



UNIVERSIDAD DEL MAR

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVALUACIÓN DEL ESTADO DE EXPLOTACIÓN Y VARIACIÓN HISTÓRICA
DE LA CAPTURA DEL RECURSO OSTIÓN EN PUERTO ESCONDIDO,
OAXACA (1998-2012).

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS: ECOLOGÍA MARINA

PRESENTA

Ing. Acuíc. Alfonso Cervantes Alcántara

DIRECTOR

Dr. Pedro Cervantes Hernández

CO-DIRECTOR

M. en C. Saúl J. Serrano Guzmán

Puerto Ángel, Oaxaca, México

Agosto, 2019

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE TABLAS	iii
RESUMEN	iv
1. INTRODUCCIÓN	5
2. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES QUE COMPONEN EL RECURSO OSTIÓN	8
3. ANTECEDENTES	11
3.1. Captura de ostión en el Pacífico mexicano.	11
4. HIPOTESIS	16
5. OBJETIVOS	17
5.1. General	17
5.2. Específicos	17
6. ÁREA DE ESTUDIO	17
7. MATERIAL Y MÉTODOS.	22
7.1. Consideraciones sobre los datos históricos de Y y f del recurso ostión en Puerto Escondido.	22
7.2. (A). Información poblacional	23
7.2.1. Evaluación pesquera del recurso ostión	23
7.2.2. Patrón Armónico de Variación de la CPUEost.	24
7.3. (B). Información oceanográfica	25
7.3.1. Variables ambientales	25
7.3.2. Patrón Armónico de Variación de la TSM y Cl_a	25
7.4. (B). Análisis estadístico.....	26
7.5. Variación anual de la CPUEost y temporadas de veda.	26
8. RESULTADOS	26
8.1. Consideraciones de los datos históricos de captura (Y) y esfuerzo (f) del recurso ostión en Puerto Escondido.	26
8.2. (A). Información poblacional	27
8.2.1. Descripción de la captura y esfuerzo históricos.	27
8.2.2. Evaluación pesquera del recurso ostión.	27
8.2.3. Patrón armónico de variación de la CPUEost.	29
8.3. Información oceanográfica.....	29
8.3.1. Patrón armónico de variación de Cl_a	30
8.3.2. Patrón armónico de variación de TSM.....	31
8.4. (B). Análisis estadístico.....	31
8.4.1. Análisis de correlación múltiple de los PAV.	31
8.5. Variación anual de la CPUEost y temporadas de veda.	32
9. DISCUSIÓN	33
9.1. (A). Información poblacional	33
9.1.1. Evaluación de la pesquería del recurso ostión.....	33
9.1.2. Patrón armónico de variación de la CPUEost	36
9.2. (B). Información oceanográfica	38
9.2.1. Patrón armónico de variación de la Cl_a y TSM.	38
9.3. (B). Correlación del PAV_CPUEost con los PAV_ Cl_a y PAV_TSM.....	40
9.4. Variación anual de la CPUEost y temporadas de veda.	44
10. CONCLUSIONES	45
11. RECOMENDACIONES	46
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	47
13. ANEXOS.	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Participación histórica en la producción de ostión en peso vivo de Oaxaca (área gris) de Puerto Escondido (línea negra) y Salina Cruz (línea gris). Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2013 (SAGARPA - CONAPESCA, 2013) e información solicitada a CONAPESCA.	6
Figura 2. Curvas de evaluación teóricas de Schaefer (a) y Fox (b). f_{OPT} = nivel de esfuerzo óptimo, Y_{MAX} = máximo de capturas o rendimiento máximo sostenible (RMS), f = esfuerzo, Y = captura (Kg). Modificada de Sparre y Venema (1997).....	7
Figura 3. Ostión de roca (<i>S. prismatica</i> = <i>C. iridiscens</i>). Tomada de Castillo-Rodríguez y García-Cubas (1984).....	10
Figura 4. Ostión de placer (<i>C. corteziensis</i>). Tomada de Castillo-Rodríguez y García-Cubas (1984).	10
Figura 5. Ostión catarro (<i>Chama mexicana</i>). Tomada de Ramírez-Rodríguez (2013).	11
Figura 6. Localidades pesqueras donde se extrae ostión en la zona de Puerto Escondido, Oaxaca. Elaboración propia con datos del Atlas de Localidades Pesqueras de México. Oaxaca (Ramírez-Rodríguez <i>et al.</i> , 2009). Avisos de arribo de la S. C. P. P. Reforma Agraria Oaxaca. Batimetría de Hernández-Santiago (2017).....	18
Figura 7. Área marina de estudio, con la imagen de mascara satelital (área gris, superficie = 51,749.26 Km ²) que abarca la APPE.	19
Figura 8. Promedio diario de precipitación (barras) y temperatura (línea) media, por mes en la estación 20-246 La Ceiba, Santa María Colotepec (1959-2010). Elaboración propia con datos de CONAGUA (2012).....	19
Figura 9. El Pacífico Tropical Mexicano (PTM) y el Golfo de Tehuantepec (GT), con las principales corrientes oceánicas. Contracorriente Norecuatorial (CCNE), Corriente Norecuatorial (CNE), Corriente de California (CC), Corriente Mexicana del Oeste (CMO), Tazón de Tehuantepec (TT), Domo de Costa Rica (DCR), y Corriente Costera de Costa Rica (CCCR). Modificado de Reyes-Hernández <i>et al.</i> (2016).....	20
Figura 10. Golfo de Tehuantepec y Región occidental adyacente. Tomado de Lara Lara <i>et al.</i> (2008).....	21
Figura 11. Comparación histórica (1998-2011) del peso desembarcado de ostión en Puerto Escondido a partir de datos de la S. C. P. P. Reforma Agraria (línea gris) y de la CONAPESCA (IFAI) (línea negra).	26
Figura 12. Captura del recurso ostión (Y , barras grises) y esfuerzo (f , línea negra) por año de la S. C. P. P. Reforma Agraria Oaxaca, de 1998 al 2012.....	27
Figura 13. Fluctuación histórica de la captura del recurso ostión (Y) y del esfuerzo de pesca (f) en relación con el ajuste del modelo de Schaefer (línea gris), de enero 1998 a de diciembre 2012. El área gris de la izquierda es la zona donde el recurso se considera no sobre explotado. No se consideran: 2005- Atípico y 2010- Vedas sanitarias.....	28
Figura 14. Fluctuación histórica de la captura del recurso ostión (Y) y del esfuerzo de pesca (f) en relación con el ajuste del modelo de Fox (línea gris), de enero 1998 a diciembre 2012 El área gris de la izquierda es la zona donde el recurso se considera no sobre explotado. No se consideran: 2005- Atípico y 2010- Vedas sanitarias	28
Figura 15. Variación mensual de la CPUEost de enero de 1998 a diciembre de 2012.	29
Figura 16. Variación mensual del PAV_CPUEost en la APPE de enero de 1998 a diciembre de 2012.	29

Figura 17. Variación mensual de la Cla de enero de 1998 a diciembre de 2012.	30
Figura 18. Variación mensual de la TSM de enero de 1998 a diciembre de 2012.....	30
Figura 19. Variación mensual del PAV_Cla en la APPE de enero de 1998 a diciembre de 2012.	30
Figura 20. Variación mensual del PAV_TSM en la APPE de enero de 1998 a diciembre de 2012.	31
Figura 21. PAV_CPUEost (línea negra) con el PAV_Cla (área punteada), de enero de 1998 a diciembre 2012.	32
Figura 22. PAV_CPUEost (línea negra) con el PAV_TSM (área gris), de enero 1998 a diciembre de 2012.....	32
Figura 23. Sección del PAV_CPUEost, periodo 1998-2012, con las temporadas de veda (rectángulos), el espacio entre los rectángulos corresponde a las temporadas de pesca...32	
Figura 24. Esquema de los procesos occidentales de mesoescala que tienen influencia en las condiciones oceanográficas del Golfo de Tehuantepec. Tomado de Arias-Arechiga (2005).	39
Figura 25. Ilustración de los supuestos de los modelos de Scheafer y Fox. Modificado de Seijo <i>et</i> <i>al.</i> (1997).....	57
Figura 26. Curva del modelo de Scheafer (línea negra) y Fox (línea punteada).....	58
Figura 27. Meses tipo para el periodo 1998-2012 de imágenes satelitales de Temperatura superficial del Mar (TSM, °C), en el recorte seleccionado. La flecha señala la ubicación de la zona de extracción.....	63
Figura 28. Meses tipo para el periodo 1998-2012 de imágenes satelitales de concentración de Clorofila <i>a</i> (Cla, mg·m ⁻³), en el recorte seleccionado. La flecha señala la ubicación de la zona de extracción.	63
Figura 29. Plumas de terrígenos (solidos totales disueltos y microparticulados) vertidos al mar adyacente por las bocas de los ríos Colotepec (Mpio. Colotepec, julio 1987) arriba. Cozaltepec y Tonameca (Mpio. Tonameca, agosto 1988) abajo. Modificado de SEDAPA (2016).....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Producción de ostión (ton) de las principales entidades federativas (SAGARPA- CONAPESCA, 2017).	5
Tabla II. Listado de especies del recurso ostión consumidas en México.	5
Tabla III. Descripción de los modelos para realizar la evaluación pesquera del recurso ostión. ...	23
Tabla IV. Valores de los coeficientes de correlación (<i>r</i>) entre los PAV ($\alpha = 0.05$, $n = 36$ meses).31	
Tabla IV. Características geográficas y espectrales de las imágenes utilizadas; años y meses seleccionados por sensor, para completar la serie; así como las coordenadas del recorte del área de estudio.....	59
Tabla VI. Serie de datos de captura, número de embarcaciones y captura por unidad de esfuerzo CPUE de la pesquería del recurso ostión de la S. C. P. P Reforma Agraria Oaxaca, de Puerto Escondido, Oaxaca, durante el periodo 1998-2012.....	60
Tabla VII. Valores de anomalías de los PAV de CPUEost, Cla y TSM estimados para los años 1998 a 2012.....	61
Tabla VIII. Fases y duración del desarrollo gonádico reportados para <i>S. prismatica</i> en México. Tomada de Meléndez-Galicia <i>et al.</i> (2015)	62

RESUMEN

Resumen de la tesis de **Ing. Acuic. Alfonso Cervantes Alcántara** presentada como requisito parcial para obtener el título de Maestro en Ciencias en Ecología Marina. Puerto Ángel, Oaxaca, México. Agosto 2019.

Evaluación del estado de explotación y variación histórica de la captura del recurso ostión en Puerto Escondido, Oaxaca (1998-2012).

Resumen aprobado por

Dr. Pedro Cervantes Hernández
Director de Tesis

M. en C. Saúl J. Serrano Guzmán
Co Director de Tesis

Con datos anuales de captura (Y), esfuerzo (f) y captura por unidad de esfuerzo (CPUEost) del recurso ostión, procedentes de avisos de arribo de enero de 1998 a diciembre de 2012, se evaluó la pesquería en Puerto Escondido, Oaxaca, aplicando los modelos generalizados de Schaefer y Fox. Se obtuvieron series de tiempo mensuales de: CPUEost, temperatura superficial del mar (TSM) y concentración de clorofila a (Cla) en el área de extracción reportada. Para analizar la variabilidad interanual, se estimó el patrón armónico de variación (PAV) de las series mensuales, con un análisis de descomposición espectral Census I. Se realizó una correlación múltiple para identificar la relación entre los PAV de cada serie. El modelo de Schaefer estimó una correlación significativa entre el nivel de esfuerzo óptimo (f_{OPT}) de 612 embarcaciones y el máximo de captura (Y_{MAX}) de 14,539.6 Kg ($r = 0.5645$, $P = 0.041$). El modelo de Fox estimó una correlación también significativa entre el f_{OPT} de 516 embarcaciones y Y_{MAX} de 13,165.1 Kg ($r = 0.5731$, $P = 0.044$). Entre 1998 y 2012, se observó movilidad de Y entre las áreas teóricas acotadas, debido a que el recurso ostión estuvo sobre-explotado 13 de los 15 años, hasta el 2012. En conclusión, aunque sobre-explotado, el recurso ostión estuvo lejos de colapsar, pero se recomienda mantener un nivel de f_{OPT} de 439 embarcaciones operando a lo largo del año, considerando un 15 % menos de lo estimado por los modelos. Las anomalías cíclicas del PAV_CPUEost sugieren que la abundancia del recurso fue mayor de octubre/noviembre a abril con máximo en diciembre, decreciendo de abril a octubre/noviembre, con mínimo en septiembre de cada año, (recién concluida la veda reproductiva). Para el PAV_TSM los decrementos son de noviembre/diciembre a abril/mayo con mínimo en enero y los aumentos de abril/mayo a noviembre/diciembre con máximo en agosto de cada año. El PAV_Cla decreció de mayo/junio a noviembre/diciembre con mínimo en julio y aumentó de noviembre/diciembre a mayo con máximo en diciembre, con un repunte en el mes de abril. Los cambios mensuales de PAV_CPUEost tuvieron una correlación negativa y altamente significativa con el PAV_TSM ($- 87.4$ %, $P = 0.00019$) y positiva muy significativa con el PAV_Cla (81.4 %, $P = 0.0013$). Entre el PAV_TSM y PAV_Cla la correlación fue negativa y altamente significativa ($- 91.3$ %, $P = 0.00003$). En los meses cuando la TSM fue fresca-fría (de noviembre/diciembre a abril/mayo de cada año) las CPUEost se incrementaron, al igual que la Cla. El ciclo estacional de la TSM y Cla estuvo definido por el efecto que tienen los vientos Tehuanos en la dinámica costera y oceánica del Golfo de Tehuantepec y estos últimos se correlacionan con la CPUEost al influir en el ciclo reproductivo anual, reportado para la principal especie extraída *Striostrea prismatica* (ostión de roca o piedra).

Palabras clave: ostión, evaluación pesquera, patrón armónico de variación, sensores remotos, Cla, TSM, Puerto Escondido.

1. INTRODUCCIÓN

La extracción de ostión es una actividad que genera ingresos y fuentes de empleo para las comunidades pesqueras mexicanas, que en ocasiones los arraiga a sus sitios de origen al servir de sustento de los pescadores y sus familias, además del carácter cultural y tradicional de la pesquería.

En México, la producción de ostión en los últimos 10 años registró un incremento anual de 2.39 %. Están documentadas en la CONAPESCA 54,964 ton extraídas en 2017 con un valor comercial de \$537'308,000.00 M. N. (45,149 ton se generaron por acuicultura y 9,815 ton corresponden a la pesquería). La exportación de especies de ostión comercial tiene como principales destinos a los Estados Unidos, Hong Kong y Corea del Sur.

En la Tabla I, se enlista la producción por entidad federativa. Veracruz es el principal productor, con el 42 % de participación, seguido de Tabasco con un 24.8%. La producción acuícola de ostión generada en el Golfo de México es de 39,401 ton y en el Pacífico Mexicano de 15,563 ton.

Tabla I. Producción de ostión (ton) de las principales entidades federativas (SAGARPA-CONAPESCA, 2017).

Entidad									
Veracruz	Tabasco	Nayarit	Baja California Sur	Baja California	Tamaulipas	Guerrero	Sinaloa	Oaxaca	Otras
23,119	13,653	5,125	4,893	2,731	2,528	1,171	838	329	578

De acuerdo con Ascencio-Michel (2010), la población mexicana consume alrededor de nueve especies del recurso ostión (Tabla II). En el Golfo de México, las especies mayormente extraídas son *Crassostrea virginica* y *C. rhizophorae*. En el Pacífico mexicano, *C. gigas* una especie introducida a las costas de Baja California, es la principal especie acuícola. Adicionalmente, las especies más extraídas son *Striostrea prismatica* y *C. corteziensis* (Ascencio-Michel, 2010; Góngora-Gómez *et al.*, 2012).

La pesquería muy posiblemente se sustenta en más de tres especies, puesto que Coan y Valectich-Scott (2012) dan información sobre la existencia de 13 especies de ostión para el Pacífico tropical de América.

Tabla II. Listado de especies del recurso ostión consumidas en México.

Nombre común	Nombre científico	producción
Ostión americano	<i>Crassostrea virginica</i> (Gmelin, 1791)	Captura y cultivo
Ostión de mangle	<i>Crassostrea rhizophorae</i> (Guilding, 1828)	Captura
Ostión de piedra u ostión de roca	Antes: <i>Crassostrea iridescens</i> (Hanley, 1854) Actualmente: <i>Striostrea prismatica</i> (Huber, 2012)*	Captura
Ostión del placer	<i>Crassostrea corteziensis</i> (Hertlein, 1951)	Captura
Ostión japonés	<i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg, 1795)	Cultivo
Ostión angélico o Garra de león	<i>Ostrea angelica</i> (Rochebrune, 1895) sinónimo de <i>Myrakeena angelica</i> (Rochebrune, 1895)	Captura
Ostión de roca	<i>Ostrea fisheri</i> (Dall, 1914)	Captura
Ostión de mangle	Antes: <i>Ostrea palmula</i> (Carpenter, 1857) Actualmente: <i>Saccostrea palmula</i> (Carpenter, 1857)*	Captura
Ostión kumamoto	<i>Crassostrea sikamea</i> (Amemiya, 1928)	Cultivo

* Coan y Valectich-Scott (2012).

Las vedas reproductivas se han establecido con base en los estudios del Instituto Nacional de la Pesca. Para *S. prismatica*, del 1° de junio al 31 de agosto en las aguas comprendidas en los litorales del estado de Sinaloa hasta el estado de Chiapas (DOF, 1994), y para *C. corteziensis* del 15 de junio al 15 de noviembre del Golfo de California a los límites con Nayarit y del 15 de julio al 15 de febrero en el sistema lagunar costero Teacapán-Agua Brava, Sinaloa (DOF, 2013).

Se consideran como vedas temporales fijas, es decir, establecidas por un periodo definido que se repite anualmente. Durante esos meses no se tienen registros de capturas.

Para la costa de Oaxaca, las localidades de Salina Cruz y Puerto Escondido son las principales zonas de extracción del recurso ostión (Figura 1). Entre 1996 y 2014, la producción fue de 37.6 % en Salina Cruz y de 37.9 % en Puerto Escondido. El 24.5 % restante corresponde a zonas de extracción en Puerto Ángel y Pinotepa Nacional (Serrano-Guzmán *et al.*, 2007; SAGARPA-CONAPESCA, 2013; CONAPESCA, 2015).

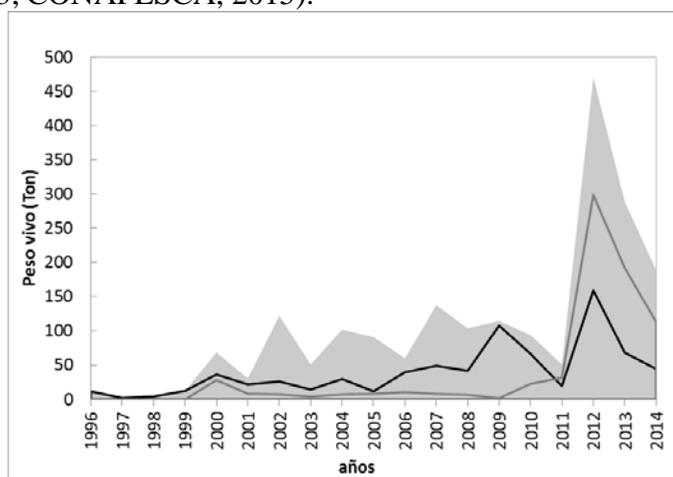


Figura 1. Participación histórica en la producción de ostión en peso vivo de Oaxaca (área gris) de Puerto Escondido (línea negra) y Salina Cruz (línea gris). Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2013 (SAGARPA - CONAPESCA, 2013) e información solicitada a CONAPESCA.

La información estadística oficial se registró y generó a partir de los avisos de arribo, donde los pescadores declararon lo que extrajeron como recurso ostión, en la mayoría de los casos sin diferenciar por especie, ya sea por conveniencia o simplicidad.

En Puerto Escondido, la extracción se ha realizado tradicional e históricamente mediante buceo libre o apnea, (con una barreta, aletas y visor únicamente) a no más de 30 m., con el apoyo de lanchas de fibra de vidrio de 12 y 24 pies de eslora, con motor fuera de borda de 40 y 60 caballos de potencia (HP), donde se trasladan de 2 a 3 buzos. Normalmente realizan un viaje por día, desde las 5:00 am hasta antes de mediodía, para realizar el desconche y venderlo fresco en la playa o lo congelan para su posterior venta. Se realizan turnos entre los cooperativistas para que todos los que saben bucear participen en la actividad pesquera.

Solo en los meses de veda y cuando hay marejadas (lo que en la región se conoce como “mar de fondo”), o mal tiempo para la navegación (tormentas tropicales y huracanes), o cuando se emiten alertas sanitarias por la presencia de proliferaciones algales nocivas (PAN), que comúnmente se denominan “mareas rojas” (aunque pueden ser de cualquier color, o incluso no

llegar a desarrollarlo, dependiendo del grupo y toxicidad del fitoplancton predominante), se suspende la extracción del recurso y la captura de mariscos en general para el consumo humano.

Considerando la importancia económica y social de la pesquería artesanal de ostión, que involucra a una gran cantidad de pescadores, hace esencial conocer tanto como se pueda sobre las poblaciones explotadas, que pueden sufrir cambios en respuesta a la pesca comercial. Estos incluyen cambios en la abundancia, biomasa total, distribuciones de frecuencia de tamaño, estructura por edades y distribuciones espaciales (Czerwinski *et al.*, 2007).

Con base en los modelos holísticos de Schaefer (1954) y Fox (1970) (Figura 2), también llamados de producción excedentaria, se estima el nivel de esfuerzo óptimo (f_{OPT}) que genera el máximo de capturas (Y_{MAX}), o **“El Rendimiento Máximo Sostenible”** (RMS), que designa hasta qué punto el recurso puede explotarse en el presente, sin dañar su disponibilidad en el futuro (FAO, 1995).

Los modelos mencionados se consideran holísticos, porque como se estableció, para realizar el análisis de evaluación del recurso, sólo consideran información anual de captura (Y) y esfuerzo (f), sin integrar datos como edad, talla, mortalidad natural, reclutamiento y reproducción (Sparre y Venema, 1997).

Los modelos de Schaefer (1954) y Fox (1970), asumen que la captura por unidad de esfuerzo estimada ($CPUE = Y/f$) es directamente proporcional a la abundancia de la población (Hinton y Mauder, 2003), por lo que, en este trabajo, la captura por unidad de esfuerzo del recurso ostión ($CPUE_{ost}$), se consideró como un índice de abundancia relativa.

Con el modelo de Schaefer (1954), se considera que la $CPUE_{ost}$ desciende gradualmente hasta un punto en el que la pesquería colapsa al incrementar f (Figura 2a). Con el modelo de Fox (1970), después de Y_{MAX} , la $CPUE$ desciende gradualmente pero la pesquería nunca colapsa al incrementar infinitamente f (Figura 2b).

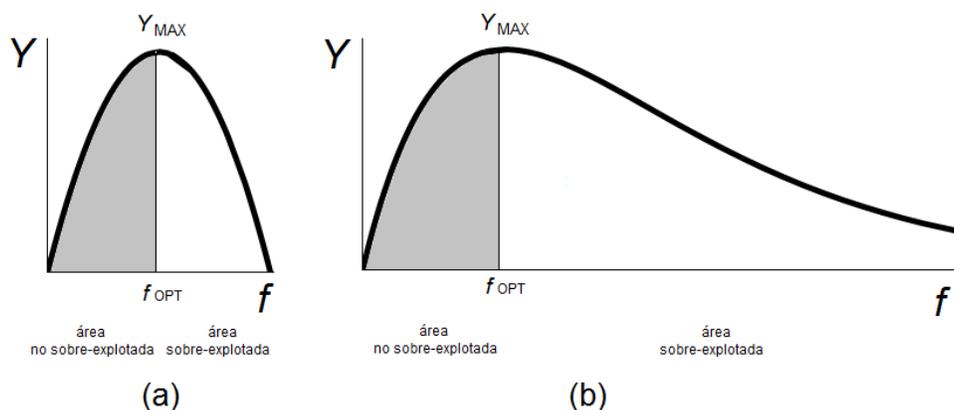


Figura 2. Curvas de evaluación teóricas de Schaefer (a) y Fox (b). f_{OPT} = nivel de esfuerzo óptimo, Y_{MAX} = máximo de capturas o rendimiento máximo sostenible (RMS), f = esfuerzo, Y = captura (Kg). Modificada de Sparre y Venema (1997).

Con base en la Figura 2, los resultados posibles para la evaluación del estado de explotación del recurso que se explota son los siguientes:

- 1.- El recurso no se encuentra sobreexplotado, si toda la variación anual de *Y* coincide en desarrollarse en las áreas grises de ambos tipos de modelos.
- 2.- El recurso esta sobreexplotado, si toda la variación anual de *Y* coincide en desarrollarse en las áreas blancas de ambos tipos de modelos.
- 3.- Cuando hay movilidad de *Y* entre las áreas gris y blanca, la evaluación final se decide con base en el área en que se encuentre el último año registrado.

Entre los principales intereses de la ecología pesquera, esta comprender los procesos oceanográficos que condicionan los cambios en la producción a meso y macro-escala, particularmente la variación interanual de clorofila *a* y los flujos de carbono, y cuantificarlas en diferentes regiones oceánicas o costeras manteniendo concordancia en tiempo y espacio, lo que representa una gran dificultad técnica (Joint y Groom, 2000; Cervantes-Hernández *et al.*, 2008).

Por lo que el uso de imágenes de satélite se ha extendido al estudio de los recursos pesqueros en explotación, con el objeto de desarrollar escenarios de producción con fines de conservación y aprovechamiento racional. Esto, es pertinente cuando se trata de correlacionar variables oceanográficas de años anteriores (series de tiempo georeferidas), con la variación histórica de la abundancia de una pesquería, gracias a su gran cobertura espacial y temporal, pero la información poblacional debe ser biológicamente representativa y ecológicamente confiable (Cervantes-Hernández *et al.*, 2008).

