

UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Ángel



Parámetros poblacionales del pepino de mar *Holothuria (Stauropora) fuscocinerea* Jaeger, 1833 (Echinodermata: Holothuroidea) y su relación con el ciclo reproductivo en la Bahía La Entrega, Oaxaca, México.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestra en ciencias: Ecología Marina

Presenta:

Itandehui Sarai Gutiérrez Méndez

Director: **Dr. Francisco Benítez Villalobos**

Puerto Ángel, Oaxaca, México

2016

**DRA. MARÍA DEL ROSARIO ENRIQUEZ ROSADO
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
DE LA UNIVERSIDAD DEL MAR
P R E S E N T E**

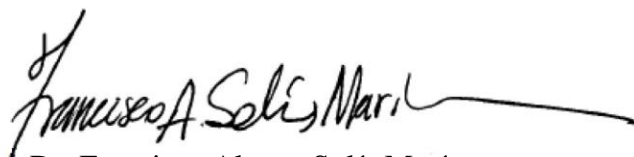
Después de haber analizado y evaluado la tesis: **“Parámetros poblacionales del pepino de mar *Holothuria (Stauropora) fuscocinerea* Jaeger, 1833 (Echinodermata: Holothuroidea) y su relación con el ciclo reproductivo en la Bahía La Entrega, Oaxaca, México”** que presenta la Bióloga Marina Itandehui Sarai Gutiérrez Méndez.

Por este conducto, le comunicamos que la tesis si cumple con los requisitos académicos para que la citada tesista presente el correspondiente examen de grado.

A t e n t a m e n t e

Comité Revisor

Dr. Francisco Benítez Villalobos


Dr. Francisco Alonso Solís Marín


M en C M. Verónica Toral Granda

M en C Julia Patricia Díaz Martínez

M en C Pablo Torres Hernández

RESUMEN

Los holotúridos son miembros importantes de los arrecifes coralinos, por lo que el análisis y comprensión de su ecología permite en gran medida entender la estructura y el funcionamiento de las comunidades coralinas. En el presente trabajo se describen algunos patrones de la ecología poblacional de *Holothuria fuscocinerea* en la Bahía La Entrega, Oaxaca. México. En el periodo comprendido de abril de 2008 a mayo de 2009 se realizaron mensualmente conteos mediante transectos de banda de 10 m de longitud por 2 m de ancho y divididos a cada metro. Mensualmente con una cinta métrica se midieron aproximadamente 100 organismos elegidos al azar y se recolectaron los primeros 20 organismos, los cuales fueron transportados en bolsas de plástico por separado al laboratorio donde se registró el peso drenado de cada organismo. Con los datos obtenidos de los transectos se calculó la densidad y distribución espacial (Índice de Morisita). Con los organismos recolectados y sus datos se caracterizó la biología reproductiva y se obtuvo la relación talla-peso y el índice de condición, para relacionarlos con la dinámica de la población. Se estimó una densidad promedio de $4.2 \pm 2.7 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$. Se determinó que el comportamiento de la población estudiada responde a las variaciones de la temperatura del mar. Los organismos tienen una conducta de agregación en los meses en que las gónadas se encuentran en etapa de madurez, principalmente en junio de 2008, mes en el cual se obtuvo el valor mínimo del parámetro de agregación ($K=0.042$) y el valor máximo de índice gonadosomático. La talla y peso promedio ($\pm \text{DE}$) fueron de $26.16 \pm 4.58 \text{ cm}$ y $149.07 \pm 40.278 \text{ g}$ respectivamente. El valor promedio estimado para el factor de condición ($\pm \text{DE}$) fue 1.052 ± 0.266 , obteniéndose el valor mínimo mensual en septiembre de 2008 (0.857) y en mayo de 2008 el valor máximo mensual (1.367). Se observó que los organismos colectados en mayo de 2008 presentaron el máximo peso promedio mensual y el máximo promedio mensual del factor de condición en todo el muestreo, evidenciando que la gónada se encontraba madura.

PALABRAS CLAVE: Agregación, índice de condición, temperatura, holoturia, equinodermos, Pacífico Sur Mexicano.

*Con mucho cariño a todos mis cómplices,
por acompañarme durante este proceso.
Sin su ayuda esto no sería una realidad.*

INDICE

RESUMEN	ii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Características generales de la Clase Holothuroidea.....	2
1.2 <i>Holothuria (Stauropora) fuscocinerea</i>	5
2. ANTECEDENTES.....	7
3. HIPÓTESIS.....	11
4. OBJETIVOS.....	12
Objetivo general:.....	12
5. AREA DE ESTUDIO	13
6. MATERIALES Y METODOS.....	16
6.1 Trabajo de Campo.....	16
6.2 Morfometría	17
6.3 Parámetros ambientales	17
6.4 Análisis de los datos	18
6.4.1 Distribución espacial.....	19
6.4.2 Relación longitud-peso	24
6.4.3 Factor de condición	26
7. RESULTADOS	28
7.1 Densidad y Abundancia.....	28
7.2 Factores ambientales y su relación con la densidad.....	28
7.3 Distribución espacial.....	30
7.4 Distribución de Tallas y Pesos.	32
7.5 Relación Longitud Peso.....	43
7.6 Factor de condición relativa.	44
8. Discusión	46
9. Conclusiones.	54
10. Literatura citada	55

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Espécimen de *Holothuria fuscocinerea* sobre sustrato arenoso. Foto: Pedro Medina..... 6

Figura 2. Mapa de localización del área de estudio, Bahía La Entrega, Santa María Huatulco. Elaboró: Castrejón Rodríguez Elder. 13

Figura 3. Comportamiento mensual de la densidad de *H. fuscocinerea* (barras) \pm DE y la temperatura (línea discontinua cuadros negros) durante el periodo de muestreo. 29

Figura 4. Comportamiento mensual de la densidad de *H. fuscocinerea* (barras), \pm DE (bigotes) y la precipitación pluvial (línea discontinua triángulos negros) durante el periodo de muestreo 29

Figura 5. Comportamiento mensual de la densidad de *H. fuscocinerea* (barras), \pm DE (bigotes) y la precipitación pluvial (línea discontinua triángulos negros) durante el periodo de muestreo 30

Figura 6. Comportamiento del grado de agregación de *H. fuscocinerea*; índice de morisita (línea discontinua con triángulos negros) y el parámetro *k* (línea continua con puntos negros). 32

Figura 7. Longitud promedio mensual (\pm DE) de *H. fuscocinerea* durante el periodo de muestreo en la bahía la entrega..... 33

Figura 8. Porcentaje de frecuencia de tallas de *H. fuscocinerea* en el periodo de muestreo en la bahía la entrega..... 34

Figura 9. Distribución de la frecuencia de tallas de *H. fuscocinerea* durante los meses muestreados en la bahía la entrega. 37

Figura 10. Registro de variaciones de los pesos promedio mensuales de *H. fuscocinerea* durante el periodo de muestreo. 39

Figura 11. Porcentaje de frecuencia de pesos de *H. fuscocinerea* en el periodo de muestreo en la bahía la entrega..... 40

Figura 12. distribución de la frecuencia de pesos de *H. fuscocinerea* durante los meses muestreados en la bahía la entrega 42

Figura 13. Relación entre la longitud y el peso de *Holothuria fuscocinerea* durante el periodo de muestreo..... 44

Figura 14. Factor de condición relativa (\pm DE) de *H. fuscocinerea* durante el periodo de muestreo. 45

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grupos más importantes que conforman las comunidades bióticas de los sistemas arrecifales, son los equinodermos (Phylum Echinodermata) debido principalmente a su abundancia, ya que pueden alcanzar una alta diversidad y biomasa (Jangoux y Lawrence 1989). Además, al actuar como consumidores primarios, secundarios o depredadores, están muy ligados a los procesos de bioerosión, reclutamiento coralino y transferencia de energía (Uthicke 1999). Los cambios físicos operados en el arrecife pueden modificar la abundancia y dominancia de las especies de este grupo, y ello a su vez puede tener efectos relevantes sobre la estructura arrecifal (Zamorano y Leyte 2005).

Los pepinos de mar integran la clase Holothuroidea comprendida dentro del Phylum Echinodermata y son miembros importantes de los arrecifes coralinos, por lo que el análisis y comprensión de su ecología permite en gran medida entender la estructura y el funcionamiento de las comunidades coralinas. Algunas especies en particular pueden determinar la estructura y funcionamiento de las mismas a través de varios niveles tróficos y escalas geográficas (Birkeland 1989). Por ello es importante analizar los atributos poblacionales como densidad, abundancia, mortalidad natural, patrón de distribución y crecimiento poblacional, los cuales son esenciales para el seguimiento de las poblaciones de los organismos (Díaz-Martínez 2010).

La estimación de la densidad y abundancia más que un fin, es una herramienta versátil y valiosa que permite observar variaciones poblacionales en espacio y

tiempo, así mismo la abundancia puede servir de dato de entrada para el cálculo de otros parámetros poblacionales, como la mortalidad y el crecimiento poblacional, lo cual constituye una línea base para futuras investigaciones, ya que permite comparar la población objeto de estudio con otras poblaciones en todo el intervalo de distribución de la especie, o con otras especies (Díaz-Martínez 2010).

Adicionalmente, el análisis de las relaciones ente la talla y el peso de los organismos permite obtener datos útiles para evaluar las poblaciones y la dinámica de las mismas, así como la estructura de tallas y edades. Lo anterior, permite comparar diferentes poblaciones de la misma especie en diferentes ambientes, en términos del efecto de la disponibilidad de recursos o efecto del hábitat en la salud y desarrollo de los individuos, lo cual a su vez puede utilizarse para el monitoreo del estado de salud de las poblaciones (Ahmad *et al.* 2011).

1.1 Características generales de la Clase Holothuroidea.

Los organismos que constituyen a la clase Holothuroidea (del griego *holothourion*, pólipos de mar) son comúnmente conocidos como pepinos de mar. La clase está constituida aproximadamente por 200 géneros, 25 familias, 6 órdenes y 1400 especies actuales (Pawson 2007).

Los pepinos de mar se diferencian del resto de los equinodermos por presentar un cuerpo vermiforme (en forma cilíndrica) y una simetría bilateral. En la parte anterior del cuerpo se encuentra localizada la boca, la cual está rodeada por un anillo de 8 a 30 tentáculos retractiles que son útiles para la alimentación, mientras que el ano se ubica en la parte posterior o distal (Pawson *et al.* 2010). El

endoesqueleto de los holoturoideos está conformado por osículos microscópicos dispersos en la pared corporal, los cuales tienen diversas formas y generalmente son utilizados para identificación en todos los niveles taxonómicos de la clase. La nomenclatura del cuerpo se encuentra conformada por un trivio o superficie ventral, la cual está constituida por tres áreas ambulacrales o radios y dos áreas interambulacrales o interradios, en tanto la superficie dorsal o bivio se compone de dos ambulacros y tres interambulacros (Solís-Marín *et al.* 2009).

El sistema reproductivo de los holoturoideos se diferencia del resto de los equinodermos por presentar una gónada localizada dorsalmente en el interambulacro (Sewell *et al.* 1997) y constituida por tubos ramificados unidos al mesenterio dorsal, a través del cual pasa el gonoducto que puede terminar en un gonoporo o bien en una papila genital (Giese *et al.* 1991, Sewell *et al.* 1997). Estos organismos tienen la facultad de reproducirse sexual o asexualmente, observándose que las especies que se reproducen sexualmente liberan sus gametos al medio donde ocurre la fecundación (Mackey 2001). Posteriormente, se lleva a cabo el desarrollo temprano a través de las etapas de división, formación de la blástula, gastrulación y morfogénesis larval hasta retornar a su fase bentónica como un juvenil, para incorporarse a la población.

Con relación al ambiente donde los holotúridos se encuentran, se ha observado que los individuos pequeños (60 a 160 mm) se localizan principalmente dentro de oquedades y grietas entre las piedras, así como debajo de las mismas, mientras que organismos de tallas grandes (mayores a 16 cm) se encuentran principalmente sobre el sustrato, siendo organismos de hábitos nocturnos

principalmente. La separación de las especies dentro de sus diferentes microhábitats posiblemente se debe al alto grado de adaptación en los mecanismos alimenticios (Ruiz *et al.* 2007). No obstante, hay otros factores que pueden influir en la distribución de los holotúridos tales como movilidad, dispersión y colonización de larvas, potencial para su variabilidad genética y capacidad reproductora (Calva 2003).

Los pepinos de mar constituyen un elemento muy importante en las comunidades bénticas debido a que inducen cambios significativos en la composición de los sedimentos en el piso oceánico (Abdel-Razek *et al.* 2005), especialmente los aspidoquirotidos ya que se alimentan de sedimento superficial, detritus y microorganismos asociados al mismo mediante el uso de sus tentáculos (Ruiz *et al.* 2007), los cuales son extendidos sobre la superficie del fondo, con lo que son capaces de atrapar cualquier partícula u organismo que se adhiera a estas estructuras.

El sedimento superficial de origen biogénico, que se va acumulando en el bentos puede causar condiciones anaeróbicas debido a los procesos de degradación de la materia orgánica, las cuales son los responsables de la disminución en la concentración de oxígeno disuelto (Michio *et al.* 2003). Los holotúridos al alimentarse de estos sedimentos, mediante procesos digestivos los reactivan reduciendo las concentraciones de sulfuro e incrementando el potencial óxido-reducción (Uthicke 1999). A través de sus heces influyen en el ciclo de los nutrientes, ya que la materia orgánica contenida en ellas es re-suspendida por el oleaje, corrientes o incluso por otros organismos, ayudando a la reubicación del

material particulado (Dar y Ahmad 2006), con lo cual se incrementa principalmente la productividad de los ecosistemas coralinos (Laboy-Nieves y Conde 2006).

Como recurso pesquero, el pepino de mar es poco conocido en México, pero en otros países se utiliza para consumo humano. Algunas especies de holoturoideos poseen un alto valor económico debido a su potencial para las pesquerías o para actividades de acuicultura (Ivy y Giraspy 2006), en el mercado asiático se consumen alrededor de 28 especies de pepinos de mar, dentro de los cuales se incluye la especie *Holothuria fuscocinerea* (Lovatelli 2004).

En el ámbito farmacéutico se han realizado extractos de diferentes órganos de pepino de mar, los cuales han probado tener actividad antimicótica y hemolítica contra glóbulos rojos humanos de diferentes grupos sanguíneos del sistema ABO(H) (Fariñas y Liñero 1997). Poseen ácidos y mucopolisacáridos, los cuales han sido utilizados en el tratamiento de muchas enfermedades (Guo *et al.* 1998). También se les han extraído glicosaminoglicanos como fuente prometedora para la terapia antitrombótica (Li *et al.* 2000) y recientemente se han aislado varios glicoesfingolípidos con actividad neurotóxica sobre la línea celular PC-12 de ratas (Hernández y Fariñas 2005).

