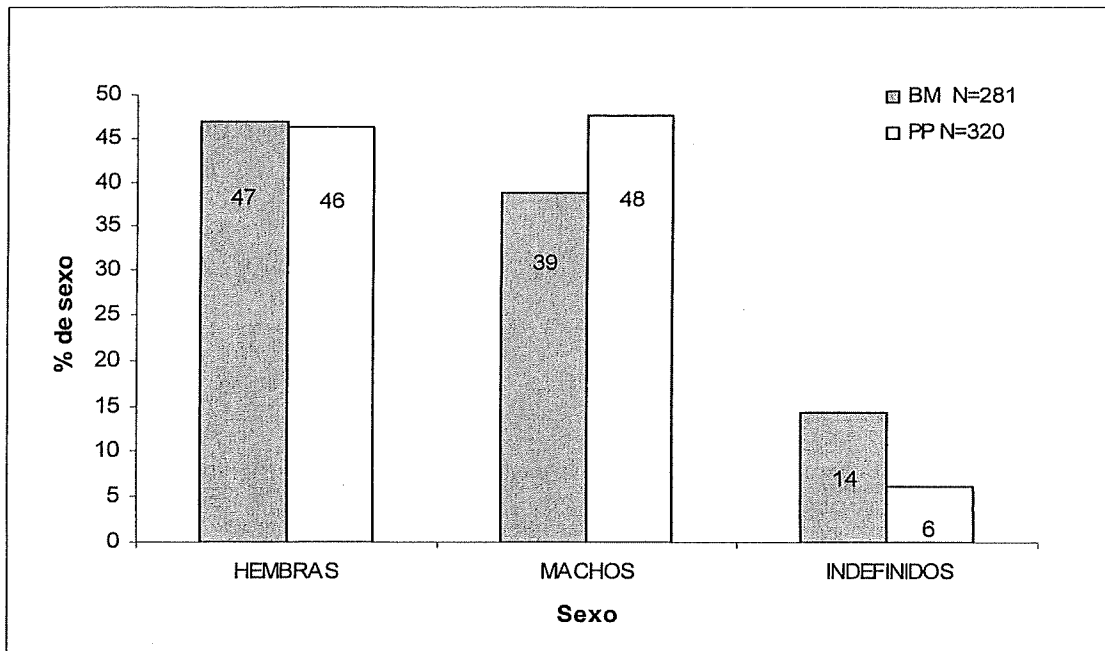


Figura 33. Comparación del porcentaje de sexos para *Pisaster ochraceus* en cada zona de muestreo. Bajamar (BM) barras gris y Punta Piedra (PP) barras blancas.

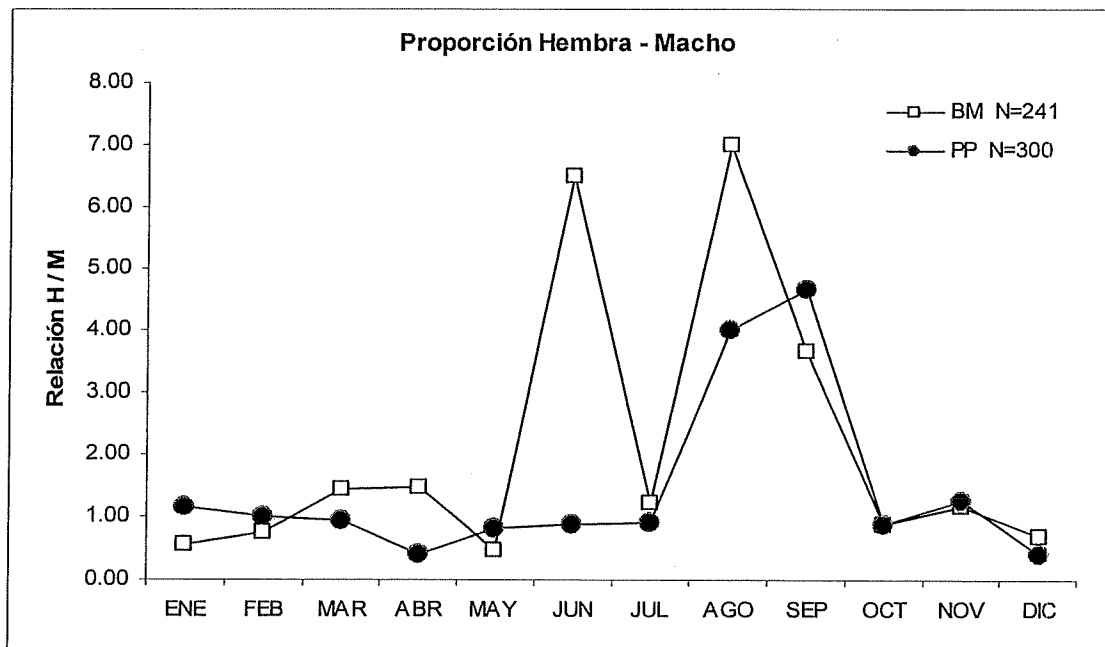


Figura 34. Proporción hembra/macho para *Pisaster ochraceus* en Bajamar (BM) línea con cuadros y Punta Piedra (PP) línea con círculos, durante un año.

III. 1.4 Fecundidad individual y poblacional.

FECUNDIDAD INDIVIDUAL

En las figuras 35 y 36, se observa una relación exponencial entre talla y número de óvulos. La fecundidad individual de estrellas menores ó iguales a 15cm fue mayor en Bajamar; sin embargo, la fecundidad de estrellas mayores a 15cm fue mayor en Punta Piedra (Tabla 1).

Tabla 1. Fecundidad individual de la estrella de mar *Pisaster ochraceus*. La parte sombreada indica la talla a la cual se encontró una mayor fecundidad en ambas zonas.