Con base en lo antes indicado, esta tesis aborda por primera vez una evaluación del recurso ostión para la zona de Bajos de Chila, Puerto Escondido hasta Agua Blanca, así como un análisis estacional de la relación entre la CPUEost con variables oceanográficas obtenidas de sensores remotos: concentración de clorofila *a* (C_{la}) de la zona eufótica, como un indicador de la biomasa de fitoplancton presente y temperatura superficial del mar (TSM) de los primeros milímetros de la columna de agua (y válida para la capa de mezcla).

2. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES QUE COMPONEN EL RECURSO OSTIÓN.

Los ostiones son moluscos (Phylum: Mollusca) de cuerpo blando protegidos por una concha. Pertenecen al grupo de los bivalvos (Clase: *Bivalvia*), con dos valvas que se unen en un gozne o charnela y encierran el cuerpo o parte blanda del animal. Cada valva tiene una protuberancia cerca de la charnela, el umbo, que es su parte más vieja (Lucas, 2012).

La familia Ostreidae es donde se clasifican las ostras y ostiones. La mayoría de las especies cultivadas para el consumo humano son miembros de tres géneros: *Crassostrea*, *Ostrea* y *Saccostrea* (Matthiesen, 2001). Los géneros *Crassostrea* y *Saccostrea* se conocen como ostras ahuecadas, una de las valvas es plana (derecha) y la otra profundamente cóncava (izquierda).

Al género *Ostrea* se le llama ostras planas, aunque la valva izquierda no es completamente plana (Gosling, 2003). Las valvas son delgadas y sólidas hechas de material calcáreo y proteico. A menudo hay líneas concéntricas en la concha que reflejan tallas previas y anillos de crecimiento (Lucas, 2012).

Se consideran filtro-alimentadores, que consumen partículas microscópicas de alimento suspendido. Pueden filtrar partículas de 4 a 100 μm de tamaño, por lo tanto, obtienen los nutrientes predominantemente del fitoplancton y detritus (materia orgánica microparticulada en descomposición), que ingieren al filtrar el agua circundante para respirar, así como de bacterias, protozoarios, zooplancton y microalgas bentónicas resuspendidas (Keeley *et al.*, 2009), que forman parte del detritus.

Los ostiones son protándricos, pueden cambiar de sexo durante y entre temporadas de reproducción, en respuesta a su estado nutricional y la temperatura ambiente (protándricos facultativos) o como un proceso relacionado con la edad. La mayoría completa su primer año como machos (Lucas, 2012).

La mayoría de las especies de bivalvos de aguas templadas, y muchas tropicales, tienen una temporada de reproducción masiva anual, que esta principalmente relacionada con los óptimos térmicos del agua. Típicamente en la zona templada, la gametogénesis ocurre de finales de invierno a los primeros meses de verano, con acumulación progresiva de gametos maduros en la gónada (Lucas, 2012).

El desove puede ser único, extendido o en varios eventos, al cual le sigue un periodo de reconstitución de la gónada. Varios individuos cercanos se reproducen de forma sincrónica, estimulados por feromonas liberadas con los gametos que son expulsados hacia la columna de agua, donde tiene lugar la fertilización (Gosling, 2003).

El ciclo de vida de muchos bivalvos consta de sucesivas etapas larvales planctónicas: trocófora, véliger (larva D y umbada), pedivéliger y una metamorfosis a postlarva o juvenil (semilla). Como pedivéliger, la larva se asienta en un sustrato apropiado, donde concluye la metamorfosis. Durante la metamorfosis, la larva pierde su órgano natatorio (velum) y se adhiere a un sustrato por medio de una sustancia secretada por una glándula cementante o bisal en las inmediaciones del pie. A partir de este punto, ya no es capaz de desplazarse y moverse, y a menos que sea desalojado de algún modo (depredación o extracción pesquera), permanece unida al sustrato durante el resto de su vida (Lucas, 2012).

Su tasa de crecimiento depende principalmente de la cantidad de alimento en el agua, la velocidad del flujo de las corrientes (una corriente relativamente fuerte, es benéfica al proporcionar un suministro constante de alimento), y la temperatura del agua circundante. Las condiciones para un crecimiento favorable varían dependiendo de la especie (Matthiesen, 2001).

La distribución de la familia Ostreidae está confinada a una franja de agua costera, dentro de las latitudes 64° N y 44° S. Su distribución vertical se extiende desde la zona intermareal, hasta profundidades de 30 a 40 m. Sin embargo, las especies comerciales rara vez se extraen de profundidades mayores a 12 m (Galtsoff, 1964).

Los ostiones del género *Crassostrea*, prosperan en aguas cálidas salobres en zonas intermareales y submareales a lo largo de la línea costera, donde las aguas que fluyen de los ríos y estuarios

son generalmente más ricas en materia orgánica. Las del género *Ostrea* prefieren aguas claras, más frías, de alta salinidad y en zonas submareales (Matthiesen, 2001).

Los ostiones son eurihalinos, por lo que pueden colonizar aguas estuarinas o completamente salinas. La temperatura y salinidad son importantes para determinar la distribución de especies a escala local (Gosling, 2003).

El ostión *S. prismatica* es la especie con mayor aporte en la captura del área de estudio, principalmente por el gran tamaño que alcanzan. Se distribuye en todo el Pacífico mexicano y centroamericano. Es un ostión de concha grande, pesada y gruesa de forma algo alargada, desde irregular oval hasta casi rectangular (Figura 3). Los ejemplares adultos miden entre 16.2 cm de largo y 9 cm de ancho. Se adhieren por la valva izquierda a facies rocosas expuestas a mar abierto (Castillo-Rodríguez y García-Cubas, 1984; Ramírez-Rodríguez, 2013).

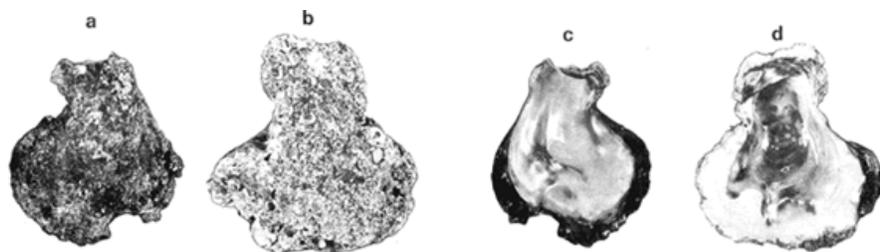


Figura 3. Ostión de roca (*S. prismatica* = *C. iridiscens*). Tomada de Castillo-Rodríguez y García-Cubas (1984).

El ostión *C. corteziensis* se distribuye en todo el Pacífico mexicano. Su concha es de formas variables, irregularmente redondeada u oblonga hasta casi triangular, a menudo alrededor de 7.5 cm de largo con máximo de 12 cm (Figura 4). Se encuentran principalmente en el nivel medio de mareas, adheridas a sustratos duros, en fondos someros, o directamente sobre el fango (Castillo-Rodríguez y García-Cubas, 1984).

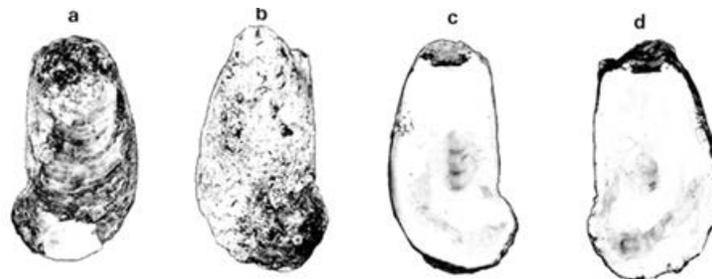


Figura 4. Ostión de placer (*C. corteziensis*). Tomada de Castillo-Rodríguez y García-Cubas (1984).

El ostión *Chama mexicana* se distribuye en todo el Pacífico mexicano. Tiene concha inequivalva (conchas asimétricas) de forma variable, por lo regular redondeada con espinas irregulares (Figura 5). El color de la superficie externa es café púrpuro y la interna es de color blanco-porcelana con un tinte rosado-púrpura. El largo promedio es de 6 cm. Se encuentra principalmente en fondos rocosos (Ramírez-Rodríguez, 2013; Castro-Mondragon *et al.*, 2016).

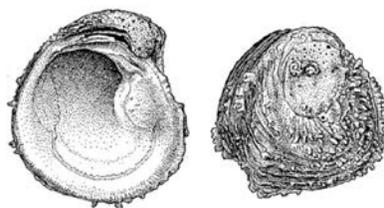


Figura 5. Ostión catarro (*Chama mexicana*). Tomada de Ramírez-Rodríguez (2013).

3. ANTECEDENTES

3.1. Captura de ostión en el Pacífico mexicano.

Estudios sobre la extracción de ostión son escasos. Melchor-Aragón *et al.* (2002), mencionan brevemente dos referencias en la costa del estado de Sinaloa: Melchor-Aragón (1987), evaluó las densidades de los bancos ostrícolas y la intensidad de captura de *C. iridescens* en Mazatlán y San Ignacio; y Melchor-Aragón *et al.* (1996), realizaron un diagnóstico pesquero de *C. iridescens* en las mismas localidades, señalando a esta actividad como la principal fuente de empleo e ingreso de más de 300 pescadores y sus familias.

Vélez-Barajas (1996), describe el panorama general de la pesquería artesanal del ostión de roca en Baja California Sur, que incluye a las especies *C. fisheri* y *C. iridiscens*, indicando que la talla mínima de extracción es de 70 mm de Baja California a Nayarit.

Patiño Valencia *et al.* (2006), realizaron un diagnóstico de la serie histórica de las capturas de *C. iridiscens* en las localidades de Santa Cruz de Miramar y Sayulita, Nayarit, del 2001 al 2005.

Arreguín-Sánchez y Arcos (2011), analizaron la situación de la pesca de capturas comerciales de México, a partir de los registros oficiales de pesca de 1956 a 2009. Señalan que por su tendencia, la mayoría de las pesquerías de ostión (*Crassostrea spp.*) parecen estar cerca del límite de sobrepesca en la costa central del Pacífico. Para el Golfo de Tehuantepec, el ostión pasó de un estado de colapso a sobrepesca, sin embargo, siguió en una categoría no deseada de sobreexplotación.

En un trabajo más reciente, Penagos-García *et al.* (2013), estudiaron la pesquería artesanal de ostión extraído en las escolleras de Puerto Chiapas, Tapachula, Chis., de enero de 2011 a enero de 2012. Identificaron taxonómicamente cinco especies de importancia comercial: *C. gigas*, *C. rhizophorae*, *S. palmula*, *S. iridescens* y *C. corteziensis* en una explotación multi específica del recurso ostión, realizada por 30 pescadores.

Se han realizado trabajos enfocados en la madurez gonádica de especies de interés comercial, entre los que se encuentran los siguientes estudios y autores:

Ruíz-Dura (1974), comparó reproductivamente a las especies comerciales *O. corteziensis*, *C. virginica* y *C. iridescens*, recolectadas en Las Guásimas, Sonora; Laguna Pueblo Viejo, Veracruz y La Ventosa, Oaxaca, respectivamente. A partir de cortes histológicos de las tres especies, los períodos de máxima actividad gametogénica coinciden a principios de primavera, de marzo a abril, y presentan tres períodos de actividad, con sólo dos ovulaciones, de junio a agosto. En la tercera gametogénesis, de agosto a octubre, no se produce normalmente desove

por el descenso de la temperatura. Se observó una completa reabsorción del epitelio germinal en los meses de diciembre a febrero. Sólo en *O. corteziensis* se notó un bajo porcentaje de hermafroditismo en el mes de septiembre.

Stuardo y Martínez (1975), estudiaron la relación entre la temperatura y la salinidad con el crecimiento y madurez gonádica de *C. corteziensis* en los esteros de San Blas, Nayarit de 1971 a 1973. Observaron una variación cíclica anual de temperatura con una disminución de noviembre a marzo, con un mínimo de 23 °C, y un incremento posterior hasta un máximo de 32 °C. La salinidad es relativamente uniforme y cercana a la del agua de mar (31 a 35 partes por mil), excepto en años muy lluviosos (0 a 5 partes por mil) en las partes alejadas de la boca de los esteros. La madurez gonádica y el desove, con la consiguiente presencia de larvas véliger en el plancton, parecieron seguir la variación cíclica de la temperatura. El crecimiento fue rápido, alcanzando 70 y 75 mm de longitud en 7 meses.

Cuevas-Guevara y Martínez-Guerrero (1978), realizaron un estudio gonádico integral y comparativo de *C. corteziensis*, *C. palmula* y *C. iridescens* en San Blas, Nayarit de 1972 a 1973. Las distintas fases del ciclo gonádico o gametogénico son casi simultáneas en las dos primeras especies. Predomina la etapa de desove que inicia en mayo para *C. corteziensis* y en junio para *C. palmula* continuándose hasta noviembre, donde inicia una sucesión gradual de las demás fases: postdesove en diciembre, indiferenciación gonádica en enero, gametogénesis en febrero y maduración durante marzo-abril para la primera y marzo-mayo para la segunda. Para *C. iridescens* la fase de reposo gonádico se extiende desde octubre hasta abril, la gametogénesis y maduración sucedió en mayo-junio y el desove fue en agosto y septiembre.

Frías-Espiricueta *et al.* (1997), estudiaron los cambios del ciclo reproductivo de *C. iridescens* y *C. corteziensis* en la costa de Nayarit de 1989 a 1990, utilizando el índice gonadosomático (razón entre el peso seco de la gónada y el peso seco del tejido somático). Las especies difieren marcadamente en hábitat (*C. iridescens* es marino y *C. corteziensis* es lagunar) y periodo de reproducción. Variaciones estacionales en el desarrollo de la gónada fueron evidentes entre ambas especies. *C. iridescens* alcanzó un máximo desarrollo gonádico en mayo y *C. corteziensis* dos, uno en abril y otro en julio, presumiblemente relacionados con las condiciones ambientales contrastantes que prevalecen donde habitan.

Rodríguez-Jaramillo *et al.* (2008), analizaron la estructura gonadal de *C. corteziensis* del Sistema Lagunar Ceuta en Sinaloa, México, mediante histología cuantitativa, cualitativa e histoquímica. Adicionalmente, obtuvieron series de tiempo para el sitio de muestreo de la temperatura superficial del mar (TSM) y concentración de clorofila *a* (Cla), derivados de sensores remotos, con una resolución de 1 km. Encontraron organismos sexualmente maduros casi todo el año, identificando dos periodos intensos de desoves, uno en verano y otro en otoño. Ambos sexos tienden a almacenar lípidos en el tejido gonadal conforme la maduración aumenta, con una baja correlación inversa entre carbohidratos en la gónada y el tejido vesicular en hembras. Encontraron una correlación negativa entre la Cla y el área de cobertura de la gónada en hembras y machos, coincidiendo los máximos de concentración de Cla, con periodos de reposo de la gónada en invierno. La maduración ocurre cuando la temperatura superficial es mayor a 20 °C y el desove cuando desciende por debajo de 27 °C.

Lievano-Méndez (2008), describió la estructura de tallas de captura y los índices gonadosomático y de rendimiento muscular de *S. prismatica* en Pichilinguillo, Michoacán y su relación con la temperatura y el fotoperiodo, de septiembre de 2006 a mayo de 2007. El promedio de tallas fue de 8.8 cm con un mínimo de 4.9 cm y máximo de 14.9 cm. Los valores del índice gonadosomático indican que la etapa de maduración fue septiembre, el desove en octubre, reposo en noviembre y en febrero y marzo el desarrollo gonadal. No identificó una tendencia clara en el índice de rendimiento muscular. Solo obtuvo una correlación alta y directamente proporcional entre el índice gonadosomático y el fotoperiodo (minutos luz) ($r = 0.96$).

Hernández-Covarrubias *et al.* (2013), estimaron la talla media de madurez sexual de *S. prismatica* en la costa de Nayarit, México de 2008 a 2010, para cinco modelos sigmoides a partir de 83 hembras y 121 machos. La selección de los modelos se realizó con base en el criterio de información de Akaike corregido. El modelo de Brower y Griffiths estimó una longitud total de 9.1 cm para hembras y el modelo de Gompertz estimó una longitud total de 9.0 cm para machos. Acorde con la inferencia multimodelo, los cinco modelos se utilizaron para estimar un modelo global por sexo, en hembras, la talla fue 9.0 cm y el intervalo de confianza al 95 % de 8.8 a 9.1 cm y en machos la talla fue 8.9 cm con intervalo de confianza al 95 % de 8.7 a 9.0 cm. Los valores de ambos sexos coinciden con aquellos registrados en la Carta Nacional Pesquera 2012.

Meléndez-Galicia *et al.* (2015), analizaron el comportamiento reproductivo de *C. iridescens* de la pesca comercial y recolectas del medio natural en Lázaro Cárdenas y Zapote de Huana, Michoacán, de febrero a diciembre de 2010. Obtuvieron 1444 organismos con un intervalo de tallas de 5 a 17.6 cm de longitud total y peso de 50 a 866 g. La descripción del desarrollo gonádico se realizó a partir de 100 ostiones en total, por medio de cortes histológicos con la técnica de tinción de Hematoxilina-Eosina. Se encontró que el 31 % eran machos, 24 % hembras, 43 % indiferenciados y 2 % hermafroditas con una proporción de machos a hembras de 1:3. Se identificaron cinco fases del desarrollo gonadal: gametogénesis (mayo y junio), madurez (agosto), desove (agosto-septiembre), postdesove (septiembre-diciembre) y reposo (febrero-junio y diciembre). El periodo de liberación de gametos fue de agosto a diciembre, aunque hubo un pico reproductivo alto en septiembre y octubre, por lo que la veda reproductiva establecida de forma voluntaria por quienes extraían el recurso, la cual aplicaba del 1° de junio al 31 de agosto, estaba desfasada, pues debería prolongarse hasta septiembre, cuando la población natural y la población explotada entraban en etapa de postdesove.

El único trabajo encontrado sobre la estimación de mortalidad natural es de Melchor-Aragón *et al.* (2002), quienes estimaron la mortalidad natural (M). Caracterizaron la relación entre la longitud total-peso total y evaluaron la tasa de crecimiento de *C. iridescens* con marcado *in situ* en San Ignacio, Sinaloa, en los periodos marzo-abril y septiembre-octubre de 1995. La sobrevivencia se mantuvo en valores cercanos al 80 %, con una $M = 2.2$ año⁻¹. La relación longitud-peso evidenció un crecimiento de tipo alométrico-negativo con coeficientes de crecimiento ($b's$) menores a 0.3 en ambos periodos. Los parámetros de crecimiento del modelo de Von Bertalanffy fueron $K = 0.069$ y 0.098 ; $L_{\infty} = 134$ mm y 155 mm; $t_0 = -0.66$ y -0.4 para cada periodo.

Además de las referencias anteriores, se identificaron estudios de riqueza, diversidad y listados taxonómicos de moluscos en donde se mencionan especies comerciales de ostión.

Rodríguez-Palacios *et al.* (1988), estudiaron la diversidad y abundancia de moluscos en tres localidades de Bahías de Huatulco y en Puerto Ángel, Oaxaca. Determinaron un total de 4,087 moluscos pertenecientes a 189 especies, distribuidas en cuatro clases, de las que presentaron un inventario. Los ostiones *Ostrea angelica* y *O. fisheri* se encontraron en Puerto Ángel; *Chama mexicana* y *C. sordida* en Bahías de Huatulco.

León-Herrera, (2000), realizó un listado taxonómico de moluscos recolectados en la zona intermareal en 6 estaciones del litoral central oaxaqueño, durante 6 meses (no especificados). Menciona 5 especies de bivalvos, incluidos los ostiones *C. mexicana* y *O. palmula*.

Ríos-Jara *et al.* (2002), elaboraron una base de datos con una lista sistemática completa de moluscos macrobentónicos (gasterópodos, bivalvos, poliplacóforos y cefalópodos), de las costas de Jalisco y Colima, enfatizado en cuatro áreas marinas prioritarias (Bahía de Banderas, Chamela-El Palmito, Punta Graham-El Carrizal, Cuyutlán-El Chupadero), describiendo tipos de sustrato y aspectos bioecológicos importantes. Incluyeron información de estudios previos (1986-1999), además de recolectas adicionales en 1999-2000. Registraron 454 especies, de las cuales 114 fueron bivalvos. Donde *O. columbiensis*, *O. palmula*, *C. equinata* y *C. sordida* se identificaron como especies de ostión de importancia comercial.

Zamorano *et al.* (2008), evaluaron la comunidad de moluscos de la playa Agua Blanca, Santa Elena Cozoaltepec, Oaxaca, a partir de cuadrantes de 0.25 m² durante septiembre-octubre de 1994 y enero-marzo de 1995. Identificaron 64 especies representadas por 514 ejemplares. Estimaron la abundancia, riqueza y diversidad. Según los valores de sus índices ecológicos y lo obtenido en la curva de dominancia-diversidad, se considera a la comunidad de moluscos de Agua Blanca como heterogénea y rica en especies. Registraron 18 especies de bivalvos, entre ellas los ostiones *O. fisheri* y *C. budiana*.

Ríos-Jara *et al.* (2009), presentan la composición taxonómica de 160 especies de bivalvos y gasterópodos en el Golfo de Tehuantepec con información de su hábitat y distribución a lo largo de 10 localidades en la línea de costa y 42 en la plataforma continental de abril a diciembre de 2004. Las especies estaban en playas rocosas y arenosas, lagunas costeras, estuarios, manglares, escolleras y zonas submareales someras. Se registraron un total de 78 especies de bivalvos y 82 de gasterópodos, la mayoría asociadas a escolleras y playas rocosas y arenosas. Los ostiones, *S. prismatica*, *S. palmula*, *Myrakena angelica* (Garra de león) y *C. echinata* se mencionan.

Flores-Rodríguez *et al.* (2014), analizaron la comunidad de moluscos de tres zonas rocosas intermareales en Carrizalillo, Coral y Punta Cometa, en Oaxaca. La unidad de muestreo fue de 1 m². 5,862 especímenes fueron analizados identificando 68 especies. Las familias mejor representadas en riqueza fueron: Fisurellidae, Murcidae, Lotiidae, Mytilidae, Chamidae, Ischonoquitonidae y Chitonidae. Con base en los valores del índice de diversidad, la comunidad de moluscos en el área de estudio tiene alta diversidad y uniformidad que corresponde a comunidades maduras y estables en la región tropical. *S. prismatica*, *C. palmula*, *Chama*

coralloides (ostión violeta) y *C. mexicana* (ostión catarro), fueron identificadas en la zona rocosa de Playa Coral, Puerto Escondido.

Castro-Mondragón *et al.* (2016), actualizaron el inventario de moluscos que se captura para consumo humano, determinando las especies de mayor abundancia y analizando la composición de tallas de captura en Acapulco, Guerrero. Recolectaron organismos capturados por pescadores de 2011 a 2014 y realizaron 72 entrevistas a actores principales. De 48 especies identificadas, 16 fueron las de mayor importancia comercial. En la mayoría de éstas se capturaron organismos que no alcanzaron la talla que les permitiera participar en la renovación del stock reproductivo (progenitores). *Hexaplex princeps* (caracol chino) fue la primera en volumen de captura, *S. prismatica* fue la segunda y *C. coralloides* la tercera, *Hyotissa hyotis* (garra de león) se menciona. Ostión catarro es el nombre común de cuatro especies: *C. mexicana*, *C. echinata*, *C. sordida*, y *C. buddiana*.

López-Rojas *et al.* (2017), estimaron la riqueza, diversidad y composición de la comunidad bentónica con base en la representación de las familias y su distribución geográfica en regiones marinas prioritarias del estado de Guerrero. Analizaron 21 sitios utilizando un área de muestreo de 10 m² con una unidad de muestreo de 1 m². Analizaron 5,962 especímenes identificando 40 especies. Las familias Mytilidae y Arcidae presentaron la mayor riqueza de especies y Mytilidae e Isognomonidae las mayores abundancias. La densidad fue de 18.63 organismos/m². Tres especies tuvieron una amplia distribución, solo una fue frecuente, ocho con distribución limitada y 32 restringida. Los ostiones, la familia Chamidae (*C. collaroides*, *C. echinata*, *C. mexicana* y *C. sordida*), presentaron una abundancia relativa de 14.4 % y la familia Ostreidae (*S. palmula* y *S. prismatica*) del 4.1 %.

En relación con el cultivo de ostión nativo, solo hay reportes para *C. corteziensis*.

Chávez-Villalba *et al.* (2005), reportan la primera experiencia de cultivo bajo condiciones controladas en la Laguna El Soldado, Sonora. Registraron un crecimiento isométrico, en 13 meses alcanzaron 71.3 ± 1.9 mm de longitud, 52.6 ± 1.3 mm de ancho y 25.1 ± 0.8 mm de alto. Las tasas de crecimiento disminuyeron cuando la temperatura fue menor a 18 °C. Concluyeron que la especie es un buen candidato para proyectos de acuicultura en la región.

Chávez-Villalba *et al.* (2008), analizaron el crecimiento, actividad gametogénica e índice de condición, así como la relación de su ciclo de vida con la temperatura, salinidad, seston y clorofila *a*, durante 25 meses en la Laguna Las Guásimas, Sonora. Utilizaron el diámetro de los oocitos y características citológicas para determinar las etapas reproductivas en hembras y machos. Utilizaron el índice de condición para describir la salud fisiológica de los ostiones. Su crecimiento fue isométrico, alcanzando 103.2 ± 1.82 mm de largo y 4.98 g de peso total con una supervivencia cercana al 70 %. Los datos de crecimiento de la ecuación de von-Bertalanffy fueron: $L_{\infty} = 132.2$ mm, $K = 1.08$ año⁻¹ y $t_0 = -0.18$. El inicio y final del ciclo gametogénico es controlado por la fluctuación de la temperatura (15-33 °C), que una vez que inicia, es continuo en un periodo de 9 meses (marzo a noviembre). Temperaturas mayores a 25 °C inducen alta actividad gametogénica y desoves parciales en abril, septiembre y noviembre. El desove total ocurre en agosto, con temperaturas de 31 a 33 °C, que se refleja en una disminución del índice de condición. En invierno, el almacenamiento de nutrientes se presenta y parecen ser

usados en el siguiente ciclo reproductivo. La energía para el crecimiento y reproducción proviene de proliferaciones de fitoplancton en invierno y altas concentraciones de materia orgánica particulada durante todo el año. Sus observaciones sugieren que este ostión es protándrico (los individuos cambian de sexo, de machos iniciales a hembras al final de su ciclo de vida). Por su alta supervivencia, alto rendimiento y su ciclo gametogénico largo y continuo, *C. corteziensis* tiene importancia acuícola en el Golfo de California.