1.2 *Holothuria (Stauropora) fuscocinerea*

Holothuria (Stauropora) fuscocinerea pertenece a la familia Holothuriidae y es una especie que se caracteriza por presentar un cuerpo que mide aproximadamente entre 6 y 30 cm de longitud. La boca y el ano están dirigidos hacia la superficie ventral y en la cavidad oral posee veinte tentáculos largos. Los

pies ambulacrales son cilíndricos y se encuentran localizados en la superficie ventral, mientras que las papilas se ubican en la superficie dorsal (Fig. 1).



Figura 1. Espécimen de *Holothuria fuscocinerea* sobre sustrato arenoso. Foto: Pedro Medina.

Esta especie cuenta con dos vesículas de poli y cuatro canales pétreos, cada uno conectado a una madreporita. La pared del cuerpo es suave, su grosor varía entre uno y cuatro milímetros y presenta espículas en forma de tablas de disco redondo o cuadrado y reducido. El anillo calcáreo sólido ostenta placas radiales aproximadamente del doble de largo de la placa interradaial (Deichmann 1941, Rowe 1969).

Batimétricamente, *H. fuscocinerea* se distribuye entre cero y 130 m de profundidad y generalmente se localiza sobre sustrato arenoso o sobre rocas. Esta especie se alimenta de depósitos de sedimentos, por lo que se asocia a los bordes de sistemas coralinos. Las poblaciones se distribuyen en ambos lados del océano pacífico, del Golfo de California hasta las Islas Galápagos en el Pacífico oriental

tropical y en Australia, Islas Filipinas, Tonga y Guam en el Pacífico occidental. (Hickman 1998, Solís Marín *et al.* 2009).

2. ANTECEDENTES

La mayoría de los estudios sobre holoturoideos que se han realizado en diversas partes del mundo, se enfocan básicamente en aspectos taxonómicos y biogeográficos (Herrero-Pérezrul 1994). En México han sido estudiados desde hace más de 100 años y la mayor parte de las investigaciones han sido realizadas sobre las costas del Pacífico centrándose en la taxonomía y sistemática de las especies (Laguarda-Figueras *et al.* 2005). En la década de los noventa del siglo anterior, se comenzaron a realizar estudios sobre la biología poblacional de especies comerciales (Herrero-Pérezrul 1994), principalmente en zonas coralinas (Reyes-Bonilla *et al.* 2005). Actualmente existe poca información sobre la dinámica de las poblaciones, destacándose el estudio realizado por Schroeter *et al.* (2001), quienes observaron variaciones estacionales en la densidad de *Parastichopus parvimensis* en California y registraron los valores más altos en primavera, mientras que los más bajos se obtuvieron en otoño (Salgado-Rogel *et al.* 2009).

Entre los estudios que se han realizado con respecto a la ecología poblacional de los holoturoideos a nivel internacional destacan los realizados por Long y Skewes (1997), quienes determinaron el tipo de distribución y abundancia en los arrecifes de Torres Strait de 12 especies comerciales, correlacionando las abundancias de las especies con el tipo de sustrato y la profundidad a la que se

encontraban los organismos. Los autores registraron que *Holothuria nobilis* fue la más abundante en áreas donde la superficie coralina es extensa, mientras que *H. fuscogilva* fue más abundante en lugares someros y profundos, a diferencia de *H. atra* que fue significativamente más abundante en zonas someras con una amplia cobertura de sedimento y poca cobertura de coral.

Conand y Mangion (2002) realizaron un estudio en los arrecifes de la isla La Reunión, Océano Índico, caracterizando la diversidad, abundancia y estructura de las poblaciones de pepino de mar. Como resultados registraron 17 especies, de las cuales las más abundantes fueron *H. atra*, *H. leucospilota*, *Actinopyga echinites*, *Stichopus chloronotus* y *Synapta maculata*, siendo *H. leucospilota* la especie con la densidad más alta (1.25 ind·m⁻²).

Dubrovskii y Sergeenko (2002) estudiaron los patrones de distribución de *Apostichopus japonicus* en la Laguna Busse al sur de la Isla Sajalín, Rusia. En este estudio identificaron que la distribución de *A. japonicus*, en la mayor parte del área tiene una distribución azarosa. Sin embargo, en el noreste del área los individuos forman agregaciones sobre las camas de algas y ostras y estas a su vez poseen una distribución azarosa. Los intervalos de la densidad promedio fueron de 0.02 a 5 ind·m⁻².

Pouget (2005) realizó estudios de abundancia y distribución de los holotúridos presentes en el arrecife de Grande Terre, Mayotte en el océano Indico, identificando nueve especies, de las cuales las más abundantes fueron

Bohadschia subrubra y *B. vitiensis*, con una densidad media de 0.003 ind·m⁻² para la primera especie y 0.0022 ind·m⁻² para la segunda.

En el 2007, Shiell realizó investigaciones describiendo la distribución espacial y el desplazamiento temporal de *Holothuria whitmaei*, en el arrecife Ningaloo, Australia, concluyendo que los organismos de esta población tienen una densidad que varía de los 19.3 a 27.1 ind·ha⁻².

Con respecto al continente Americano, en la costa este de Canadá, Hamel y Mercier (1996b), estimaron para *Cucumaria frondosa* abundancias que van de los 5 a 15 ind·m⁻², al mismo tiempo que concluyeron que las semejanzas en el desarrollo gametogénico dentro de la población está fuertemente relacionado con las condiciones ambientales (principalmente salinidad y temperatura).

Toral-Granda y Martínez (2007), describieron la biología reproductiva y la estructura poblacional de *Isostichopus fuscus* en Caamaño, Islas Galápagos, Ecuador. En su estudio encontraron que la talla de primera madurez se encuentra entre los 161.0 y 170.9 g (peso drenado). La estructura de tallas de la población se encontró entre los 13 y 31 cm y los pesos de los organismos entre los 81.0 y 400.0 g.

Alvarado y Chiriboga (2008), estimaron la distribución y abundancia de equinodermos en las aguas someras de la Isla de Coco en Costa Rica y en su estudio *H. fuscocinerea* fue descrito como nuevo registro en el área de estudio.

Los estudios de ecología poblacional de holoturoideos en México son escasos y han sido dirigidos únicamente a especies con importancia económica. En los estudios destacan los realizados por Fajardo-León *et al.* (1995), quienes determinaron que la población de *Isostichopus fuscus* en Santa Rosalía, B.C.S, presenta un ciclo de reproducción anual, una talla promedio de 2.51 cm y el promedio de peso fresco es de 458 g con una relación peso total-longitud de $W=0.059855 L^{1.6}$ ($r=0.77$ y $r^2=60\%$) y presentando un crecimiento alométrico.

Herrero-Pérezrul *et al.* (1999) describieron la reproducción y crecimiento de *I. fuscus* en el sureste del Golfo de California, México. Mencionando que la especie se reproduce anualmente durante los meses de verano (julio a septiembre). El peso de inicio de madurez sexual es aproximadamente 367g (4 a 5 años de edad) de acuerdo a la ecuación de Von Bertalanffy. Los resultados demostraron mediante el análisis de la relación longitud-peso que *I. fuscus* tiene un crecimiento alométrico ($b=1.83$) y la tasa de mortalidad según los autores fue relativamente alta ($M=0.51$).

Fajardo-León *et al.* (2008) describieron el ciclo reproductivo de *Parastichopus parvimensis* en la Isla Natividad y Bahía Tortugas, en Baja California Sur, determinando que el peso de inicio de madurez para la especie es de 140 g en la Isla Natividad y 120 g en Bahía Tortugas. Los autores proponen el establecimiento de una veda de febrero a mayo para proteger el evento de reproducción y otra de agosto a octubre para salvaguardar el periodo de ausencia y/o atrofia de órganos internos.

Reyes-Bonilla *et al.* (2008) realizaron un estudio en el área natural protegida Parque Nacional Bahía de Loreto, en el cual determinaron que *I. fuscus* tiene una densidad promedio de $0.028 \pm 0.0004 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$.

Finalmente, en el área de estudio se ha reportado que para *I. fuscus* la densidad poblacional promedio fue $1.8 \pm 1.30 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$, la talla y el peso promedio estimados fueron $22.4 \pm 3.8 \text{ cm}$ y $396 \pm 130 \text{ g}$, respectivamente, reportando que la densidad disminuye en la época de lluvias y aumenta posteriormente, debido a que después del periodo en donde se registran las precipitaciones pluviales existe un aumento en la cantidad del alimento (Glockner-Fagetti 2012).

3. HIPÓTESIS

La reproducción es un rasgo importante de la historia de vida de los organismos a nivel poblacional, este rasgo está influenciado por la dinámica poblacional, que a su vez está influenciada por características ambientales tales como temperatura, salinidad y disponibilidad de alimento, entre otros factores. Por lo tanto, se espera obtener diferencias significativas en los parámetros poblacionales (densidad poblacional, distribución espacial, estructuras de tallas, peso e índice de condición) de *H. fuscocinerea* durante los meses de actividad reproductiva intensa (junio a agosto 2008), con respecto al resto del año.

4. OBJETIVOS

Objetivo general:

Determinar la relación que existe entre la dinámica poblacional y el patrón del ciclo reproductivo del pepino de mar *H. fuscocinerea* en la Bahía La Entrega, Oaxaca, México, en el periodo comprendido de abril del 2008 a marzo del 2009.

Objetivos específicos:

- Estimar la densidad poblacional mensual de *H. fuscocinerea*.
- Obtener el tipo de distribución espacial y temporal de *H. fuscocinerea* en el área de estudio.
- Determinar la relación existente entre la densidad mensual de *H. fuscocinerea* y los factores ambientales (temperatura de fondo, pH, salinidad, precipitación pluvial mensual).
- Analizar la distribución de tallas de la población de *H. fuscocinerea* en el periodo de muestreo.
- Estimar la relación talla-peso del total de organismos registrados durante el periodo de muestreo.
- Estimar el factor de condición (Kn) de la población y evaluar su variación espacio-temporal.
- Caracterizar la relación existente entre la densidad mensual, distribución espacial, estructura de tallas e índice de condición de *H. fuscocinerea* con su ciclo reproductivo.

5. AREA DE ESTUDIO

La Bahía La Entrega, es una de las nueve playas que conforman el complejo Bahías de Huatulco ubicado en estado de Oaxaca, Pacífico Oriental Tropical. Ésta bahía se localiza entre los 15°44'34" Norte y los 96°07'35" Oeste (Fig. 2).

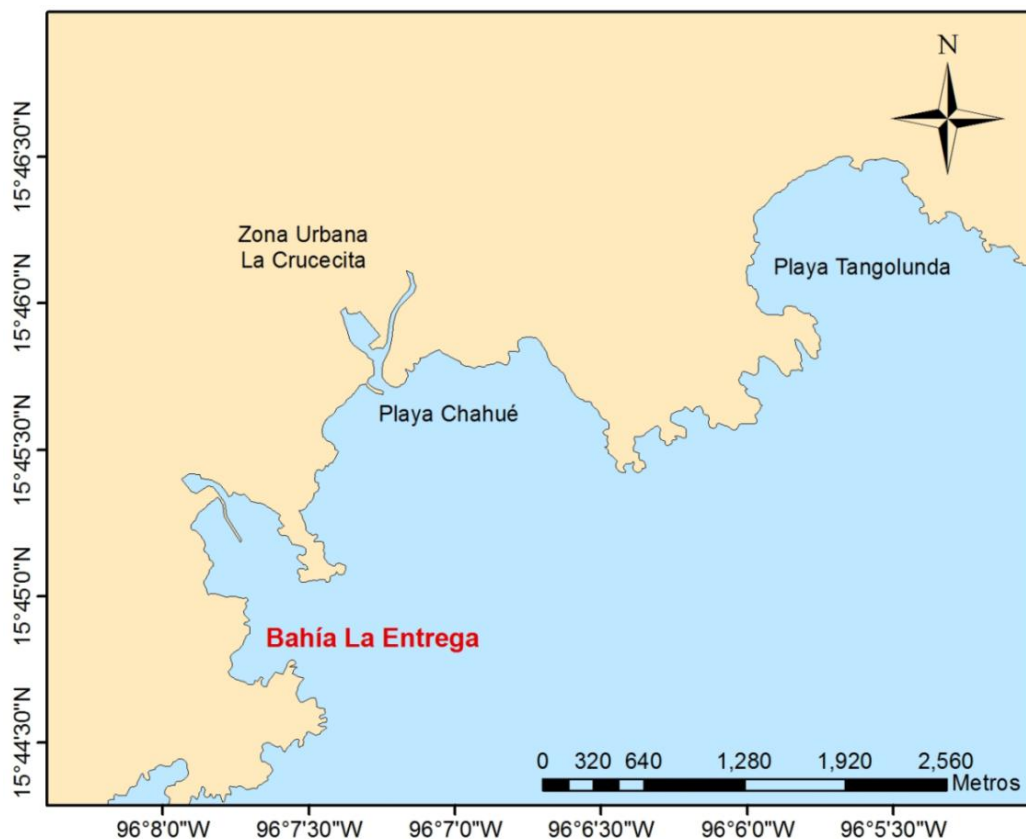


Figura 2. Mapa de localización del área de estudio, Bahía La Entrega, Santa María Huatulco. Elaboró: Castrejón Rodríguez Elder.

El clima que predomina en esta región según la clasificación Köppen modificada por García (1973) es del tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw). La temperatura promedio anual varía entre 26° y 28° C. La precipitación

promedio mensual durante la temporada de lluvias es de 1000 a 1500 mm, siendo la precipitación promedio anual de 800 a 2000 mm. Los vientos dominantes van del sur hacia el este en forma anual (INEGI 2005).

En la zona adyacente al área de estudio el principal factor que determina las condiciones oceanográficas es la presencia de los vientos llamados Nortes o Tehuanos, los cuales son vientos intensos de “paso de montaña”, que soplan principalmente en invierno sobre el Golfo de Tehuantepec. Dichos vientos son generados por sistemas fríos de alta presión atmosférica que se originan en América del Norte. Estos centros se desplazan al sur y propician fuertes gradientes horizontales de presión entre el Golfo de México y los aires relativamente cálidos de baja presión en el Pacífico. Los vientos del Atlántico pasan hacia el Pacífico a través del Istmo de Tehuantepec y producen modificaciones importantes en la superficie del océano (Lavín *et al.* 1992). Los sistemas de vientos se combinan con la dinámica oceanográfica para producir dos esquemas ambientales extremos: en verano dominan las condiciones tropicales con la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR), mientras que en invierno la CCCR es débil y las características oceanográficas están determinadas por los eventos locales de viento, calentamiento solar y lluvia (Lluch-Cota *et al.* 1997).

La variación de los parámetros abióticos muestra cambios estacionales en el Golfo de Tehuantepec. Los valores bajos de salinidad corresponden a la estación de lluvias (junio a noviembre) y los valores altos de la salinidad corresponden a la estación de secas y de vientos Tehuanos. La variación de la temperatura del agua indica los cambios estacionales en la región, presentándose

valores bajos durante la temporada de secas y en presencia de los vientos Tehuanos, debido a las surgencias que se generan, mientras que los valores altos se observan en la temporada de lluvias (Tapia-García *et al.* 2007).