Fecundidad Individual		
Talla (cm)	Bajamar	Punta Piedra
1	728.63	3.00
2	8,250.94	136.00
3	34,123.35	1,266.36
4	93,432.87	6,167.11
5	204,084.83	21,055.59
6	386,409.70	57,424.07
7	662,901.22	134,120.58
8	1,058,025.22	279,652.89
9	1,598,072.02	534,695.50
10	2,311,037.80	954,784.65
11	3,226,526.65	1,613,188.94
12	4,375,667.82	2,603,945.60
13	5,791,044.58	4,045,053.79
14	7,506,632.24	6,081,817.65
15	9,557,743.56	8,890,332.76
16	11,980,980.02	12,681,110.30
17	14,814,188.18	17,702,834.00
18	18,096,420.14	24,246,245.36
19	21,867,897.60	32,648,153.08
20	26,169,978.89	43,295,562.91
21	31,045,128.74	56,629,924.73
22	36,536,890.27	73,151,493.56
23	42,689,859.04	93,423,801.73
24	49,549,658.90	118,078,239.52
Promedio	12,065,236.80	20,711,708.74

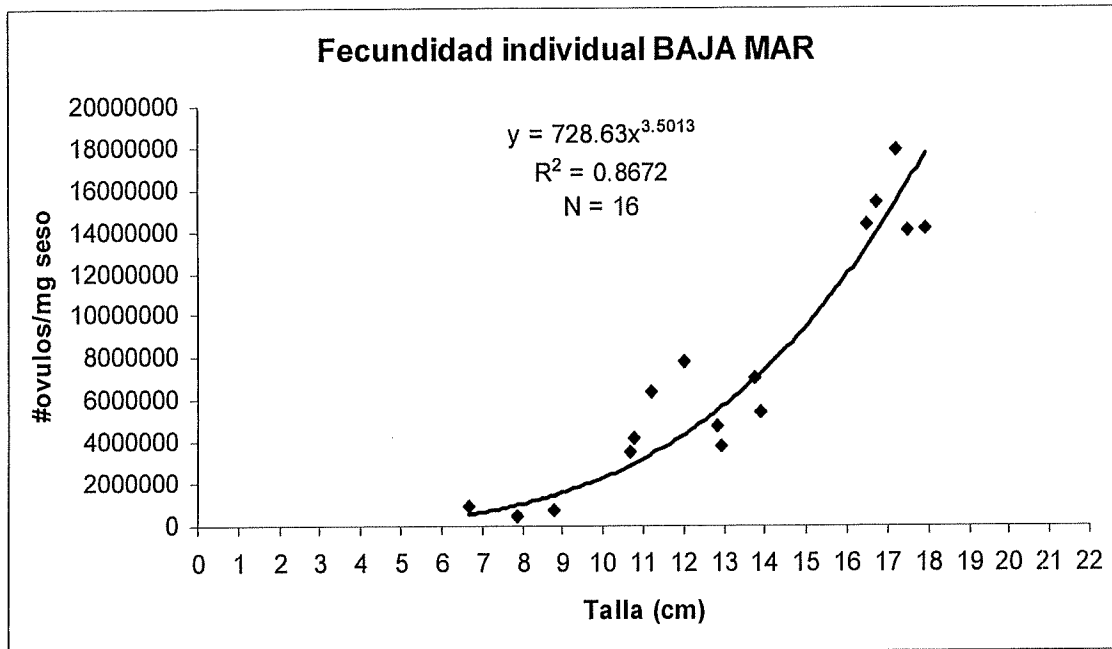


Figura 35. Fecundidad individual durante el periodo de enero a abril en Bajamar.

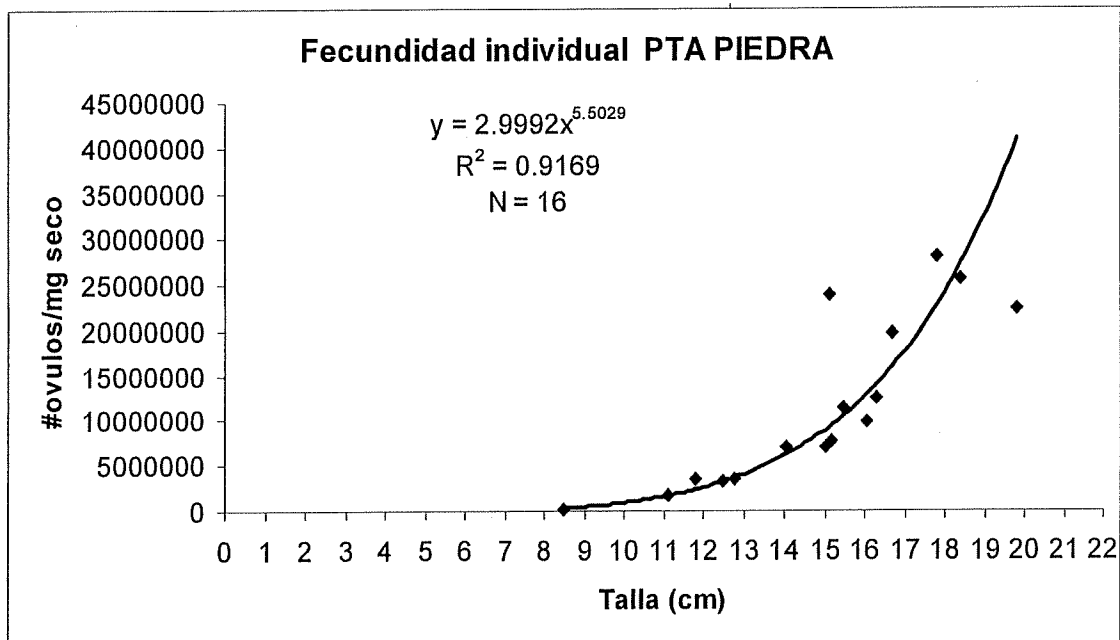


Figura 36. Fecundidad individual durante el periodo de enero a abril en Punta Piedra.

FECUNDIDAD POBLACIONAL

La fecundidad poblacional promedio fue significativamente mayor en Bajamar (57,412,169.91 huevos) comparada con la fecundidad de Punta Piedra (2,269,725.03 huevos); ($p=0.001$; Mann-Whitney) (Tabla 2).

