



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**DESARROLLO DE UN MODELO BIOECONÓMICO
PARA MEJORAR EL MANEJO DE LA PESQUERÍA
DEL PULPO ROJO (*Octopus maya*) DE LA PENÍNSULA
DE YUCATÁN EN EL PERIODO (1998-2014)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:



LESLIE ARACELI ABURTO CADENA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JESÚS JURADO-MOLINA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
1. RESUMEN.....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	6
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES Y DISTRIBUCIÓN.....	6
2.2 PESQUERÍA DEL PULPO ROJO.....	10
2.3 FLOTA PESQUERA.....	14
2.4 MERCADO DEL PULPO ROJO.....	16
2.5 MODELOS DE DINÁMICA DE BIOMASA.....	17
2.6 MODELO BIOECONÓMICO.....	19
3. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES DE <i>OCTOPUS MAYA</i>	28
4. OBJETIVO GENERAL.....	29
4.1 OBJETIVOS PARTICULARES.....	29
5. JUSTIFICACIÓN.....	29
6. MÉTODOS.....	30
6.1 MODELOS DE DINÁMICA DE BIOMASA.....	30
6.2 MODELO BIOECONÓMICO.....	31
7. RESULTADOS.....	32
7.1 MODELOS DE DINÁMICA DE BIOMASA.....	32
7.2 MODELO BIOECONÓMICO.....	34
8. DISCUSIÓN.....	37
9. REFERENCIAS.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Pulpo rojo (<i>Octopus maya</i>).....	9
Fig. 2. Área de captura del pulpo rojo en la plataforma continental de la península de Yucatán.....	10
Fig. 3. Tendencia temporal de la producción del pulpo rojo en la península de Yucatán en el periodo 1998 – 2013.....	12
Fig. 4. Tendencia temporal de la biomasa observada del pulpo rojo en la península de Yucatán en el periodo 2002 – 2013.....	14
Fig. 5. Método de captura del pulpo rojo “gareteo”.....	15
Fig. 6. Presentaciones del pulpo rojo en el mercado.....	17
Fig. 7. Representación del modelo bioeconómico de Gordon-Schaefer (1954).....	24
Fig. 8. Ajuste de los datos observados del índice de abundancia recabados por INAPESCA (2002-2008 y 2011-2013) a los modelos de Schaefer, Fox y Pella-Tomlinson.	33
Fig. 9. Biomasa (t) en equilibrio como función lineal (inversamente proporcional) del esfuerzo pesquero (embarcaciones).....	35
Fig. 10. Captura (t) en equilibrio como función del esfuerzo pesquero (embarcaciones).....	36
Fig. 11. Modelo bioeconómico de Gordon-Schaefer (1954). Ganancia y costos en pesos mexicanos en función del esfuerzo pesquero (embarcaciones).....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros estimados con la subrutina Solver para cada modelo usado en la dinámica poblacional del pulpo rojo en la península de Yucatán.....	34
Tabla 2. Costos de abastecimiento en pesos mexicanos por viaje de pesca de cada cooperativa.....	34