Como consecuencia de la dinámica mencionada, noviembre es el mes en el que se registra la mayor variabilidad de salinidad y temperatura. La variación en este mes del año es un indicador del final de la época de lluvias y el comienzo del periodo de surgencias (Trasviña y Barton 1997, Tapia-García *et al.* 2007).

La Entrega se caracteriza por presentar una profundidad promedio de 8.4 m (Leyte-Morales 2001) y se pueden diferenciar dos zonas: la zona arenosa y la zona coralina. La zona arenosa se caracteriza por tener una anchura entre 20 y 40 m y de 2 a 3 m de profundidad. En la zona de contacto entre esta zona y el comienzo del arrecife se encuentran fragmentos vivos y muertos de coral, procedentes de las estructuras principales (Leyte-Morales 2001). En la zona coralina el arrecife tiene una extensión de 324 m de largo por 233 m de ancho, posee una profundidad máxima de 13.3 m (Glynn y Leyte-Morales 1997) y está conformado por colonias de *Pocillopora damicornis*, *Porites sp.* y *Pavona sp.* El arrecife inicia con grandes colonias de coral que disminuyen a una profundidad de 1 m, posteriormente se continua una plataforma que se hace más profunda hasta llegar a los 3 m en una extensión aproximada de 100 m. A partir de ahí aumenta la profundidad hasta los 8 m donde termina el arrecife y en este punto hay una mayor cantidad de surcos y depresiones. Después de la zona de arrecifes continua una plataforma de arena (Leyte-Morales 2001).

6. MATERIALES Y METODOS

6.1 Trabajo de Campo

Se realizaron muestreos mensuales de abril de 2008 a marzo de 2009, colocando al azar 10 transectos de 10 m de longitud cada uno. Los transectos fueron colocados en la zona de transición entre la parte arenosa y el arrecife y perpendiculares a la línea de costa, teniendo cuidado que estuvieran separados al menos por 10 m. En cada transecto se inspeccionó 1 m a cada lado y a lo largo de toda la línea, utilizando una varilla de PVC como referencia, cuantificando todos los pepinos de mar de la especie *H. fuscocinerea* que quedaran comprendidos dentro de los 10 cuadrantes de 1 x 2 m que conformaban cada transecto, sin levantar ninguna roca o coral e inspeccionando a detalle cualquier cavidad o hueco presente (Alvarado y Chiriboga 2008).

Se midieron *in situ* mensualmente con una cinta métrica desde la boca hasta el ano aproximadamente 100 organismos elegidos al azar a una profundidad de entre 10 y 18 m, en la zona de la plataforma de arena adyacente al arrecife (Pérez y Marcos 1985). Durante las mediciones de los organismos se tuvo sumo cuidado de que no fueran perturbados con el objetivo de evitar el cambio de su tamaño corporal.

Para el análisis histológico involucrado en la caracterización del patrón reproductivo (lo cual forma parte de otro trabajo) y para determinar la relación entre la longitud y el peso se recolectaron los primeros 20 organismos que se midieron, los cuales se colocaron individualmente en bolsas de plástico

numeradas consecutivamente para evitar que en caso de evisceración sus órganos se mezclaran. Dichos organismos fueron transportados al laboratorio de Oceanografía Biológica de la Universidad del Mar.

6.2 Morfometría

En el laboratorio los organismos fueron colocados durante 12 horas en agua marina a 3°C para su relajación, posteriormente se realizaron registros individuales del peso húmedo total (PT) (sin agua, incluyendo tegumento y órganos internos) y el peso húmedo de la gónada (PG) con ayuda de una balanza digital a 0.001 g de precisión. Con estos datos se calculó el índice gonadosomático y se determinó la estructura de tallas y pesos de la población. Los datos de longitud y peso fueron separados por sexo obteniéndose estadísticos descriptivos (Fajardo-León *et al.* 2008).

6.3 Parámetros ambientales

Durante cada muestreo se registró la salinidad (± 0.01 UPS) con ayuda de un medidor multiparámetros Hanna. Con un termógrafo sumergible (Data Logger) Mca. Onset Computer Corporation, permanentemente sujetado al fondo se obtuvieron registros constantes de temperatura de fondo a intervalos de una hora. Los valores de precipitación pluvial para el área de estudio fueron proporcionados por la estación meteorológica perteneciente a la Comisión Nacional del Agua, ubicada en la población de Puerto Ángel, Oaxaca.

6.4 Análisis de los datos

Con los datos obtenidos se calculó la densidad poblacional total y mensual de *H. fuscocinerea*. Así mismo, se realizó un análisis de varianza de una vía para determinar si existen diferencias significativas entre los valores de densidad mensual a lo largo del periodo de muestreo.

Se evaluó la relación entre la variación mensual de la temperatura de fondo (TF), salinidad y precipitación pluvial mensual (PT), (variables independientes) con la variación mensual de la densidad de *H. fuscocinerea* para lo cual se utilizó el método de regresión lineal múltiple paso a paso (Hair *et al.* 1999).

El modelo de regresión lineal con la densidad se representa a continuación.

$$Densidad = \alpha + \beta_1 TF + \beta_2 UPS + \beta_3 PT$$

Dónde:

α : es la ordenada al origen en el modelo de regresión.

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$: son los coeficientes que representan la contribución de cada una de las variables independientes en la predicción de la variable dependiente.

, *salinidad*, *PT* y *TF*: son las variables ambientales.

Lo anterior se realizó con la ayuda del Software Statistica 7.0.

6.4.1 Distribución espacial

Índice de Morisita

Para estimar el patrón de distribución espacial en la Bahía La Entrega, se aplicó el Índice de Morisita (1959) citado por Krebs (1999), considerado como uno de los mejores índices para estimar distribución, debido a que es independiente de la densidad poblacional y del tamaño de muestra (Krebs 1994). Este método estima los tres tipos de distribución (agregada, uniforme y aleatoria o Poisson) y se basa en el análisis de la relación de la varianza-media.

La media y la varianza utilizadas en este método se calcularon con las fórmulas que el mismo autor propuso, las cuales se presentan a continuación:

$$\bar{x} = \frac{\sum [x_i * f(x)]}{N}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum [(x_i - \bar{x})^2 * f(x)]}{N - 1}$$

Dónde:

N : cantidad de cuadrantes o número de unidades de muestreo.

x_i : número de *H. fuscocinerea*/cuadrante

$f(x)$: número de cuadrantes con x número de organismos de *H. fuscocinerea*.

Dependiendo del resultado, se obtiene una estimación del tipo de distribución que muestran los organismos.

a) Distribución uniforme.

$$\text{Si } \frac{\sigma^2}{\mu} < [1 - (t\alpha, gl_{n-1}) \cdot ES]$$

$$ES = \sqrt{2/(n-1)}, \text{ donde } n \text{ es el número de datos.}$$

b) Distribución aleatoria o Poisson

$$\text{Si } [1 - (t\alpha, gl_{n-1}) \cdot ES] < \frac{\sigma^2}{\mu} < [1 + (t\alpha, gl_{n-1}) \cdot ES]$$

c) Distribución agregada

$$\text{Si } \frac{\sigma^2}{\mu} > [1 + (t\alpha, gl_{n-1}) \cdot ES]$$

Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos con el índice de Morisita, se aplicaron los modelos de probabilidad Poisson y el modelo de distribución Binomial Negativa.

- Distribución Poisson

El modelo de distribución Poisson consiste en comparar los datos observados contra los datos esperados. La hipótesis nula establece que los datos observados de abundancia de *H. fuscocinerea* en la Bahía La Entrega, son iguales a los datos esperados. En ese caso, la distribución que posee esta comunidad es Poisson. Por otra parte la hipótesis alterna establece que los datos observados de abundancia de *H. fuscocinerea* en la Bahía La Entrega son diferentes a los datos

esperados; en consecuencia, la distribución que posee esta población no es Poisson.

1. Para comprobar cualquiera de las hipótesis anteriores se utilizó la ecuación de probabilidad de Poisson:

$$P(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$$

Dónde:

e : es la base del logaritmo natural.

$x!$: es el factorial de x .

x : es el número de ocurrencias de un evento.

λ : es el número promedio de pepinos contados.

2. Los datos esperados $F_x = N \cdot P(x)$

Dónde:

N : número total de cuadrantes.

$P(x)$: Es la probabilidad de Poisson para el valor observado.

3. La ecuación de χ^2 calculada $\chi_i^2 = \sum \frac{(f(x) - F(x))^2}{F(x)}$

Así mismo se obtuvo la $\chi_i^2 \alpha, gl_{N-1}$ de tablas, para realizar la confrontación estadística, bajo los siguientes supuestos:

Si χ_i^2 calculada es $< \chi_{i\alpha}^2$ de tablas se acepta H_a y se rechaza H_0 .

Si χ_i^2 calculada es $\geq \chi_{i\alpha}^2$ de tablas se acepta H_0 y se rechaza H_a .

- Distribución binomial Negativa o Agregada

Para determinar que la población cumple con una distribución binomial negativa se deben cumplir con las siguientes hipótesis.

$$H_0 = \sigma^2 = \mu$$

$$H_a = \sigma^2 \neq \mu$$

El modelo del índice de distribución binomial negativa es el siguiente:

$$P_x = \left[1 + \left(\frac{\mu}{K} \right) \right]^{-k}$$

Esta fórmula se ocupa para el primer valor de x y posteriormente se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_x = \left[\frac{\mu}{(\mu + K)} \right] \cdot \left[\frac{K + x_{n-1}}{x_n} \right] \cdot [P(x_{n-1})]$$

Dónde:

μ =media

$\left[\frac{\mu}{(\mu + K)} \right]$: es una constante

$[P(x_{n-1})]$: es la probabilidad del nivel anterior

K : es el parámetro que mide el grado de agregación de los individuos en una población, considerándose que mientras menor sea su valor, mayor será el grado de agregación (Ludwig y Reynold 1988, Krebs 1999).

Para calcular el valor de K existen dos métodos,

- Primer método para calcular K

$$K = \frac{\mu^2}{\delta^2 - \mu}$$

Para saber si el valor de K es el adecuado, K debe de cumplir con tres supuestos:

1. $\frac{K}{\mu} > 6$
2. $K > 3$
3. $\frac{(K + \mu)(K + 2)}{\mu} \geq 15$

Si K no cumplió con por lo menos uno de estos supuestos, se pasa al siguiente método:

- Segundo método para calcular K

$$\text{Log} \frac{N}{N_0} = K_1 \cdot \text{Log} \left(1 + \frac{\mu}{K_1} \right)$$

Dónde:

$$N = \sum F(x)$$

N_0 : siempre es el primer dato de $f(x)$

K_1 : se calcula en el primer método.

Una vez obtenido el valor de k se sustituyó en el modelo del índice de distribución binomial negativa para obtener P_x , F_x y su ajuste a la χ^2 .

6.4.2 Relación longitud-peso

La relación longitud-peso fue estimada mensualmente con base en la longitud (cm) y el peso húmedo (g) de 20 organismos, usando la ecuación (Olusoji *et al.* 2009):

$$W = qL^b$$

Dónde:

W: peso húmedo de *H. fuscocinerea*.

L: Longitud de *H. fuscocinerea*.

q: antilogaritmo de la ordenada al origen

b: constante de proporcionalidad del incremento de la longitud respecto al peso.

La relación fue transformada en una ecuación lineal mediante el uso de logaritmos (base 10)

$$\log(W) = \log(q) + b \log(L)$$

ó

$$y = a + bx$$

Dónde:

y: logaritmo de *W*

x: logaritmo de *L*

a: ordenada al origen

Para obtener los valores de los parámetros a y b , se estimaron los valores por medio de un análisis de regresión lineal. El valor de q se calculó a partir de la relación talla-peso (TW) original ($W = qL^b$).

$$q = \exp a$$

Por lo tanto, la relación entre el peso (W) y la talla de los organismos se representa mediante la ecuación:

$$W = \exp a * L^b$$

Posteriormente se obtuvo el intervalo de confianza de b al 95% usando los valores de S_x , S_y , n y T_{n-2}

$$S_b = \sqrt{\frac{1}{n-2} * \left[\left(\frac{S_y}{S_x} \right)^2 - b^2 \right]} \text{ y } S_b * t_{n-2}$$

Dónde:

S_b : error estándar del coeficiente b

S_x : desviación estándar de la longitud observada L

S_y : desviación estándar del peso observado W

n : tamaño de la muestra

t : estadístico de prueba

$n-2$: grados de libertad

Si el valor de b es igual a 3, se asume que el crecimiento es isométrico; cuando el valor es significativamente mayor o menor a 3, se asume que el crecimiento es alométrico (Pauly 1984 y Salgado-Ugarte *et al.* 2005)

6.4.3 Factor de condición

Utilizando los parámetros de la ecuación y los datos observados de la relación longitud-peso, se calculó el índice de condición relativa (Kn) para cada individuo (Herrero-Pérezrul y Reyes-Bonilla 2008). Este índice expresa qué tanto varía el peso un individuo determinado, con respecto a los valores esperados para toda la población.

$$Kn = \frac{W_{obs}}{aL^b}$$

Dónde:

Kn : factor de condición

W_{obs} : peso total observado

a : ordenada al origen

L : longitud de *H. fuscocinerea*

b : factor de isometría o pendiente

Finalmente, se calculó la media y el error estándar mensual, puesto que los datos se distribuyen normalmente (Kolmogorov-Smirnof, $p > 0,05$) se utilizó ANOVA de una vía ($\alpha = 0.05$) para detectar diferencias significativas en el tiempo de los valores de Kn (Herrero-Pérezrul y Reyes-Bonilla 2008).

Para estimar la posible relación entre el factor de condición (Kn) con la variación mensual de los parámetros ambientales (temperatura de fondo, salinidad y

precipitación pluvial), se utilizó un modelo de regresión lineal múltiple paso a paso (Hair *et al.* 1999), como se presenta a continuación:

$$Kn = \alpha + \beta_1 TF + \beta_2 UPS + \beta_3 PT$$

Dónde:

Kn: factor de condición calculado

α : ordenada al origen en el modelo de regresión

$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3$ = Coeficientes que representan la contribución de cada una de las variables independientes en la predicción de la variable dependiente.

Tf, S y Pp : Variables ambientales.

Con los organismo recolectados se realizó la caracterización del ciclo reproductivo de *H. fuscocinerea* mediante el procesamiento histológico de las gónadas, lo cual forma parte de otro estudio, pero los resultados fueron usados en el presente trabajo para compararlos con los parámetros poblacionales de la especie. Se obtuvo que este holotúrido tiene un ciclo reproductivo estacional (presentándose un máximo en el desove en el mes de junio de 2008 y otro en agosto de 2008) siendo influenciado por los cambios de salinidad asociados a la época de lluvias. Dichos resultados fueron publicados en Benítez-Villalobos *et al.* (2013).