Tabla 2. Fecundidad poblacional de la estrella de mar *Pisaster ochraceus*, por clase de talla para Punta Piedra (PP) y Bajamar (BM).

talla	proporción de hembras por clase de talla		huevos aportados clase de talla	
	PP	BM	PP	BM
0.1 a 1.0	0	0	0	0
1.1 a 2.0	0	0	0	0
2.1 a 3.0	0.098	0.0108	53.35193712	368.5322114
3.1 a 4.0	0.1078	0.0324	382.7726849	1928.50712
4.1 a 5.0	0.588	0.297	8249.974559	49805.55643
5.1 a 6.0	1.5435	0.594	59843.77507	180646.3036
6.1 a 7.0	2.42	2.38	254117.9373	1255218.625
7.1 a 8.0	2.73	7.18	579686.2589	6473604.757
8.1 a 9.0	1.96	11.45	873088.4535	15706036.53
9.1 a 10.0	2.06	7.82	1635698.619	15902596.38
10.1 a 11.0	1.63	18.37	2076381.09	53462681.97
11.1 a 12.0	1.34	18.74	3062097.461	71807119.73
12.1 a 13.0	0.00	22.85	0	118075870.5
13.1 a 14.0	0.96	25.92	5115585.072	176564314.9
14.1 a 15.0	1.46	21.60	11673433.35	186047890.4
15.1 a 16.0	0.00	14.58	0	157441302.5
16.1 a 17.0	0.49	12.96	8039136.815	175653697.9
17.1 a 18.0	0.00	13.50	0	225486532.2
18.1 a 19.0	0.98	4.32	25635095.74	87343851.12
19.1 a 20.0	0.00	3.24	0	77985667.24
20.1 a 21.0	0.00	1.08	0	30815881.67
21.1 a 22.0	0.00	0.54	0	18204031.91
22.1 a 23.0	0.00	1.08	0	40409906.62
23.1 a 24.0	0.00	0.00	0	0
24.1 a 25.0	0.00	0.00	0	0
25.1 a 26.0	0.00	0.54	0	33847464.02
promedio	0.71	7.27	2,269,725.03	57,412,169.91

IV DISCUSION.

Nuestros resultados sugieren que el efecto de la pesca es evidente en la población de Punta Piedra al considerar algunos parámetros como la densidad, estructura de tallas, biomasa y fecundidad poblacional. Por el contrario, talla en que el 50% de la población esta madura y talla de primera madurez no mostraron ser afectados por la explotación, ya que no se encontraron diferencias al compararlos con la zona menos explotada (Bajamar). Existen pocos estudios que hayan probado el efecto de la pesca en especies de invertebrados marinos y ningún estudio que aborde esta problemática en estrellas de mar.

A pesar de que la densidad de adultos fue mayor en Bajamar, la densidad de juveniles fue similar en ambas zonas. Es probable que estas diferencias se deban a que la pesquería en sus inicios impactó principalmente a organismos grandes debido a su valor económico y a que se les consideraba más atractivos, a pesar del mayor esfuerzo de captura y procesado. En la actualidad, la pesquería de la estrella de mar esta enfocada principalmente a la población juvenil y una parte a la población adulta (6 a 14 cm). Debido a que es pagada por unidad, independientemente del tamaño de la estrella, el esfuerzo de pesca es menor y genera menor gasto para su procesamiento (secado). A pesar de la explotación actual de estrellas juveniles, encontramos que la densidad de juveniles fue 1.76 veces mayor en Punta Piedra, sugiriendo que posiblemente Punta Piedra sea un sitio de reclutamiento importante,

comparado con Bajamar. Aunado a los efectos antropogénicos, la densidad también puede estar determinada por la productividad de la zona. Bajamar se encuentra a 5 km de Punta Salsipuedes, lugar que según Vidal-Talamantes (1989) en Siri-Chiesa, M y P.H. Moctezuma es una zona altamente productiva, lo que propicia una diversidad alta y mayor abundancia del alimento principal de la estrella (*Mytilus californianus*). Punta Piedra por su parte se localiza a 500 metros del arroyo La Misión, lo que podría ocasionar en épocas de lluvia entrada de agua dulce y en consecuencia contaminación, menor diversidad y menor abundancia de mejillón. Encontramos que existe una relación entre la densidad de estrellas y la densidad de mejillones, de tal manera que en Bajamar, en donde la disponibilidad de alimento es mayor, la densidad de estrellas también fue mayor. Nuestros resultados concuerdan con lo descrito por Feder (1970) quien encontró en Monterrey California (36°37'N., 121°54'W), una mayor cantidad de estrellas (*Pisaster ochraceus*) en los lugares con mayor disponibilidad de alimento y que organismos grandes de *Pisaster ochraceus* se encuentran en zonas donde el mejillón (*Mytilus californianus*) es abundante.

En ambas localidades la densidad de estrellas fue mayor durante el invierno, a excepción de la densidad de juveniles que en Punta Piedra fue mayor durante la primavera. Estos resultados coinciden parcialmente con lo mencionado por Paine (1969), quien encuentra que en Washington la densidad de *Pisaster ochraceus* puede ser altamente variable y estacional y que el invierno es la mejor época para realizar los muestreos de ésta especie, debido

a la baja densidad de algas impide que las estrellas se refugien debajo de ellas, siendo más fácil encontrarlas. La mayor densidad de juveniles en Punta Piedra durante la primavera sugiere que si bien ésta zona puede ser un sitio de reclutamiento importante, como se mencionó anteriormente, también sugiere que la sobrevivencia de la cohorte de 6 a 9 cm fue alta. Esto lo comprueba la estructura de tallas de Punta Piedra, cuya única moda está representada por organismos de 6 a 9 cm. Por el contrario, en Bajamar no se observó una moda importante de estrellas juveniles, sugiriendo que en Bajamar tanto el reclutamiento como la sobrevivencia son menores que en Punta Piedra. La población de Bajamar está representada por organismos mayores a 13cm, comparada con la población de Punta Piedra cuya moda fue menor (6 a 9 cm). En Punta Piedra es notable la ausencia de estrellas mayores a 13cm, posiblemente como consecuencia de la pesquería, ya que como se ha mencionado, en los inicios de la misma el mayor esfuerzo fue dirigido a estrellas grandes. Por el contrario, debido a que la zona de Bajamar cuenta con restricciones en el ingreso al litoral rocoso, esta zona no ha estado sujeta a la misma intensidad de explotación, lo que se reflejó en la estructura de tallas (desde 6 a 20 cm).