Castillo Durán *et al.* (2010), compararon el crecimiento, condición y supervivencia de *C. gigas* y *C. corteziensis* cultivados en la Laguna Las Guásimas, Sonora, durante el verano y el invierno. Las tasas de crecimiento e índices de condición fueron mayores durante el invierno, la mortalidad acumulada fue mayor en verano. *C. gigas* creció más rápido en invierno y más lento en verano que *C. corteziensis*. El alimento disponible no fue una limitante por lo que las diferencias en crecimiento, mortalidad y condición fueron por causa de la temperatura, con un máximo de 32.7 °C en verano y mínimo de 12.7 °C en invierno. Las altas temperaturas limitan el crecimiento de *C. gigas*, por lo que otoño es el periodo propicio para empezar su cultivo mientras que *C. corteziensis* puede cultivarse todo el año.

Mazón-Suástegui *et al.* (2011), analizaron el crecimiento y la edad/talla de primera reproducción en Bahía de Agiabampo, Sonora, en un periodo de 9 meses. Los adultos alcanzaron 75.6 ± 0.62 mm de alto de concha. La gametogenesis empezó en marzo-abril y el desove durante agosto y septiembre. A partir de la siembra, la edad/talla de primera maduración fue de 3.25 meses para machos (42 mm de alto) y 4.5 meses para hembras (54 mm de alto), con una edad promedio de la población de 4.75 meses (55-59 mm) para machos y 5.25 para hembras (60-64 mm). Proponen limitar la extracción de ostión a tallas mayores de 65 mm de alto, para permitirles reproducirse al menos una vez y contribuir a restaurar las poblaciones silvestres.

Mena-Alcántar *et al.* (2017), evaluaron la proporción de sexos, índice de condición, ciclo reproductivo y talla de reclutamiento para reproducción y su relación con factores ambientales en la Laguna La Palicenta en Nayarit, México, de septiembre de 2013 a agosto del 2014. La proporción de sexos fue diferente de 1:1, con predominio de hembras. La temperatura tuvo una gran correlación directa y altamente significativa con la reproducción (desoves, $r = 0.90$, $P = 0.00$). La concentración de clorofila *a*, tuvo una buena correlación inversa y altamente significativa con la gametogénesis ($r = -0.76$, $P = 0.00$). El índice de condición tuvo una correlación directa y muy significativa con la salinidad ($r = 0.60$, $P = 0.03$), incrementando de marzo a julio. La talla de reclutamiento para la reproducción fue de 51.1 mm.

4. HIPOTESIS

Por el historial de explotación registrado en tendencias de captura, para el recurso ostión de 1998 a 2012, se espera que toda la variación anual de *Y*, se encuentre en las áreas sobre-explotadas de los modelos holísticos aquí aplicados.

Para la CPUEost mensual, escasamente están documentados los efectos de correlación de la *Cl* y la TSM, pero, considerando los trabajos realizados con otras especies en el Golfo de Tehuantepec, se espera:

- Un efecto de correlación directo entre la variación mensual de *Cla* y la CPUEost, porque el aumento en la disponibilidad de alimento (cuantificado indirectamente con la *Cla*), favorece la supervivencia de las etapas larvarias producto del desove, que lo requieren para su rápido crecimiento y desarrollo.
- Un efecto de correlación inverso entre la variación mensual de TSM y la CPUEost, porque entre la variación mensual de *Cla* y TSM a nivel regional, está registrado un efecto indirecto.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Realizar un análisis retrospectivo de la captura comercial del recurso ostión, a partir de datos de avisos de arribo de enero de 1998 a diciembre de 2012 en Puerto Escondido, Oaxaca, y su asociación con variables oceanográficas registradas mediante sensores remotos (*Cla* y TSM).

5.2. Específicos

- Cuantificar el aporte de las *Y* obtenidas de los avisos de arribo, con los registros obtenidos por la oficina de CONAPESCA en Puerto Escondido.
- Estimar la CPUEost con temporalidad mensual y anual.
- Con base en la CPUEost y *f* anual, realizar la evaluación del estado de explotación que tuvo la pesquería del recurso ostión.
- Generar las series de tiempo de *Cla* y TSM, representativas para el área de estudio, dentro de las localidades de pesca reportadas.
- Obtener de las series de tiempo mensuales de CPUEost ($\text{Kg}\cdot\text{embarcación}^{-1}$), *Cla* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) y TSM ($^{\circ}\text{C}$) los correspondientes patrones armónicos de variación estacional.
- Realizar una correlación múltiple de los patrones de variación armónica anteriores.

6. ÁREA DE ESTUDIO

Puerto Escondido se localizan al sur del Estado de Oaxaca, sobre la costa del Océano Pacífico en las coordenadas $15^{\circ} 51' 43''$ de latitud Norte y $97^{\circ} 04' 18''$ de longitud Oeste, a 60 m.s.n.m.

Las cooperativas con permiso de extracción de ostión en Puerto Escondido sacan el producto entre las localidades de pesca La Salinita a El Potrero, con una distancia aproximada de 46 km, de acuerdo con los datos reportados en los avisos de arribos históricos (Figura 6).

Clima

Corresponde al semiárido cálido con lluvias en verano, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1964), cuya fórmula climática es: BS1(h')w.

De acuerdo a los datos meteorológicos de la estación 20-246 La Ceiba (CONAGUA, 2012), en Santa María Colotepec, cercana al área (Figura 6), en el periodo de 1959-2010: la temperatura promedio anual fue de 26.6 °C, la temperatura promedio del mes más frío (febrero), es de 20.7 °C y la del mes más caliente (mayo), es de 32.5 °C; la precipitación promedio anual es de 977.1 mm, el mes de menor humedad es marzo con 2.8 mm y el mes más húmedo es agosto con 264.3 mm. El promedio de lluvia de los meses más lluviosos es de 156.75 mm.

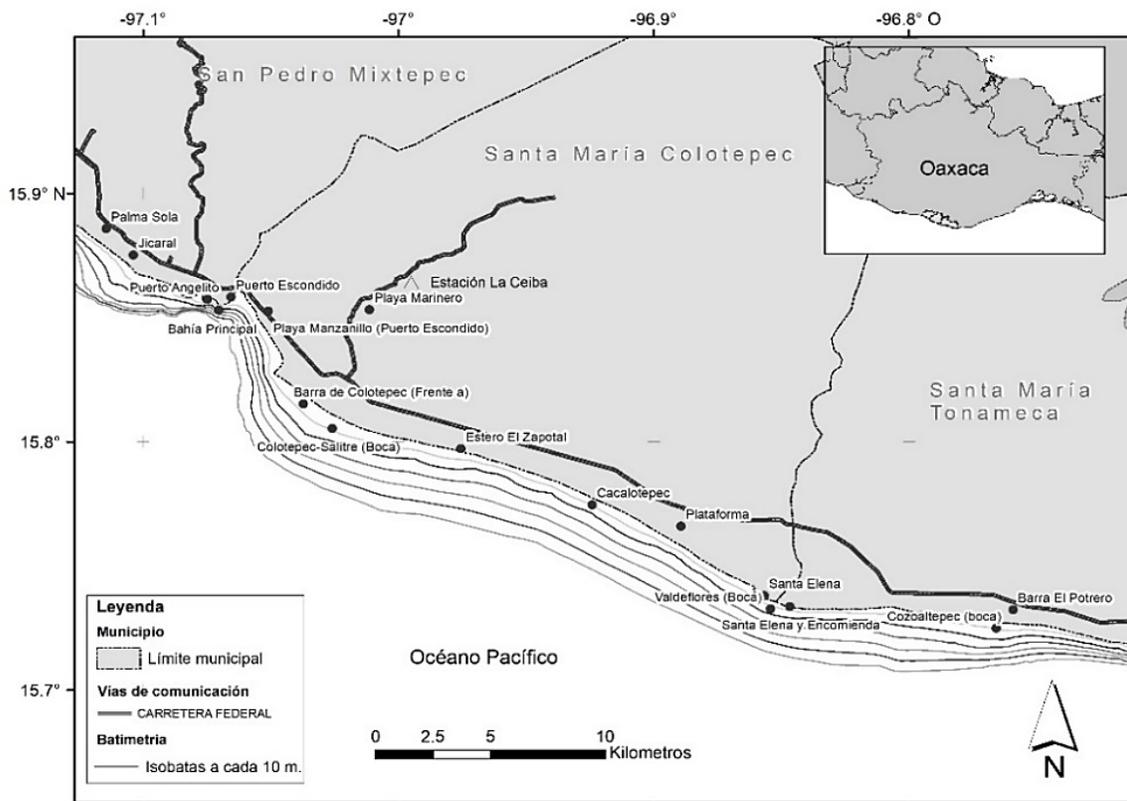


Figura 6. Localidades pesqueras donde se extrae ostión en la zona de Puerto Escondido, Oaxaca. Elaboración propia con datos del Atlas de Localidades Pesqueras de México. Oaxaca (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2009). Avisos de arribo de la S. C. P. P. Reforma Agraria Oaxaca. Batimetría de Hernández-Santiago (2017).

Para el análisis de las variables ambientales se delimitó un área de pesca artesanal de Ostión en Puerto Escondido (APPE en adelante). El APPE elegida incluyó las localidades indicadas en los avisos de arribo (Figura 6) y donde la captura de ostión se realiza con mayor intensidad; según la sociedad cooperativa consultada en Puerto Escondido (Figura 7).

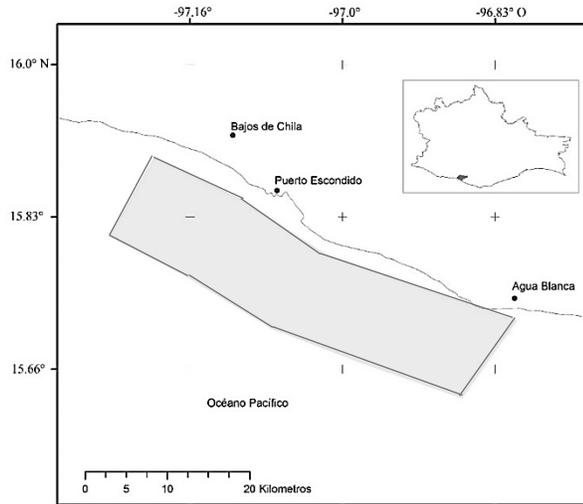


Figura 7. Área marina de estudio, con la imagen de mascara satelital (área gris, superficie = 51,749.26 Km²) que abarca la APPE.

En la Figura 8 se presentan datos de temperatura y precipitación promedio diaria por mes (CONAGUA, 2012). El periodo de secas o estiaje comprende los meses de noviembre a abril y el de lluvias de mayo a octubre.

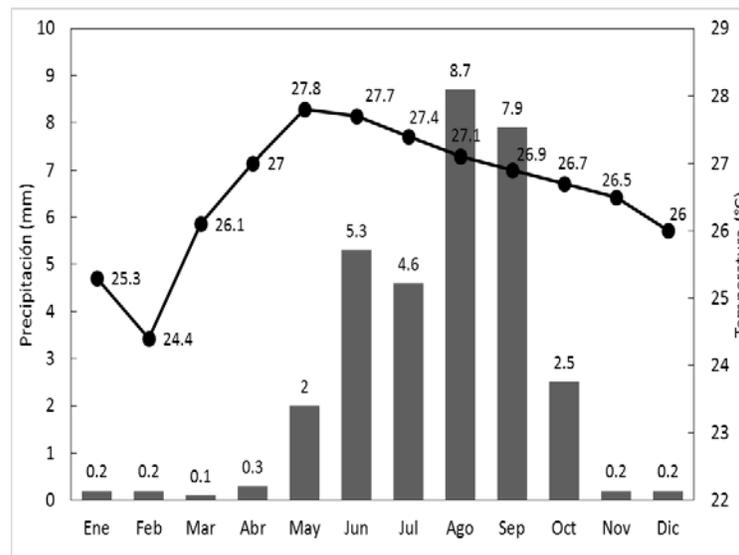


Figura 8. Promedio diario de precipitación (barras) y temperatura (línea) media, por mes en la estación 20-246 La Ceiba, Santa María Colotepec (1959-2010). Elaboración propia con datos de CONAGUA (2012).

Circulación oceánica

La región del Océano Pacífico Tropical Oriental (OPTO), entre Cabo Corrientes (20° N y 105° 41' O) y Costa Rica (10° N y 84° 15' O), se ha caracterizado por mucho tiempo como la convergencia de dos sistemas de corrientes en los mares mexicanos: la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) y la Corriente de California (CC), que al unirse forman parte de la Corriente Norecuatorial (CNE) (Lara-Lara *et al.*, 2008).

Se ha descrito que la CCCR fluye a lo largo de la costa mexicana hasta Cabo Corrientes, Jalisco, en los meses de junio-julio, estando ausente de enero a marzo cuando fluye hacia el Oeste al separarse de la costa de Costa Rica (Wytriki, 1967 en: Reyes-Hernández *et al.*, 2016).

Trabajos más recientes han establecido que la CCCR llega hasta el Golfo de Tehuantepec (GT), entre el domo de Costa Rica (DCR, 9° N, 90° O), y el Tazón de Tehuantepec (TT, 13° N, 105° O) donde su parte superficial retorna al Sur debido a un flujo anticiclónico que obliga a la CCCR a salir de la costa hacia mar abierto (Figura 9), y alimentar a la CNE (Lara-Lara *et al.*, 2008; Reyes-Hernández *et al.*, 2016).

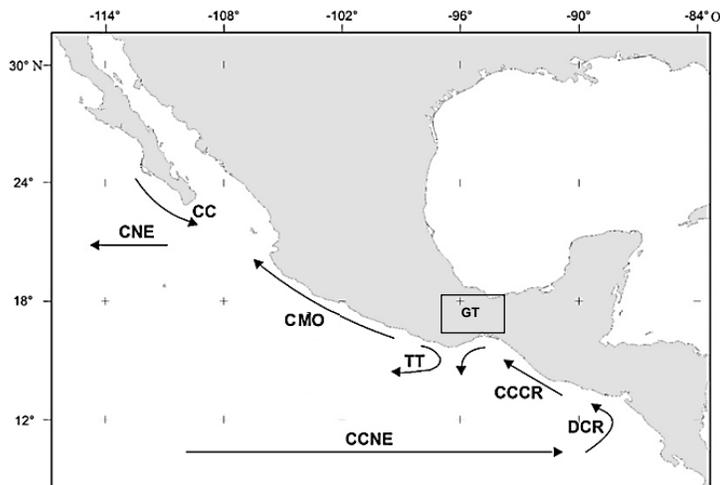


Figura 9. El Pacífico Tropical Mexicano (PTM) y el Golfo de Tehuantepec (GT), con las principales corrientes oceánicas. Contracorriente Norecuatorial (CCNE), Corriente Norecuatorial (CNE), Corriente de California (CC), Corriente Mexicana del Oeste (CMO), Tazón de Tehuantepec (TT), Domo de Costa Rica (DCR), y Corriente Costera de Costa Rica (CCCR). Modificado de Reyes-Hernández *et al.* (2016).

La CCCR fluye hacia el noroeste en el lado este del DCR, continúa a lo largo de la costa adentrándose en el GT donde su expresión superficial gira al sur para fluir alrededor del lado sur del TT. Esta extensión hacia el noreste, esta modulada estacionalmente por la expansión y contracción del DCR y los vientos que soplan de y hacia el GT durante todo el año. La CCCR progresa de su fase más débil en junio a una fase más fuerte en noviembre (Kessler, 2006; Reyes-Hernández *et al.*, 2016).

Se ha propuesto el nombre de Corriente Mexicana del Oeste (CMO), para un flujo adyacente a la costa del Pacífico mexicano que inicia al oeste de Puerto Ángel y al norte de los 17°, con dirección noroeste a partir del GT (Lara-Lara *et al.*, 2008; Kessler, 2006).

En el verano, la CCCR se adentra en el GT al sur de los 15° N y no sigue la línea de costa, sino que va paralela a la pendiente continental, hasta alcanzar la región occidental del GT. La presencia de giros ciclónicos (anticiclónicos), define su cercanía (lejanía) a la costa (Araico-González, 2012). La CCCR es un flujo de agua cálida que proviene del sureste y viaja hacia el polo. También hay eventos de viento persistentes hacia el sur, que aunque son más débiles que los que se dan en invierno, son capaces de generar grandes giros en el GT (Trasviña y Barton, 2008, Reyes-Hernández *et al.* 2016).

El Golfo de Tehuantepec (GT) se ubica en la parte sur del Pacífico mexicano. Desde tierra está delimitado al oeste por Punta Cometa en Oaxaca, en las coordenadas 15° 39.51' N y 96° 33.41' O, muy cerca de Puerto Ángel, Oaxaca, y al este por el Río Suchiate en Chiapas, en las coordenadas 14°30' N y 92°14' O (Figura 10).

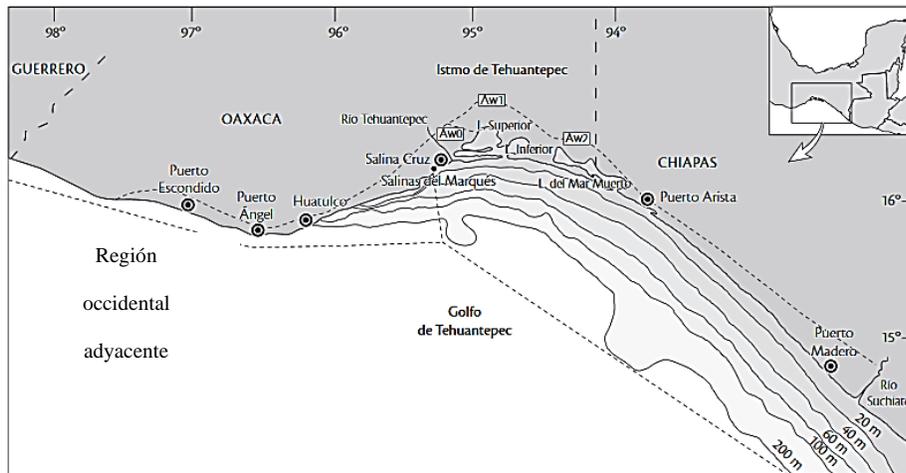


Figura 10. Golfo de Tehuantepec y Región occidental adyacente. Tomado de Lara Lara *et al.* (2008).

Los mínimos de temperatura superficial del mar que se extienden desde la costa de los Golfos de Tehuantepec, Papagayo y Panamá, se asocian con chorros de viento estacional (Fiedler y Talley, 2006).

De octubre a marzo, la circulación oceánica en la costa del GT está controlada por eventos de viento del norte asociados a los “frentes fríos”, conocidos como “Nortes” en el Golfo de México o “Tehuanos” en el Golfo de Tehuantepec (Roden, 1961).

Se producen por una diferencia de presión atmosférica entre el Golfo de México y el Pacífico tropical, generando un flujo de viento de chorro a través del Istmo de Tehuantepec, que sale en forma de abanico sobre las aguas del GT como resultado de la combinación de las condiciones meteorológicas de gran escala y las características topográficas locales (Romero-Centeno, *et al.*, 2003).

Los “Nortes”, producen un arrastre del agua hacia el sur (mar abierto), generando afloramientos o surgencias costeras y una mezcla considerable o abordamiento sobre el eje del viento hacia mar adentro. Las surgencias constituyen una bomba, que aflora agua fría subyacente rica en nutrientes, que una vez que queda en la zona iluminada del océano (zona fótica), y los productores primarios se acondicionan, mediante la actividad fotosintética en su zona eufótica, provoca la síntesis de nueva materia orgánica y carbono fitoplanctónico, que enriquece las aguas adyacentes determinando una zona de alta producción (biomasa) y productividad (síntesis de carbono). Los “Nortes” son tan intensos que generan e impulsan remolinos marinos de mesoescala, provocando enfriamiento en el océano cercano a la costa y modifican sensiblemente la circulación costera del GT (hasta 500 Km mar adentro). Cuando los vientos “Tehuanos” pierden fuerza, se reinicia el calentamiento progresivo del agua superficial,

desaparece la surgencia eólica y se restablece la circulación superficial del GT y de las aguas adyacentes. (Lara-Lara *et al.*, 2008; Velázquez-Muñoz *et al.*, 2011).

De mayo a octubre, se considera como época de verano o de “no Tehuanos” donde los vientos del norte son menos intensos y se da paso a los pulsos de viento generados por huracanes y tormentas tropicales del Pacífico Tropical Oriental (Trasvina y Barton 2008, Araico-González, 2012). Durante la época de lluvias, el GT se comporta como un ecosistema tropical con valores bajos de biomasa y productividad del fitoplancton (Lara-Lara *et al.*, 2008). Aunque la productividad disminuye en verano, la concentración pigmentaria puede observarse a lo largo de la costa, siendo incluso mayor que en invierno, debido al aporte de nutrimentos proveniente de lagunas y ríos que drenan en el GT durante la temporada de lluvias (Ortega-García, *et al.*, 2000)

Batimetría local

En la porción del municipio de San Pedro Mixtepec hasta la cota de los 30 m de profundidad, la pendiente es suave y después se incrementa abruptamente. La cota de los 60 m se acerca a la costa de los 850 m a 550 m en su lado oeste, para después separarse hasta 2.3 km en la parte central en el promontorio rocoso en la zona de La Colorada, continuando hacia el este, la profundidad se incrementa rápidamente para alcanzar la cota de 60 m, a 600 m de la playa frente a Puerto Escondido (SEDAPA, 2016).

Para la porción de Santa María Colotepec, se reduce un poco la pendiente con la cota de 60 m a 1.6 km de la playa en su lado Oeste, que se mantienen en toda la extensión de Puerto Escondido. Ya frente a la desembocadura del Río Colotepec, la cota de los 60 m se encuentra a 3 Km y continúa reduciéndose paulatinamente, dirigiéndose hacia el Este, hasta llegar a 2.3 Km en la colindancia con Santa María Tonameca (SEDAPA, 2016).

En la porción de Santa María Tonameca, la cota de 60 m (a 2.3 Km), continua hacia el Este y se reduce la pendiente paulatinamente hasta llegar a la zona de barra El Potrero, donde se encuentra a 1.7 km. A partir de este punto la pendiente se incrementa abruptamente para la alcanzar la cota de 60 m a 870 m de la costa en la porción central del Municipio (SEDAPA, 2016).

7. MATERIAL Y MÉTODOS.

7.1. Consideraciones sobre los datos históricos de Y y f del recurso ostión en Puerto Escondido.

Existen 3 cooperativas que cuentan con permisos para la extracción de ostión en la zona de Puerto Escondido: S. C. P. P. “Reforma Agraria Oaxaca” S. C. de R. L.; S. C. P. P. “Brisas de Zicatela” S. C. de R. L. y S. C. P. P. “Costa de Puerto Escondido” S. C. de R. L. Para el presente estudio solo se pudo obtener información de la S. C. P. P. “Reforma Agraria Oaxaca” S. C. de R. L, por lo que se decidió solicitar información a las dependencias responsables del manejo de los avisos de arribo.

Primero se solicitó a la Comisión Nacional de Pesca, proporcionar copia de los avisos de arribo de 1998 a 2012 en la oficina de Puerto Escondido, a través del portal de internet del Instituto Federal de Acceso a la Información (IFAI), con número de solicitud 0819700021012, su respuesta fue favorable, pero solo dieron datos de las capturas sin datos de esfuerzo. Razón por la que no se pudo usar la información recibida del IFAI en el análisis de la pesquería de interés.

Para conocer el aporte de la S. C. P. P. “Reforma Agraria Oaxaca” S. C. de R. L a las estadísticas de captura, se compararon los acumulados de captura y los promedios de captura de la cooperativa, con el de las capturas obtenidas por la oficina de pesca de Puerto Escondido a través del IFAI. Lo anterior también fue útil para determinar si las estadísticas de captura eran correctas y, aunado a la estandarización del esfuerzo, permitieron concluir si las estimaciones de los modelos eran confiables.

7.2. (A). Información poblacional.

Se recopilaron los avisos de arribo de la captura comercial del recurso ostión, registrada en el área de estudio, de enero de 1998 a diciembre de 2012, proporcionada por la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera “Reforma Agraria Oaxaca” Sociedad Cooperativa de Responsabilidad Limitada (S. C. P. P. “Reforma Agraria Oaxaca” S. C. de R. L.), que contiene los registros de Y en Kg y f como número de embarcaciones.

Para identificar posibles tendencias de Y y f históricas registradas en los avisos de arribo, se obtuvo la suma acumulada por año de cada uno y se graficaron conjuntamente.

Se estimó la CPUEost, dividiendo Y entre f (Sparre y Venema, 1997), luego estos datos se utilizaron como se explica a continuación:

7.2.1. Evaluación pesquera del recurso ostión

Los modelos holísticos de evaluación de Schaefer (1954) y Fox (1970) fueron adecuados para valores anuales de CPUEost y f , ambas deducidas a partir de la suma de sus valores mensuales (Tabla III). Detalles de ambos modelos se indican en el Anexo I.

Tabla III. Descripción de los modelos para realizar la evaluación pesquera del recurso ostión en Pto. Escondido.