7. RESULTADOS

7.1 Densidad y Abundancia.

En la Bahía La Entrega, el muestreo abarcó un área aproximada de 1,400 m², contabilizándose 585 organismos.. La densidad promedio total de *H. fuscocinerea* fue de 4.2 ± 2.7 ind·m⁻², fluctuando entre un promedio mínimo de 0.9 ± 0.4 ind·m⁻² en el mes de abril de 2008 y un promedio máximo de 9.2 ± 1.0 ind·m⁻² en febrero de 2009. El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas de la densidad poblacional a lo largo del tiempo (F 13,1335=10.68, p< 0.05).

7.2 Factores ambientales y su relación con la densidad.

Durante el tiempo de muestreo la temperatura promedio (\pm DE) fue de 26.7 ± 2.2 °C. El valor más alto (29.9°C) se registró en el mes de junio de 2008 y el más bajo (23.5°C) fue registrado en abril de 2009 (Fig.3). La precipitación pluvial (Pp) media fue de 97.7 mm ± 146.0 mm. En el mes de julio 2008 se presentó el valor máximo con un valor de 448.9 mm mientras que en el periodo de noviembre 2008 a abril 2009 hubo ausencia total de lluvia (Fig. 4). En el caso de la salinidad (S) el valor promedio registrado (\pm DE) fue de 31.6 ± 2.4 , siendo 34.5 el valor más alto registrado en diciembre 2008 y el más bajo 27.4 en junio 2008 (Fig.5).

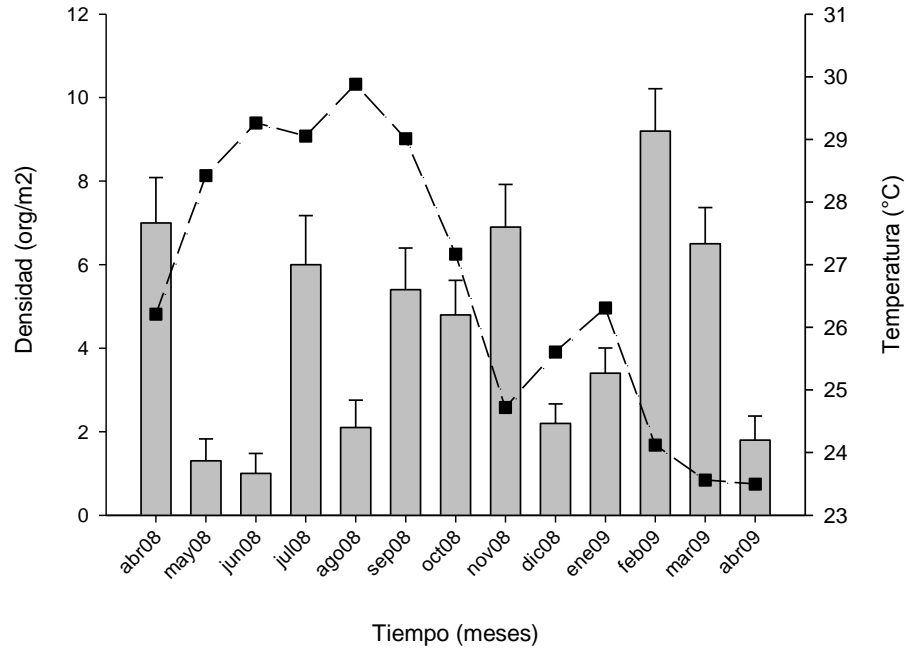


Figura 3. Comportamiento mensual de la densidad de *H. fuscocinerea* (barras) \pm DE y la temperatura (línea discontinua cuadros negros) durante el periodo de muestreo.

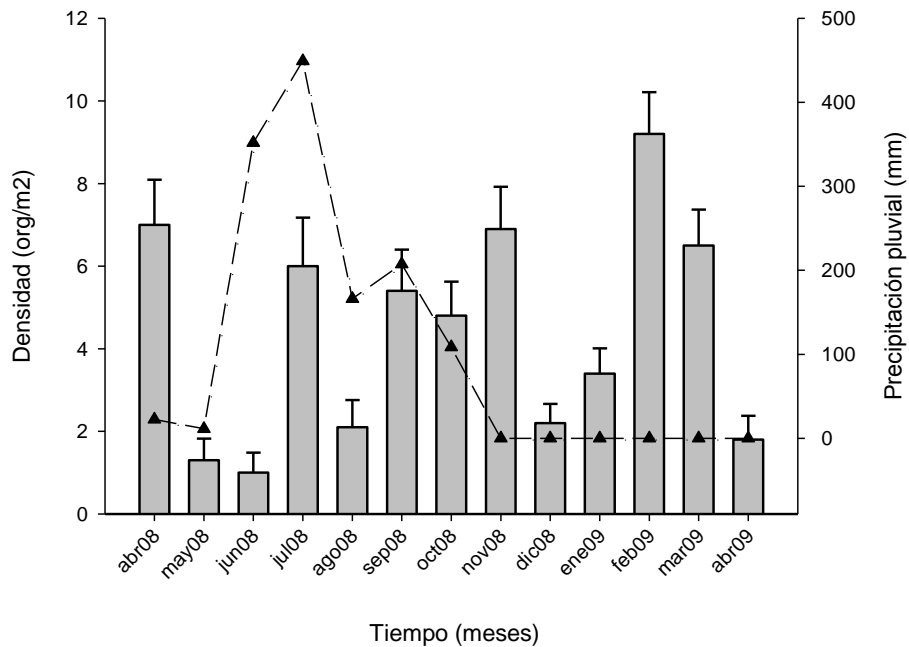


Figura 4. Comportamiento mensual de la densidad de *H. fuscocinerea* (barras), \pm DE (bigotes) y la precipitación pluvial (línea discontinua triángulos negros) durante el periodo de muestreo

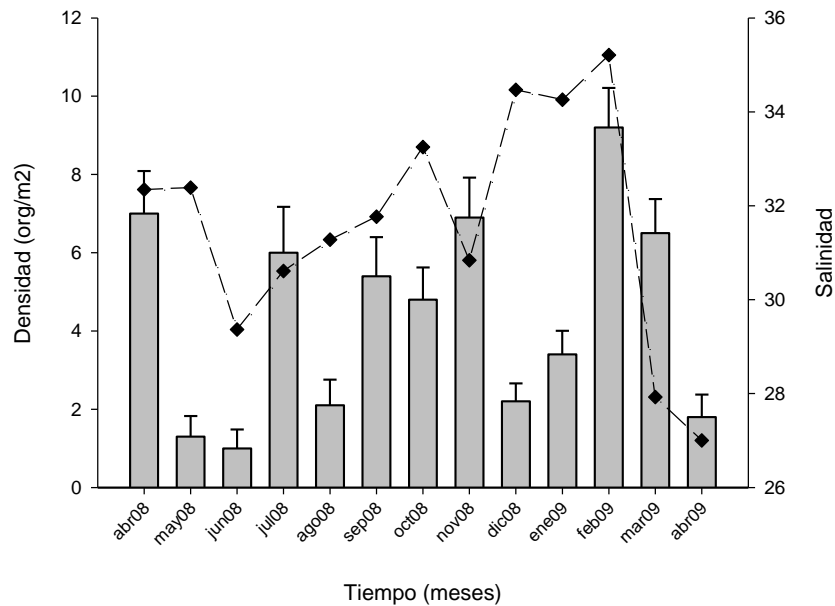


Figura 5. Comportamiento mensual de la densidad de *H. fuscocinerea* (barras), \pm DE (bigotes) y la precipitación pluvial (línea discontinua triángulos negros) durante el periodo de muestreo

El análisis de regresión lineal múltiple se resolvió a un paso resultando en el siguiente modelo:

$$\text{Densidad} = 35.65 - (0.98 * \text{temperatura})$$

El modelo indicó que la variación total explicada sobre la densidad de *H. fuscocinerea* en términos de la variable ambiental seleccionada (*temperatura*) fue de 70.26% ($R^2 = 0.7026$, $R = 0.4936$, p múltiple < 0.05), indicando que la variable temperatura está correlacionada en un 49.36 % con la densidad mensual

7.3 Distribución espacial

El análisis del tipo de distribución espacial de *H. fuscocinerea* en el área de estudio, de acuerdo con el índice de Morisita ($\sigma^2 > \mu$) mostró que la población tiene una distribución espacial de tipo aleatoria durante el mes de marzo 2008 y en el

periodo de diciembre 2008 a marzo de 2009. En el periodo comprendido de abril 2008 a noviembre 2008 y en el mes de abril 2009 se obtuvo una distribución agregada.

El modelo de distribución de Poisson (χ^2) y el modelo distribución de Binomial Negativa (χ^2) confirmaron lo obtenido mediante el índice de Morisita (Tabla 1).

Tabla I. Valores del índice de Morisita (σ^2/μ), Poisson (χ^2) y Binomial Negativa (K) para *H. fuscocinerea* en el área de estudio.

Meses	σ^2	χ^2	K
Mar-08	1.090	0.150	
Abr-08	1.525		1.482
May-08	2.122		0.068
Jun-08	2.323		0.042
Jul-08	2.290		0.327
Ago-08	2.049		0.139
Sep-08	1.849		0.702
Oct-08	1.409		0.750
Nov-08	1.514		0.612
Dic-08	0.972	0.220	
Ene-09	1.083	0.340	
Feb-09	1.113	0.920	
Mar-09	1.162	0.650	
Abr-09	1.838		0.143

De acuerdo con los valores del parámetro K , se puede observar que en el mes de abril 2008 los organismos comienzan a agregarse, posteriormente en diciembre 2008, la población deja de tener un patrón de distribución agregado y

pasan a tener un patrón de distribución aleatorio. En el mes de abril 2009 vuelven a presentar un patrón de distribución agregado (Figura 6).

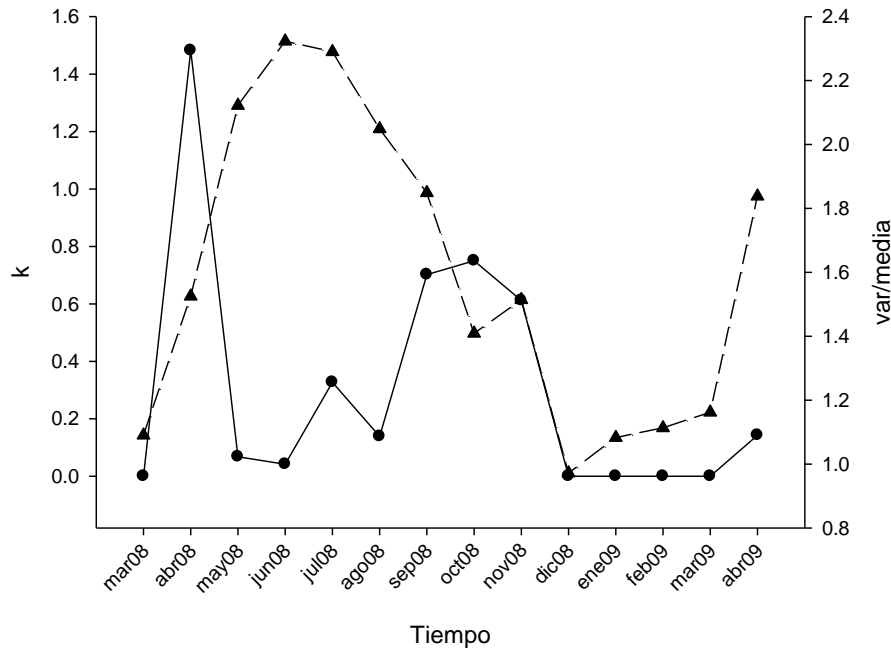


Figura 6. Comportamiento del grado de agregación de *H. fuscocinerea*; Índice de Morisita (línea discontinua con triángulos negros) y el parámetro K (línea continua con puntos negros).

7.4 Distribución de Tallas y Pesos.

La talla y peso promedio (\pm error estándar) de la población estudiada de *H. fuscocinerea* fueron de 26.16 ± 4.58 cm y 149.07 ± 40.278 g. La talla mayor registrada (43 cm) se presentó en enero 2009 mientras que la talla menor (15 cm) ocurrió en junio de 2008. Al iniciar el muestreo en el mes de marzo de 2008, la talla promedio mensual (\pm DE) fue 28.425 ± 2.876 cm, posteriormente disminuyó paulatinamente hasta alcanzar el menor valor (22.452 ± 3.457 cm) registrado en el

mes de junio 2008, posterior a este mes los valores de longitud promedio mensual aumentaron paulatinamente hasta los meses de octubre y noviembre de 2008, en los que los valores se mantuvieron relativamente constantes. En el mes de diciembre 2008 la longitud promedio registrada disminuyó y en enero de 2009 aumentó de nuevo hasta alcanzar el máximo valor registrado (28.550 ± 4.785 cm). En el siguiente mes disminuyó y se mantuvo relativamente constante en los meses de marzo, abril y mayo 2009 (Fig. 7).

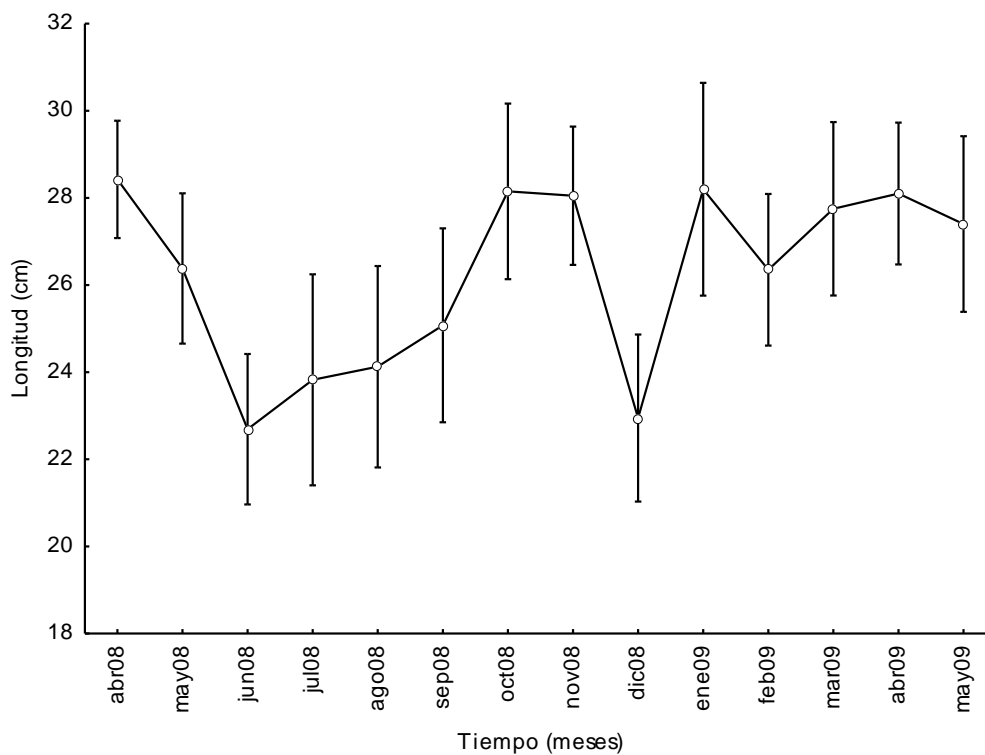


Figura 7. Longitud promedio mensual (\pm DE) de *H. fuscocinerea* durante el periodo de muestreo en la Bahía La Entrega.