La alta abundancia de organismos mayores a 15 cm en Bajamar, contribuyó con los valores altos de biomasa en ésta zona. El incremento en la biomasa de primavera (junio) a invierno (enero), en ambas zonas está asociado al crecimiento gonadal, ya que a partir de noviembre tanto el índice

gonadal como el porcentaje de organismos en etapa 2 ó de crecimiento empieza a aumentar. Nuestros resultados concuerdan con lo encontrado por Nimitz (1971, 1976) para *Pisaster ochraceus* en Monterrey, California.

Con los valores del Índice Gonadosomático (I.G.) se puede determinar el ciclo reproductivo de una especie (Pearse y Eernisse, 1982; Schreck y Peter, 1990). Al ser el Índice la relación entre el peso de la gónada respecto al peso total del organismo, es probable tener inexactitudes en la época de madurez, debido a que el peso de un organismo no solo esta relacionado a su desarrollo gonadal, sino también a su factor de condición. El utilizar el análisis de cortes histológicos permitió ver el estado de madurez de las gónadas, así como verificar el ciclo reproductivo de la estrella de mar *P. ochraceus*.

En este trabajo se clasificó el I.G por clase de tallas en *P. ochraceus*. Para los organismos de 1 a 5 centímetros no se detectó un pico reproductivo importante en ninguna de las 2 zonas estudiadas. El análisis histológico permitió comprobar que las estrellas de estas tallas aún no alcanzan la madurez sexual. Un problema que encontramos en ambas zonas fue que las estrellas de esta clase de talla son escasas y se dificulta la extracción de la gónada debido a que ésta es muy pequeña. La ausencia de estrellas menores a 7 cm es común en otras localidades como en Washington, (Menge y Menge, 1974). Aunque en las estrellas de 5 a 10 cm se distinguió un pico reproductivo en el mes de mayo, los valores del I.G. fueron muy bajos comparados con los organismos mayores a 10 cm. Histológicamente, la época reproductiva de *P.*

ochraceus fue en marzo para Bajamar y febrero en Punta Piedra. Posiblemente este mes de diferencia sea una estrategia de la población de Punta Piedra, como respuesta a las tallas chicas que caracterizaron a la población y a la menor cantidad de alimento encontradas; ya que al ser organismos chicos la energía la concentra en madurar y no en crecer. Por otro lado, al considerar que la estrella presenta un ciclo reproductivo anual, es importante notar que este ciclo puede variar de un año a otro por diferentes factores ambientales. Variaciones similares las observó Nimitz (1971) en Marin County al noreste de San Francisco, al encontrar que el máximo valor del índice gonadal de *P. ochraceus*, se presentó en abril en 1965 y en marzo en 1966. La época de recuperación se presentó de septiembre a diciembre para ambas zonas. Considerando las diferencias de latitudes entre los trabajos realizados y este trabajo, estos resultados coinciden en parte con lo descrito por Nimitz (1971), Feder (1970), Harrold y Pearse (1980) y Pearse y Eernisee (1982), quienes reportan para esta especie un pico reproductivo en los meses de marzo, abril ó mayo y una época de recuperación de agosto a septiembre en Duxbury Ref., al noreste de San Francisco en Marin Country y en la Bahía Monterey, California. Nuestros resultados muestran que la época de recuperación en Baja California es mayor. En este trabajo se documentó que *Pisaster ochraceus* presenta un ciclo reproductivo anual mismo que se ha reportado por Nimitz (1971; 1976), Pearse y Eernisse, (1982).

Las diferencias encontradas en la época de reproducción, puede atribuirse a diversos factores: como el fotoperíodo, temperatura y disponibilidad de alimento. Estos factores han sido reportados como importantes en la determinación del ciclo reproductivo de otros equinodermos (Feder, 1970; Nimitz, 1971; Strathmann, 1987; Town, 1980; Harrold y Pearse, 1980; Pearse y Eernisse, 1982; Bouland y Jangoux, 1988; Carvalho y Ventura, 2002; Sanford, 2002; Ponce-Díaz *et al*, 2003 y Falkner y Byrne, 2003). En condiciones de laboratorio y campo en Santa Cruz, California se demostró la influencia directa de la temperatura (de 10 a 14°C en invierno y de 13 a 17°C en primavera) en el desarrollo reproductivo de *Pisaster ochraceus* (Pearse y Eernisse, 1982). La temperatura promedio que se registró durante los meses de abril a agosto en las zonas de estudio (Bajamar y Punta Piedra, Baja California, México) fue de 16°C. Es probable que ésta temperatura sea la óptima para las poblaciones de Baja California, aunque sería importante realizar un estudio latitudinal para conocer el efecto de la temperatura en diferentes aspectos reproductivos de ésta especie.

La descripción cualitativa del ciclo reproductivo de *Pisaster ochraceus* no se ha reportado en la literatura. Este trabajo es el primero en describirlo. *Pisaster ochraceus* presenta un ciclo reproductivo de 6 estadios, de los cuales la etapa 1 (Recuperación) y la etapa 2 (Crecimiento) son difíciles de clasificar, ya que ambas etapas pueden confundirse con organismos que inician su crecimiento y con organismos que ya se reprodujeron. Esta confusión se

atenúa cuando se relaciona el estadio con la talla de la estrella de mar. De la misma manera Byrne *et al.* (1997) mencionan para la estrella *Asterias amurensis* en Tasmania, que la etapa de crecimiento es difícil de identificar por el desarrollo gradual de la gónada, ya que la estrella tiene la característica de ser un desovador parcial igual que *Pisaster ochraceus*. Del mismo modo, la etapa 4, fue difícil de clasificar ya que la principal característica es el espacio entre los óvulos, en el caso de las hembras y, en el caso de los machos, el espacio entre la capa de espermatocitos y los espermatozoides maduros. En algunas especies de la familia Asteroidea, como son *Asterina stellifera* (Carvalho y Ventura, 2002), *Asterias amurensis* (Byrne *et al.*, 1997), *Asterias rubens* (Jangoux y Vloebergh, 1973) y en otros equinodermos (*Ophiuroidea*) por Nimitz (1976) y Falkner y Byrne (2003), se han reportado también 5 a 6 estadios de desarrollo en las gónadas.