Modelo	Función	f_{OPT}	Y_{MAX}
Schaefer	$CPUEost = b_0 + (b_1 \cdot f_i)$ $CPUEost\ esperada = (b_0 \cdot f_i) + (b_1 \cdot f_i^2)$	$-0.5 \cdot (b_0/b_1)$	$-0.25 \cdot (b_0^2/b_1)$
Fox	$\ln CPUEost_i = a_0 + (a_1 \cdot f_i)$ $CPUEost\ esperada = \exp^{a_0} \cdot \exp^{(a_1 \cdot f_i)}$ $Y = f \cdot CPUEost\ esperada$	$-(1/a_1)$	$-(1/a_1) \cdot \exp^{(a_0 - 1)}$

b_0 , a_0 y b_1 , a_1 = parámetros de regresión (ordenada y pendiente, respectivamente), CPUEost = captura por unidad de esfuerzo del recurso ostión, f_i = esfuerzo de pesca en el año i (num. embarcaciones), Y = captura (Kg), f_{OPT} = esfuerzo óptimo, Y_{MAX} = máximo de capturas o rendimiento máximo sostenible (RMS).

De acuerdo con la Figura 2 (página 7), los posibles resultados que se prevén para la evaluación del estado de explotación del recurso extraído son los siguientes:

- 1.- El recurso ostión resultará no sobreexplotado, si toda la variación anual de Y coincide desarrollarse en las áreas grises de ambos tipos de modelos.
- 2.- El recurso ostión resultará sobreexplotado, si toda la variación anual de Y coincide desarrollarse en las áreas blancas de ambos tipos de modelos.
- 3.- Cuando ocurre movilidad de Y entre las áreas gris y blanca, la evaluación final se decidirá con base en la posición en la que el último año se encuentre en una respectiva área.

Para la evaluación del estado de explotación del recurso ostión, se tomó en consideración, que como la captura total mensual estuvo constituida por diferentes especies de interés comercial [tres al menos (páginas 10 y 11)], la evaluación del estado de explotación se realizó a nivel de recurso, ya que el esfuerzo pesquero que se aplica a todas es el mismo.

Debido a que en el año 2010 la extracción se restringió atípicamente por la aplicación de múltiples vedas sanitarias, asociados a la recurrencia de varios eventos de proliferaciones algales tóxica o “mareas rojas”, no se incluyó este año en la estimación del RMS, Y_{MAX} y f_{OPT} .

Con los demás datos, se realizó un análisis residual con el logaritmo natural de los valores anuales de la CPUEost, para identificar valores extremos y excluirlos de los modelos de evaluación (Rodríguez-Castro, 2012), con el uso del software Statistica, ver. 7.0 (StatSoft Inc. 2004).

Con relación al esfuerzo pesquero, el número de embarcaciones es la única unidad de esfuerzo pesquero registrada en los avisos de arribo. El f_{OPT} se interpretará como el número de veces que se utilizaron las embarcaciones, independientemente de cuantos viajes realizó cada embarcación.

7.2.2. Patrón Armónico de Variación de la CPUEost.

Con la CPUEost mensual, se construyó una serie de tiempo y se analizó con el método de descomposición estacional CENSUS 1, incluido en el software Statistica, ver. 7.0 (StatSoft Inc., 2004), para estimar la componente “Patrón Armónico de Variación (PAV)” (*Seasonal factor* en Statistica), que es una transformación matemática de la CPUEost, para generar otra serie de tiempo llamada PAV_CPUEost (Cervantes-Hernández *et al.*, 2016).

El PAV se estima como un índice de estacionalidad (sin unidades), usando el método de medias móviles con ancho de 12 meses y posteriormente se resta la media móvil obtenida en cada mes al valor observado. Finalmente, se obtiene el promedio de las diferencias para cada mes, en modelos aditivos (StatSoft Inc., 2004).

El PAV_CPUEost está compuesto por anomalías cíclicas de igual magnitud (altura del ciclo) y período (ancho del ciclo). Las anomalías pueden ser positivas o negativas, con el valor de cero como punto de cambio. El incremento gradual mensual de la CPUEost se representó con anomalías cíclicas positivas (+) PAV_CPUEost, y el decremento, con anomalías cíclicas

negativas (-) PAV_CPUEost (Cervantes-Hernández *et al.*, 2016). Las escalas asignadas a cada tipo, estuvieron supeditadas por el CENSUS I.

Con el PAV_CPUEost se lograron acotar ciclos con los que se pudo verificar cuándo la CPUEost comenzó a ascender, alcanzó el máximo y finalizó en el área de pesca de interés.

7.3. (B). Información oceanográfica

7.3.1. Variables ambientales

Para documentar las condiciones oceanográficas prevalecientes en el transcurso del PAV_CPUEost, se utilizaron imágenes de satélite mensuales de *Cla* y TSM, con resolución de 9.2 km/píxel, procesamiento completo L₃ y en formato *Hierarchical Data Format*¹. Esta información fue descargada del portal *Ocean Color web* (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

Debido a que el lote de imágenes de satélite utilizadas en este trabajo procede de diferentes sensores, de enero de 1998 a diciembre de 2012 (Anexo II), los valores de la *Cla* y TSM debieron ser estandarizados con:

1.- Algoritmo de escala estándar *SeaWiFS* para *Cla* (Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2017):

$$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} = \left(10^{0.015 \cdot \text{VD}}\right) - 2.0$$

2.- Algoritmo de escala estándar AVHRR “Pathfinder” para la TSM (Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2017):

$$^{\circ}\text{C} = (\text{VD} \cdot 0.15) - 3$$

Donde, VD es el valor digital de los píxeles de una imagen de *Cla* o TSM. Los rangos válidos para la estandarización son: de 0.01 a 64.0 mg·m⁻³ para *Cla* y entre 0 y 35.25 °C para TSM.

Para el área de estudio señalada en la Figura 7, se construyó una imagen de máscara satelital, para delimitar, recortar y presentar el corte mostrado en color gris, que representa al APPE. Se implementó la técnica de Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia (2017), para montar la máscara satelital en las *n* imágenes de *Cla* y TSM respectivamente; y obtener exclusivamente de ahí, los valores promedio mensuales de *Cla* y TSM expresados por unidad de área.

7.3.2. Patrón Armónico de Variación de la TSM y *Cla*

Se implementaron dos series de tiempo, una para la *Cla* y otra para la TSM. Posteriormente, con el CENSUS 1, se extrajo el PAV para ambas series de tiempo, tomando en cuenta lo siguiente:

1.- El incremento mensual de la TSM se representó con anomalías cíclicas positivas, + PAV_TSM (incrementos cálidos); y el decremento, con anomalías cíclicas negativas, - PAV_TSM (decrementos fríos).

¹<http://datamirror.csdb.cn/modis/resource/doc/HDF41r3usr.pdf>

2.- El incremento mensual de la *Cla* se representó con anomalías cíclicas positivas, + PAV_*Cla* (aumentos en la concentración de biomasa fitoplanctónica); y el decremento con anomalías cíclicas negativas, - PAV_*Cla* (disminuciones en la concentración de fitoplancton).

Las escalas asignadas a los tipos de anomalías cíclicas de *Cla* y TSM, estuvieron supeditadas por el CENSUS I. Un resumen de las características técnicas y espectrales de las imágenes aquí utilizadas, está indicado en el Anexo II.

Para el análisis de las variables ambientales se utilizaron los programas de computo WIM/WAM ver. 7.0 (Kahru, 2009) y Statistica, ver. 7.0 (StatSoft Inc. 2004).

7.4. (B). Análisis estadístico

Se realizó un análisis de correlación múltiple entre los PAV CPUEost, *Cla* y TSM. Para este caso, se utilizó el software Statistica, ver. 7.0 (StatSoft Inc. 2004).

7.5. Variación anual de la CPUEost y temporadas de veda.

Para identificar como esta aplicada la veda en la variación anual de la CPUEost, al resultado gráfico de la PAV_CPUEost de cuatro temporadas, se le agregaron cuatro rectángulos verticales, para representar la duración de cada una de las temporadas de veda. Los espacios entre dichos rectángulos representan la duración de las cuatro temporadas de pesca.

8. RESULTADOS

8.1. Consideraciones de los datos históricos de captura (*Y*) y esfuerzo (*f*) del recurso ostión en Puerto Escondido.

Comparando las estadísticas pesqueras obtenidas (IFAI, 1998-2011) con los datos de los avisos de arribo de la S. C. P. P. Reforma Agraria Oaxaca, se obtuvo que sus capturas anuales varían del 33 hasta el 100 % de lo registrado para la zona de Puerto Escondido (Figura 11).

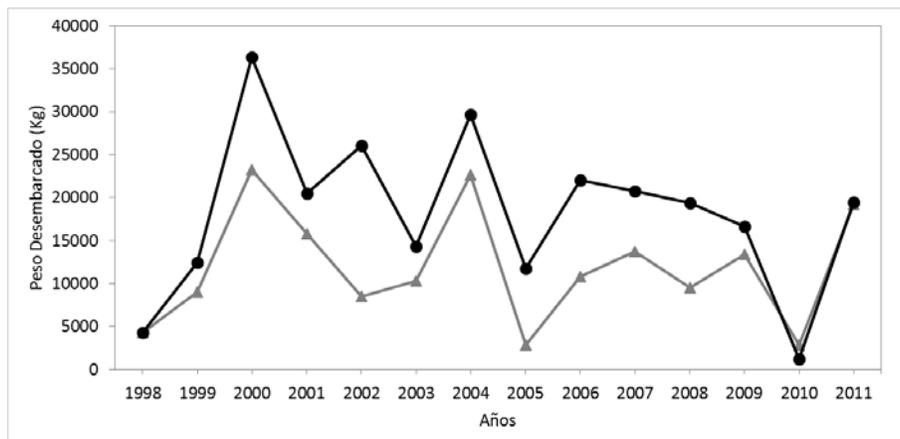


Figura 11. Comparación histórica (1998-2011) del peso desembarcado de ostión en Puerto Escondido a partir de datos de la S. C. P. P. Reforma Agraria (línea gris) y de la CONAPESCA (IFAI) (línea negra).

Para ese periodo, la producción acumulada de ostión en peso desembarcado en Puerto Escondido fue de 255,296 Kg de los cuales la S. C. P. Reforma Agraria Oaxaca aportó 166,078 Kg, 65.1 %, casi dos terceras partes $2/3= 66 \%$. Los valores promedio fueron $18,331.8 \pm 9,079.5$ Kg para el concentrado de la CONAPESCA y $11,862.7 \pm 6,618.4$ Kg, para la S. C. P. Reforma Agraria Oaxaca, sin diferencias significativas ($t_{[28 g. l.]} = 0.047$; $P > 0.05$).

8.2. (A). Información poblacional.

8.2.1. Descripción de la captura y esfuerzo históricos.

En las distintas temporadas de pesca, Y tuvo periodos de oscilación que muestran incrementos y decrementos de diferente duración: 1998-2002, 2002-2005, 2005-2010 y 2010-2012. Al inicio de las temporadas de pesca, Y va al alza hasta alcanzar un máximo y posteriormente descendiendo hasta el inicio del siguiente periodo de pesca, donde nuevamente aumenta. Entre 2005-2010 la diferencia no es tan marcada como en los otros periodos. La captura promedio del periodo analizado (1998-2012), fue de 12,167.7 Kg por año $\pm 6,466.1$. Los valores máximos se obtuvieron en 2000, 2004 y 2011 con 23,275; 22,612 y 19,235 Kg por año respectivamente, los mínimos en 1998, 2005 y 2010 con 4,290; 2,810 y 2,870 Kg por año. En los demás años (1999, 2001-2003, 2006-2009 y 2012) varió entre 9,016 y 16,436 Kg por año (Figura 12; Tabla VI, Anexo III).

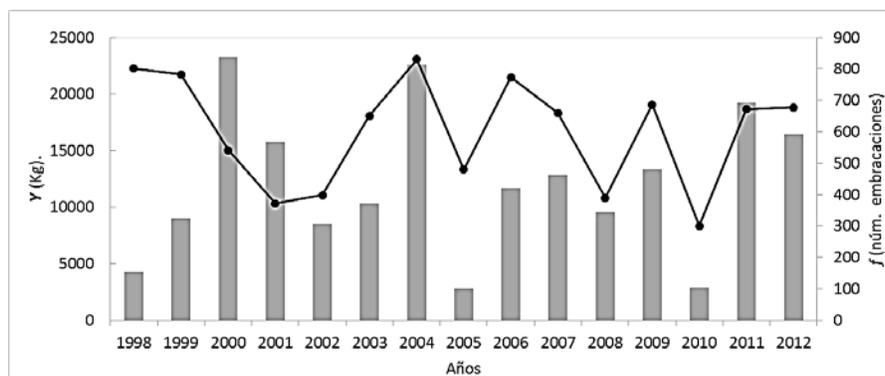


Figura 12. Captura del recurso ostión (Y , barras grises) y esfuerzo (f , línea negra) por año de la S. C. P. Reforma Agraria Oaxaca, de 1998 al 2012.

Para f se aprecian dos periodos, de 1998 a 2004 donde es claro un descenso a partir de 1998 hasta el 2001 y un aumento a valores altos en 2004; y otro de 2004 a 2012 en donde no existe una tendencia tan marcada como la anterior. El promedio anual de los viajes realizados por las embarcaciones fue de 601.3 ± 174.61 . Los máximos ocurrieron en 1998, 1999, 2004 y 2006 (con: 801, 783, 831 y 776 embarcaciones); los mínimos en 2001, 2002, 2008 y 2010 (con: 372, 399, 390 y 300 embarcaciones). En los demás años (2000, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011 y 2012) varió entre 480 y 687 (Figura 12).

8.2.2. Evaluación pesquera del recurso ostión.

Con el análisis de residuales se detectó un valor bajo extremo atípico para 2005, que por lo que se omitió de la evaluación. Por otro parte, el año 2010 tuvo vedas sanitarias, asociadas a eventos de “mareas rojas”, por lo que tampoco se consideró. Los resultados se describen a continuación.

Considerando la variabilidad anual de Y con respecto a f , el modelo de Schaefer (Figura 13) explicó el 32 % de la variación de Y a partir de f , estimó un f_{opt} de 612 embarcaciones y Y_{MAX} de 14,539.6 Kg, con un ajuste y correlación baja, pero significativa ($r^2 = 0.3187$, $r = 0.5645$; $P = 0.041$). De acuerdo con este modelo, hubo gran variación alrededor del f_{opt} observado; entre 1998-1999, 2003-2007 y 2009-2012, cuando f se mantuvo por arriba de 612 embarcaciones, y en 2000-2002 y 2008 por debajo. Por la movilidad de Y entre las áreas teóricas acotadas, correspondió determinar el estado de explotación con base en la posición final del año 2012. El recurso ostión resultó sobre-explotado hasta el 2012. En 13 de los 15 años analizados este recurso estuvo sometido a sobre-explotación, excepto en 2002 y 2008.

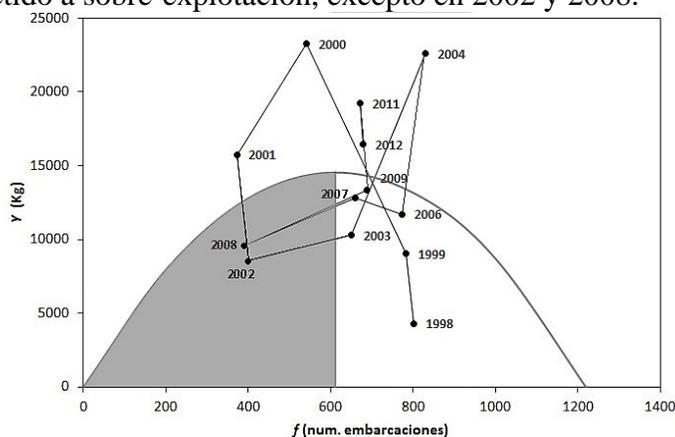


Figura 13. Fluctuación histórica de la captura del recurso ostión (Y) y del esfuerzo de pesca (f) en relación con el ajuste del modelo de Schaefer (línea gris), de enero 1998 a diciembre 2012. El área gris de la izquierda es la zona donde el recurso se considera no sobre explotado. No se consideran: 2005- Atípico y 2010- Vedas sanitarias

El modelo de Fox (Figura 14) estimó un f_{opt} de 516 embarcaciones y Y_{MAX} de 13,165.1 Kg que explica 1 % más de la variación de Y a partir de f , con un ajuste y correlación aún baja pero significativa ($r^2 = 0.3285$, $r = 0.5731$; $P = 0.044$) en comparación al modelo de Schaefer. Igualmente, hubo gran variación alrededor del f_{opt} observado. Entre 1998-2000, 2003-2007 y 2009-2012 se mantuvo por arriba de 516 embarcaciones y en 2001-2002 y 2008 por debajo. Se observó variación de Y entre las áreas teóricas acotadas, correspondiendo entonces esta evaluación a decidir el estado de explotación con base en la posición del año 2012.

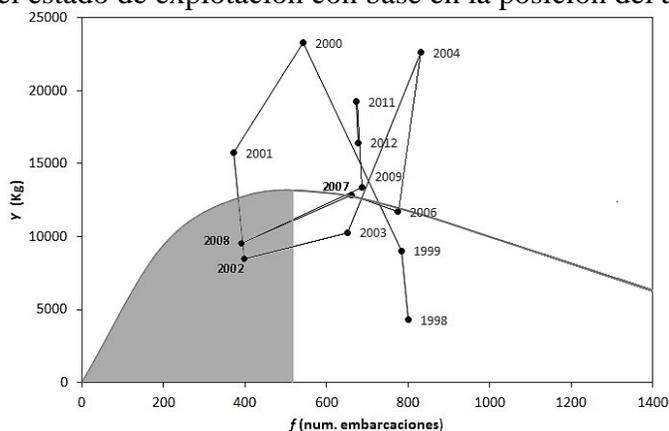


Figura 14. Fluctuación histórica de la captura del recurso ostión (Y) y del esfuerzo de pesca (f) en relación con el ajuste del modelo de Fox (línea gris), de enero 1998 a diciembre 2012. El área gris de la izquierda es la zona donde el recurso se considera no sobre explotado. No se consideran: 2005- Atípico y 2010- Vedas sanitarias

El recurso ostión resultó sobre-explotado hasta el 2012. En 13 de los 15 años analizados el recurso ostión estuvo sometido a sobre-explotación, excepto en 2002 y 2008.

Ambos modelos explicaron el 33 % del estado de explotación del recurso ostión (Figura 13 y Figura 14).

8.2.3. Patrón armónico de variación de la CPUEost.

La gráfica de la serie de tiempo original de la CPUEost, se muestran en las Figura 15.

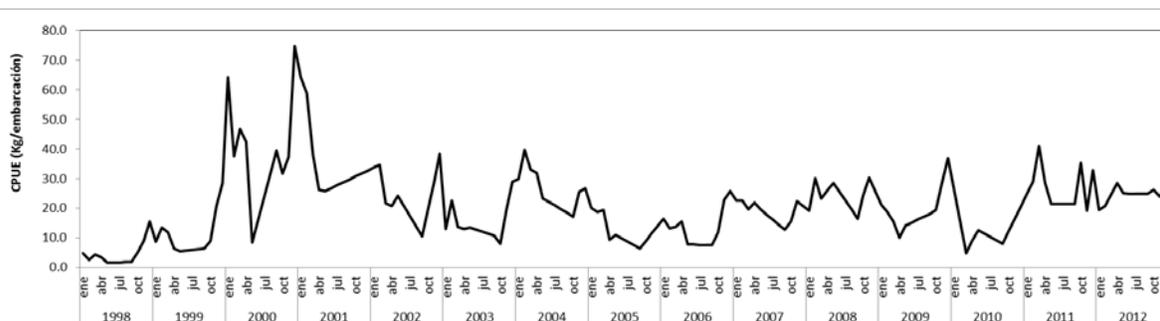


Figura 15. Variación mensual de la CPUEost de enero de 1998 a diciembre de 2012.

La gráfica del PAV_CPUE se muestra en la figura 16. Los valores del PAV_CPUEost, se muestran en el Anexo IV (Tabla VII).

El intervalo estimado de anomalías cíclicas positivas del PAV_CPUEost fue de 2.31 a 9.47 y el de anomalías cíclicas negativas de -0.52 a -5.41 . Las anomalías cíclicas negativas de la CPUEost decrecen a partir de abril (a 28.41 °C TSM y 1.02 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de Cla), alcanzando la CPUEost más baja en septiembre (a 29.95 °C TSM y 0.55 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de Cla) y posteriormente aumentan hasta octubre/noviembre (a 29.23 °C TSM y 0.62 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de Cla). La CPUEost aumentó a partir de octubre/noviembre (a 29.23 °C TSM y 0.62 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de Cla) hasta abril (28.41 °C TSM y 1.02 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de Cla), con la señal de anomalía cíclica positiva más alta en diciembre (28.24 °C TSM y 1.19 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de Cla) (Figura 16).

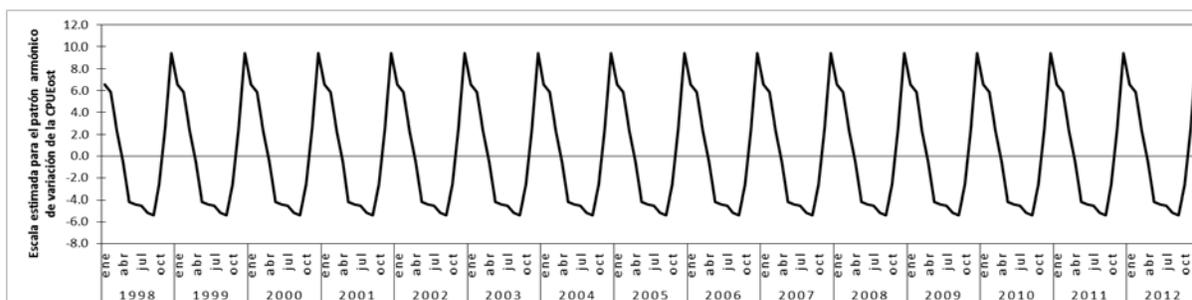


Figura 16. Variación mensual del PAV_CPUEost en la APPE de enero de 1998 a diciembre de 2012.

8.3. Información oceanográfica

Las gráficas de las series de tiempo originales de la Cla y TSM se muestran en las Figura 15, Figura 17 y Figura 18, respectivamente.

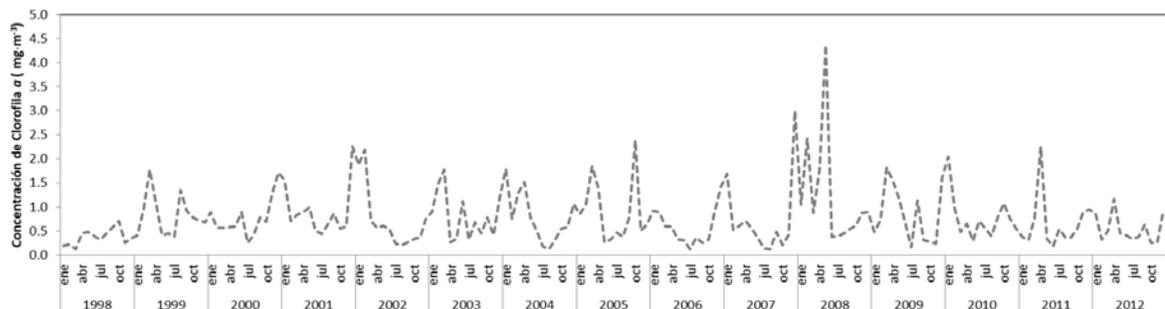


Figura 17. Variación mensual de la Cia de enero de 1998 a diciembre de 2012.

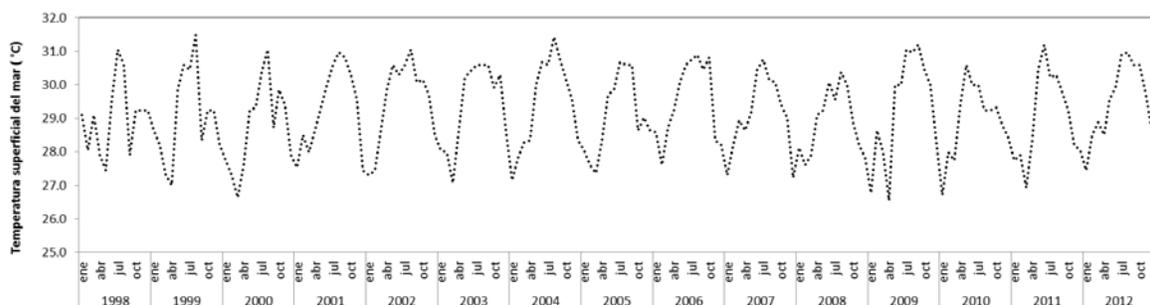


Figura 18. Variación mensual de la TSM de enero de 1998 a diciembre de 2012.

Las gráficas del PAV_Cla y PAV_TSM se muestran en las figuras 19 y 20 respectivamente. Los valores del PAV_Cla y PAV_TSM se muestran en el Anexo IV (Tabla VII).

8.3.1. Patrón armónico de variación de Cia.

El intervalo estimado de anomalías cíclicas positivas del PAV_Cla, fue de 0.03 a 0.42 y el de anomalías cíclicas negativas de -0.09 a -0.45 . Las anomalías cíclicas negativas de la Cia consistentemente disminuyeron a partir de mayo/junio, alcanzando la señal más baja en julio para posteriormente aumentar hasta noviembre/diciembre. La Cia aumentó de noviembre/diciembre hasta mayo, con la señal de anomalía cíclica positiva más alta en diciembre, y un repunte menor que inicia desde febrero y perdura hasta abril (Figura 19).

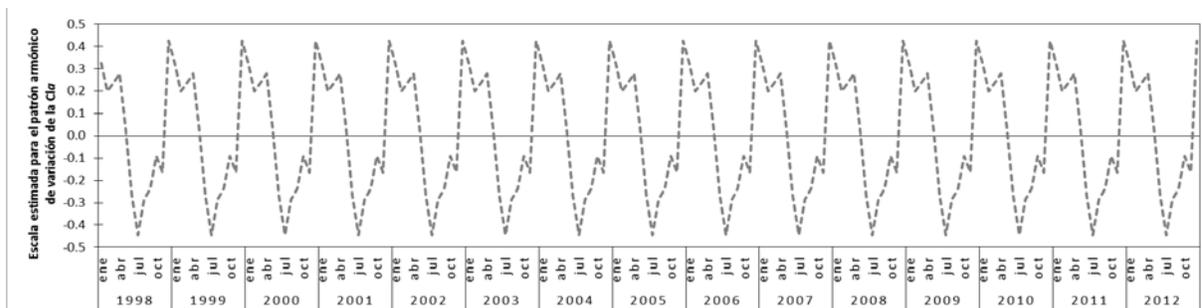


Figura 19. Variación mensual del PAV_Cla en la APPE de enero de 1998 a diciembre de 2012.