Durante el periodo de muestreo, la clase modal mejor representada fue 25.8 cm (36%), esta clase conjuntamente con las clases de 18.6 cm (16%) 22.2 cm

(20%) y 29.4 cm (16%) conforman el total de 88% de la población. La clase 15 cm representó el 5% y las tallas de 33.0 cm (6%), 36.6 cm (1.4%) y 40.2 cm (0.4%) conjuntamente conforman el 8% de la población estudiada (Fig. 8).

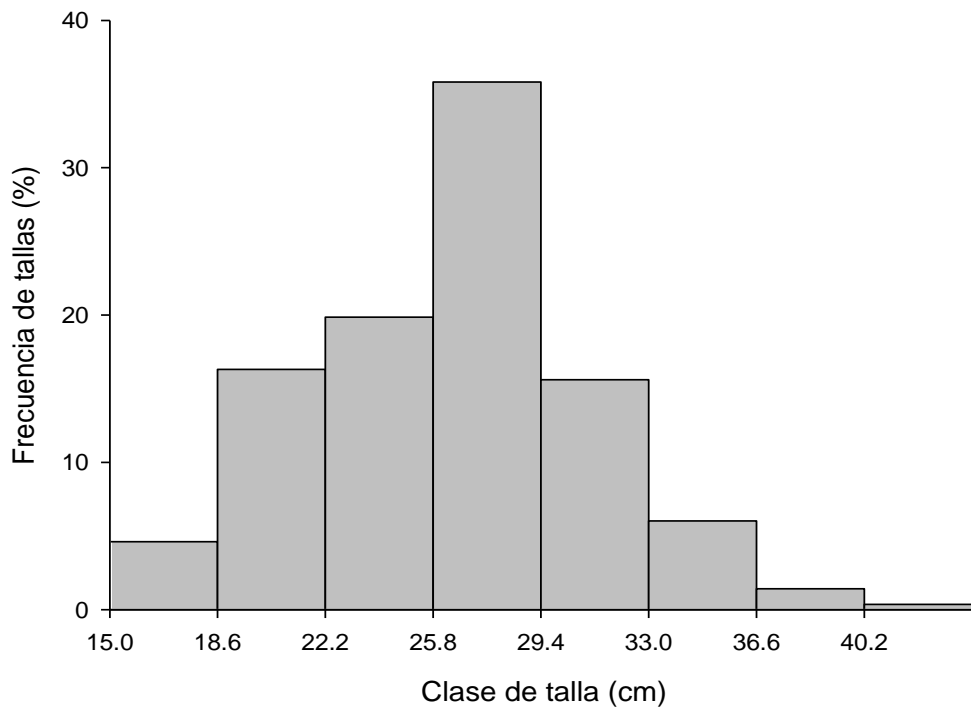


Figura 8. Porcentaje de frecuencia de tallas de *H. fuscocinerea* en el periodo de muestreo en la Bahía La Entrega.

A lo largo del periodo de muestreo, se observaron variaciones en la distribución de tallas por mes (Fig. 9). En el mes de abril de 2008, la talla que obtuvo una mayor frecuencia de tallas fue 29.4 cm comprendiendo el 45% del total de organismos medidos. En mayo 2008 la clase modal mejor representada se incrementó a 25.8 cm conformada por el 40% de los organismos. En junio y julio 2008 el intervalo de tallas 18.6 cm obtuvo el mayor porcentaje de frecuencias (38% y 33% respectivamente). A partir de julio, se observó una mayor

heterogeneidad en la frecuencia de tallas ya que se registraron tallas en seis de los ocho intervalos de frecuencia.

Posteriormente en agosto 2008, aumentó el número de organismos que tenían tallas entre 22.2 y 25.7 cm (35%) y disminuyó la frecuencia de tallas (20%) del intervalo de 18.6 cm a un 20%. El intervalo mejor representado se obtuvo en los meses de septiembre 2008 (30%), octubre 2008 (45%), noviembre 2008 (50%), enero 2009 (50%), febrero 2009 (50%), marzo 2009 (35%), abril 2009 (50%) y mayo 2009 (45%) y fue 25.8 cm.

En diciembre 2008 las tallas mejor representadas fueron aquellas que estaban dentro de los rangos 18.6 cm y 22.2 cm, representando conjuntamente al 60% de los organismos muestreados. Sin embargo, es en este mes cuando se puede observar una mayor homogenización de las tallas de los organismos. En éste mes y en agosto 2008 la clase modal 15.0 cm fue la mejor representada (15%). La clase de talla más grande (40.2) en enero 2009, obtuvo un valor de frecuencia del 5%, siendo esta la única ocasión en que se registraron organismos con estas tallas.

Los meses de abril 2008, mayo 2008 y junio 2008 obtuvieron 4 clases con un porcentaje de frecuencia de 0%. Por otra parte, noviembre 2008, diciembre 2008, abril 2009 y mayo 2009 tuvieron 3 clases con un valor de 0%. Finalmente de julio 2008 a octubre 2008, enero 2009 y marzo 2008 tuvieron seis de ocho clases representadas, indicando que durante estos meses la distribución de talla de los organismos fue más homogénea. En nueve de los catorce meses que duró el

muestreo la clase 25.8 cm fue la mejor representada y en tres meses la clase 18.6 cm.

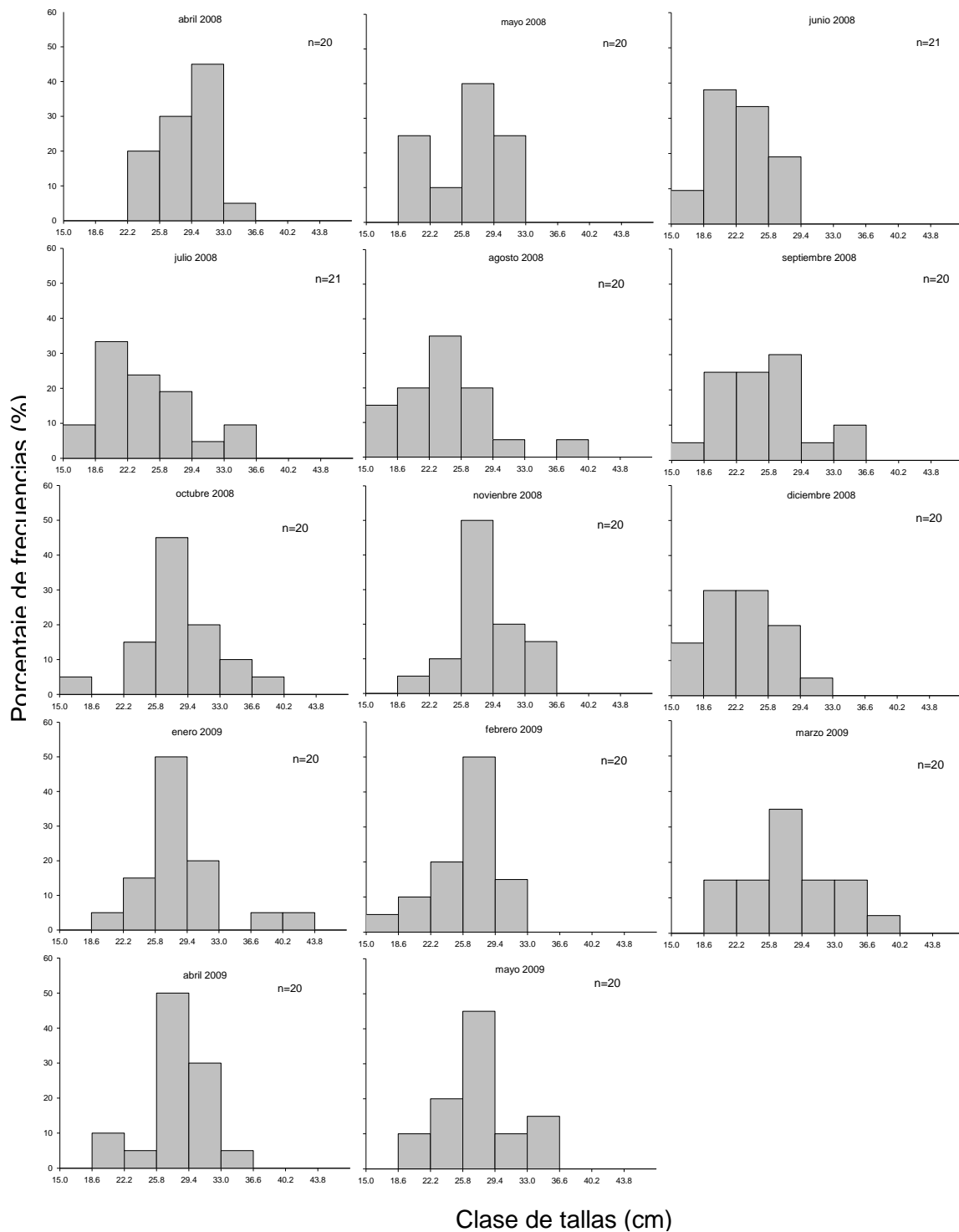


Figura 9. Distribución de la frecuencia de tallas de *H. fuscocinerea* durante los meses muestreados en la Bahía La Entrega.

Para el caso de los pesos promedios mensuales, el organismo con mayor peso (259.75 g) se registró en mayo 2008 y el organismo con el menor peso (40.88 g) en octubre 2008. Al iniciar el muestro en el mes de marzo de 2008, el peso promedio mensual fue de 140.876 ± 30.505 g, posteriormente aumentó paulatinamente durante los meses de mayo y junio de 2008. En julio de 2008 disminuyó drásticamente el valor promedio mensual (120.648 ± 32.455 g), y en los meses siguientes el valor de TW promedio mensual se mantuvo relativamente constante. En el mes de noviembre aumentó ligeramente este valor y en diciembre de 2008 se obtuvo el valor promedio mínimo (105.049 ± 30.494 cm) registrado. En los meses posteriores (enero, febrero, marzo y abril 2009) se volvieron a incrementar paulatinamente los valores del TW promedio mensual, hasta alcanzar el máximo valor registrado en el mes de mayo 2009 (191.906 ± 30.315 cm) (Fig. 10).

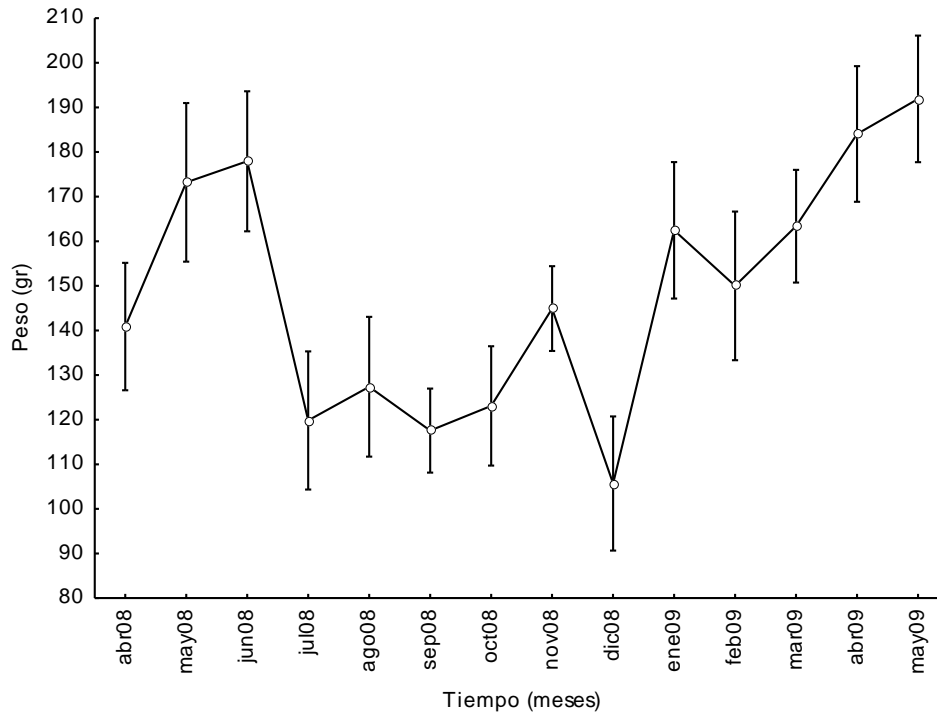


Figura 10. Registro de variaciones de los pesos promedio mensuales de *H. fuscocinerea* durante el periodo de muestreo.

La frecuencia de pesos representada en porcentaje (Fig. 11) muestra la estructura de pesos de la población estudiada. La clase modal mejor representada fue 123.3 g (25%), seguida de la clase 150.7 g la cual representó el 23%. Las clases 95.8 g, 123.3 g, 150.7 g en su conjunto representan al 66% de los organismos censados. Las clases con pesos mayores (178.2, 205.6 y 233.1 g) representan el 25% y las pesos menores (40.8 g y 68.3 g) únicamente el 9%.

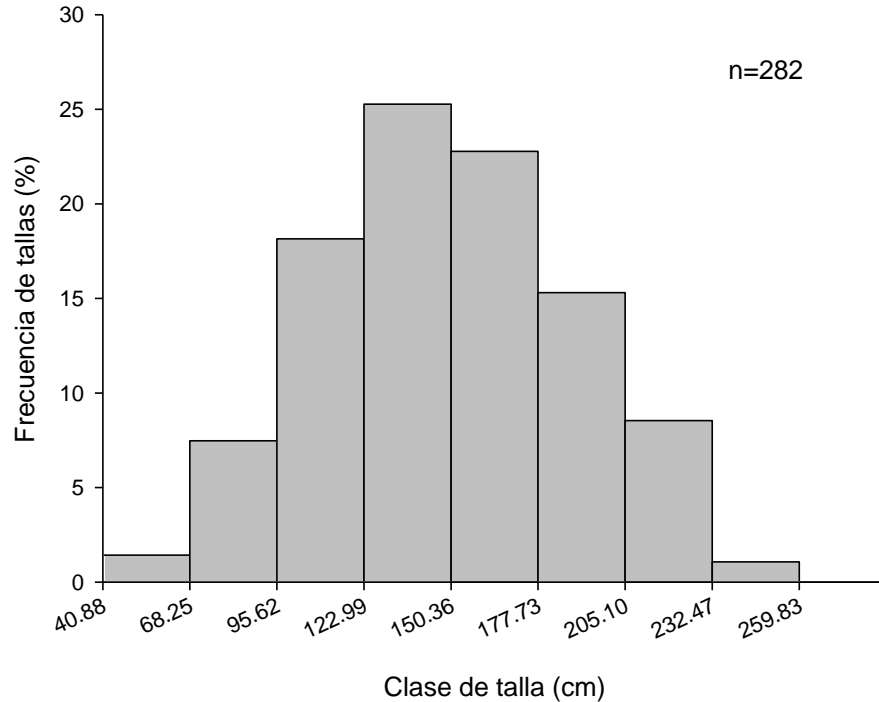


Figura 11. Porcentaje de frecuencia de pesos de *H. fuscocinerea* en el periodo de muestreo en la Bahía La Entrega

En el análisis de la frecuencia de pesos mensual se observaron variaciones en la estructura de pesos (Fig. 12). En el mes de abril de 2008 las clases modales mejor representadas fueron 123.3 g y 150.7 g (30% respectivamente). En mayo 2008 disminuyó el porcentaje de frecuencia de la clase 123.3 g (15%) y se incrementó a 50% la clase 150.7 g. Posteriormente en junio 2008, el 33.33% de la población se encontró representada en la clase 178.2 g. En julio 2008 disminuyeron los valores de pesos registrados, ubicándose el mayor porcentaje de frecuencia mensual en la clase 95.8 g (50%). En agosto la clase 123.3 g representó el 50%. En septiembre 2008 la clase 95.8 g nuevamente representó el mayor porcentaje mensual de frecuencias (50%). En el periodo de octubre a

diciembre 2008 la clase de tallas que se mantuvo con el mayor valor mensual fue 123.3 g (35%, 40% y 30%, respectivamente). Sin embargo en el mes de octubre la clase 95.8 g también mostró un valor de 35%, así mismo en el mes de diciembre la clase 68.3 g presentó un valor del 30%, cabe destacar que en este mes se obtuvo el mayor porcentaje de (10%) de la clase más baja (40.88 g).