En Baja California, no existen estudios de *Pisaster ochraceus* donde se reporte la talla de primera madurez o la talla en que el 50% de los organismos estén maduros. Menge (1974) y Pain *pers. comm.* en Menge y Menge (1974) mencionan que *Pisaster* aún no alcanza la madurez a tallas menores a los 7.4 cm ó de 70-90 g de peso húmedo, talla ligeramente mayor a la reportada en este estudio (6.5 cm) para ambas zonas. Sin embargo, no es claro como se determinó esta talla.

En este trabajo se detectó la presencia de organismos hermafroditas, principalmente en organismos juveniles y dos casos en adultos. No se

encontraron referencias que reporten hermafroditismo en *P. ochraceus*; sin embargo, estudios reproductivos en la estrella *Patiriella exigua*, en Australia, demuestran que esta especie presenta hermafroditismo en una de sus gónadas y principalmente en organismos de talla pequeña (Byrne, 1992). Es posible que la estrella de mar presente una etapa hermafrodita al inicio de su desarrollo, y probablemente el sexo de cada individuo sea determinado dependiendo de las condiciones ambientales, la disponibilidad de alimento ó la densidad de hembras y machos en la población adulta. La proporción de sexos fue cercana a 1 en ambas zonas la mayoría de los meses, aunque es interesante notar que en Bajamar (Junio) y en ambas zonas (Agosto y Septiembre), el número de hembras fue mayor. Si el hermafroditismo es frecuente en estas poblaciones y la pesquería afecta la proporción de sexos, como sugieren algunos de los meses, la disminución de hembras ó machos en la población adulta podría causar una disminución en la fertilización (Jenning *et al*, 2001) y en consecuencia la producción de larvas y el reclutamiento.

Es interesante notar que en organismos menores a 15.9 cm, la fecundidad individual fue mayor en la zona menos explotada (Bajamar). Por el contrario, estrellas mayores de 16 cm presentaron una fecundidad mayor en la zona más explotada (Punta Piedra). La estructura de tallas sugiere que en Punta Piedra el efecto de la explotación es evidente en individuos mayores a 10 cm. Es probable que a partir de éstas tallas el efecto de la pesca se refleje en el número de huevos producidos por hembra. Se ha documentado que en

algunas especies de invertebrados como la langosta espinosa (*Panulirus marginatus*), la pesca puede causar un aumento en la fecundidad por tallas de la población. Al disminuir la densidad, la disponibilidad de alimento es mayor para los individuos que permanecen en la población; en consecuencia, esta energía extra puede ser canalizada a una mayor producción de huevos (DeMartini *et al.*, 1993).

La fecundidad poblacional promedio fue 25.29 veces mayor en la zona poco explotada (Bajamar). Debido a que la fecundidad aumenta exponencialmente con el tamaño de las estrellas, el alto porcentaje de hembras grandes (mayores a 14.9 cm), encontradas en Bajamar, contribuyó a que el número de huevos producidos por esta población sea mucho mayor que el producido por la población más explotada (Punta Piedra). La fecundidad también puede variar entre localidades y estar afectada por las condiciones de alimento de la zona (Koslow *et al.*, 1995; Crocos y van der Velde, 1995 y Thompson, 1982 en Jennings *et al.* 2001). El tamaño y cantidad de huevos producidos puede depender del tamaño de las hembras, por lo que organismos grandes y con mejores recursos para la reproducción pueden tener huevos grandes y en mayor número (George, 1999). Estas características de tallas grandes y mayor disponibilidad de alimento para la población son las que se observaron en Bajamar.

Debido a la historia de vida de *Pisaster ochraceus*, la cual alcanza la madurez sexual después de varios años, puede presentar una tasa de

crecimiento lenta, y es longeva (Feder, 1970), se le puede considerar como una especie susceptible a ser sobre-explotada (Jennings *et al.*, 2001). El efecto negativo de una fuerte explotación en especies con éstas características, radica en que disminuye la capacidad de reposición de la población (Adams, 1980 y Pope *et al.*, 2000 citados en Jennings *et al.*, 2001) por lo que su recuperación es muy lenta.

Al ser la estrella de mar (*Pisaster ochraceus*) un organismo vulnerable y clave en la comunidad del intermareal rocoso, este estudio propone las siguientes estrategias de manejo que permitan lograr una pesquería sustentable:

- 1) Se propone una talla mínima de captura de 9 cm, la cual considera la talla de primera madurez y la talla en que el 50% de los organismos están maduros. Esta medida permitirá que los organismos de 6.5 cm (talla de primera madurez), se reproduzcan al menos 2 veces antes de ser removidos de la población.

- 2) Una talla máxima de captura de 19 cm, para proteger a los organismos que presentan una fecundidad alta y por lo tanto aportarán una gran cantidad de potenciales reclutas a la población local ó a las poblaciones lejanas, dependiendo del patrón de dispersión de las larvas.

- 3) Un periodo de veda estacional que contemple los meses de enero a abril (época reproductiva)

4) Establecer zonas de reserva en donde las poblaciones protegidas permanezcan en condiciones poco ó no alteradas, como la población de Bajamar. Estas zonas son importantes como punto de comparación para conocer como cambian las poblaciones y comunidades debido únicamente a los efectos naturales, así como comparar estos efectos con los causados por la pesca.

V. CONCLUSIONES.

La comparación de dos zonas de captura afectadas por diferentes niveles de explotación, permitió conocer el efecto de la pesca en las poblaciones de *Pisaster ochraceus*.