8.3.2. Patrón armónico de variación de TSM

El intervalo estimado de anomalías cíclicas positivas del PAV_TSM fue de 0.01 a 1.53 y el de anomalías cíclicas negativas de -0.75 a -1.53 . Las anomalías cíclicas negativas de la TSM disminuyeron a partir de noviembre/diciembre, alcanzando la señal más baja en enero y posteriormente aumentaron hasta abril/mayo. Las anomalías cíclicas positivas de la TSM aumentaron a partir de abril/mayo hasta noviembre/diciembre, con la señal de anomalía cíclica positiva más alta en agosto (Figura 20).

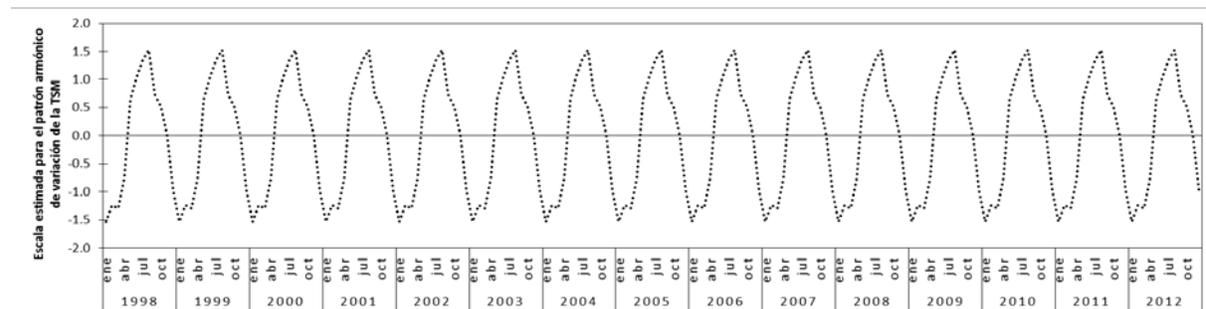


Figura 20. Variación mensual del PAV_TSM en la APPE de enero de 1998 a diciembre de 2012.

8.4. (B). Análisis estadístico

8.4.1. Análisis de correlación múltiple de los PAV.

Los resultados de la correlación múltiple entre los PAV se indican en la Tabla IV. En las figuras Figura 21 y Figura 22 se muestran las tendencias de oscilación de un acercamiento de cuatro años consecutivos de la PAV_CPUEost junto con la PAV_Cla y la PAV_TSM, respectivas.

Tabla IV. Valores de los coeficientes de correlación (r) entre los PAV ($\alpha = 0.05$, $n = 36$ meses).

	PAV_CPUEost	PAV_Cla	PAV_TSM
PAV_CPUEost	1		
PAV_Cla	0.814, $P = 0.00128$	1	
PAV_TSM	-0.874, $P = 0.00019$	-0.913, $P = 0.00003$	1

La correlación entre el PAV_CPUEost y el PAV_Cla fue alta y directamente proporcional (81.4 %) y muy significativa ($P = 0.0013$); mientras que entre el PAV_CPUEost y el PAV_TSM la correlación fue aún más alta e inversamente proporcional (-87.4%) y altamente significativa ($P = 0.0002$). Entre el PAV_TSM y el PAV_Cla la correlación fue muy intensa e inversamente proporcional (-91.3%) y altamente significativa ($P < 0.0001$).

Los valores significativos de r descritos en la Tabla IV se pueden describir gráficamente y con mayor detalle en las Figuras 21 y 22, de las que se observa que:

- De octubre/noviembre a abril/mayo el recurrente pico máximo de la CPUEost estuvo sincronizado con las altas concentraciones de Cla y los bajos valores de TSM.
- De abril/mayo a octubre/noviembre el recurrente pico mínimo de la CPUEost estuvo sincronizado con concentraciones bajas de Cla y valores altos de TSM.

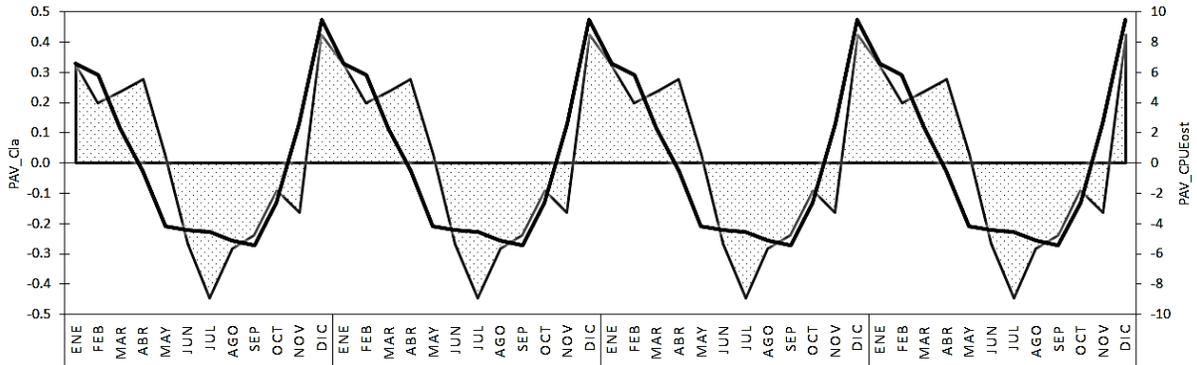


Figura 21. PAV_CPUEost (línea negra) con el PAV_Cla (área punteada), de enero de 1998 a diciembre 2012.

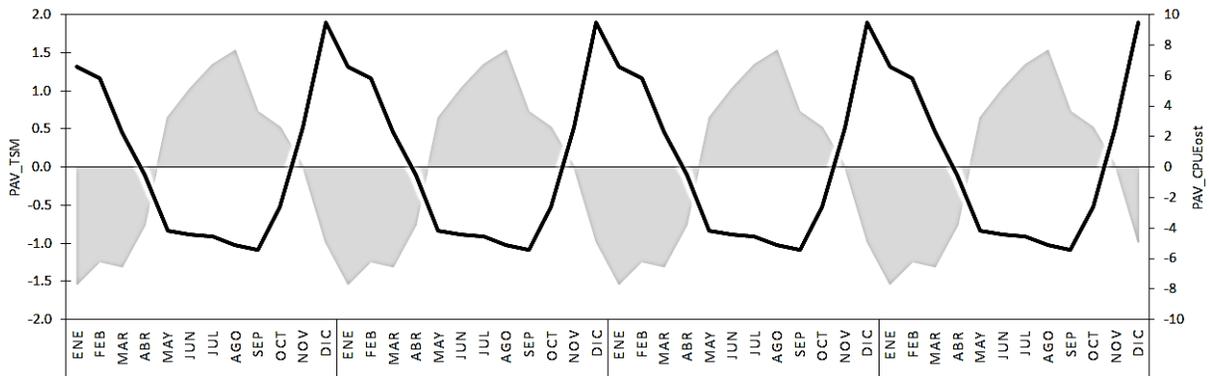


Figura 22. PAV_CPUEost (línea negra) con el PAV_TSM (área gris), de enero 1998 a diciembre de 2012.

8.5. Variación anual de la CPUEost y temporadas de veda.

En la Figura 23 se muestra una sección del PAV_CPUEost donde se señalan los meses de la temporada de veda de ostión (de junio a agosto, de cada año) en el APPE, dentro del rectángulo vertical, que fue el mismo para todas las temporadas de pesca entre 1998 a 2012.

Las temporadas de pesca (de septiembre a mayo) coinciden con los máximos del PAV_CPUEost.

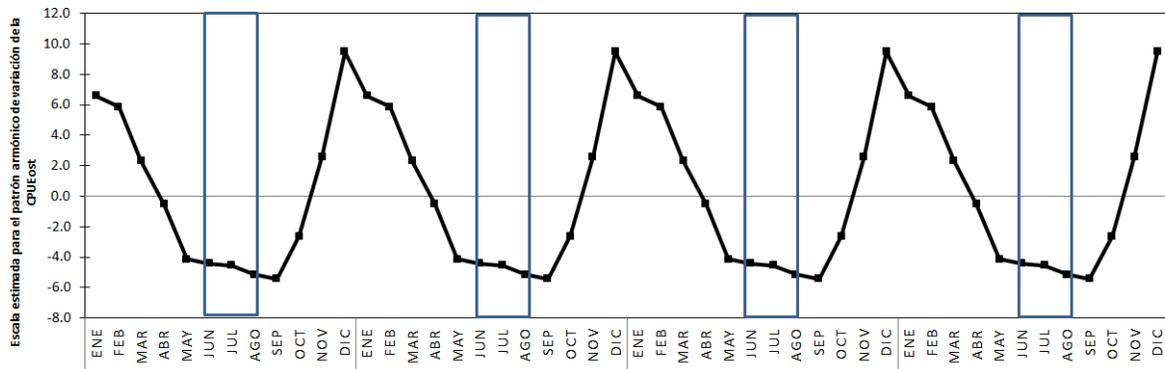


Figura 23. Sección del PAV_CPUEost, periodo 1998-2012, con las temporadas de veda (rectángulos), el espacio entre los rectángulos corresponde a las temporadas de pesca.

9. DISCUSIÓN

9.1. (A). Información poblacional

9.1.1. Evaluación de la pesquería del recurso ostión.

Variabilidad de Y y f

Con los datos disponibles de Y y f (para el área de estudio) y con los modelos holísticos de Schaefer y Fox, del recurso ostión, se obtuvieron estimaciones confiables de Y_{MAX} y f_{opt} .

La gran variación anual de Y y f no permitió caracterizar una tendencia en temporadas de pesca, como periodos amplios con bajo esfuerzo y altas capturas o viceversa. Se identifican años con valores f similares, pero con Y muy diferentes, por ejemplo, en 1998 con una f de 801 embarcaciones, se obtuvo una Y de 4,290 Kg y para 2004 con una f de 831 embarcaciones se alcanza una Y de 22,612 Kg. O sucede lo contrario, niveles Y similares con f disimiles: en 2003 y 2008, los niveles de Y fueron cercanos, 10,285 Kg y 9,557 Kg, con valores de f de 390 y 651 embarcaciones, respectivamente.

En relación con las variaciones de abundancia, Gosling (2003), establece que en una población que se extrae a nivel bajo, las pérdidas debidas a la mortalidad se equilibran con las ganancias obtenidas mediante el reclutamiento, y la abundancia de la población fluctúa en torno a un nivel medio. Pero en una situación de sobreexplotación, el número de adultos puede reducirse a un nivel en el que la reproducción no puede reemplazar los números perdidos (sobrepesca de reclutamiento), o un gran número de individuos puede ser capturado en un tamaño demasiado pequeño para maximizar el rendimiento (sobrepesca de crecimiento).

Ninguna de estas situaciones se ha analizado y probado en la pesquería en el APPE, por lo que es necesario generar estimaciones confiables de la mortalidad natural para conocer el impacto que tiene en la variación de las capturas. El único antecedente identificado en este sentido es el de Melchor-Aragón *et al.* (2002), quienes estimaron la mortalidad natural de *C. iridiscens*, de manera estacional en Mazatlán y San Ignacio, Sinaloa y reconocieron la necesidad de estudiarla en series de tiempo más largas, para analizarla de manera interanual, ya que detectaron incluso diferencias intra anuales, y además señalan que la mortalidad natural es el componente con mayor efecto sobre el recurso en poblaciones silvestres.

Otra causa de la variación anual, puede ser la forma artesanal de explotación de bancos ostrícolas ya que se ha documentado que los pescadores frecuentemente concentran sus esfuerzos en zonas o lugares de pesca con altas densidades y lo explotan hasta un nivel que ya nos les reditúa y entonces se mueven a otra zona (Gosling, 2003). Por lo que la CPUE puede permanecer alta durante un periodo y después disminuir hasta que se mueven a otra zona de pesca, lo cual se refleja en una recuperación de la CPUE. Esta forma de extracción ocasiona que subsecuentemente se extraigan ostiones de tallas cada vez menores al tener un limitado número de zonas de pesca. Esto es fácil de corroborar en los puntos de venta del producto en la zona.

Sin embargo, esta forma de extracción posiblemente ha permitido que se recuperen los bancos ostrícolas, ya que existen estudios con especies de bivalvos donde reportan la existencia de procesos denso-dependientes que afectan el crecimiento, reclutamiento y mortalidad natural.

Altas densidades de adultos pueden resultar en tasas de reclutamiento extremadamente bajas (larvas fijadoras pueden ser filtradas pasivamente por los adultos), mientras densidades moderadas del stock reproductor puede maximizar el reclutamiento (Vânia *et al.*, 2014).

Esfuerzo pesquero utilizado y resultado de la evaluación pesquera.

El número de embarcaciones se consideró como la unidad más confiable de f de acuerdo con Altran y Loesch (1995) y Morales-Bojórquez *et al.* (2001), quienes señalan, presenta menor variabilidad que el número de viajes o número de días de viaje.

La discusión acerca de cuál es la unidad de esfuerzo pesquero más recomendada para desarrollar tanto los modelos holísticos como las versiones dinámicas aún persiste (Días de León-Corral, 1993; Polacheck *et al.*, 1993; Morales-Bojórquez *et al.*, 2001; Maunder, 2003; Chien-Hsiung, 2004; Flores-Gómez, 2005). En el caso de las pesquerías de camarón, las unidades de esfuerzo pesquero más comúnmente registradas son el número de barcos, número de viajes y el número de días de viaje, pero Morales-Bojórquez *et al.* (2001), señalan que las dos últimas tienen como principal desventaja la alta variabilidad en la duración del viaje. Un viaje puede variar entre 3 y 20 días, de acuerdo con la reducción del rendimiento durante la temporada de pesca. Cuando se usa el número de días de viaje, el problema es que 20 días de viaje no son necesariamente 20 días de pesca (Altran y Loesch, 1995). En pesquerías artesanales la duración de los viajes varía entre 3 a 5 días y en algunos casos es solo un día.

En este estudio no se comparó con otras unidades de esfuerzo pesquero (p. ej. tiempo de pesca), porque esta información no se encontró disponible para los años analizados. No obstante, para el caso de bivalvos, otros tipos de unidades de f están reportados por López-Rocha *et al.* (2010), como el número de inmersiones por pescador, el tiempo de buceo por pescador y los kilogramos extraídos por m^2 .

Para no establecer una discusión extensa sobre los efectos del tipo de esfuerzo en el resultado de la evaluación del estado de explotación del recurso ostión, se evitó, usando el número de embarcaciones para las comparaciones entre las Y_{MAX} y f_{opt} generadas con los dos tipos de modelos holísticos. Lo anterior, está sustentado con los resultados estadísticos de ajuste entre la variación anual de $Y-f$ (para el modelo de Schaefer: $r^2 = 0.3187$, $r = 0.5645$, $P = 0.041$ y para el modelo de Fox, $r^2 = 0.3285$, $r = 0.5731$, $P = 0.044$). Debido a lo anterior se concluye que el resultado de la evaluación es el mismo con ambos tipos de modelos, corroborado con la prueba de diferencias de coeficientes de correlación, $r's$ ($P = 0.9741$).

El recurso ostión estuvo sobreexplotado de enero de 1998 a diciembre de 2012, y alcanzó el RMS desde el año 2000 con > 500 embarcaciones y permaneció sobre explotado hasta el año 2012; según Schaefer con un f de 612 y Fox de 516. Los resultados sugieren que mantener el $f > 500$ embarcaciones no sería adecuado, y lo más recomendable sería considerar un 15 % menos al valor de la f_{opt} menor obtenida (77 embarcaciones menos), medida propuesta para pesquerías al límite de la sustentabilidad (Carta Nacional Pesquera, 2006; Cervantes-Hernández *et al.*, 2018). Así, para reducir el estado de explotación (sobre-explotación) sería recomendable mantener un nivel de f de 439 embarcaciones. Para las perspectivas de manejo, se recomienda considerar la oscilación cíclica expuesta en la Figura 14 (página 29).

Se ha mencionado que, para desarrollar el modelo de Schaefer en cualquier versión, es necesario cumplir con el supuesto de que la pesquería se encuentre en equilibrio o no (Schnute, 1997; Hilborn y Walter, 1992; Terrence y Deriso, 1999). Considerando la aparente violación de dichos supuestos y su simplicidad, Maunder (2003) mencionó que el modelo de Schaefer debería ser descartado como herramienta de evaluación pesquera. Sin embargo, Williams y Prager (2002), replantearon los supuestos del modelo e indicaron que las diferentes versiones han considerado conjuntamente el estado de equilibrio y no equilibrio; por lo que no es necesario confirmar estos supuestos antes de su aplicación. Chien-Hsiung (2004), confirmó lo anterior e indicó que el modelo es una de las herramientas más poderosas en el análisis y manejo de las pesquerías, pero es sensible a la unidad de esfuerzo pesquero que se utilice, ya sea estandarizada o no.

Independientemente de cual sea el estado de equilibrio en que podría encontrarse la pesquería del recurso ostión en Puerto Escondido, no se consideró usar un modelo dinámico en este trabajo, ya que la *Y* estuvo integrada por diferentes especies de ostión. Por lo cual, resulta ilógico asignar al total de éstas, un valor único de los coeficientes asociados a un modelo dinámico: tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r), la capacidad de carga del sistema (K), capturabilidad (q) y Biomasa inicial (B_0).

Concluyentemente, aunque sobreexplotado, el recurso ostión, aún está lejos de colapsar. Esto hace evidente la necesidad de establecer con prontitud medidas adecuadas para reducir el impacto de la extracción artesanal, sobre el potencial reproductivo de las especies constituyentes del recurso. Hasta ahora, no hay evidencias de que la *Y* del recurso ostión, sea mayor a 10,000 Kg anuales desde 2012 (máximo tiempo de análisis, considerado en este estudio).

Entre las medias que se tomen están identificar el ciclo reproductivo de las especies, la disminución de las cuotas de captura y establecer una talla mínima de captura, con la finalidad de que los ostiones alcancen un tamaño más comercial y se reproduzcan al menos una vez antes de su extracción (Vânia *et al.*, 2014).

Comparación con otras evaluaciones en el Golfo de Tehuantepec

Evaluaciones holísticas con los modelos de Schaefer y Fox, como la aquí realizada con el recurso ostión, están documentadas para otros recursos del Golfo de Tehuantepec. Chávez y Arreguín-Sánchez (1982), realizaron una evaluación de la pesquería de camarón de 1949 a 1981. Igual es el caso de Cervantes-Hernández *et al.* (2006), quienes realizaron la evaluación del recurso camarón de alta mar (*L. vannamei* y *F. californiensis*) durante el periodo 1960-2002.

Para la pesquería de ostión en la región no se conocen otras estimaciones, con las que se puedan contrastar los resultados obtenidos, de tal manera que la estimación de los parámetros f_{OPT} y Y_{MAX} , pueden considerarse como puntos de referencia en análisis futuros por especie y como un punto de partida para las propuestas de un manejo sustentable, con aprovechamiento mejor administrado de este recurso.

Un aspecto importante, a considerar para el caso del recurso ostión en Puerto Escondido, es la falta de un registro adecuado por especie, así como del f empleado para cada una de ellas. Con base en lo anterior, no sería necesario suponer que todas las poblaciones de ostión tienen el

mismo nivel de sobre explotación. Gracia y Vázquez-Bader (1999) señalaron que el esfuerzo de pesca artesanal es uno de los principales factores que afecta a la pesquería de camarón, que causa un incremento de la sobrepesca de reclutamiento, y que la falta de registros adecuados no permitió evaluar correctamente su magnitud.

Así, los resultados para el manejo serían más efectivos que tan solo considerarlos como resultados indicativos poblacionales, como en el presente trabajo. La realidad, es que todas las poblaciones de ostión aquí consideradas como un único recurso, soportan una mortalidad acumulada mayor a la que los modelos holísticos suponen, precisamente al no tener un registro por especie y a que generalmente no se reporta la Y real en los avisos de arribo.

Efecto de las vedas sanitarias.

Igualmente, un aspecto que no se debe pasar por alto, es el hecho de que los ostiones, y otros bivalvos, con poblaciones bentónicas sésiles, por su tipo de alimentación (filtroalimentadores), son el principal vector intoxicaciones producidas por eventos de proliferaciones algales nocivas (PAN), conocidas popularmente como “mareas rojas”. Aunque pueden ser de cualquier otro color, y el nombre más bien hace referencia a la atención y cuidado relacionado con evitar la intoxicación por la ingesta de mariscos con toxinas que los bivalvos bioacumulan en sus tejidos (por lo que se reconocen como organismos “centinela”). En la evaluación de la pesquería, esta situación se refleja como una disminución del nivel del esfuerzo pesquero, debido al establecimiento de vedas sanitarias, para evitar los riesgos de intoxicación en la población humana, una vez que se identificó su presencia, ocasionando pérdidas económicas a los pescadores, quienes no deben extraer el recurso, por el riesgo de intoxicación que representa.

En las temporadas de pesca incluidas dentro de este estudio, se identificó esta situación en el año 2010, que fue uno de los años en que se aplicó menor esfuerzo, Alonso-Rodríguez *et al.* (2015), monitorearon al dinoflagelado *Pyrodinium bahamense* y sus saxitoxinas en *S. prismatica* capturado en los bancos naturales de mayor extracción en Santiago Astata y Puerto Escondido, Oax. En el periodo septiembre de 2009 a junio de 2010, encontraron gran abundancia en Santiago Astata en diciembre, febrero, abril y junio y en Puerto Escondido en abril y junio. Los niveles de saxitoxina paralizantes fueron superiores al límite permisible para consumo humano (de 80 $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}$ de carne de molusco), en Santiago Astata de noviembre a febrero y junio; en Puerto Escondido en diciembre y junio. Concluyen que los niveles de saxitoxinas representaron un riesgo para la salud pública en la zona de estudio.

En el año 2005 se presentó un nivel de f similar al 2010, sin embargo, no se encontró registro de vedas sanitarias en el área de estudio, emitidas por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFREPIS), como sucedió en 2010.

9.1.2. Patrón armónico de variación de la CPUEost

El cambio en el tamaño o densidad de la población bentónica por unidad de tiempo en bivalvos se da en función de la natalidad y la mortalidad, ya que la inmigración y emigración es mínima o inexistente en la población de adultos y puede ignorarse (Dame, 2011).

La reproducción de moluscos bivalvos en su medio natural puede ser anual, semi anual o continua y está regulada por factores endógenos (fisiológicos: crecimiento y desarrollo gonadal), que a su vez dependen de factores exógenos (ambientales), que se sincronizan, como las mareas, oleaje, fotoperiodo, disponibilidad de alimento y temperatura (Rodríguez-Jaramillo, 2004). El estudio del ciclo de vida de los ostiones es complicado, ya que las etapas larvarias son microscópicas (100-250 μm), y de vida libre, lo que dificulta su análisis en su hábitat natural, limitando el entendimiento de su biología poblacional. El conocimiento general sobre esa etapa es derivado de estudios de laboratorio ya que observaciones y experimentos en campo son limitados y a menudo se basan en conjeturas para llenar grandes vacíos (Shumway y Kraeuter, 2000).

Una hembra adulta de ostión puede producir millones de huevos al año y típicamente alcanzan la madurez reproductiva en el primer año de vida. Se consideran como especies con ciclo de vida relativamente corto (Vânia *et al.*, 2014). En los ostiones del género *Crassostrea* y *Saccostrea*, los óvulos y espermias son liberados directamente de los conductos genitales hacia la columna de agua, donde tiene lugar la fertilización. En los ostiones del género *Ostrea* la fertilización de los óvulos se da en la región inhalante del manto de las hembras (Gosling, 2003).

Los datos de mayor interés para los biólogos administradores de pesquerías son el momento del desove, el tamaño/edad de madurez sexual y el reclutamiento a la pesquería (Gosling, 2003).

En Puerto Escondido la principal especie de ostión explotada es *S. prismatica* de la que se conocen diferencias entre la duración de las distintas etapas del ciclo gametogénico en diferentes localidades (Tabla VIII del Anexo V). La información referida coincide en los periodos de desove, con un máximo pico de actividad en agosto y septiembre, lo que indica que la especie tiene al menos un ciclo reproductivo anual.

Después de los desoves (parciales desde junio, totales a partir de agosto) y una vez que se fertilizan los óvulos, el desarrollo ontogénico de los bivalvos pasa por una serie consecutiva de etapas larvales pelágicas (trocófora, veliger y pediveliger) que termina en la metamorfosis, cuando inicia el asentamiento (postlarva) y reclutamiento bentónico, en un sustrato apropiado (Lucas, 2012).

Con relación al reclutamiento en bivalvos (asentamiento), éste se considera como una proporción de los ostiones ya fijos al sustrato que han sobrevivido hasta una talla específica, con el potencial de contribuir a la población adulta (Knox, 2001). Para *S. prismatica* Loor-Mera (2012), determinó en estudios de laboratorio que el asentamiento ocurre en aproximadamente 35 días, a 28 °C y con tallas de 563 μm . En recolectas de campo en Acapulgo, Gro., se han identificado organismos bentónicos con tallas mínimas de 22.9 mm (Castro-Mondragón *et al.*, 2016) y para *S. prismatica* en Nayarit, de 49 mm (Liévano-Méndez, 2008). El tiempo que transcurre entre el asentamiento y la talla de reclutamiento a la población adulta, sexualmente reproductiva o pesquera no ha sido reportado. Aunque para *S. prismática* Hernández-Covarrubias, *et al.* (2013), determinaron que la talla media de maduración sexual es de 9 cm.

Con base en los estimación de crecimiento reportados para Mazatlán y San Ignacio, Sinaloa por Melchor-Aragón *et al.* (2002), se estima que *S. prismatica* ostiones alcanza la talla de 9 cm en

9 y 12 meses, con reclutamiento a la población bentónica alrededor de 6 mm. Si bien, no se ha reportado el momento del reclutamiento, los nuevos juveniles bentónicos posiblemente alcanzan la talla media de maduración en un año y pueden participar en el desove del próximo año.