AGRADECIMIENTOS

- A mis padres por todas sus palabras de apoyo, sus consejos y su perseverancia durante la realización de este trabajo, especialmente en los ratos más difíciles y por estar conmigo siempre.
- A mi asesor de tesis, el Dr. Jesús Jurado-Molina, quien me ha brindado su apoyo en todo momento, resolviendo mis dudas, proporcionándome bibliografía útil, revisando mis avances y por su guía constante durante toda la realización de mi tesis, sin su ayuda no hubiera sido posible este proyecto.
- A todos los sinodales: M en C. Brian Urbano Alonso, Dra. María Martha Reguero Reza, Dra. Rosaura Mayén Estrada y Dra. Vilma Soledad Ardiles Gloria por haber aceptado formar parte de mi jurado, revisar mi tesis y hacerme correcciones, todas me fueron de gran ayuda.
- A la señora Rosario de Unidad de Enseñanza, por llevar a cabo todo mi trámite de titulación.
- A la señorita Rosa Morales, por haber proporcionado el número telefónico de uno de los permisionarios de Yucatán, para realizar una de las entrevistas.
- A las estudiantes de Biología de la UAM, Miriam Cortés Salgado y Johana Meléndez, por haber proporcionado dos de las entrevistas telefónicas a los permisionarios de Yucatán y Campeche.
- Al director de Normatividad de Campeche, el Ing. Raúl Villaseñor Talavera, por haber proporcionado el dato de número de embarcaciones y alijos por año.
- A mi tía Linda María Guadalupe Huerta Montero, quien durante toda su vida me brindó apoyo en todo lo que quise hacer, fue mi madrina de coronación cuando cumplí 15 años, viajó incontables veces con mi mamá y conmigo a muchos lugares y me dejó muchos bonitos recuerdos y experiencias. Desafortunadamente murió antes de poder asistir a mi examen profesional, pero siempre será recordada por mí con cariño y estimada por todos los que la conocimos.
- A mi abuelita Celia Montero Núñez, a quien tuve poco tiempo conmigo, pero cuyo amor y ternura nunca olvido porque sé que si hoy viviera me lo brindaría de igual manera y estaría orgullosa de mi por egresar también de la Facultad de Ciencias.
- A mi novio Ricardo, por enseñarme a ser más paciente, por lo bien que la pasamos juntos, nuestras aventuras y por sus palabras de apoyo para terminar mi tesis.
- A mis amigas de la prepa: Vianey, Nidia, Dana, Ariadna, Alejandra, Daniela y Victoria que me acompañaron durante gran parte de nuestras vidas en todo momento, por las buenas experiencias que hemos vivido, nuestras aventuras y los bonitos recuerdos que me han dejado, nunca las olvidaré.

- A mis amigos hombres: Roberto Amparano, José Antonio Contreras Chijate y Diego Martínez, por todas esas largas pláticas, consejos, risas, experiencias compartidas y por estar siempre conmigo en las buenas y las malas, siempre contarán conmigo.
- A mi amigo Sam y a su familia por todo el apoyo y cariño que me dieron en su momento.
- A mis perritos: Coso, Cutses, Dana, Phillus, Millus y Dominó por estar siempre conmigo y ser tan cariñosos, especialmente en los momentos más duros. En especial a Coso que estuvo conmigo toda su vida y siempre fue mi mejor amigo, por los hermosos recuerdos que nos dejó y por haber unido a toda la familia siempre, aunque ya no esté aquí siempre lo extrañaremos y recordaremos; también a Cutses por haber compartido cuatro años con nosotros y habernos dejado su mejor regalo: sus hijos.
- A mi gato Félix, por hacer de mi vida algo muy feliz y especial desde que llegó, por ser mi bebé, por todo el cariño que me brinda cada día y por todas las aventuras que hemos tenido juntos siempre.

1. RESUMEN

La pesquería del pulpo rojo es una de las más importantes de México, siendo este organismo uno de los recursos más importantes de la península de Yucatán, México. Esta pesquería es la principal debido a que contribuye con 80 % de la producción de la captura total del molusco en la zona (Wakida *et al.* 2004). En el litoral del golfo de México y el Caribe es la cuarta pesquería más importante (SAGARPA e INAPESCA 2008) debido a su valor económico (SAGARPA e INAPESCA 2013; Global Biotech Consulting Group 2015) y ocupa el noveno lugar por sus volúmenes de captura (SAGARPA e INAPESCA 2013).

En Yucatán participan actualmente 70 permisionarios de flota mayor y 217 de costa, que operan 3330 embarcaciones menores y 385 mayores, con 15000 pescadores aproximadamente. La unidad de pesca está compuesta por dos tipos de embarcaciones, flota mayor y flota menor.