En los siguientes tres meses (enero, febrero y marzo 2009), la clase que predominó fue 150.7 g con porcentajes de frecuencia de 36.8%, 25% y 35% respectivamente, sin embargo en febrero 2009 la clase 95.8 también mostró una frecuencia del 25%. En el mes de abril 2009 la clase 178.2 representó el 45% y finalmente en el mes de mayo 2009 la clase con el valor más alto de frecuencias registradas fue 205.6 (35%).

Al analizar las tallas y los pesos por sexos, se obtuvo que las hembras tuvieron una talla y peso promedio (\pm error estándar) de 25.76 ± 4.81 cm y 154.08 ± 40.25 g respectivamente. En el mes de enero 2009 se obtuvo la talla mayor (43 cm) y la hembra con menor talla (15 cm) fue capturada en el mes de mayo 2008. Para el caso de los pesos promedios mensuales, la hembra con mayor peso (241.42 g) se registró en mayo 2009 y la de menor peso (40.88 g) en el mes de octubre 2008.

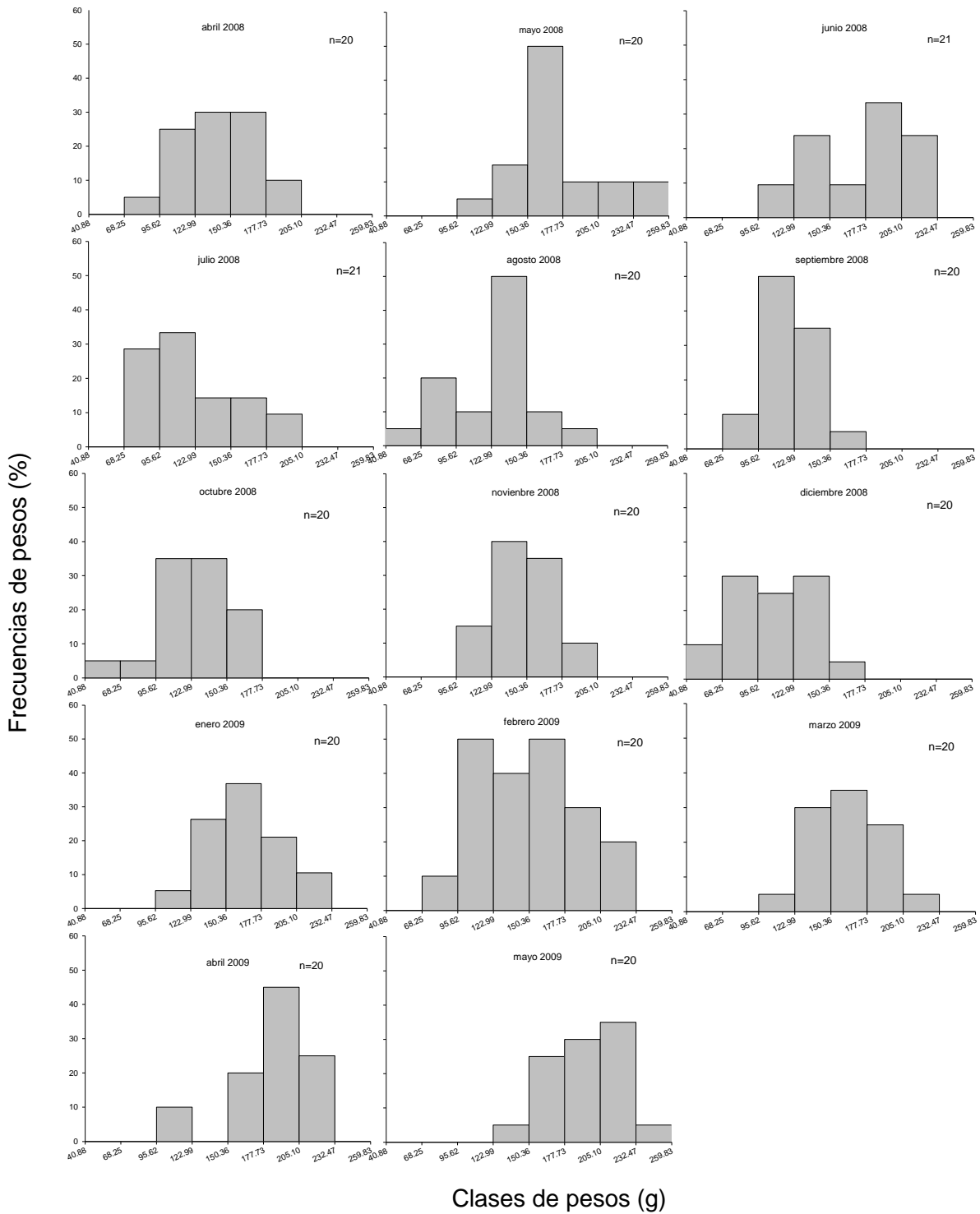


Figura 12. Distribución de la frecuencia de pesos de *H. fuscocinerea* durante los meses muestreados en la Bahía La Entrega

En el caso de los machos, la talla y peso promedio (\pm error estándar) fue de 26.87 ± 4.23 cm y 150.33 ± 37.00 g respectivamente. En el mes de agosto 2008 se obtuvo la talla mayor (38 cm), mientras que el macho con el valor menor de longitud (16 cm) se registró en el mes de julio 2008. Para el caso de los pesos promedios mensuales, el macho con mayor peso (241.25 g) se registró en mayo 2008 y el organismo con menor peso (63.62 g) en el mes de agosto 2008.

De acuerdo con los resultados del ANOVA, existieron diferencias significativas en la talla ($F(13,248)=4.120$, $p<0.05$), peso total ($F(13,248)=13.823$, $p<0.05$) y el peso gonadal ($F(13,248)=40.403$, $p<0.05$) de los organismos muestreados al analizar los valores entre meses. Sin embargo no existen diferencias significativas entre el peso total ($F(1,248)=0.586$, $p>0.05$) y las tallas ($F(1,248)=3.735$, $p>0.05$) de los organismos al comparar entre sexos, aunque si se detectaron diferencias significativas entre los valores del peso gonadal ($F(1,248)=13.267$, $p<0.05$).

7.5 Relación Longitud Peso

El modelo de la relación entre la longitud y el peso de los organismos de *H. fuscocinerea* para el periodo de muestreo fue:

$$W = 72.132e^{0.023L}$$

Dónde: W es el peso (g), 72.132 es la ordenada al origen (intervalo de confianza $\pm 0.0.177$), 0.023 es el coeficiente de alometría o b , sin embargo el coeficiente de correlación obtuvo un valor bajo ($r^2=0.158$, $p<0.05$). Se estimó que

el valor del coeficiente de alometría no se encuentra dentro del intervalo de confianza al 95%, por lo tanto el valor de la pendiente no es igual a 3, determinándose que los organismos de *H. fuscocinerea* presentan un crecimiento alométrico (Fig. 13)

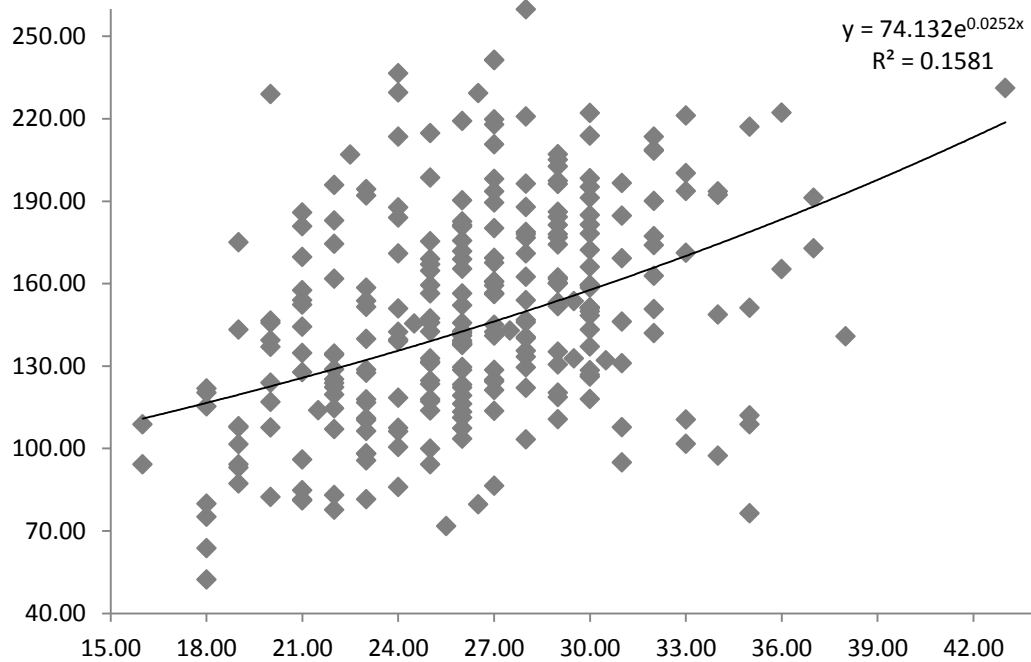


Figura 13. Relación entre la longitud y el peso de *Holothuria fuscocinerea* durante el periodo de muestreo.

7.6 Factor de condición relativa.

El valor promedio estimado del factor de condición relativa (Kn) (\pm DE) fue 1.052 ± 0.266 , obteniéndose el valor mínimo mensual en el mes de septiembre de 2008 (0.857) y en mayo de 2008 el valor máximo mensual (1.367). El análisis de varianza demostró que existen diferencias significativas de los valores de Kn en los meses de muestreo. El factor de condición mostró una tendencia similar a la

distribución de los pesos de los organismos de *H. fuscocinerea* muestreados (Fig. 14).

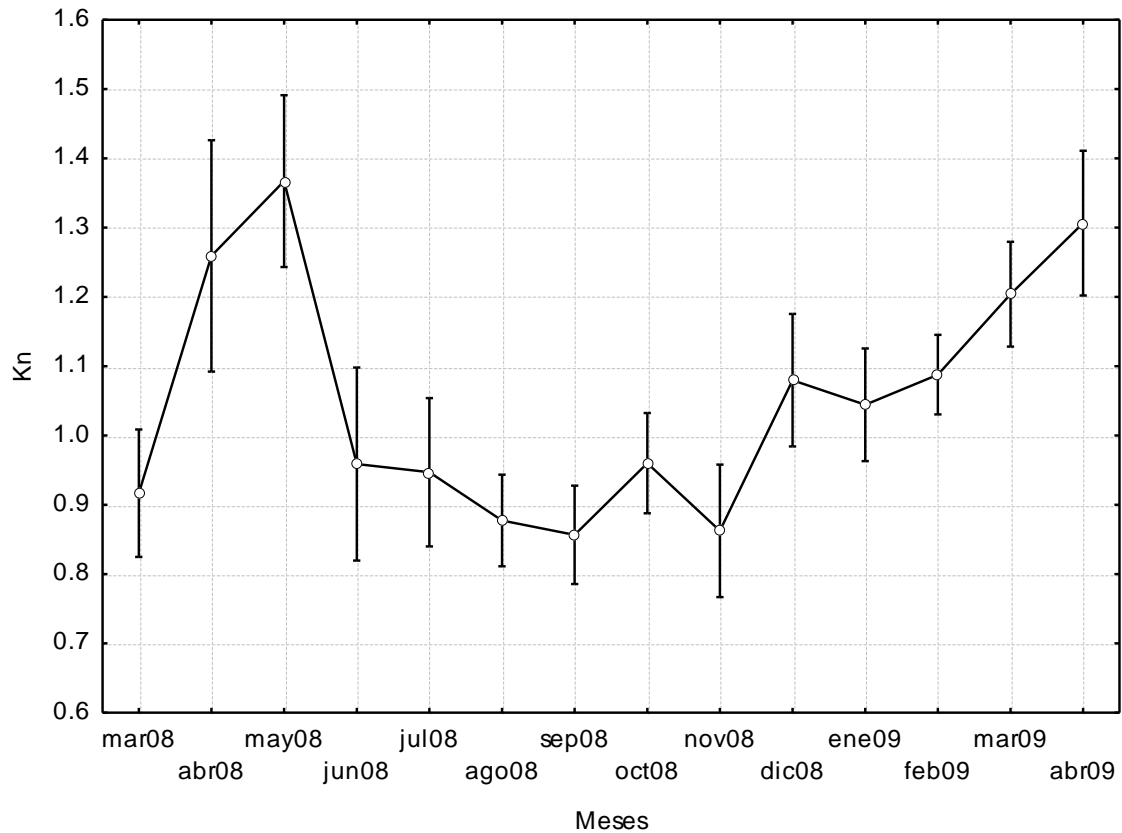


Figura 14. Factor de condición relativa (\pm DE) de *H. fuscocinerea* durante el periodo de muestreo.

Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple utilizando como factores los valores promedio mensuales de los parámetros ambientales y los valores promedio mensuales del índice gonadosomático para determinar si existe relación con el factor de condición relativa. El modelo de análisis de regresión lineal múltiple, fue resuelto a dos pasos con un valor R_m de 87.06%, $R^2_m = 75.79\%$ y $p_m < 0.05$. En el primer paso la variable IG incrementa el coeficiente de correlación

múltiple un 61.69% (con $R=0.786$, $p<0.05$), el siguiente predictor que incremento el coeficiente de determinación múltiple fue la temperatura (14.10%).