De lo anterior se puede inferir, que después del desove masivo en agosto, se presenta un incremento de la abundancia de ostiones de talla comercial (9-10 cm) a partir de diciembre-enero del año siguiente. Los tiempos estimados para alcanzar la talla comercial, con el modelo de Melchor-Aragón *et al.* (2002), y los momentos de desove reportados para *S. prismatica*, son consistentes con los resultados del patrón armónico de variación de la CPUEost aquí obtenido (Figura 16).

No solo *S. prismatica* es extraída comercialmente en el área de estudio, sino al menos los ostiones *C. mexicana* y *C. corteziensis*. No se encontraron registros de la proporción de la captura, y se sabe que *S. prismática* es la principal, solo a partir de lo expresado por los pescadores. De *C. mexicana*, no se encontraron referencias de estudios de ciclo gonádico, tallas de madurez o estimaciones de crecimiento.

C. corteziensis está descrita como especie preferentemente de lagunas costeras con desoves en los meses de mayo-abril y julio, con hábitat y periodo de reproducción diferentes al de *S. prismatica* (Cuevas-Guevara y Martínez-Guerrero, 1978; Frías-Espiricueta *et al.*, 1997), pero que tolera condiciones de salinidad marinas y debido a la dispersión de sus larvas, es posible extraerla en la zona litoral rocosa. Experimentos en cultivo señalan que alcanza una longitud de 63 mm en 2 años en Sonora (Chávez-Villaba *et al.*, 2008), y en Puerto Ángel, Oaxaca de 36.4 mm en 5 meses (Serrano-Guzmán, 2017).

Reconocer la captura por especie es indispensable para determinar si su extracción es similar al patrón estacional de abundancia estimado, o difiere.

9.2. (B). Información oceanográfica

9.2.1. Patrón armónico de variación de la Cla y TSM.

El área de estudio está dentro de la zona de influencia de los eventos de Nortes o Tehuanos que se presentan en el Golfo de Tehuantepec, si bien no en los límites geográficos terrestres.

La variabilidad estacional de Cla y TSM en el Golfo de Tehuantepec, influida por los vientos tehuanos, determinan los cambios en la producción biológica causada por condiciones de surgencia en la costa y mezcla vertical de la columna de agua mar adentro, donde las velocidades del viento son altas y también en las regiones adyacentes (Barton *et al.*, 1993). El intenso corte vertical donde la termoclina es muy somera (50 m), produce el afloramiento de las aguas subsuperficiales y su mezcla con las aguas superficiales (Arias-Arechiga, 2005).

Se ha observado una diferencia importante en la concentración de Cla entre las épocas de verano (sin Tehuanos) y las de invierno (con Tehuanos), siendo más estables las variaciones durante los veranos, mientras que en los inviernos éstas son de mayor intensidad y magnitud (Lluch-Cota *et al.*, 1997).

Estas condiciones se han estudiado en el Pacífico Mexicano a través del uso de imágenes satelitales, que han descrito la dinámica oceanográfica en la zona (Barton *et al.*, 1993; Lluich-Cota *et al.*, 1997; Aguirre-Gómez, 2002; González-Silvera *et al.*, 2004; Gallegos-García *et al.*, 2004; Frías-Velazco, 2004; Salas-de León y Monreal-Gómez, 2005; López-Calderón *et al.*, 2006; Aguirre-Gómez y Salmerón-García, 2007; CONAPESCA, 2010; Pérez-Sampablo y Aguirre-Gómez, 2012; González-Tejadilla, 2018). En el presente estudio fue posible obtener imágenes compuestas de promedios mensuales (año tipo) de *Cla* y TSM del periodo 1998-2012, a partir de las imágenes satelitales procesadas, con los procedimientos descritos por Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia (2017) que se muestran en el Anexo VI (Figura 27 y Figura 28) e ilustran la variabilidad espacial y temporal de los datos registrados, en un corte que incluye la APPE.

Con el PAV_*Cla* se identificó otro aumento de *Cla* después del máximo en diciembre ($1.20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) que inicia a partir de marzo ($0.97 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) y alcanza su tope en abril ($1.03 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Este aumento está relacionado con la llamada zona de surgencia reportada para la costa de Oaxaca. Salas-de León y Monreal-Gómez (2005) la refieren como un “corredor” de condiciones óptimas para la productividad biológica que se encuentra frente a Puerto Ángel. Arias-Arechiga (2005) la describe con datos de perfiles de 100 m de profundidad complementados con imágenes de satélite y desarrolla un esquema de los procesos de mesoescala implicados (Figura 24). Chapa-Balcorta *et al.* (2015) en su análisis de CO_2 en el Golfo de Tehuantepec en una condición post Tehuanos (abril de 2013) con datos del B. O. Altair obtenidos en 26 estaciones de 5 secciones a una profundidad de 500 m, identificaron la región de surgencia costera en la región occidental adyacente al GT y establecieron que la temporada de tehuanos se presentó de noviembre a marzo, y el mes de abril lo consideran como de transición cuando los vientos disminuyeron.

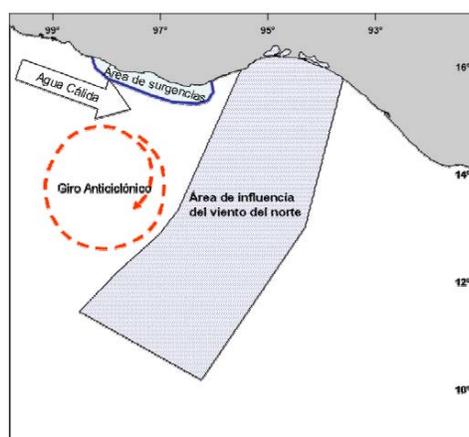


Figura 24. Esquema de los procesos occidentales de mesoescala que tienen influencia en las condiciones oceanográficas del Golfo de Tehuantepec. Tomado de Arias-Arechiga (2005).

Si lo anterior es recurrente todos los años, es posible que esta surgencia de abril puedan modificar la señal del PAV_*Cla*, que evidencia su efecto desde marzo ($0.97 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) y alcanzan el máximo en abril ($1.03 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) pero que después de retomarse el patrón de circulación superficial que interrumpen los Nortes (Corriente Costera de Costa Rica) disminuye la *Cla* y aumenta la TSM, hasta que vuelven a suceder los Tehuanos (Figura 27 y Figura 28, Anexo VI).

9.3. (B). Correlación del PAV_CPUEost con los PAV_Cla y PAV_TSM

El principal problema para establecer estrategias de protección de las cohortes principales en la pesquería del recurso ostión de Puerto Escondido es que no hay estudios que reporten cuándo ocurren las temporadas de reproducción (a excepción de Ruíz-Dura (1974), para Salina Cruz). El PAV de la CPUEost, nos permite estimar de manera indirecta las variaciones estacionales que presenta el recurso, en un ciclo anual, cuándo ésta comienza a incrementarse, llega al máximo y disminuye, como lo señala Cervantes-Hernández *et al.* (2016) en su estimación del PAV para el caracol púrpura *Plicopurpura pansa*.

De manera aproximada, se puede establecer cuando las especies del recurso ostión, estarían en actividad reproductiva en el área de interés, cerca de Puerto Escondido. El argumento expuesto no es erróneo porque para diferentes poblaciones Margalef (1978) documentó una relación directa entre los incrementos de abundancia poblacional con la intensidad reproductiva. Efectos similares fueron documentados para el muricido *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846; Chung *et al.*, 2002) y el mejillón *Mytilus edulis* (Kautsky, 1982).

Para la estimación del PAV_CPUEost no se requirió de información sobre el desarrollo gonadal y de los desoves, lo que contribuye con la conservación del recurso ostión, impidiendo la remoción de más ejemplares que ahora ya se sabe se encuentran sobre-explotados.

El análisis de series de tiempo se considera una herramienta valiosa para investigar las fluctuaciones a largo plazo de la abundancia de poblaciones de especies comerciales y su relación con variables ambientales. El objetivo comúnmente es identificar patrones de variabilidad a diferentes escalas de tiempo y obtener información sobre la coherencia temporal y espacial entre las propiedades físicas y biológicas, y por lo tanto, de la dinámica de los ecosistemas (Ménard *et al.*, 2007).

Los análisis convencionales del patrón de variabilidad y/o relaciones entre la abundancia de la población y las señales ambientales se basan generalmente en estadísticas de correlación en el dominio del tiempo, y en el análisis espectral en el dominio de la frecuencia (Ménard *et al.*, 2007). En el presente estudio se decidió identificar el componente estacional, estimado con el patrón de variación armónico.

Con base en el PAV_CPUEost se infirió lo siguiente:

- La temporada reproductiva más probable para el recurso ostión es al menos anual y comienza en octubre/noviembre (con $0.62 \text{ mg} \cdot \text{m}^3$ Cla y $22 \text{ }^\circ\text{C}$ TSM) y finaliza en abril (con $1.69 \text{ mg} \cdot \text{m}^3$ Cla y $28.4 \text{ }^\circ\text{C}$ TSM), con la mayor CPUEost en diciembre (a $1.24 \text{ mg} \cdot \text{m}^3$ Cla y $28.4 \text{ }^\circ\text{C}$ TSM).
- En los meses cuando la TSM es relativamente baja (entre noviembre/diciembre y abril/mayo de cada año) la CPUEost del Recurso Ostión aumenta, al igual que la concentración de fitoplancton (estimado a partir de la Cl a).

Un efecto de correlación directa entre la variación mensual de la CPUEost y la Cla, se espera porque el aumento en la disponibilidad de alimento (fitoplancton y posteriormente zooplancton), incrementa la supervivencia de las etapas larvarias subsecuentes al desove, que lo requieren para su rápido crecimiento y desarrollo. Un efecto de correlación inverso entre la variación mensual de TSM y la CPUEost, sucede porque entre la variación mensual de Cla y TSM, a nivel regional, está registrado un efecto inverso (si una aumenta la otra disminuye).

Los máximos de CPUEost, ocurrieron de la siguiente manera:

Fue consistente, que en diciembre durante la mayor CPUEost, las condiciones oceanográficas en el área de estudio de Puerto Escondido, tuvieron alta Cla y TSM fría.

La presencia de Cla es importante porque con ella la cadena trófica marina da inicio, y estadios larvales de muchas especies se pueden alimentar directamente de la gran biomasa de fitoplancton y zooplancton disponible. Así, para muchos estadios larvales de especies comerciales, altos niveles de Cla significan una mayor disponibilidad de alimento, que propicia un mejor crecimiento y supervivencia de larvas de camarón (Cervantes-Hernández, 2008; Cervantes-Hernández *et al.*, 2008). Esto es consistente con Fernández-Alamo *et al.* (2000) quienes documentaron las más altas densidades de copépodos durante la temporada de Tehuanos ($97.5 \text{ individuos}\cdot\text{m}^{-3}$) y las más bajas durante la temporada de lluvias ($42.4 \text{ individuos}\cdot\text{m}^{-3}$).

En el área de estudio y durante el periodo de enero de 1998 a diciembre de 2012, la Cla tuvo una intensa correlación inversa con la TSM, que coinciden con González-Silvera *et al.* (2004), quienes reportaron a un nivel de meso-escala en los Golfos de Tehuantepec y Papagayo valores de correlación del mismo tipo, aunque más bajos ($r = -0.28$, $P < 0.05$ y $r = -0.23$, $P < 0.05$, respectivamente). Comúnmente, el incremento de la abundancia estacional de fitoplancton (y consecuentemente de Cla), está fuertemente asociada con los descensos de la temperatura superficial del mar (Chávez-Villalba, *et al.* 2008).

En lo que respecta a los mínimos de Cla durante el verano (TSM cálidas), datos con condiciones similares se han reportado por Lluch-Cota *et al.* (1997), para la Cla a nivel del Golfo de Tehuantepec, quienes con imágenes CZCS de 1978 a 1986, reportaron que la variación interanual en la concentración de pigmentos (clorofila *a* más feofitinas *a*, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) ocurre de octubre a abril, con máximos entre diciembre y enero ($> 0.3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Frías-Velasco (2004), analizó la variabilidad estacionalidad de Cla en el Golfo de Tehuantepec utilizando imágenes de los sensores OCTS y SeaWiFS de 1997 a 2002; y reportó una menor concentración de Cla en meses “no nortes” (1.7 y $3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en las regiones dominantes), en comparación con los meses en que suceden “nortes” ($2.9 - 4.6 \text{ mg Cl mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la región más costera). Para el Golfo de México Signoret *et al.* (1998) y Müller-Karger *et al.* (1991), reportaron baja productividad con concentraciones de Carbono, entre 0.07 y $0.14 \text{ gC}\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$ en el verano de 1994.

Efectos de la TSM y Cla sobre el crecimiento y ciclo reproductivo

El efecto de la variación de la TSM y la Cla sobre la CPUEost se relaciona por la influencia que ambas tienen sobre el crecimiento y el ciclo reproductivo. La temperatura es el único factor

exógeno que se cita con más frecuencia para la inducción de la gametogénesis en bivalvos (Gosling, 2003). La disponibilidad de alimento es determinante en el inicio y duración de la gametogénesis, al ser un proceso energéticamente demandante y, por lo tanto, dependen del suministro de alimento, reservas de energía o ambos, ya que las reservas de energía pre-almacenadas no son suficientes por sí solas (Gosling, 2003).

El control de la temperatura complementado con el suministro adecuado de alimento es una estrategia muy utilizada para inducir la maduración en algunos moluscos bivalvos de importancia comercial como: *C. gigas*, *C. virginica*, *Mercenaria mercenaria*, *Argopecten irradians*, *Ostrea edulis*, *Mytilus edulis* y *M. californianus*. Una vez que se satisfacen las demandas energéticas, el inicio de la gametogénesis, el tiempo de maduración y la liberación de gametos están decisivamente afectados por la temperatura del agua. El control de la temperatura también permite prolongar la madurez sexual, lo que permite una mayor disponibilidad de larvas fuera de la temporada reproductiva, que es fundamental para su cultivo (Espinoza-Peralta, 1989).

La gametogénesis es un proceso energéticamente demandante, durante el ciclo reproductivo anual, los nutrientes son almacenados en el tejido somático cuando la disponibilidad de alimento es abundante y la actividad gonádica es mínima; posteriormente, esas reservas se utilizan para cubrir los requerimientos energéticos de la gametogénesis (Gosling, 2003). Contrastando la variación del PAV_Cla con los tiempos de desove reportados para *S. prismatica*, se observa que en los periodos de post desove e indiferenciación (noviembre a febrero), es cuando la concentración de Cla es mayor en la zona.

El patrón estacional de la temperatura del mar y el alimento (Cla), son factores que definen el ciclo reproductivo anual. La gametogénesis es normalmente continua en bivalvos tropicales, si la temperatura y la disponibilidad de alimento casi no varía durante el año, o si lo hacen cíclicamente en periodos cortos. Esto se ha demostrado para *C. corteziensis*, que habita típicamente en lagunas costeras, donde las condiciones son más estables y hay importantes aportes de materia orgánica detrítica durante el año. Presenta al menos dos desoves al año (Chávez-Villalba, *et al.* 2008).

Frías-Espiricueta *et al.* (1997) reportan los cambios en el índice gonadal de *S. prismatica* y *C. corteziensis* en Nayarit y su relación con la temperatura. Para *S. prismatica* cuando la temperatura aumenta de 23.8 °C a 27.3 °C, entra en etapa de gametogénesis. Para *C. corteziensis* no registraron la temperatura en el sitio de extracción, pero establecen que su ciclo es diferente con dos picos reproductivos, debido a las condiciones ambientales contrastantes que prevalecen en los sitios donde cada especie habita.

Loor-Mera (2012) en pruebas de laboratorio para la inducción al desove y larvicultura de *S. prismatica*, señala que la temperatura es el principal factor ambiental que regula la gametogénesis, pudiendo alcanzar etapas avanzadas de desarrollo gonadal con temperaturas superiores a 27 °C. En sus tratamientos con diferentes condiciones de temperatura a 22 °C y 28 °C, recibiendo la misma calidad y ración alimenticia. El tratamiento de 22 °C, no evidenció gametogénesis, resaltando la dependencia de la temperatura para este proceso.

Mena-Alcántar *et al.* (2017), en su evaluación del ciclo reproductivo de *C. corteziensis* y su relación con variables ambientales, reportó que la temperatura tuvo una correlación directa con los desoves ($r = 0.90$, $P = 0.00$). La ocurrencia de la etapa de desove se atribuye a un aumento de la temperatura del agua. La concentración de clorofila *a*, tuvo una correlación inversa con la gametogénesis ($r = -0.76$, $P = 0.00$), que coincidió con las temperaturas más bajas registradas. Los niveles más altos de *Cla* y materia orgánica particulada correspondieron a un período de descanso gonadal en invierno, durante el cual la ostra aumentó sus reservas de nutrientes y energía, que pueden emplearse para iniciar o reiniciar el ciclo gametogénico.

Por otro lado, estudios histológicos donde se ha evidenciado el ciclo reproductivo anual indican que la temperatura y la salinidad, además de modular la gametogénesis, desencadenan los desoves (Cuevas-Guevara y Martínez-Guerrero, 1979; Fournier, 1992; Loor and Sonnenholzner, 2016). Loor-Mera (2012), probó varios factores ambientales que inducen el desove en *S. prismatica* bajo condiciones controladas; cambios en temperatura del agua (de 28 ° a 33 °C) y reducciones de salinidad (de 32 g·l⁻¹ a 15 g·l⁻¹), fueron exitosos para la liberación de gametos.

Los bancos de extracción en el área de estudio, se encuentran cercanos a la desembocadura del Río Colotepec, quien descarga grandes cantidades de agua dulce y materiales en suspensión en la costa y mar adyacente, formando “plumas” o zonas con altos gradientes de temperatura, salinidad y material en suspensión, siendo una importante fuente de seston, detritus y alimento para los bivalvos y otras especies filtro alimentadoras. Los meses de agosto y septiembre, reportados como los picos reproductivos y meses de desove, coinciden con las mayores precipitaciones anuales en el área de estudio (Figura 8) y con aportes de terrígenos o material particulado a la zona costera y mar adyacente (Figura 29, Anexo VII).

Después del desove, agosto-septiembre, se presentan las condiciones apropiadas para el desarrollo de las larvas, ya que la temperatura disminuye gradualmente y la disponibilidad de alimento aumenta, lo que evita que mueran por desnutrición, si es que la disponibilidad fuera baja o sin la calidad nutrimental necesaria.

Es necesario continuar estudiando las poblaciones del recurso ostión a nivel de especie para que sea posible establecer objetivos de extracción (cotas y tallas de captura), que tengan una alta probabilidad de alcanzarse. Tal como lo mencionan Shumway and Kraeuter (2000), esto se logra al tener una buena comprensión de la importancia relativa de los procesos biológicos en la población (por ejemplo: reclutamiento, depredación, perturbaciones, tamaños críticos de población) descritos mediante estudios de la dinámica de la población y genéticos.

Esta información también es de utilidad para ayudar en la planeación de estrategias de cultivo de ostiones que son producidos de manera experimental o comercial, y al relacionarlos con los patrones estacionales de las variables ambientales, brindan información para realizar ensayos de acondicionamiento e inducción al desove con especies nativas, tanto a nivel experimental, como piloto-demostrativo, o de producción comercial de larvas y juveniles (semillas).

9.4. Variación anual de la CPUEost y temporadas de veda.

En relación con la veda reproductiva implementada, se pudo comprobar con el PAV_CPUEost que el esfuerzo de pesca afecta de manera importante al reclutamiento, al disminuir el número de ostiones que se consideran reproductores antes del inicio de la temporada de veda reproductiva (fijada en los meses de junio a agosto), que aparentemente origina el principal reclutamiento a la población bentónica y pesquera, de la siguiente temporada.

En una población sobreexplotada, el número de adultos puede reducirse a un nivel donde la reproducción es incapaz de reemplazar a los organismos perdidos (sobrepesca de reclutamiento) o se puede capturar un gran número de individuos en un tamaño demasiado pequeño (sobrepesca de crecimiento) para maximizar el rendimiento (Gosling, 2003).

Para el recurso ostión, es posible que esta sobrepesca de crecimiento tenga un impacto bajo, ya que se prolonga la fase reproductiva y permite que la veda reproductiva cumpla en parte su objetivo, ya que al finalizar, el PAV_CPUEost aumentó. Las temporadas de pesca (septiembre-mayo) coinciden con los máximos del PAV_CPUEost lo que indica que el recurso ostión estuvo disponible para su extracción durante todas las temporadas.

El impacto global de la extracción sobre el potencial reproductivo de las poblaciones debe considerarse cuidadosamente. Al respecto, Gracia (1995, 1996, 1997b), señaló que en camarón una fuerte explotación artesanal (sobrepesca del crecimiento), eventualmente conduce a una sobrepesca del reclutamiento, al impactar negativamente el reclutamiento de juveniles y posteriormente al potencial reproductivo de la población.

Las etapas de madurez reproductiva y desove son de las fases más críticas del ciclo de vida de los bivalvos y es donde la población es más susceptible de ser afectada (Mackie, 1984 en: Melendez-Galicia *et al.* 2015), por lo que la veda reproductiva vigente (de junio a agosto, DOF, 1994), debe incluir los meses de madurez y desove. Además, se debe analizar si hay un desfase en el área de estudio, como el que documentan Meléndez-Galicia *et al.* (2015), en la pesquería de ostión de roca en Michoacán, en donde indican que la veda reproductiva está mal aplicada.

Las disminuciones de la abundancia relativa de la CPUEost son causadas tanto por la mortalidad natural como por la pesca; que impactan en el tamaño de la población y disminuyen su abundancia (Sparre y Venema, 1997). Llegar a los meses de la veda reproductiva, permite que las poblaciones se recuperen. Estudios de mortalidad natural y por pesca en los bancos ostrícolas del APPE no existen y son necesarios para identificar y/o reconocer la importancia de cada una en la definición del patrón estacional de abundancia.

Otro aspecto que puede contribuir al aumento del PAV_CPUEost y debe ser analizado, y que es muy probable, es que la zona de estudio recibe larvas fijadoras alóctonas (de poblaciones externas al área de estudio) que se reclutan a la población bentónica, permitiendo que, aunque la población bentónica analizada estuvo sobreexplotada 13 de los 15 años, no colapse. La Metapoblación permite la recuperación y persistencia de la población de interés.

En poblaciones de bivalvos se supone que el reclutamiento para un área geográfica determinada proviene de áreas contiguas circundantes. Sin embargo, para verificarlo se requieren estudios de distribución y abundancia de larvas y asentamiento o captación de semillas, que son escasos y complicados (Gosling, 2003)

10. CONCLUSIONES

- a) Con base en los ajustes de los modelos de Scheafer y Fox a los datos de captura y esfuerzo del recurso ostión que se descargan en Puerto Escondido, se obtuvieron estimaciones confiables de Y_{MAX} y f_{OPT} .
- b) Como principio precautorio, se recomienda mantener el nivel de esfuerzo óptimo un 15 % menos de los f_{OPT} obtenidos, operando a lo largo de un año, quedando en 425 viajes diarios de las embarcaciones.
- c) Los parámetros f_{OPT} - Y_{MAX} de ambos modelos, pueden considerarse como puntos de referencia en análisis futuros a nivel de especie y como un punto de partida para las propuestas de manejo, ya que no existen otras estimaciones publicadas para alguna pesquería de ostión en la región del Pacífico Sur y/o la costa de Oaxaca.
- d) A partir de octubre/noviembre y hasta abril la abundancia relativa del recurso ostión fue mayor de acuerdo con el PAV_CPUEost.
- e) El descenso de la PAV_CPUE (de abril a octubre) es causado por la extracción del recurso, que continua después de los meses de mayor abundancia, hasta los meses de inicio de la veda reproductiva (junio-agosto). No se estimó la influencia de la mortalidad natural en la variación negativa del PAV_CPUEost.
- f) Con base en la variación del PAV_CPUEost la temporada reproductiva más probable es al menos anual, lo que coincide con las estimaciones de crecimiento, reproducción y tiempos de primera madurez reportados para *S. prismatica* en otros estados de latitudes mayores en la República. Que parece acoplarse anualmente a la oscilación térmica y la disponibilidad de alimento (Cl_a) en la zona nerítica del Golfo de Tehuantepec y su zona adyacente, así como al establecimiento y ruptura de la termoclina, que favorece surgencias costeras estacionales en la Región Costa de Oaxaca.
- g) La disminución del PAV_TSM de noviembre/diciembre a abril/mayo y el aumento del PAV_ Cl_a de noviembre/diciembre a abril están asociadas al efecto de los vientos Tehuanos en el Golfo de Tehuantepec, que se presentan en los meses de octubre a abril cuando se observan altas concentraciones de Cl_a , que se extienden fuera de la zona costera asociado a un decremento de la TSM.
- h) La sincronización y duración de las variaciones de la abundancia relativa del recurso ostión parecen estar correlacionadas con las de la TSM y la Cl_a . El periodo y amplitud de los ciclos de la CPUEost se correlacionan significativamente ($P < 0.001$) con la

variación de la TSM y con la concentración de *Cla*. La correlación del PAV_CPUEost fue inversamente proporcional con el PAV_TSM y directamente proporcional con el PAV_Cla y se pueden asociar a la influencia que ambas tienen sobre el crecimiento, pero principalmente sobre el ciclo reproductivo de los ostiones como se ha reportado en otros estudios.

11. RECOMENDACIONES

Para realizar un análisis por especie, es necesario registrar las capturas diferenciando a las especies que componen la captura, ya que actualmente los pescadores solo la registran con el nombre genérico de ostión, donde al menos tres especies son extraídas: *Striostrea prismatica*, *Chama mexicana* y *C. corteziensis*. Además, de registrar otras unidades de esfuerzo como la zona de pesca, área explotada, número de buzos, horas de buceo, u otros, que se recomiendan en evaluación de bivalvos, en los espacios que correspondan en el formato usual de los avisos de arribo (más que embarcaciones, referir con certeza el número de viajes de pesca, el número de pescadores y su tiempo de pesca o buceo, que ellos llaman “marea”, porque por la cercanía de los sitios de pesca, van y vienen en el mismo día). Si se complementa con registros de talla de extracción y/o edad de las capturas, se podrá analizar la CPUE con modelos analíticos que aumentan la efectividad de la CPUE como indicador de su abundancia específica.