En la población de Punta Piedra el efecto de la pesca fue evidente en parámetros poblacionales como la densidad, estructura de tallas y biomasa.

El ciclo reproductivo, así como la talla de primera madurez fueron similares en las dos poblaciones estudiadas.

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas entre la fecundidad individual de ambas poblaciones, esta diferencia se vio reflejada en la fecundidad poblacional, la cual fue significativamente mayor en Bajamar.

La información generada en este estudio contribuirá a proponer un esquema de manejo adecuado para *Pisaste ochraceus* en Baja California.

VI. RECOMENDACIONES.

Para evaluar de una mejor manera el efecto de la pesca en la dinámica poblacional y en la fecundidad individual y poblacional de *Pisaster ochraceus*, sería importante comparar un mayor número de zonas con diferentes grados de explotación, considerando también el efecto de otras variables como temperatura, exposición al oleaje y disponibilidad de alimento.

Del mismo modo, para obtener mejores resultados en la fecundidad se recomienda aumentar el número de muestra con repeticiones por tallas y aplicar otras técnicas para la cuantificación de los huevos.

Para conocer que tan frecuente es la presencia de organismos hermafroditas en la población, se recomienda un estudio minucioso de histología en organismos principalmente menores a 8 cm.

Estudios comparativos de edad y crecimiento ayudarían a conocer que tan rápido alcanzan las estrellas la talla de primera madurez sugerida en este estudio. Del mismo modo, conocer que tan longeva es ésta especie, reforzaría la información que existe sobre su historia de vida, así como la importancia de conservarla.

VII. LITERATURA CITADA.

- Baqueiro-Cardenas, E., A. Q. Avilés., J. A. Masso-Rojas., M. D. Muciño., N. P. Rogers y B. A. Velez. 1992. Manual de métodos de muestreo y evaluación de poblaciones de moluscos y otros recursos bentónicos. Secretaria de Pesca, INP. México. 73p.
- Bouland, C. y M. Jangoux. 1988. Investigation of the gonadal cycle of the asteroid *Asterias rubens* under sttic condition. In: Burke, R.D., Mladenov, P.V., Lambert, P., Parsley, R.L. (Eds.), Equinoderm Biology. Balkema, Rotterdam, pp. 169-1975.
- Byrne, M. 1992. Reproduction of sympatric populations of *Patiriella gunnii*, *P. calcar* and *P. exigua* in New South Wales, asterinid seastars with direct development. *Marine Biology* **114**: 297-316.
- Byrne, M., M. G. Morrice y B. Wolf. 1997. Introduction of the northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. *Marine Biology* **127**: 673-685.
- Carlson, R. H. y C. A. Pfister. 1999. A seventeen-year study of the rose star *Crossaster papposus* population in a coastal bay in southeast Alaska. *Marine Biology* **133**: 223-230.
- Castilla, J.C. 1999. Coastal marine communities: trends and perspectives from human-exclusion experiments. *Trends. Ecol. Evol.* **14**(7):280-283.

- Carvalho, A. L. P. S. y C. R. R. Ventura. 2002. The reproductive cycle of *Asterina stellifera* (Mobius) (Echinodermata: Asteroidea) in the Cabo Frio region, southeastern Brazil. *Marine Biology* **141**: 947-954.
- Crococ, P. J. y T. D. van der Velde. 1995. Seasonal, spatial and interannual variability in the reproductive dynamics of the grooved tiger prawn *Penaeus semisulcatus* in Albatros Bay, Gulf of Carpentaria, Australia: the concept of effective spawning. *Mar. Biol.* **122**:557-570
- Defeo, O y D. Lercari. 1999-2001. Conservación de diversidad biológica en sistemas litorales arenosos de la costa atlántica uruguaya.
- DeMartini, E., D. M. Ellis y V. A. Honda. 1993. Comparisons of spiny lobster *Panulirus marginatus* fecundity, egg size, and spawning frequency before and after exploitation. *Fishery Bulletin.* **91**:1-7.
- Diario Oficial. 2004. Segunda Sección. 15 de Marzo. Pp 13-14.
- Espino-Barr, E., R. Cibrán-Rodríguez y A. García-Boa. 1996. Estructura y densidad de la población del erizo tinta *Diadema mexicanum* en el litoral rocoso del Estado de Colima. *Ciencia Pesquera.* **12**: 60-67.
- Falkner, I. y M. Byrne. 2003. Reproduction of *Ophiactis resiliens* (Echinodermata: Ophiuroidea) in New South Wales with observation on recruitment. *Marine Biology.* **143**: 459-466.
- Feder, H. M. 1970. Growth and predation by the Ochre sea star, *Pisaster ochraceus* (Brandt), in Monterey Bay, California. *Ophelia* **8**:161-185.

- George, B. S. 1999. Egg quality, larval growth and phenotypic plasticity in a forcipulate seastar. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **237**: 203-224.
- Giese, A. y J. Pearse. 1974. Introduction: General principles. Pp 1-49. En Giese A. y J. Pearse. *Reproduction of marine invertebrates*. London Academia Press, New York, Vol. 1.
- Harrold, C. y J. S. Pearse. 1980. Allocation of phloric caecum reserves in fed and starved sea stars, *Pisaster giganteus* (Stimpson): somatic maintenance comes before reproduction. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol* **48**:169-183.
- Horwood, J. W., Bannister, R. C. A. y G. J. Howlett. 1986. Comparative fecundity of North Sea plaice (*Pleuronectes platessa* L.). *Proceedings of the Royal Society London*. **B228**: 401-431.
- Howard, D. W. y C. S. Smith. 1983. *Histological Techniques for marine bivalve mollusks*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Technical Memorandum. NMFS-F/NEC-25. U.S. Department of Commerce. Pp 95.
- Jangoux, M. y M. Vloebergh. 1973. Contribution à l'étude du Cycle Annuel de reproduction d'une population d'asterias rubens (Echinodermata, Asteroidea) du littoral Belge. *Netherlands Journal of sea Research*. **6(3)**:389-408.
- Jennings, S., J. K. Michel y D. R. John. 2001. *Marine Fisheries Ecology*. Blackwell Science. Pp. 417.