8. Discusión

Durante el periodo de muestreo se observó que la presencia de organismos de *H. fuscocinerea* es mayor en la zona aledaña al arrecife coralino, la cual se caracteriza por ser una plataforma de arena con fragmentos vivos y muertos de coral (Leyte-Morales 2001), lo que probablemente favorece la concentración de nutrientes debido a la retención de sedimentos suaves, beneficiando el suministro de alimento a los pepinos de mar, principalmente aspidóquirotidos que se alimentan de materia orgánica depositada en el fondo.

La densidad observada fue mayor a las densidades reportadas en otros trabajos para el Pacífico Oriental Tropical. En las Islas Galápagos, Murillo *et al.* (2002) reportan densidades de $0.0062 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$. Alvarado y Chiriboga (2008) en la Isla del Coco, Costa Rica reportaron una densidad de $0.12\pm 0.08 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ y en las Islas del Golfo de Chiriquí, Panamá, Alvarado *et al.* (2012) registraron una densidad de $0.1\pm 0.0 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que las comparaciones de la densidad y abundancia están afectadas por la diferencia en el método de muestreo, replicación y esfuerzo de muestreo, siendo en el presente trabajo más exhaustivas.

Las altas abundancias indican un rol importante de la población en el sistema (Conand y Mangion 2002), así como una mejor adaptabilidad al medio, ya que las abundancias de las poblaciones responden principalmente a la disponibilidad de

alimento, el cual es originado por la productividad oceánica (Reyes-Bonilla *et al.* 2008). Existen estudios sobre la fertilización en pepinos de mar donde muestran que el éxito para la reproducción de estos individuos con densidades poblacionales de 5-8 ind·m⁻² tienen un 75% de éxito en la fertilización de los óvulos (Hamel y Mercier, 1996b) pero a densidades bajas, la fertilización de óvulos decae hasta cero (Levitan *et al.* 1991). En el caso de *H. fuscocinerea*, se determinó una densidad promedio de 4.2±2.7 ind·m⁻², sin embargo en los meses de reproducción los valores de densidad mensual promedio se encontraron por encima del intervalo de 5-8 ind·m⁻²,

En la costa oaxaqueña se pueden diferenciar dos estaciones climáticas, la estación de lluvias que abarca los meses de mayo a septiembre, registrándose un promedio de precipitación pluvial que puede variar de los 800 mm a 1,200 mm y la estación de secas que se caracteriza por la ausencia de precipitación pluvial y comprende los meses de octubre a abril (Lavín *et al.* 1992). Se ha registrado que durante la época de lluvias, la salinidad del agua disminuye y la temperatura se incrementa, así mismo los meses en los que se presenta una mayor precipitación pluvial se produce un incremento en la disponibilidad de alimento asegurando la sobrevivencia de larvas, debido al aporte de nutrientes de las escorrentías de los diversos ríos que desembocan cerca del área de estudio, principalmente el Río Copalita. Contrariamente, la ausencia de lluvias provoca un aumento en la salinidad del agua y la disminución de la temperatura es originada por la temporada de los vientos Tehuanos (noviembre a mayo) en el Golfo de Tehuantepe, sin embargo estos vientos que circulan perpendiculares a la línea de

costa, provocan surgencias en el Golfo de Tehuantepec y zonas aledañas (Lavín *et al.* 1992, Tapia-García *et al.* 2007), favoreciendo una alta productividad y en consecuencia beneficia las altas abundancias de holotúridos (Reyes-Bonilla *et al.* 2008).

Los valores mensuales de densidad para *H. fuscocinerea*, presentan un desfase con la temporada de lluvias en la región, lo cual muestra que con la presencia de las primeras lluvias (mayo 2008), la población de *H. fuscocinerea* aumenta paulatinamente su densidad. En los meses en los que se reportó ausencia de precipitación pluvial (noviembre 2008 a abril 2009) se observan incrementos mensuales en la densidad. Posiblemente esto se deba a que aún existe una alta disponibilidad de alimento depositado por escorrentías durante la temporada de lluvias al océano. Lavín *et al.* 1992 y Tapia-García *et al.* 2007 han reportado que en el mes de noviembre, existe una etapa de transición entre la terminación de la época de lluvias y el inicio del periodo de surgencias, provocando que toda la materia orgánica se deposite en el fondo incrementando la concentración de alimento para los organismos detritívoros (Rathburn *et al.* 2001) como *H. fuscocinerea*. Esta dinámica se ha registrado en regiones con alta productividad en la superficie y tiempo después de haberse generado un bloom fitoplanctónico (Lampitt 1985).

La distribución espacial o el arreglo espacial de los individuos de la población de *H. fuscocinerea* resultó ser del tipo aleatoria durante los meses de marzo 2008 y de diciembre 2008 a marzo de 2009. Sin embargo en el periodo de abril 2008 a noviembre 2008 y en el mes de abril 2009 se obtuvo una distribución agregada,

este tipo de arreglo espacial, generalmente ocurre cuando el ambiente es heterogéneo o existe una interacción positiva entre los organismos (Krebs 1999). Esta conducta de agregación ha sido reportada para varias especies (Shiell 2007) y se han propuesto tres posibles hipótesis para explicar el beneficio que este tipo de conducta proporciona a las poblaciones de equinodermos: 1) optimización en el éxito reproductivo, 2) una mejor resistencia a los ataques de depredadores y 3) optimización en la alimentación.

En el caso del comportamiento de la población estudiada, evidentemente esta conducta está relacionada con la optimización del éxito reproductivo, ya que se registró el menor valor de K en junio de 2008 (0.042), lo cual indica que es el mes en el cual los organismos están más agregados y es precisamente en ese mes cuando se registra el primer desove de acuerdo con el análisis histológico del desarrollo gonadal. Adicionalmente, también en junio de 2008 se registró el mayor valor promedio mensual de IG de *H. fuscocinerea* indicando que los gametos de los organismos están maduros y listos para ser liberados (Benitez-Villalobos *et al.* 2013), observándose que el proceso de desove se lleva a cabo sincrónicamente. Benitez-Villalobos *et al.* (2013) sugieren que los individuos machos desovan primero y probablemente estos estimulan mediante diversas señales químicas a las hembras a realizar la liberación de sus gametos como se ha reportado para otras especies (Hamel y Mercier 1996). Giese y Pearse (1974) afirman que las temporadas de desove están relacionadas con factores que proporcionan a las larvas o juveniles condiciones favorables para su desarrollo. Según Baker (1938) existen dos causas de la estacionalidad reproductiva: a) los factores exógenos que

sirven como indicador para sincronizar los ciclos (causas próximas) y b) las condiciones ambientales que ejercen una presión selectiva (evolutiva), favoreciendo a las especies que poseen una sola temporada de desove sobre otras que se reproducen continuamente (causas últimas). En el caso de *H. fuscocinerea* se podría afirmar que las causas próximas son las señales químicas (hormonas) que sirven como medio de comunicación a los organismos de la población estudiada y las causas últimas, los procesos oceanográficos y ambientales que se presentan en la Bahía La Entrega.

En el mes de junio de 2008, la densidad mensual fue mayor a diferencia de otros meses en los que no hay indicios de liberación de gametos. Pennington (1985) afirma que si hay una mayor densidad de organismos, existe una mayor probabilidad de obtener fecundaciones altas, sin embargo Lessios (1981) propone que la sincronía en la liberación de gametos se lleva a cabo en poblaciones con densidades menores y que tienen una fuerte conducta de agregación en los meses de desove, siendo esta conducta un mecanismo importante para aumentar la probabilidad de fertilización de los gametos y de esta forma se reduce la distancia entre individuos, teniendo un efecto importante en el éxito reproductivo (Levitan *et al.* 1992 y Pennington 1985), como es el caso de la población estudiada de *H. fuscocinerea*.

En meses siguientes a junio de 2008, el parámetro K comienza a incrementar su valor hasta que la población cambia su patrón de distribución agregado al patrón de distribución aleatorio en el mes de diciembre. A diferencia del IG que comienza a disminuir sus valores mensuales hasta presentar el menor valor

mensual en el mes de diciembre. Posteriormente, en el mes de abril 2009 los organismos de *H. fuscocinerea* vuelvan a agregarse según los resultados del análisis de distribución espacial. Cabe destacar que en este mes las gónadas de los organismos comienzan a prepararse para otro ciclo reproductivo con la etapa de gametogénesis (Benitez-Villalobos *et al.* 2013), por lo tanto se evidencia que la población se prepara para un nuevo periodo de desove.

El peso drenado de los organismos es una variable precisa y confiable, ya que es independiente de la forma y tamaño que adquieran los pepinos de mar. Por tal motivo el peso de los organismos es la variable biométrica más utilizada en estudios de biología reproductiva y dinámica poblacional de holoturoideos, debido a que es un parámetro importante para el manejo del stock en poblaciones con importancia económica (Herrero-Pérezrul *et al.* 1999, Fajardo-León *et al.* 2008).

En este trabajo, se registró un peso drenado promedio de 149 g, el cual es menor a los reportados para otras especies de pepinos de mar de la familia Holothuriidae como *Actinopyga echinites* (274 g) documentado por Conand (1982), *H. leucospilota* (770 a 341 g), *H. atra* (51 a 162 g) y *A. mauritiana* (374 g) según lo reportado por Conand y Mangion (2002) y de la familia Stichopodidae se ha registrado que *I. fuscus* posee un peso de 350 gr (Herrero-Pérezrul y Reyes-Bonilla, 2008). Sin embargo, *H. fuscocinerea* en promedio tiene un peso mayor que *P. parvimensis* (105 g), la cual también es una especie sujeta a explotación (Fajardo-León *et al.* 2008).

La variación mensual del peso de *H. fuscocinerea* mostró un comportamiento similar a los valores del índice gonadosomático (IG) reportados por Benítez-Villalobos *et al.* (2013). Los organismos de *H. fuscocinerea* aumentan su peso paulatinamente en abril de 2008 debido a que en la gónada comienzan los procesos de gametogénesis, reflejándose el aumento de peso de la misma en el peso total de los organismos. En junio de 2008, se observó un decremento del peso total que coincide con el periodo de desove, reduciéndose el peso y tamaño de la gónada (Fajardo-León *et al.* 1995, Benítez-Villalobos *et al.* 2013). Posteriormente en los meses de octubre y noviembre de 2008 hay un aumento en el peso de los organismos y se infiere que este suceso es provocado por el incremento en la disponibilidad de alimento y energía de reserva como consecuencia del aporte de nutrientes que se incrementa con las escorrentías en el periodo de elevada precipitación pluvial en la zona.

El éxito reproductivo, conjuntamente con la capacidad de los organismos para adaptarse a los cambios del medio pueden ser indicadores del estado fisiológico de una población. Una de las mejores formas de analizar este tema es evaluando la relación entre el peso y la longitud de una especie dada y el uso del índice de condición relativa (Kn) y su relación con la reproducción (Herrero-Pérezrul y Reyes-Bonilla 2008).

El índice de condición relativa (Kn) relaciona el peso del individuo a un peso estándar de la población, que debe especificarse para una población o región de interés. En consecuencia, Kn se limita a la comparación de los individuos de una población de interés con una población estándar (Herrero-Pérezrul y Reyes-Bonilla

2008). El valor de Kn obtenido en el presente estudio tiene un intervalo de 0.40 a 2.11, el cual es muy similar a los valores reportados para *I. fuscus* (0.324-2.286) en zonas aledañas al área de muestreo (Glockner-Faguetti 2012), observándose también diferencias significativas a lo largo del periodo de muestreo. Los valores mensuales reportados para Kn siguen una tendencia muy similar a los valores reportados para el IG (Gutiérrez-Méndez 2011), ya que los valores más altos se obtuvieron en los meses de abril y mayo de 2008, en los cuales los organismos estaban en etapa de gametogénesis y maduración de gametos. Los valores más bajos se observaron en los meses de septiembre y noviembre 2008, cuando las gónadas de los pepinos de mar estaban en proceso de reabsorción (Benítez-Villalobos et al. 2013).

9. CONCLUSIONES.

- Las variaciones de la temperatura del mar están relacionadas con procesos oceanográficos que ocurren cerca del área de estudio (época de lluvias y presencia de vientos tehuanos) que inciden indirectamente en la disponibilidad de alimento y el ciclo reproductivo de *H. fuscocinerea*.
- La distribución de la población de *H. fuscocinerea* responde principalmente a cambios físicos en el ambiente, principalmente de temperatura del mar.
- El proceso de reproducción del pepino de mar *H. fuscocinerea*, determina en gran medida el tipo de distribución que presenta la población, debido a que los organismos tienen una conducta de agregamiento en los meses en los que las gónadas se encuentran en etapa de madurez, sobre todo en el mes de junio de 2008, mes en el cual se obtuvo el valor mínimo de K (máximo grado de agregación) y el valor máximo de IG (máximo peso de las gónadas con relación al peso corporal).
- Se observó que los organismos colectados en el mes de mayo de 2008 presentaron el máximo peso promedio mensual y el máximo promedio mensual del índice de condición de todo el muestreo, lo cual evidencia que la gónada de los organismos se encontraba totalmente madura y que se corroboró con el análisis histológico de los estadios de desarrollo gonadal.

10. LITERATURA CITADA

- Abdel-Razek, F.A., Abdel-Rahman, S.H., El-Shimy, N.A. y Omar, H.A. 2005. Reproductive Biology of the Tropical Sea Cucumber *Holothuria Atra* (Echinodermata: Holothuroidea) in the Red Sea Coast of Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. 31(2):383-402.
- Ahmad, S., Simin, D. M., Preeta, K., y Yasaman G. 2011. Length-Weight Relationships for 6 Fish Species from Khuzestan (North of Persian Gulf), Iran. *World Journal of Fish and Marine Sciences* 3(2):129-131.
- Alvarado J. J. y A. Chiriboga. 2008. Distribución y abundancia de equinodermos de las aguas someras de la Isla del Coco, Costa Rica (Pacífico Oriental). *Revista Biología Tropical*. 56(2):99-111.
- Alvarado, J. A., Guzmán, H. M. y Breedy, O. 2012. Distribution and diversity of echinoderms (Asteroidea, Echinordea, Holothuroidea) in the islands of the Gulf of Chiriqui, Panama. *Rev. Biol. Mar. y Ocea*. 47 (1):13-22.
- Baker J. I. 1938. The evolution of breeding seasons. *In* De Beer G. R. (ed.) *Evolution: essays on aspects of evolutionary biology presented to Professor E. S. Goodrich on his seventieth birthday*. London: Oxford University Press. 161-177pp.
- Benítez-Villalobos, F., Ávila-Poveda, O. H. y Gutiérrez-Méndez, I. S. 2013. Reproductive biology of *Holothuria fuscocinerea* (Echinodermata: Holothuroidea) from Oaxaca, Mexico. *Sex Early Dev. Aquat. Org.* 1:13-24.