Hay que tener muy presente que está reportada protandría en las especies de ostión, donde es más probable que durante su primer año de vida y primer ciclo gametogénico, los reclutas a la población reproductiva sean machos funcionales, mientras que, con el paso del tiempo y el incremento de sus tallas ocurrirá la reversión sexual a hembras funcionales. Por lo que en la explotación artesanal una disminución de las tallas de captura, no solo evidencia sobrepesca de crecimiento, sino eventualmente una sobrepesca de reclutamiento, al impactar negativa y mayoritariamente en las hembras, afectando el potencial reproductivo de la población y el posterior y consecuente reclutamiento bentónicos de juveniles.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aguirre-Gómez, R. 2002. Los mares mexicanos a través de la percepción remota III.1. Temas selectos de geografía de México; 3. Métodos y técnicas para el estudio del territorio. Instituto de Geografía UNAM, Ed. Plaza y Valdés. 95 p.
- Aguirre-Gómez, R. y O. Salmerón-García. 2007. Cap. 18. Análisis estacional de la variación de clorofila en el Pacífico Sur Mexicano mediante imágenes SeaWiFS de 1998 a 2004. 267-287 p. En: Carbono en ecosistemas acuáticos de México. Editor: B. Hernández de la Torre, G. Gaxiola Castro. Instituto Nacional de Ecología. 508 p.
- Alonso-Rodríguez, R., E. Mendoza-Amézquita, S. A. Velásquez-López, J. A. Seim, V. M. Martínez-Rodríguez. Florecimientos algales nocivos producidos por *Pyrodinium bahamense* en Oaxaca, México (2009-2010). Salud Publica de México, 57: 343-351.
- Altran, S. M., and J. G. Loesch. 1995. An analysis of weekly fluctuations in catchability coefficients. Fishery Bulletin 93:562-567.
- Araico-González, C. I. 2012. Hidrografía y circulación geostrófica del Golfo de Tehuantepec en condiciones de verano. Tesis de Licenciatura (Oceanología), Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca. 66 p.
- Arias-Arechiga, J. P. 2005. Oceanografía pesquera del Golfo de Tehuantepec: El caso atún aleta amarilla *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788). Tesis Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México, 66 p.
- Arias-Olaiz, F. 2007. Distribución espacio-temporal de la CPUE del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Pacífico Mexicano. Tesis Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México, 81 p.
- Arreguín-Sánchez, F. & E. Arcos. 2011. La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. Hidrobiológica, 21: 431-462.
- Ascencio-Michel, R., 2010. Plan Rector: Sistema Producto Ostión. Acciones para el fortalecimiento de cadenas productivas en Baja California Sur. 37 p.
- Barton, E. D., M. L. Argote, J. Brown, P. M. Kosro, M. Lavín, J. M. Robles, R. L. Smith, A. Trasviña, H. S. Vélez. 1993. Supersquirt: Dynamics of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Oceanography 6: 23-30.
- Carta Nacional Pesquera (2006). "Acuerdo Mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Pesquera". En: Diario Oficial de la Federación, 25 de agosto de 2006.
- Castillo-Durán, A; Chávez-Villalba, J; Arreola-Lizarraga, A y Barraza-Guardado, R. 2010. Crecimiento comparativo, condición y supervivencia de juveniles de los ostiones *Crassostrea gigas* y *C. corteziensis* cultivados en verano e invierno. Ciencias Marinas, 36 (1): 29-39.
- Castillo-Rodríguez, Z. G. y A. García-Cubas. 1984. Taxonomía y anatomía comparada de las ostras en las costas de México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, 2 (13): 249-314.
- Castro-Mondragón, H., R. Flores-Garza, A. Valdez-González, P. Flores-Rodríguez, S. García-Ibáñez, J. L. Rosas-Acevedo. 2016. Diversidad, especies de mayor importancia y composición de tallas de los moluscos en la pesca ribereña en Acapulco, Guerrero, México. Acta Universitaria 6 (26): 24-34.
- Cervantes-Hernández P., S. Ramos-Cruz y A. Gracia. 2006. Evaluación del estado de la pesquería de camarón en el Golfo de Tehuantepec. Hidrobiológica 16 (3): 233-239

- Cervantes-Hernández, P. 2008. Modelación de las fluctuaciones de la abundancia del camarón café *Farfantopenaeus aztecus* (Ives 1891). Tesis Doctorado. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 84 p.
- Cervantes-Hernández, P., B. Sánchez-Meráz, S. J. Serrano-Guzmán, A. Frías-Velasco, S. Ramos-Cruz, A. García. 2008. Variación interanual de la abundancia de *Farfantopenaeus californiensis* (Holmes 1900) en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica*, 18 (3): 215-226.
- Cervantes-Hernández, P, Michel-Morfin, J. E. y Gallardo-Berumen, M. I. 2016. Reproductive and recruitment season of the purple snail *Plicopurpura pansa* (Gould, 1853) in Oaxaca, Mexico. *Journal of Shellfish Research*, Vol. 35, No. 4, 993–1005.
- Cervantes-Hernández, P., M. y M. Manzano-Sarabia. 2017. Procesamiento y análisis satelital Windows Image Manager. Universidad Autónoma de Sinaloa, 68 p.
- Cervantes-Hernández, P. 2018. Comunicación personal. Profesor–Investigador, Universidad del Mar, *campus* Puerto Ángel. pch@angel.umar.mx
- Chávez, E. A. y F. Arreguín-Sánchez. 1982. Evaluación y diagnóstico de la pesquería de camarón del Golfo de Tehuantepec. Informe Definitivo. Centro de investigación y Estudios Avanzados INP, Unidad Mérida. 60 p.
- Chávez-Villalba J., López-Tapia M.R., Mazón-Suástegui J.M. & Robles-Mungaray M. 2005 Growth of the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) in Sonora, Mexico. *Aquaculture Research*, 36: 1337-1344.
- Chávez-Villalba, J., A. Hernández-Ibarra, M. R. López-Tapia, and J. M. Mazón-Suástegui. 2008. Prospective culture of the Cortez oyster *Crassostrea corteziensis* from northwestern Mexico: Growth, gametogenic activity, and condition index. *Journal of Shellfish Research*, 4 (27): 711–720.
- Chapa-Balcorta, C., J. M. Hernandez-Ayon, R. Durazo, E Beier, S R. Alin and A. López-Pérez. 2015. Influence of post-Tehuano oceanographic processes in the dynamics of the CO₂ system in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *J. Geophys. Res. Oceans*, 120, 7752–7770.
- Chien-Hsiung, W. 2004. Improvement of the Schaefer model and its application. In: 17th Meeting of the standing committee on tuna and billfish. Institute of Oceanography National Taiwan University, Taipei, Taiwan, p. 1-11.
- Chung E. Y., Kim S. Y., Park K. H., Park G. M. 2002. Sexual maturation, spawning and deposition of the egg capsules of the female purple shell, *Rapana venosa* (Gastropoda: Muricidae), *Malacologia*, 44: 241-257.
- Coan, E. V. and P. Valectich-Scott. 2012. Bivalve Seashells of Tropical West America. Marine Bivalve Mollusks from Baja California to Northern Peru. Santa Barbara Museum of Natural History, 1st edition. 1258 p.
- CONAPESCA, 2010. Caracterización oceanográfica y pronóstico de la variabilidad de los mares mexicanos y algunas regiones marinas y su aplicación a la pesca y acuicultura. Informe final. 83 p.
- CONAGUA. 2012. Estaciones climatológicas. Datos de la estación 20-246 La Ceiba.13 p. Disponible en línea en: <http://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Estadistica/20246.pdf> (consultado el 10 de enero de 2016).
- CONAPESCA, 2015. Consulta específica por especie. Disponible en línea en: http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/consulta_especifica_por_produccion (consultado el 10 enero 2016).

- Cuevas-Guevara, C. A. y A. Martínez-Guerrero. 1978. Estudio gonádico de *Crassostrea corteziensis* (Hertlein), *Crassostrea palmula* (Carpenter) y *Crassostrea iridescens* (Hanley) en San Blas, Nayarit, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., UNAM, 6: 81-98.
- Czerwinski I. A., J. C. Gutiérrez-Estrada, J. A. Hernando-Casal. 2007. Short-term forecasting of halibut CPUE: Linear and non-linear univariate approaches. Fisheries Research 86: 120–128.
- Dame, R. E. 2011. Ecology of Marine Bivalves: An Ecosystem Approach, Second Edition, CRC Press. 283 p.
- Díaz de León-Corral, J. A. 1993. Exploitation and management of the shrimp fishery from Sinaloa, Mexico. Ph. D. dissertation, Imperial College, London, 256 p.
- DOF. 1994. AVISO por el que se da a conocer el establecimiento de épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación, 16 de marzo de 1994.
- DOF. 2013. ACUERDO por el que se modifica el aviso por el que se da a conocer el establecimiento de épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, publicado el 16 de marzo de 1994, para modificar el periodo de veda del ostión de placer (*Crassostrea corteziensis*) en las aguas de jurisdicción federal del litoral del Océano Pacífico. Diario Oficial de la Federación, 12 de noviembre de 2013.
- Espino Barr, E. 2000. Criterios biológicos para la administración de la pesca multi específica artesanal en la costa de Colima, México. Tesis Doctoral. Universidad de Colima. Colima, México. 162 p.
- Espinoza-Peralta, A. M. 1989. Dilación del desove de *Modiolus capax* Conrad (BIBALVIA: MYTILIDAE) en condiciones controladas de temperatura y alimentación. Tesis de Licenciatura (Biología). Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California. 106 p.
- FAO 1995. Puntos de referencia para la ordenación pesquera. Documentos técnicos de pesca 347. Roma.
- Fernández-Álamo, M. A., L. San Vicente-Añorve and G. Alameda-de-La Mora. 2000. Copepod assemblages in the Gulf of Tehuantepec, México. Crustaceana 73 (9): 1139-1153
- Fielder, P. C. and L. D. Talley. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. Progress in Oceanography 69: 143–180.
- Flores-Gómez, A. 2005. Modelo dinámico de biomasa para el camarón café *Farfantopenaeus californiensis* (Holmes, 1900) en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Tesis de Licenciatura (Biología Marina), UMAR-Puerto Ángel, Oaxaca, México. 56 p.
- Flores-Rodríguez, P., R. Flores-Garza, S. García-Ibañez, C. Torreblanca-Ramírez, L. Galeana-Rebolledo, E. Santiago-Cortez. 2014. Mollusks of the rocky intertidal zone of three sites in Oaxaca, Mexico. Open Journal of Marine Science, 4 (4): 326-337.
- Fournier, M. L. 1992. The reproductive biology of the tropical rocky oyster *Ostrea iridescens* (Bivalvia: Ostreidae) on the Pacific coast of Costa Rica. Aquaculture 101, 371–378.
- Fox, W. W. 1970. An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations. Trans. Am. Fish. Soc. 99: 80–88.
- Frías-Espericueta, M.G., F. Páez-Osuna & I. Osuna-López. 1997. Seasonal changes in the gonadal state of the oysters *Crassostrea iridescens* and *Crassostrea corteziensis*

- (Filibranchia: Ostreidae) in the Northwest coast of Mexico. An. Inst. Cienc. Mar Limnol. 15: 124-131.
- Frías-Velasco, A. 2004. Regionalización de los Golfos de Tehuantepec, Papagayo, Panamá y áreas adyacentes, mediante la biomasa fitoplanctónica estimada a partir de imágenes de satélite. Tesis de Licenciatura (Biología Marina), Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca. 66 p.
- Gallegos-García, A., J. Zavala-Hidalgo, O. Zavala-Romero, R. Lecuanda, A. Mateos-Jasso y R. Rogríguez-Sobreyra. 2004. Imágenes dinámicas de la temperatura de la superficie de los mares mexicanos. 30 p.
- Galstoff, P. S. 1964. The American Oyster *Crassostrea virginica* Gmelin. Fishery Bulletin, v. 64. United States Government Printing Office, Washington, D. C. 456 p.
- García, E. 1964. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Ed. Offset Larrios. México, D.F.
- Góngora-Gómez, A. M., M. García-Ulloa, J. A. Hernández-Sepúlveda, A. L. Domínguez-Orozco. 2012. Crecimiento del ostión *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1795) cultivado en el estero La Piedra, Sinaloa, México. Avances en Investigación Agropecuaria, 16 (2): 91-104.
- González-Silvera, A., E. Santamaria-del-Angel, R. Millán-Núñez, H. Manzo-Monroy. 2004. Satellite observations of mesoscale eddies in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo (Eastern Tropical Pacific). Deep-Sea Research II, 51: 587-600.
- González-Tejadilla. 2018. Análisis de la variabilidad espacial del gradiente térmico ocasionado por el fenómeno climatológico "Tehuano" utilizando imágenes de temperatura superficial. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, 51 p.
- Gosling, E. 2003. Morphology of Bivalves Cap. 2, Ecology of Bivalves Cap. 3. p. 7-48 In: Bivalve Molluscs. Biology, Ecology and Culture. Fishing News Books, Blackwell Science, 433 p.
- Gracia, A. 1995. Impacto de la pesca artesanal sobre la producción de camarón rosado *Penaeus farfantepenaeus duorarum* Burkenroad, 1939. Ciencias Marinas 21: 343-359.
- Gracia, A. 1996. White shrimp (*Penaeus setiferus*) recruitment overfishing. Marine Freshwater Research 47: 59-65.
- Gracia, A. 1997. Pesquería artesanal del camarón. In: Flores-Hernández, D., Sánchez-Gil, P. Seijo, J. C. y F. Arreguín-Sánchez (Eds.). Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del Golfo de México. Vol. 2. Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanográfica del Golfo de México Universidad Autónoma de Campeche. p. 173-184.
- Gracia A. 1997b. Simulated and actual effects of the Brown shrimp, *Penaeus aztecus*, closure in Mexico. Marine Fisheries Review 59: 18-24.
- Gracia, A. and A. R. Vázquez-Bader. 1999. Shrimp fisheries in the south Gulf of Mexico. Present and future management alternatives. In: Kumpf, H., D. Steidinger and K. Sherman (Eds.). The Gulf of Mexico large marine ecosystem: Assessment, sustainability, and management. Blackwell Science, Berlín, p. 205-234.
- Hernández-Covarrubias, V., J. L. Patiño-Valencia, H. y Aguirre-Villaseñor. 2013. Inferencia multimodelo: cálculo de la talla media de madurez del ostión de roca *Striostrea prismatica* en Nayarit, México. Ciencia Pesquera 22 (1): 11-18.
- Hernández-Santiago, C. 2017. Informe Batimétrico del "Estudio de Caracterización para el Desarrollo de la Maricultura Sustentable en la Región Costa de Oaxaca". Puerto Ángel, Oaxaca, México: Universidad del Mar - SEDAPA Gobierno del Estado. p. 31.

- Hilborn, R and C. J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment. Choice, dynamics and uncertainty. Chapman & Hall, New York. 550 p.
- Hinton, M. G., and M. N. Maunder. 2003. Methods for standardizing CPUE and how to select among them. Secretariat of the Pacific Community, Oceanic Fisheries Program, 16th meeting of the Standing Committee on Tuna and Billfish, MWG-7: 11 p.
- Islas-Olivares, R. 1975. El Ostión japonés *Crassostrea gigas* en Baja California. Ciencias Marinas 2 (1): 58-59.
- Joint, I., and S. B. Gromm. 2000. Estimation of phytoplankton production from space: current status and future potential of satellite remote sensing. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 250: 233-255.
- Kahru, M. 2009. WINDOWS IMAGE MANAGER Image Display and Analysis Program for Microsoft® Windows™ Software. <http://www.wimsoft.com>.
- Kautsky, N. 1982. Growth and Size Structure in a Baltic *Mytilus edulis* Population. Marine Biology, 68: 117-133.
- Keeley, N., B. Forrest, G. Hopkins, P. Gillespie, D. Clement, S. Webb, B. Knight, J. Garner. 2009. Sustainable aquaculture in New Zealand. Review of the ecological effects of farming shellfish and other non-fish species. Prepared for the Ministry of Fisheries. Cawthron Report No. 1476. 150 p. plus appendices.
- Kessler, W. S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. Progress in Oceanography 69: 181–217.
- Knox, G. A. 2001. The ecology of seashores. CRC Press. 557 p.
- Lara-Lara, J. R., V. Arenas-Fuentes, C. Bazán-Guzmán, V. Díaz-Castañeda, E. Escobar-Briones, M. de la C. García-Abad, G. Gaxiola-Castro, G. Robles-Jarero, R. Sosa-Ávalos, L. A. Soto-González, M. Tapia-García, J. E. Valdez-Holguín (2008). Los ecosistemas marinos. En: Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, p. 135-159.
- León-Herrera, M. G. (2000). Listado taxonómico de las especies de moluscos en la zona central del litoral Oaxaqueño. Ciencia y Mar. 12. 49-51.
- Liévano-Méñez, B. 2008. Índice gonadosomático e índice de rendimiento muscular del ostión de roca (*Crassostrea prismatica*) en la Bahía de Pichilinguillo, Municipio de Aquila, Michoacan. Tesis licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, 54 p.
- Lluch-Cota, S. E., S. Álvarez-Borrego, E. M. Santamaría del Ángel, F. E. Müller-Karger, y S. Hernández-Vázquez. 1997. El Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes: variación espacio-temporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. Ciencias Marinas, 23 (3): 329-340
- Loor-Mera, A. G. 2012. Desarrollo de protocolos de manejo para la inducción al desove y larvicultura de la ostra nativa *Crassostrea iridescens* (Hanley, 1854). Tesis licenciatura. Escuela Superior Técnica del Litoral, Ecuador, 115 p.
- Loor, A. and S. Sonnenholzner. 2016. Reproductive cycle of the rock oyster, *Striostrea prismatica* (Gray, 1825) from two locations on the southern coast of Ecuador. Aquaculture Research, 47: 1432-1442.
- López-Calderón, J., H. Manzo-Monroy, E. Santamaría del Ángel, R. Castro, A. González-Silvera, R. Millán-Núñez. 2006. Variabilidad de mesoescala del Pacífico tropical mexicano mediante datos de los sensores TOPEX y SeaWiFS. Ciencias Marinas, 32 (3): 539–549.

- López-Medina, D. 2006. Variabilidad espacio-temporal de las capturas de atún aleta amarilla en aguas adyacentes a las Islas Marías, México. Tesis Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, I. P. N., La Paz, Baja California Sur. 60 p.
- López-Rocha, J. A., B. P. Ceballos-Vázquez, F. A. García Domínguez, M. Arellano-Martínez, M. Villalejo-Fuerte, A. K. Romo-Piñera. 2010. La pesquería de la almeja chocolata *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae) en Baja California Sur, México. *Hidrobiológica*, 20(3): 230-237.
- López-Rojas, V. I., R. Flores-Garza, P. Flores-Rodríguez, C. A Torreblanca-Ramírez y S. García-Ibáñez. 2017. La clase Bivalvia en sitios rocosos de las Regiones Marinas Prioritarias en Guerrero, México: riqueza de especies, abundancia y distribución. *Hidrobiológica*, 27 (1): 69-86.
- Lucas, S. 2012. Bivalve Mollusc. Cap. 23. p. 541-545 In: *Aquaculture: farming aquatic animals and plants*. Edited by John S. Lucas and Paul C. Southgate. Blackwell Publishing Ltd. 2nd edition. 629 p.
- Manzano-Zarabia, M. M. 2008. Efecto de la variabilidad oceánica en variables biológicas de la sonda de Campeche. Evaluación de los efectos de El Niño-Oscilación del Sur 1997-1998. Tesis Doctoral. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., México. 138 p.
- Manzano-Zarabia, M. M y C. A. Salinas-Zavala. 2008. Variabilidad estacional e interanual de la concentración de clorofila *a* y temperatura superficial del mar en la región occidental del Golfo de México: 1996-2007. *Interciencia*. 9 (33): 628-634.
- Margalef, R. 1978. Radiación y energía, En: *Ecología*. Barcelona, España: Omega. p. 103–158.
- Matthiessen, G. C. 2001. Oyster Biology and Distribution Cap. 2. p. 18-24. In: *Oyster Culture*. Fishing News Books, Blackwell Science, Connecticut USA. 162 p.
- Maunder, M. N. 2003. Is it time to discard the Scheafer model form the stock assessment scientist's toolbox? *Fisheries Research* 61: 145-149.
- Mazón-Suástegui, J. M., M. C. Ruíz-García, J. Chávez-Villalba, C. Rodríguez-Jaramillo & P. E. Saucedo. 2011. Analysis of growth and first reproduction of hatchery-reared juvenile Cortez oyster (*Crassostrea corteziensis*) in northwestern Mexico: proposal of a minimal fishing size. *Aquaculture Research*, 42: 1558-1568.
- Melchor-Aragón, J. M., 1987. Pesquería de ostión de roca, *Crassostrea iridescens* (Hanley, 1854) en los municipios de Mazatlán y San Ignacio, Sinaloa, México. CRIP-Mazatlán INP-SEPESCA Bol. Inf. No. 22: 14-30.
- Melchor-Aragón, J. M., H. D. Chávez, C. Acosta-Castañeda, M. R. Bush. 1996. Diagnóstico de la pesquería de ostión de roca *Crassostrea iridescens*, en las costas de los municipios de Mazatlán y San Ignacio, Sinaloa. CRIP-Mazatlán, INP-SEMARNAP Bol. Inf. No. 27: 25-45.
- Melchor-Aragón, J. M., A. Ruíz-Luna, R. Terrazas-Gaxiola, C. Acosta-Castañeda. 2002. Mortalidad y crecimiento del ostión de roca *Crassostrea iridescens* en San Ignacio, Sinaloa, México. *Ciencias Marinas*, 28 (2): 125-132.
- Meléndez-Galicia, C., F. D. Estrada-Navarrete, V. Hernández-Covarrubias, A. A. Arellano-Torres y D. Hernández-Montaño. 2015. Madurez gonádica del ostión de roca *Crassostrea iridescens*, de la costa de Michoacán, México. *Ciencia Pesquera*. 1 (23): 15-36.
- Mena-Alcántar, M., O. I. Zavala-Lea, C. A. Romero-Bañuelos, J. M. J. Ruiz-Velazco, J. T. Nieto-Navarro, D. Palacios-Salgado, J. M. and Pacheco-Vega. 2017. Reproduction of

- Cortez oyster, *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) in a growing area in the central Mexican Pacific coast. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45 (2): 485-490.
- Ménard, F., F. Marsac, E. Bellier, B. Cazelles. 2007. Climatic oscillations and tuna catch rates in the Indian Ocean: a wavelet approach to time series analysis. *Fisheries oceanography* 16 (1): 91-104.
- Morales-Bojórquez, E., J. López-Martínez, and S. Hernández-Vázquez. 2001. Dynamic catch-effort model for brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes) from the Gulf of California, México. *Ciencias Marinas*. 27 (1): 105-124.
- Muller-Karger, F. E., J. J. Walsh, R. H. Evans, M. B. Meyers. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites *Journal of Geophysical Research*. 96 (C7): 12645-12665.
- Núñez-Márquez, G. 2014. Determinación del esfuerzo de pesca de la flota camaronera ribereña en Ciudad del Carmen, Campeche, mediante conteos visuales. *Ciencia Pesquera*. 22 (2): 3-17.
- Ortega-García, S., J. A. Trigueros-Salmerón, R. Rodríguez-Sánchez, S. Lluch-Cota, H. Villalobos. 2000. Capítulo 22. El Golfo de Tehuantepec como un centro de actividad biológica y su importancia en las pesquerías. En: BAC: Centros de actividad biológica del Pacífico mexicano. Editado por D. Lluch-Belda, J. Elourdy-Garay. S. E. Luch-Cota y G. Ponce-Días. México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, 357 pp.
- Patiño-Valencia, J.L., P.A. Ulloa y S. Cervantes. 2006. Diagnóstico de la pesquería de ostión de roca *Crassostrea iridescens*, en Santa Cruz de Miramar y Sayulita en el estado de Nayarit periodo 2001-2005. In: E. Espino, M.A. Carrasco, P. Fuentes, E. Carbajal, M. Puente & A. García (Eds.). *Memorias del II Foro Científico de Pesca Ribereña*. Instituto Nacional de la Pesca, Manzanillo, 137 pp.
- Penagos-García, F. E., O. Lam-Gordillo, G. Ramírez-Soberón, G. Rivera-Velázquez. 2013. Pesquería artesanal del ostión (Ostreidae) en las escolleras de Puerto Chiapas, México. *Lacandonia*. 1(7): 67-72.
- Pérez-Sampablo, L. M. y R. Aguirre-Gómez. 2012. Análisis espacio temporal de la temperatura superficial del mar en el Pacífico Sur Mexicano usando imágenes satelitales. p. 78-84. En: XIX Reunión Nacional SELPER- México. *Memorias*. Jean-François Mas, Gabriela Cuevas García y Raquel González García (Compiladores). Primera Edición, Universidad Nacional Autónoma de México. 410 p.
- Polacheck, T., R. Hilborn and A. Punt. 1993. Fitting surplus production models: comparing methods and measuring uncertainty. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50: 2597-2607.
- Powell, E. N., J. M. Klinck, K. A. Ashton-Alcox, and J. N. Kraeuter. 2009. Multiple stable reference points in oyster populations: Implications for Reference Point-Based Management CCPO Publications. Paper. 46 p.
- Rangel-Dávalos, C. 1990. El cultivo de Moluscos Marinos en México. Cap. 7. p. 107 – 138. En: *La Acuicultura en México: de los Conceptos a la Producción*. de la Lanza-Espino, G. y Arredondo Figueroa, J. L. (Compiladores). Instituto de Biología, UNAM. 316 p.
- Ramírez-Rodríguez, M., C. López Ferreira, G. de la Cruz-Agüero. 2009. Atlas de localidades pesqueras de México, Libro 10, Oaxaca. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur. 114 p.