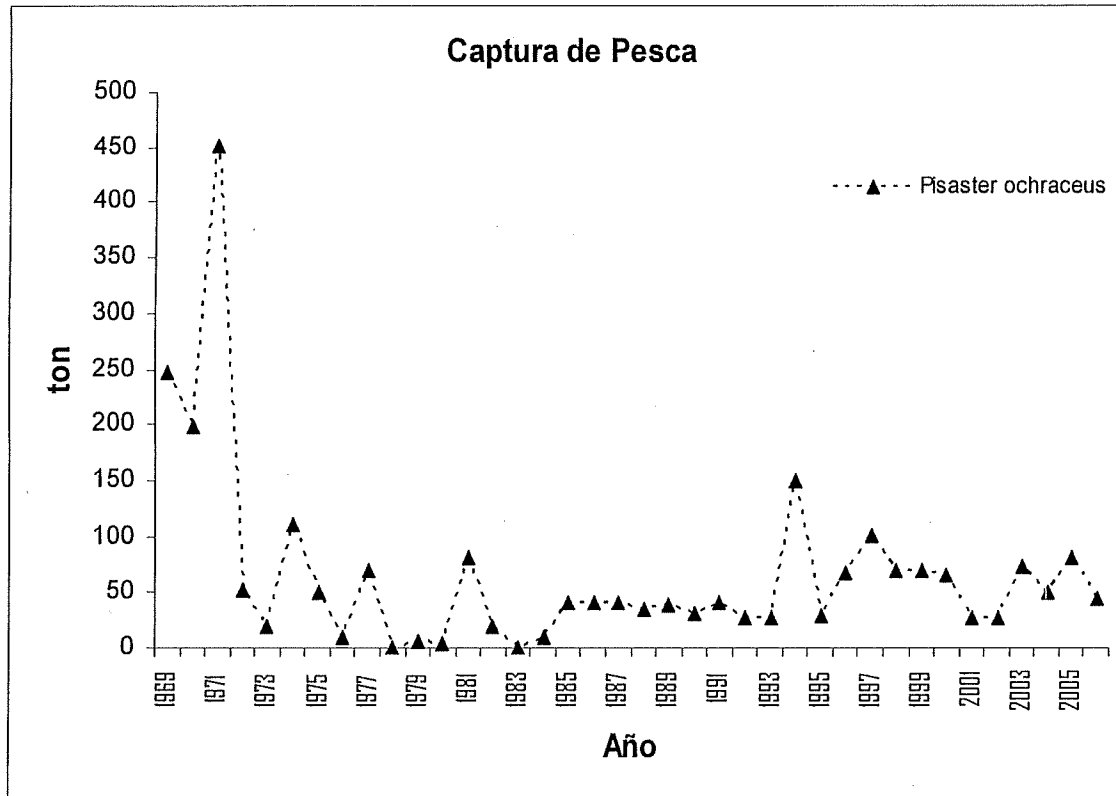
- Koslow, J. A., J. Bell, P. Virtues y D. C. Smith. 1995. Fecundity and its variability in orange roughy: effects of population density, condition, egg size, and senescence. *Journal of Fish Biology* **47**: 1063-1080.
- Lambert, P. 1981. Sea Starts of British Columbia, Southeast. Alaska y Pegut Sound. First Edition. *Royal British Columbia Museum Handbook*. 167 pp.
- Lambert, P. 2000. Sea Starts of British Columbia, Southeast. Alaska y Pegut Sound. Second Edition. *Royal British Columbia Museum Handbook*. 167 pp.
- Landenberger, D. E. 1968. Studies on Selective Feeding in the Pacific Starfish *Pisaster* in Southern California. *Ecology*. **49**(6): 1062-1075.
- Laudien, J. y M. Wahl. 1999. Indirect Effects of Epibiosis on Host Mortality: Seastar Predation on Differently Fouled Mussels. *Marine Ecology*. **35**: 35
- Loosanoff, V. L., J. B. Engle y C. A. Nomejko. 1955. Differences in intensity of setting of oysters and starfish. *Biol. Bull.* **109** (1): 75 - 81.
- McGovern, M. T. 2002. Patterns of sexual and asexual reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi* in the Florida Keys. *Marine Ecology Progress Series*. **230**: 119-126.
- Menge, J. L y B. A. Menge. 1974. Role of resource allocation, aggression and spatial heterogeneity in coexistence of two competing intertidal starfish. *Ecological Monographs*. **44**: 189-209.

- Navarrete, A. S y J.C. Castilla. 2003. Experimental determination of predation intensity in an intertidal predator guild: dominant versus subordinate prey. *OIKOS*. **100**:251-262.
- Nimitz, SR. M. A. 1971. Histochemical study of gut nutrient reserves in relation to reproduction and nutrition in the sea stars, *Pisaster ochraceus* and *Patiria Miniata*. *Biol. Bull.* **140**:461-481.
- Nimitz, SR. M. A. 1976. Histochemical changes in gonadal nutrient reserves correlated with nutrition in the sea stars, *Pisaster ochraceus* and *Patiria Miniata*. *Biol. Bull.* **151**:357-369.
- Noda, T. 1999. Within- and between-patch variability of predation intensity on the mussel *Mytilus trossulus* Gould on a rock intertidal shore in Oregon, USA. *Ecological Research*. **14**:193
- Paine, R.T. 1966. Food web complexity and species diversity. *American Naturalist*. **100**:65-75.
- Paine, R. T. 1969. The *Pisaster* - *Tegula* interaction: Prey patches, predator food preference and intertidal community structure. *Ecology* **50** (6): 950-961.
- Pearse, J. S y D. J. Eernisse. 1982. Photoperiodic Regulation of Gametogenesis and Gonadal Growth in the Sea Star *Pisaster ochraceus*. *Marine Biology*. **67**:121-125.