- Birkeland, C. 1989. The influence of echinoderms on coral-reef communities. 1-79p
in Jangoux, M. y Lawrence (eds.), ECHINODERM STUDIES 3. Balquema, Rotterdam.
- Calva, B. L. G. 2003. Hábitos alimenticios de algunos echinodermos. Parte 2. Erizos y Pepinos de mar. *ContactoS*. 47:54-63.
- Conand, C. 1982. Reproductive cycle and biometric relations in a population of *Actinopyga echinites* (Echinodermata; Holothuroidea) from the lagoon of New Caledonia, western tropical Pacific *in* Lawrence, J. M. (ed.) Echinoderms: Proceedings of the International Conference, Tampa Bay. 437-442 p.
- Conand, C. y Mangion P. 2002. Sea cucumbers on La Reunion Island fringing reefs: Diversity, distribution, abundance and structure of the populations. SPC Beche-de-mer Information Bulletin. 17:27-33.
- Dar, M. A. y Ahmad, H. O. 2006. The feeding selectivity and ecological role of shallow water holothurians in the Red Sea. SPC Beche-de-mer Information Bulletin. Secretariat of the Pacific Community. 24:11-21.
- Deichmann, E. 1941. The holothuroidea collected by the velero III during the years 1932-1938. Part II, Aspidochirota. Allan Hancock Pacific expeditions. The University of Southern California Press. California. 11(2): 300-303.
- Díaz-Martínez. J. P. 2010. Ecología poblacional del erizo de mar *Diadema mexicanum* A. Agassiz, 1863 (Echinodermata: Echinoidea) en dos comunidades arrecifales de las Bahías de Huatulco, Oaxaca. Tesis de Maestría. Universidad del Mar. México. 67 p.

- Dubrovskii, S.V. y Sergeenko, V. A. 2002. Distribution Pattern of Far Eastern Sea Cucumber *Apostichopus japonicus* in Busse Lagoon (Southern Sakhalin). Russian Journal of Marine Biology. 28 (2): 87-93.
- Fajardo-León, M.C., Michel, G., Singh, J., Vélez, B. y Massó, J. A. 1995. Estructura poblacional y ciclo reproductivo del pepino de mar (*Isostichopus fuscus*) en Santa Rosalía, B.C.S., México. INP-SEMARNAP. Ciencia pesquera. 11:45-53.
- Fajardo-León, M.C., Suárez-Higuera, M.C.L., del Valle-Manríquez, A. & Hernández-López, A. 2008. Reproductive biology of the sea cucumber *Parastichopus parvimensis* (Echinodermata: Holothuroidea) at Isla Natividad and Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. Ciencias Marinas, 34(2): 165-177.
- Fariñas M. y Liñero I. 1997. Producción de lisis y hemaglutinación por extractos acuosos de invertebrados marinos. Saber, 9(2): 56-61.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía. UNAM. México.
- Giese, A.C. y Pearse J. S. 1974. Introduction: general principles. In Giese A.C. y Pearse J.S. (eds) Reproduction of marine invertebrates. Volumen I. New York: Academic Press, 1-49 pp.
- Giese, A.C., Pearse, J.S. & Pearse, V.I. 1991. Reproduction of Marine Invertebrates. Vol. VI. Echinoderms and Lophophorates. The Boxwood Press. 808 pp.

- Glynn, P.W y Leyte-Morales, G.E. 1997. Coral reefs of Huatulco, West Mexico: reef development in upwelling Gulf of Tehuantepec. *Rev. Biol. Trop* 45(3):1003-1047.
- Glockner-Fagetti, A. 2012. Densidad poblacional y estructura de tallas del pepino de mar *Isostichopus fuscus* en tres localidades de Bahías de Huatulco, Oax., Mex. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar. México. 70 p.
- Guo Ch., Ni Z. & Xu Z. 1998. Advances in the extraction and active research of glycosaminoglycan from echinodermata. *Mar. Sci. Bull.*, 17(5): 84-87.
- Gutiérrez-Méndez, I. 2011. Biología reproductiva de *Holothuria* (Stauropora) *fuscocinerea* Jaeger, 1833 (Echinodermata: Holothuroidea) en la Bahía La Entrega, Oaxaca. México. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar. México. 61 pp.
- Hair, J. F., R. E Anderson, R. L Tatham, W. C. Black. 1999. Análisis Multivariante. 5ta ed. Prentice Hall. Madrid España. 799pp.
- Hamel, J.F. y Mercier A. 1996. Evidence of Chemical Communication During the Gametogenesis of Holothuroids. *Ecology*. 77(2): 1600-1616.
- Hamel, J.F. y Mercier, A. 1996b. Gonad morphology and gametogenesis of the sea cucumber *Cucumaria frondosa* SPC Beche-de-mer information Bulletin. Secretariat of the Pacific Community. 8:22-33.
- Hernández, G y Fariñas, M. 2005. Propiedades biológicas de extractos acuosos de órganos de Cuvier, piel y músculo de *Brandothuria impatiens* (Forskal, 1776) (Echinodermata:Holothuroidea). Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. 17(2):118-124.

- Herrero-Pérezrul, M. D. 1994. Estudio comparativo de la reproducción de *Isostichopus fuscus* (Ludwing, 1875) y *Neothyone gibbosa* Deichmann, 1941 (Echinodermata: Holothuroidea), en la Bahía de la Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. Mexico. 88 p.
- Herrero-Pérezrul, M.D., Reyes-Bonilla, H. Garcia-Dominguez, F. y Cintra-Buenrostro, C. E. 1999. Reproduction and growth of *Isostichopus fuscus* (Echinodermata: Holothuroidea) in the southern Gulf of California, Mexico. *Marine Biology*. 135:521-532.
- Herrero-Pérezrul, M. D. y Reyes-Bonilla, H. 2008. Weight-Length relationship and relative condition of the holothurian *Isostichopus fuscus* at Espiritu Santo Island, Gulf of California, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 56(3):273-280.
- Hickman, C.P. 1998. A Field Guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galápagos. Galápagos Marine Life Series. Sugar Spring Press. Virginia. 83 pp.
- INEGI 2005. Censo General de Población y Vivienda Primer Reporte. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. <http://inegi.gob.mx>. 12 de noviembre de 2007.
- Ivy, G. & Giraspy, B.D.A. 2006. Development of large-scale hatchery production techniques for the commercially important sea cucumber *Holothurianscabravar. Versicolor* (Conand, 1986) in Queensland, Australia. SPC Beche-de-mer information Bulletin. Secretariat of the Pacific Community. 24:28-34.

- Jangoux, M. y Lawrence, J. N. 1989. Echinoderms studies. Volumen 3. A.A. Balkema Rotterdam, 198 pp.
- Krebs J .C. 1994. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance. HarpersCollins College Publishers .Fourth edition. 801pp.
- Krebs J. C. 1999. Ecological Methodology. University of British Columbia 620pp.
- Laboy-Nieves, E.N. y Conde, J.E. 2006. A new approach for measuring *Holothuria mexicana* and *Isostichopus badionotus* for stock assesments. SPC Beche-de-mer Information Bulletin. Secretariat of the Pacific Community. 24:39-44.
- Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F., Durán-González, A., Ahearn C.G., Buitrón, S. B. E. y Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano. Rev. Biol. Trop. 53(3):109-122.
- Lampitt, R.S. 1985. Evidence for seasonal deposition of detritus to the deep-sea floor and its subsequent resuspension. Deep-Sea Res., 32: 885–897.
- Lavín M. F., Robles J. M., Argote M. L., Barton E. D., Smith R., Brown J., Kosro M., Trasviña A., Vélez H. S. y García J. 1992. Física del Golfo de Tehuantepec. Revista Ciencia y Desarrollo. Vol. 18 (103):97-108.
- Lessios, H. A. 1981. Reproductive periodicity of the echinoids *Diadema* and *Echinometra* on the two coasts of Panama. J. esp. mar. Biol. Ecol. 50:47-61.
- Levitan, D. R., Sewell, M. A. y Chia, Fu-Shiang. 1991. How distribution and abundance influence fertilization success in the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. Ecology. 73(1):248-254.

- Leyte-Morales, G.E. 2001. Estructura de la comunidad de corales y características geomorfológicas de los arrecifes coralinos de Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Universidad del Mar. 94 p.
- Lluch-Cota S. E., Álvarez-Borrego S., Santamaría-del Ángel E. M., Müller-Karger F. E. y Hernández-Vásquez S. 1997. El Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes: variación espacio temporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. *Ciencias Marinas*. 23 (3):329-340.
- Lovatelli A. 2004. Advances in sea cucumber aquaculture and management. FAO Fisheries Technical Paper 463. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 25-38.
- Long B. y Skewes T. 1997. Distribution and abundance of beche-de-mer on Torres Strait reefs. SPC Beche-de-mer Information Bulletin #9 – March 1997. Secretariat of the Pacific Community. 17-22 pp.
- Ludwig J. A., J. F. Reynold. 1988. A primer on methods and computing (ed) John Willey & Sons : 337.
- Mackey, A. 2001. Factors That Influence the Reproduction of Sea Cucumbers. Biol 515 at SDSU, Fall 2001. Apuntes de Marine Invertebrate Biology. College of Sciences. San Diego State University. Fecha de consulta: 13 de agosto 2008.
- Enlace:[http://www.sci.sdsu.edu/classes/biology/bio515/hentschel/PDFs/Mackey\(2001\).pdf](http://www.sci.sdsu.edu/classes/biology/bio515/hentschel/PDFs/Mackey(2001).pdf)
- Michio, K., Kenko, K., Yasunori, K., Hitoshi, M., Takayuki, Y., Hideaki, Y. and Hiroshi, S.. 2003. Effects of deposit feeder *Stichopus japonicus* on algal

- bloom and organic matter contents of bottom sediments of the enclosed sea. *Mar. Poll. Bull.*, 47:118-125.
- Murillo, J. C., Martínez, P., Toral, M. V. y Hearn, A. 2002. Pepino de Mar. *in* Danulat, E. y Edgar, G. J. (eds.) 2002. Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. 484pp.
- Olusoji, B. O. A., Anifowose, O. J. y Sodamola, M. Y. 2009. Legth-Weigth relationships condition factor and fecundity of the West Africa Freshwater crab, *Sudanonautesafricanus* (Milne-Edwards 1883), Western Nigeria. *West African Journal of Applied Ecology*. 16:65-74.
- Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. Stud. Rev. 8. International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM). Manila, Philippines. 325 pp.
- Pawson, D. L. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa*. 1668: 749-764.
- Pawson, D. L., Pawson, D. J. y King, R. A. 2010. A taxonomic guide to the Echinodermata of the South Atlantic Bight, USA: 1. Sea cucumbers (Echinodermata: Holothuroidea).
- Pennington, T. 1985. The ecology of fertilization of echinoid eggs: The consequencesos sperm dilution, adult aggregation, and synchronous spawning. *Biol. Bull.*169:417-430.
- Pouget, A. 2005. Abundance and distribution of holothurians on the fringing reef flats of Grande Terre, Mayotte, Indian Ocean. SPC Beche-de-mer

- Information Bulletin #21 – February 2005. Secretariat of the Pacific Community. 22-26 pp.
- Rathburn, A. E., M. E. Perez y Lange C.B. 2001. Benthic-pelagic coupling in the Southern California Bight: Relationships between sinking organic material, diatoms & benthic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 43(3-4): 261–271.
- Reyes-Bonilla, H., González, A. A. y Rojas, S. A. 2005. Estructura de las asociaciones de las estrellas de mar (Asteroidea) en arrecifes rocosos del Golfo de California, México. *Rev. Biol. Trop.* 53(3):233-244.
- Reyes-Bonilla, H., Herrero-Pérezrul, M. D., González-Peralta, A. y Ramírez-Hernández, Y. 2008. Abundance of the brown sea cucumber *Isostichopus fuscus* at the National Park Bahía de Loreto, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 56(3):265-271.
- Rowe, F.W.E. 1969. A review of the family holothuriidae (Holothuroidea: Aspidochirotida). *Bull. British Museum (Nat.Hist)*18(4):119-170.
- Ruiz, J. F., Ibáñez C. M. y Cáceres, C. W. 2007. Morfometría del tubo digestivo y alimentación del pepino de mar *Athyonidium chilensis* (Semper, 1868) (Echinodermata:Holothuroidea). *Rev. Biol. Mar. y Ocean.* 42(3):269-274.
- Salgado-Ugarte, I.H., J.L. Gómez-Márquez & B. Peña-Mendoza. 2005. Métodos actualizados para análisis de datos biológico-pesquero. UNAM. México. 239 pp.
- Salgado-Rogel, M.L., Palleiro-Nayar, J. S., Rivera-Ulloa, J. L., Aguilar-Montero, D., Vázquez-Solórzano, E. y Jiménez-Quiroz, M. C. 2009. La pesquería y

- propuestas de manejo del pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en Baja California, México. *Ciencia Pesquera*. 17 (1): 17-26.
- Schoeter S.C., Reed D.C., Kushner D.J., Estes J.A. y Ono D.S. 2001. The use of marine reserves in evaluating the dive fishery for the warty sea cucumber (*Parastichopus parvimensis*) in California, U.S.A. *Can. Jour. of Fish. And Aqua. Sci.* 58(9):1773-1781.
- Seber G. A. F y Le Cren E. D. 1967. estimating population parameter from catches large relative to the population. *Jour. Ani. Ecol.* Vol. 36, No3: 631-643.
- Sewell, M.A., Tyler, P.A., Young, C.M. & Conand, C. 1997. Ovarian Development in the Class Holothuroidea: a Reassessment of the "Tubule Recruitment Model". *Biol. Bull.* 192:17-26.
- Shiell. G. R. 2007. Spatial distribution and temporal shifts in the biology of the commercial sea cucumber *Holothuria whitmaei* (Echinodermata: Holothuroidea), Ningaloo Reef, Western Australia. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin #26*. 35-36.
- Shiell, G. R. 2007. Density of *Holothuria nobilis* and distribution patterns of common holothurians on coral reefs of Northwestern Australia. 231:237.
- Solís-Marín, F.A., Arriaga-Ochoa, J.A., Laguarda-Figueras, A., Frontana-Uribe, S.C. y Durán-González, A. 2009. Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Golfo de California. Primera Edición. Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 177 pp.

- Tapia-García M., García-Abad M. C., Carranza-Edwards A., y Vázquez-Gutiérrez F. 2007. Environmental characterization of the continental shelf of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geofísica International*. Vol. 46 (4):249-260.
- Trasviña A. y Barton E. D. 1997. Los Nortes del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento. *In* Lavín ed. *Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3. Unión geofísicamexicana*. 25-46 pp.
- Toral-Granda, M. V. y Martínez, P. C. 2007. Reproductive biology and population structure of the sea cucumber *Isostichopus fuscus* (Ludwing, 1875) (Holothuroidea) in Caamaño, Galapagos Islands, Ecuador. *Marine Biology*. 151(6):2091-2098.
- Uthicke, S. 1999. Sediment bioturbation and impact of feeding activity of *Holothuria* (*Halodeima*) *atra* and *Stichopus chloronotus*, two sediment feeding holothurians, at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Bulletin of Marine Science*. 64(1):129:141.
- Zamorano, P y Leyte M. G. E. 2005. Cambios en la diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino en La Entrega, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*. IX(27):19-28.