- Ramírez-Rodríguez, M. 2013. Especies de interés pesquero en el Pacífico Mexicano: Nombres y claves para su registro. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. Página web: <http://catalogo.cicimar.ipn.mx/index.php> (consultada el 5 de mayo de 2016).
- Reyes-Hernández, A. C., M. A. Ahumada-Cempoal y R. Durazó-Arvisu. 2016. The Costa Rica Coastal Current, eddies and wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, Southern Mexican Pacific. *Continental Shelf Research* 114: 1–15.
- Ríos-Jara, E., M. Pérez-Peña, E. Juárez-Carrillo, E. López-Urriarte, L. Enciso-Padilla, y E. G. Robles-Jarero. 2002. Moluscos macrobentónicos del intermareal y plataforma continental de Jalisco y Colima. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. S110. México, D.F. 101 p.
- Ríos-Jara, E., C. M. Navarro-Caravantes, C. M. Galván-Villa, E. López-Urriarte. 2009. Bivalves and gastropods of the Gulf of Tehuantepec, Mexico: a checklist of species with notes on their habitat and local distribution. *Journal of Marine Biology*, 12 p.
- Roden, G. 1961. On the wind-driven circulation in the Gulf of Tehuantepec and its effect upon the surface temperatures. *Geophys. Int.* 1: 55–72.
- Rodríguez-Castro, J. H., A. Valdez-González y A. González-Cruz. 2012. Rendimiento máximo sostenido y esfuerzo óptimo de pesca de la tilapia *Oreochromis aureus* en la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México. *Ciencia Pesquera*, 20(2): 43-54
- Rodríguez-Jaramillo, M. A. 2004. Efecto de la temperatura sobre la gametogénesis en el callo de hacha *Atrina maura* (Sowerby, 1835) (BIVALVIA: PINNIDAE). Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, 92 p
- Rodríguez-Jaramillo C., Hurtado, M. A., Romero-Vivas E., Ramírez, J. L., Manzano, M. & Palacios, E. 2008. Gonadal development and histochemistry of the tropical oyster, *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) during an annual reproductive cycle. *Journal of Shellfish Research* 27:1129-1141.
- Rodríguez-Palacios, C. A., L. M. Mitchell-Arana, G. Sandoval Díaz, P. Gómez, G. Green. 1988. Los moluscos de las Bahías de Huatulco y Puerto Ángel, Oaxaca. Distribución, diversidad y abundancia. *Universidad y Ciencia*, 9 (5): 85-94.
- Romero-Centeno, R., J. Zabala-Hidalgo, A. Gallegos, J. J. O'Brien. 2003. Isthmus of Tehuantepec Wind Climatology and ENSO Signal. *Journal of Climate*, 15 (16): 2628-2639.
- Ruíz-Dura, M. F. 1974. Estudio histológico comparativo de los ostiones *Ostrea corteziensis* Hertlein, *Crassostrea virginica* Gmelin y *Crassostrea iridiscens* Hanley. En: *La Acuicultura en América Latina*. FAO. Informe de Pesca 59 (1): 128-138.
- SAGARPA-CONAPESCA. 2013. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2013. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Comisión Nacional de Pesca. Mazatlán. 299 p.
- SAGARPA-CONAPESCA. 2017. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Comisión Nacional de Pesca. Mazatlán. 293 p.
- Salas-de León, D. A. y M. A. Monreal-Gómez. 2005. Procesos físicos que influyen en la productividad biológica de los mares mexicanos. *Ciencia, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 4 (56): 49-54.

- Schaefer, M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tunna Comm.* 1: 27-56.
- Schunte, J. 1977. Improved estimates from the Schaefer production model; theoretical considerations. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 34: 583-603.
- SEDAPA, 2016. Estudio de Caracterización para el Desarrollo de la Maricultura Sustentable en la Región Costa de Oaxaca, Sub Proyecto: Caracterización de la Vocación de Sitios para el Desarrollo de la Maricultura. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Pesca y Acuicultura de Oaxaca. y S. J. Serrano-Guzmán, S. J. y Torres-Ariño D (Editores), Universidad del Mar, 295 p.
- Seijo, J. C., O. Defeo y S. Salas. 1997. Bioeconomía Pesquera. Teoría, modelación y manejo. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 368. Roma, FAO, 176 p.
- Serrano-Guzmán, S. J., D. Salinas-Ordaz, A. Cuevas-Aguirre. 2007. Diagnóstico y propuesta del Plan Ostrícola Oaxaca 2008-2009. Inédito.
- Serrano-Guzmán, S. J. 2017. Comunicación personal. Profesor-Investigador, Universidad del Mar, *campus* Puerto Ángel. sserrano@angel.umar.mx
- Signoret, M., C. Built y R. Pérez. 1998. Patrones de distribución de clorofila *a* y producción primaria en aguas del Golfo de México y Mar Caribe. *Hidrobiológica*. 8 (2): 81-89
- Shumway, S. E, and J. N. Krauter. 2000. Molluscan shellfish research and management: charting a course for the future. Chapter 5. Population dynamics. United States of America, Dept. of Commerce. 168 p.
- Sierra-Rodríguez, P., M. O. Muciño-Díaz, J. A. Vélez-Barajas y J. R. Turrubiates-Morales. 2003. El estatus, la biomasa y la producción excedente: tres puntos de referencia claves para el manejo de recursos bentónicos. En: Memorias del I Foro de Intercambio Científico Sobre Recursos Bentónicos. Biología, Ecología, Pesquerías y Acuicultura. INP-CRIP La Paz, B. C. 60 p.
- Soniat, T. M, N. Cooper, E. N. Powell, J. M. Klinck, M. Abdelguerfi, S. Tu, R. Mann, and P. D. Banks. 2014. Estimating sustainable harvests of eastern oysters, *Crassostrea virginica*. *Journal of Shellfish Research*, 2 (33): 381-394.
- Sparre P. y S. C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte I. Manual. FAO documento técnico de pesca No. 306. 1 rev. 2: 420 p.
- StatSoft, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Stuardo J. & A. Martínez (1975). Relaciones entre algunos factores ecológicos y la biología de poblaciones de *Crassostrea corteziensis* (Hertlein 1951), en San Blas, Nayarit, México. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol.* 9: 94-117
- Terrence, J. Q. II and R. B. Deriso. 1999. Quantitative fish dynamics. Oxford University Press. 542 p.
- Trasviña A., D. Lluch-Cota, A.E. Filonov y A. Gallegos. 1999. "3. Oceanografía y El Niño". En: V. Magaña, V. (Ed.). Los Impactos del Niño en México. UNAM. p. 69-101.
- Trasviña, A. D., E. D. Barton. 2008. Summer circulation in the Mexican tropical Pacific. *Deep-sea Research I*, 55: 587-607.
- Trasviña, A. D., E. D. Barton, H. S. Vélez, J. Brown. 2003. Frontal subduction of a cool water mass in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geofísica Internacional*, 1 (42): 101-114.

- Vânia, B., H. Ullah, C. M. Texeira, P. Range, K. Erzini, F. Leitao. 2014. Influence of environmental variables and fishing pressure on bivalve fisheries in an inshore lagoon and adjacent nearshore coastal area. *Estuaries and coasts*, 37: 191-205.
- Velázquez-Muñoz, F. A., J. A. Martínez, C. Chavanne, R. Durazo, P. Flamet. 2011. Circulación costera forzada por el viento en el Golfo de Tehuantepec, México. *Ciencias Marinas*, 37 (4A): 443–456.
- Vélez-Barajas, J. A. 1996. Pesquería del ostión de piedra. En: Casas-Valdés y G. Ponce Díaz, Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. SEMARNAP/Gob. del Estado de Guerrero/FAO/INP/UABCS/CIB/CICIMAR/CETMAR, La Paz, B. C. S. p. 101-120.
- Williams, E. H. and H. Prager. 2002. Comparison of equilibrium and non-equilibrium for the generalized production model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 1533-1552.
- Zamorano, P., N. A. Barrientos-Luján, S. Ramírez-Luna. 2008. Malacofauna del infralitoral rocoso de Agua Blanca, Santa Elena, Cozoaltepec, Oaxaca. *Ciencia y Mar* 21(36):19-33.

13. ANEXOS.

Anexo I. Detalles de los modelos de Schaefer (1954) y Fox (1970).

Los modelos generalizados de Schaefer (1954) y Fox (1970) estiman el nivel máximo u óptimo de captura (Y_{MAX}), o rendimiento máximo sostenible (RMS), y el esfuerzo de pesca correspondiente (f_{OPT}) siguiendo la metodología de Sparre y Venema (1997).

Y_{MAX} se calcula a partir de los siguientes datos de entrada:

$$Y/f = Y_{(i)} / f_{(i)}$$

Dónde:

$$Y/f = CPUE.$$

$f_{(i)}$ = esfuerzo aplicado en el año 1, 2, ..., n .

$Y_{(i)}$ = rendimiento (captura en peso) aplicado en el año 1, 2, ..., n .

La manera más simple de expresar el rendimiento por unidad de esfuerzo, en función al esfuerzo, es a través del modelo lineal de Schaefer (1954):

$$CPUE = b_0 + (b_1 \cdot f_i) \text{ si } f_{(i)} \leq -b_0/b_1$$

La pendiente de la ecuación (b_1) debe ser negativa si la CPUE decrece a medida que aumenta el esfuerzo pesquero. El valor de la ordenada al origen (b_0) es el valor de CPUE que se obtiene inmediatamente después de extraer la primera captura de la población sujeta a explotación o stock pesquero (valor positivo), así el valor de $-b_0/b_1$ es positivo y cuando $f = -b_0/b_1$ la CPUE es igual a cero. Como no existen valores negativos de la CPUE, el modelo solo se aplica a valores menores a $-b_0/b_1$ (Figura 25).

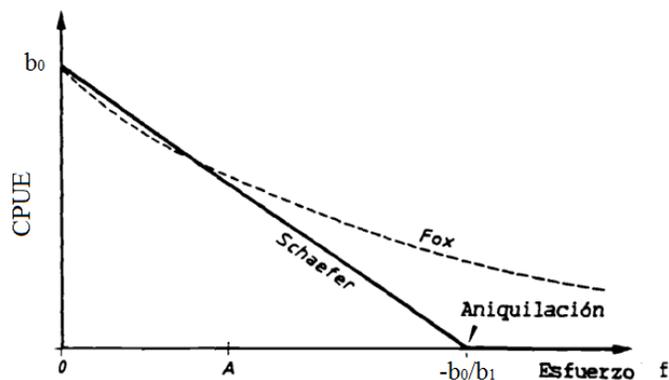


Figura 25. Ilustración de los supuestos de los modelos de Schaefer y Fox. Modificado de Seijo *et al.* (1997).

Fox (1970), introdujo un modelo alternativo, en el que resulta una línea curva cuando se grafica la CPUE respecto al esfuerzo (Figura 25), y se obtiene una línea recta cuando se grafican los logaritmos de CPUE contra el esfuerzo:

$$\ln(CPUE) = a_0 + (a_1 \cdot f_{(i)}) \quad \text{si } f_{(i)} \leq -a_0/a_1$$

La diferencia entre ambos modelos es que en el modelo de Fox (1970), la CPUE se aproxima a cero asintóticamente a valores altos de esfuerzo (Figura 25).

Para estimar Y_{MAX} y su f_{OPT} asociada, se deben reformular los modelos, expresando la captura como una función del esfuerzo, quedando de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{Schaefer} \quad & Y(i) = b_0 \cdot f(i) + b_1 \cdot f(i)^2 \\ \text{Fox} \quad & \ln(Y(i)) = f(i) \cdot \exp[a_0 + a_1 \cdot f(i)] \end{aligned}$$

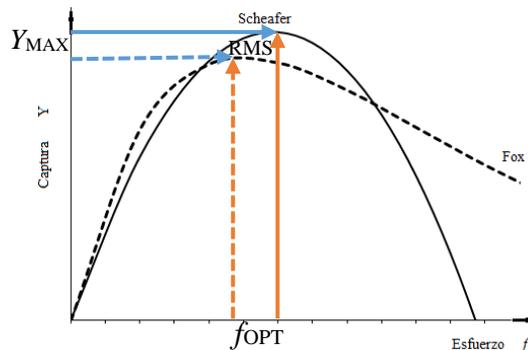


Figura 26. Curva del modelo de Schaefer (línea negra) y Fox (línea punteada).

La ecuación correspondiente al modelo de Schaefer es una parábola (Figura 26) que alcanza el valor máximo de rendimiento o captura (Y_{MAX}), equivalente al RMS, en un nivel de esfuerzo de pesca óptimo (f_{OPT}) que se determina por:

$$\begin{aligned} f_{OPT} &= -0.5 \cdot b_0 / b_1 \\ Y_{MAX} &= -0.25 \cdot b_0^2 / b_1 \end{aligned}$$

La ecuación correspondiente al modelo de Fox, representa una curva asimétrica con un máximo, en el RMS, con una pendiente relativamente inclinada en su lado izquierdo y una declinación mucho más gradual en el lado derecho del máximo (Figura 26). Los valores del f_{OPT} y Y_{MAX} se calculan como:

$$\begin{aligned} f_{OPT} &= -1/a_1 \\ Y_{MAX} &= -(1/a_1) \cdot \exp^{(a_0 - 1)} \end{aligned}$$

Un valor de esfuerzo menor al óptimo ($f < f_{OPT}$) permitiría año tras año capturas sostenibles, ya que se capturará una cantidad menor al incremento biológico de la población (por reproducción y reclutamiento a la pesquería), manteniendo su capacidad de incremento biológico constante. Por el contrario, si el esfuerzo de pesca sobrepasa o es mayor al óptimo ($f > f_{OPT}$), las capturas no serán sostenibles y si se mantienen año tras año se llegará a la extinción del recurso (Schaefer) y el colapso de la pesquería (Fox).

En ambos modelos se ajustó un modelo de regresión lineal simple entre el esfuerzo pesquero ($f(i)$) y las respectivas CPUE ($Y(i)$) y \ln CPUE ($\ln(Y(i))$). Se obtuvieron los coeficientes de determinación (r^2) de cada regresión. El mayor valor del r^2 y el menor valor de P se utilizan como criterio de decisión para elegir entre los dos modelos.

Anexo II. Procedencia del lote de imágenes satelitales.

Tabla V. Características geográficas y espectrales de las imágenes utilizadas; años y meses seleccionados por sensor, para completar la serie; así como las coordenadas del recorte del área de estudio.

Sensor	Cla			TSM	
	SeaWIFS	Aqua Modis	Terra Modis	AVHRR Pathfinder	Terra Modis
Geo referencia	Mundial				
X mínima	-101° O				
X máxima	-91.83° O				
Y máxima	17.5° N				
Y mínima	11.33° N				
Formato	HDF				
Resolución espacial	9.2 Km por pixel				
Nivel de procesamiento	L3				
	Banda 4	MOD21	MOD21	Banda 5	MOD28
Periodos	1998-2007, 2008 (abril-junio, agosto-diciembre), 2009 (enero-abril, junio-agosto, noviembre-diciembre) y 2010	2008 (enero-marzo, julio) y 2009 (mayo, septiembre-octubre)	2011 y 2012.	1998-1999	2000-2012

Anexo III. Capturas, esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo anual 1998-2012

Tabla VI. Serie de datos de captura, número de embarcaciones y captura por unidad de esfuerzo CPUE de la pesquería del recurso ostión de la S. C. P. P. Reforma Agraria Oaxaca, de Puerto Escondido, Oaxaca, durante el periodo 1998-2012.

Año	<i>Y</i>	<i>f</i>	CPUE
1998	4,290	801	5.4
1999	9,016	783	11.5
2000	23,275	542	43.0
2001	15,742	372	42.3
2002	8,492	399	21.3
2003	10,285	651	15.8
2004	22,612	831	27.2
2005*	2,810	480	5.9
2006	11,710	774	15.1
2007	12,836	660	19.4
2008	9,557	390	24.5
2009	13,348	687	19.4
2010*	2,870	300	9.6
2011	19,235	672	28.6
2012	16,438	678	24.2

*valores omitidos en las estimaciones de RMS y *f*opt

Anexo IV. Patrones de variación armónica de las series de tiempo.

Tabla VII. Valores de anomalías de los PAV de CPUEost, Cla y TSM estimados para los años 1998 a 2012.

mes	PAV_TSM	PAV_Cla	PAV_CPUEost
ene	-1.53	0.33	6.58
feb	-1.24	0.20	5.86
mar	-1.30	0.24	2.31
abr	-0.76	0.28	-0.52
may	0.65	0.03	-4.15
jun	1.03	-0.27	-4.42
jul	1.34	-0.45	-4.54
ago	1.53	-0.28	-5.14
sep	0.73	-0.24	-5.41
oct	0.52	-0.09	-2.62
nov	0.01	-0.16	2.60
dic	-0.98	0.42	9.47

Anexo V. Fases de desarrollo gonádico en *S. prismatica*

Tabla VIII. Fases y duración del desarrollo gonádico reportados para *S. prismatica* en México. Tomada de Meléndez-Galicia *et al.* (2015)

Fases	Descripción	Ruiz-Durá (1974) La ventosa, Oaxaca.	Cuevas y Martínez (1978) San Blas, Nayarit.	Meléndez-Galicia <i>et al.</i> (2015) Lázaro Cárdenas y Zapote de Huana, Michoacán.
a) Indiferenciación	Ausencia de células sexuales. No es posible diferenciar el sexo No se observa desarrollo gonádico.	dic-feb. 2 meses	oct-may. Max ene. 8 meses	feb-jun., dic. 6 meses
b) Gametogénesis	Gran actividad del epitelio germinal, determinada por la formación de abundantes células sexuales de diferente tamaño.		feb-jun. Max may. 6 meses	may-jun. 2 meses
c) Maduración	El tejido gonádico ha alcanzado su máximo desarrollo y sustituye al tejido conectivo, la gónada se presenta como una masa compacta uniforme	feb-abr. 3 meses	jun-ago. Max jul. 3 meses	ago. 1 mes
e) Desove	La etapa inicia con una débil expulsión de gametos que posteriormente puede aumentar, o bien como una expulsión masiva y disminución de óvulos y espermatozoides al final de la temporada. En la gónada hay aparición de espacios vacíos	abr-ago. Max jul a sep 5 meses.	ago-sep. Max sep. 2 meses	ago-dic. Max sep y oct. 5 meses
f) Postdesove	Muestran grandes espacios vacíos en la gónada, con restos de gametos sexuales que normalmente está ocupada por la gónada, óvulos y/o espermatozoides son de apariencia variable.	Nov 1 mes	nov-dic., sep 3 meses	sep-dic. 4 meses

Anexo VI. Recortes de Imágenes satelitales de compuestos mensuales, de 1998-2012.

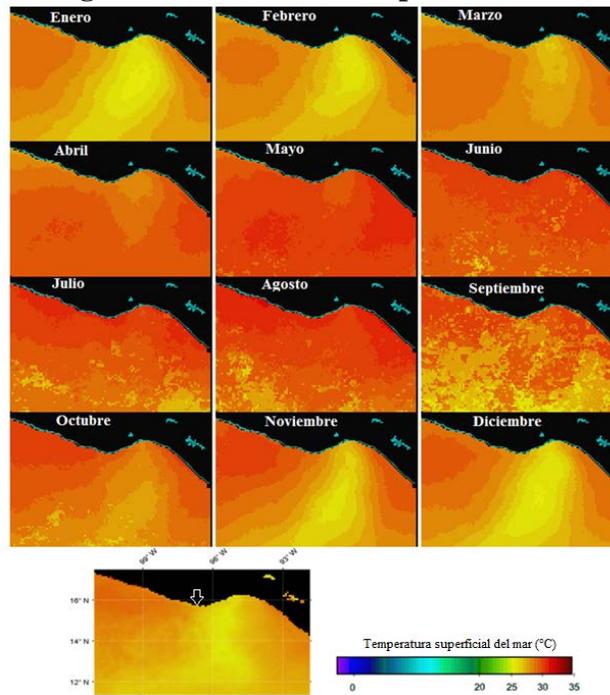


Figura 27. Meses tipo para el periodo 1998-2012 de imágenes satelitales de Temperatura superficial del Mar (TSM, °C), en el recorte seleccionado. La flecha señala la ubicación de la zona de extracción.

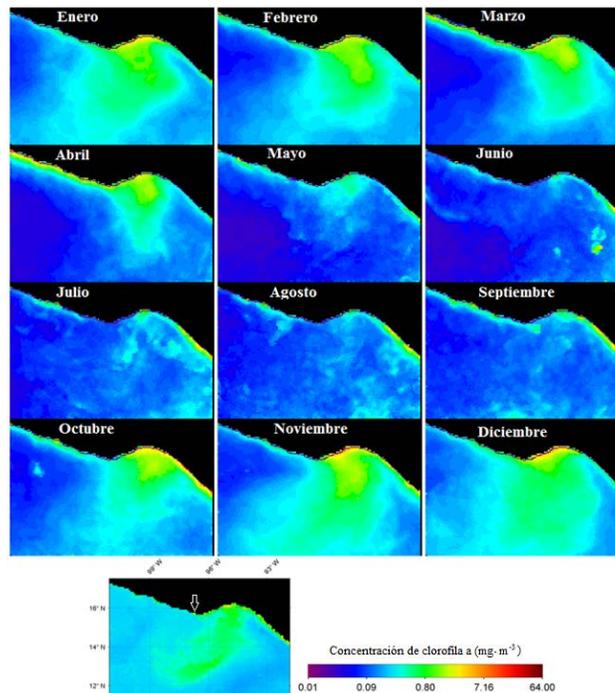


Figura 28. Meses tipo para el periodo 1998-2012 de imágenes satelitales de concentración de Clorofila *a* (Cla, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), en el recorte seleccionado. La flecha señala la ubicación de la zona de extracción.

Anexo VII. Imágenes satelitales de terrígenos en la Boca del río Colotepec.

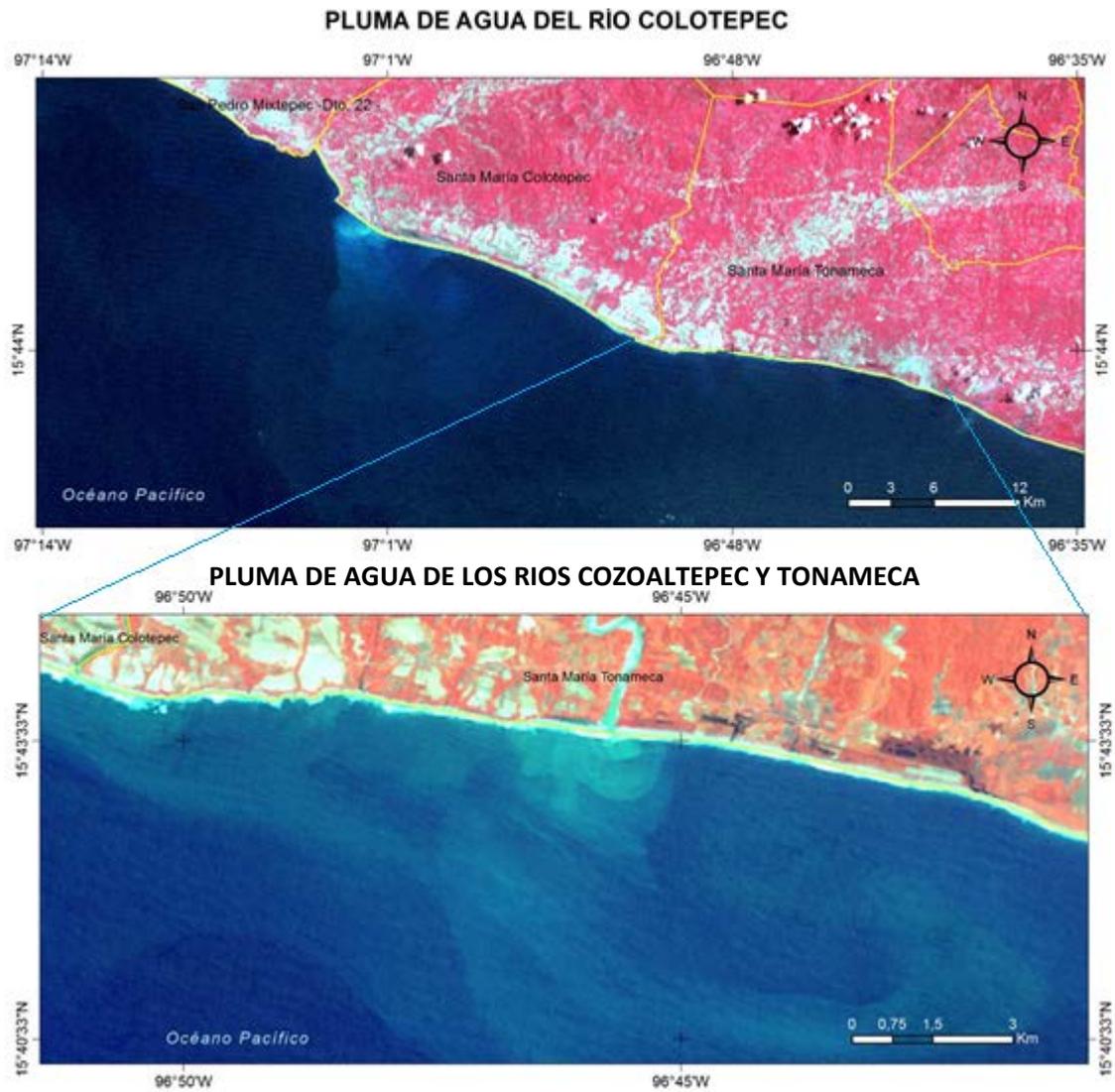


Figura 29. Plumas de terrígenos (sólidos totales disueltos y microparticulados) vertidos al mar adyacente por las bocas de los ríos Colotepec (Mpio. Colotepec, julio 1987) arriba. Cozoaltepec y Tonameca (Mpio. Tonameca, agosto 1988) abajo. Modificado de SEDAPA (2016).