- Ponce-Díaz, G., S. E. Lluch-Cota., J. J. Bautista-Romero y D. Lluch-Belda. 2003. Caracterización multiescala de la temperatura del mar en una zona de bancos de abulón (*Haliotis spp.*) en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*. **29**(3):291-303.
- Romero-Orozco, E. J y H. Bertsch. 1984. Efectos de la pesquería del erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus* (Equinodermata) sobre la estructura de su población en Santo Tomás, Baja California, México, con una comparación de métodos de muestreo. *Ciencias Marinas*. **10**: 85-95.
- Sanford, E. 2002. The feeding, growth, and energetics of two rock intertidal predators (*Pisaster ochraceus* and *Nucella canaliculata*) under water temperatures simulating episodic upwelling. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. **273**:199-218.
- Schreck, B. C y M. B. Peter. 1990. *Methods for fish Biology*. American fisheries Society Bethesda. Maryland. USA. P.p 191-212.
- Sharov, A. A. 1991. Self-reproducing systems: structure, niche relations and evolution. *BioSystems*. **25**:237-249.
- Smith, B. D y G. S. Jamieson. 1991. Possible consequences of intensive fishing for males on the mating opportunities of dungeness crabs. *Transactions of the American Fisheries Society*. **120**:650-653.
- Sparre, P. 1989. *Introduction to tropical fish stock assessment*. Rome, Italy.
- Strathmann, M. F. 1987. *Reproduction and Development of Marine Invertebrates of North Pacific Coast*. Univ. of Washington Press. Pp 535-555.

- Tomanek, L y B. Helmuth. 2002. Physiological Ecology of rocky Intertidal Organisms: A Synergy of concepts. *Integ. and Comp. Biol* **42**:771-775.
- Torres-Lara, R. 1991. Sinopsis of population dynamics of five species of Lutjanidae family in Yucatan coast. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*.
- Town, C. J. 1980. Movement, morphology, reproductive periodicity, and some factors affecting gonad production in the seastar *Astrostole scabra* (Hutton). *J. exp. mar. Biol. Ecol.* **44**:111-132.
- Vickery, M. S y J. B. McClintock. 2000. Effects of Food Concentration and Availability on the Incidence of Cloning in Planktotrophic Larvae of the Sea Star *Pisaster ochraceus*. *Biol. Bull.* **199**: 298-304.
- Vidal-Talamantes, R. (1989). La Anchoveta. En Siri-Chiesa, M y P. H. Moctezuma. La pesca en Baja California. Universidad Autónoma de Baja California. Pp 211.
- Wootton, T. J. 2002. Mechanisms of successional dynamics: Consumers and the rise and fall of species dominance. *Ecological Research.* **17**:249-260.

Anexo 1. Captura reportada para la pesquería de la estrella de mar *Pisaster ochraceus* en Ensenada, Baja California (Semarnap, 2006).



Anexo 2. Modificación de las escalas utilizadas por Jangoux y Vloebergh, 1973; Byrne *et al.*, 1997; y Carvalho y Ventura, 2002 para hembras.

HEMBRAS	Pared gonadal (grosor)	Fluido haemal (cantidad)	Fagocitos lumen	Ovocitos previtelogénicos	Ovocitos vitelogénicos	oogonias
Estadio 0	Gónadas juveniles. Sexo indeterminado					
Estadio 1	Gruesa, doble saco evidente. Presencia de numerosos pliegues		Presentes con material amorfo	Muy pocos	Muy pocos	Presencia de grupos en la capa germinal
Estadio 2	Con gran cantidad de oocitos en diferentes estadios de desarrollo. Con muchos pliegues y extensiones de la capa haemal ocupa el centro de los dobleces germinales. * En etapas avanzadas. La pared de la gónada se atenúa	Ocupa el centro de los dobleces germinales * En etapas avanzadas se hace menos evidente		Abundantes	Presencia en forma de pera cerca de la capa haemal. * En etapas avanzadas los ovocitos comienzan a tomar una posición central	
Estadio 3	Delgada			Pocos	Abundantes cubriendo el lumen. Muy pocos en etapa temprana.	
Estadio 4	Pared de la gónada delgada. *En etapa avanzada la pared es fina.		Presentes en el lumen, poco material amorfo y restos de oocitos en el lumen	* Etapa avanzada presencia pocos ovocitos previtelogénicos . Grupos de oocitos tempranos presentes.	Completamente crecidos libres (con espacios) en el lumen, debido al inicio del desove. * Ovocitos maduros con mayor espacio entre ellos debido al avance del desove.	
Estadio 5	Pared de la gónada gruesa, con estructura en dos capas.	Se hace evidente el fluido haemal.	Presentes en el lumen.	Pocos	Pocos óvulos residuales, reabsorción. Algunos parecen continuar su desarrollo	A mayor magnificación hay proliferación de oocitos

Anexo 3. Modificación de las escalas utilizadas por Jangoux y Vloebergh, 1973; Byrne *et al.*, 1997; y Carvalho y Ventura, 2002 para machos.

MACHOS	Pared gonadal (grosor)	Capa haemal	Fagocitos lumen	Columna de espermatocitos	Espermatozoides en el Lumen
Estadio 0	Gónadas juveniles. Sexo indeterminado				
Estadio 1	Pared de la gónada gruesa con dobleces numerosos	Se amplia se hace visible como material eosinofilo		Inicio en el epitelio germinal y forma columnas basofilas	Hueco en el centro de la gónada. Puede presentar pocos espermatozoides
Estadio 2	Los dobleces se enderezan hacia fuera.	Disminuye su grosor pero puede persistir		Se extienden hacia el lumen	El lumen presenta espermatozoides en gran cantidad
Estadio 3	La pared de la gónada se atenúa			Puede estar presente en la capa germinal	Se llena de los espermatozoides empaquetados maduros en gran cantidad
Estadio 4	La pared es delgada			Delgada	La cantidad de espermatozoides es menos densa y existe un espacio entre los espermatozoides periféricos y la masa central
Estadio 5	Se contrae la pared, distinguiendo dos sacos interno y externo. Parece inactiva	Empieza a expandirse	Acumulación en el lumen	puede presentar espermatocitos tempranos poco visibles	Espermatozoides residuales