Se aplicaron tres modelos de dinámica de biomasa: el de Schaefer (1954), el de Pella-Thomlinson (1969) y el de Fox (1970); y se utilizó el criterio de Akaike (1954) para determinar a cuál de estos se ajustaban mejor los datos, que fue el de Schaefer. Los modelos se realizaron utilizando los datos de producción y biomasa estimados por INAPESCA en los años 1998-2013. Posteriormente, se obtuvieron los costos de abastecimiento por viaje de pesca a partir de tres entrevistas telefónicas a permisionarios de cooperativas de Yucatán y Campeche; con base en estos datos se obtuvieron los costos totales por temporada de pesca y se estimó el modelo bioeconómico de Gordon-Schaefer (1954).

Los resultados de este modelo mostraron que el promedio de costo total por embarcación por día de pesca fue de \$1099, mientras que el promedio de costo por embarcación por temporada de pesca (137 días) fue de \$150562.67. El valor de rendimiento máximo sostenible (π) que también corresponde al valor máximo de ingresos fue de \$2214638747, con un esfuerzo de 3000 embarcaciones; el valor del máximo beneficio (β) fue de \$1786650433, con un esfuerzo de 2700 embarcaciones y el del equilibrio bioeconómico (α) fue 0 con un esfuerzo de 5380 embarcaciones.

De acuerdo con los resultados del modelo bioeconómico, la pesquería está cerca del equilibrio; este se alcanzaría para un esfuerzo de 3372 embarcaciones. Estos resultados sugieren que en este momento las ganancias podrían estar muy cerca de los costos, por lo que se tendría que disminuir el esfuerzo para aumentar el beneficio. El presente trabajo contribuye al desarrollo de futuras herramientas para el manejo sustentable del pulpo rojo en la península de Yucatán.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Características generales y distribución

Los cefalópodos (del griego *kephalo*: cabeza y *podós*: base o pie) son una clase de moluscos del Phylum Mollusca donde se incluyen los pulpos, que se distinguen por tener un cuerpo blando con simetría bilateral, ocho brazos, cada uno con una o dos hileras de ventosas (según la especie) con las que capturan a sus presas y se sostienen de las rocas. Los brazos también les permiten desplazarse (Global Biotech Consulting Group 2015). El número y posición de las ventosas son caracteres taxonómicos importantes (SAGARPA 2014).

El ojo de los cefalópodos posee cristalino, esclerótica, retina y humor acuoso. El cristalino es rígido, de modo que para enfocar se mueve hacia delante y hacia atrás por medio de un paquete muscular. Por lo tanto, entre más longevo sea el organismo, mayor superficie ocular y mayor capacidad de movimiento del cristalino que se traduce en una mejor capacidad de enfoque, lo cual provee a los cefalópodos de una visión muy desarrollada (Voss y Solís-Ramírez 1966).

La ubicación taxonómica del pulpo rojo, de acuerdo con el sistema de clasificación de Mollusca Base (2018) es:

Reino: Animalia

Phylum: Mollusca

Clase: Cephalopoda Cuvier, 1795

Subclase: Coleoidea Bather, 1888

Superorden: Octopodiformes Berthold & Engeser, 1987

Orden: Octopoda Leach, 1818

Suborden: Incirrata Grimpe, 1916

Superfamilia: Octopodoidea d'Orbigny, 1840

Familia: Octopodidae d'Orbigny, 1840

Subfamilia: Octopodinae Grimpe, 1921

Género: *Octopus* Cuvier, 1797

Especie: *O. maya* Voss y Solís-Ramírez, 1966

La región anterior del cuerpo de un pulpo corresponde al manto, dentro del cual se encuentra la masa visceral. El músculo del manto sirve al animal como protección de sus órganos internos. Los pulpos poseen un complejo sistema nervioso, con unos ganglios alrededor del esófago que forman un auténtico cerebro que se encuentra dividido en dos porciones, llamadas masa supra esofágica y masa sub esofágica según su posición respecto al esófago, aunque ambas partes están unidas por conectivos. Un rasgo particular y exclusivo de los cefalópodos es que el cerebro se encuentra rodeado por una masa o caja cartilaginosa en un "intento" evolutivo de formar un cráneo. La cabeza contiene otras estructuras, incluyendo los nervios branquiales y una masa bucal ("la boca") con un pico quitinoso duro (Solís-Ramírez *et al.* 1997; Pérez *et al.* 2006). Los pulpos poseen tres corazones: dos llevan la sangre rica en dióxido de carbono hacia las branquias y el tercero lleva la sangre rica en oxígeno al resto del cuerpo. Las branquias son un conjunto de membranas que facilitan el transporte del oxígeno del agua hacia la sangre y la expulsión del dióxido de carbono hacia el agua. Esto solo requiere un movimiento para inspirar el agua, pues luego ésta se expulsa fuera del cuerpo. Los pulpos lograron acoplar ese movimiento único a la respiración. Tienen un sifón largo y tubular ubicado a un lado de su cuerpo, que les permite cambiar rápidamente la dirección y la velocidad con la que nadan: succionan agua por la

apertura de su manto, que pasa por las branquias y es dirigida al sifón, donde es expulsada hacia el exterior (Solís-Ramírez *et al.*, 1997).

Otra característica importante es su capacidad de cambiar de coloración y camuflarse con el ambiente donde viven (actividad mimética), pues son capaces de adquirir el color del fondo, lo que les da otro mecanismo de defensa, junto con la liberación de un líquido negro llamado tinta, que al arrojarlo vuelve el agua turbia dándole oportunidad de escapar de alguna amenaza. La tinta se almacena en la bolsa de tinta situada encima del recto y puede ser expulsada a través del sifón (Solís-Ramírez *et al.* 1997, Pérez *et al.* 2006, Global Biotech Consulting Group 2015).

Existe dimorfismo sexual, ya que los machos son distintos de las hembras y estos maduran antes que ellas, observándose organismos maduros de tallas pequeñas (SAGARPA 2014). El hectocótilo corresponde al tercer brazo derecho de los machos y es visiblemente más corto y ancho; presenta un surco desde la base del apéndice hasta el hectocótilo, correspondiente al canal espermatofórico. Este presenta pliegues a ambos lados y oculta al cálamos, el cual tiene forma de cuchara (Solís-Ramírez *et al.*, 1997).

Durante la cópula, el macho introduce el hectocótilo dentro de la cavidad del manto de la hembra (SAGARPA 2014), los espermátóforos pasan a través de los oviductos y se depositan en las glándulas oviductales que actúan como reservorio de espermatozoides. Las hembras almacenan los espermátóforos hasta que maduran, se realiza la fecundación y se produce el desove (Santos-Valencia *et al.*, 2005).

La fecundidad fluctúa entre los 1500 y 2000 huevos por hembra. Los huevos maduros miden en promedio 17 mm, son en forma de pera y de color ámbar (SAGARPA 2014).

La temporada de desove es de noviembre a diciembre y la incubación dura cerca de dos meses (CONAPESCA y SAGARPA 2008), Durante la cual, la hembra cuida los huevos sin alimentarse y al momento de la eclosión, esta muere por inanición (Global Biotech Consulting Group 2015). Los juveniles se comportan como adultos, capturando presas vivas mediante un movimiento de sus brazos y permanecen ocultos y vigilantes cuando no están activos cazando presas. Las crías son rápidas para descargar tinta y cambiar de coloración (Solís-Ramírez *et al.*, 1997). Los pulpos son muy apreciados por la industria pesquera gracias a su abundancia (biomasa) y por el valor nutritivo que posee (Global Biotech Consulting Group 2015).

El manto del pulpo rojo (Fig. 1) es grande y musculoso, oval y fuerte, pero algo estrecho, el intervalo de longitud de este es de 60 mm a 250 mm. El cuello es corto, la cavidad del manto es amplia, los brazos son largos, delgados y con los extremos adelgazados. Entre los caracteres que más distinguen a

esta especie es la presencia de un ocelo bajo los ojos y otro en la base de los brazos II y III, a ambos lados de la cabeza (Solís-Ramírez *et al.* 1997). La longitud total máxima y peso del pulpo rojo se han estimado en 1.30 m y 5 kg, respectivamente (Tunnell *et al.* 2007).

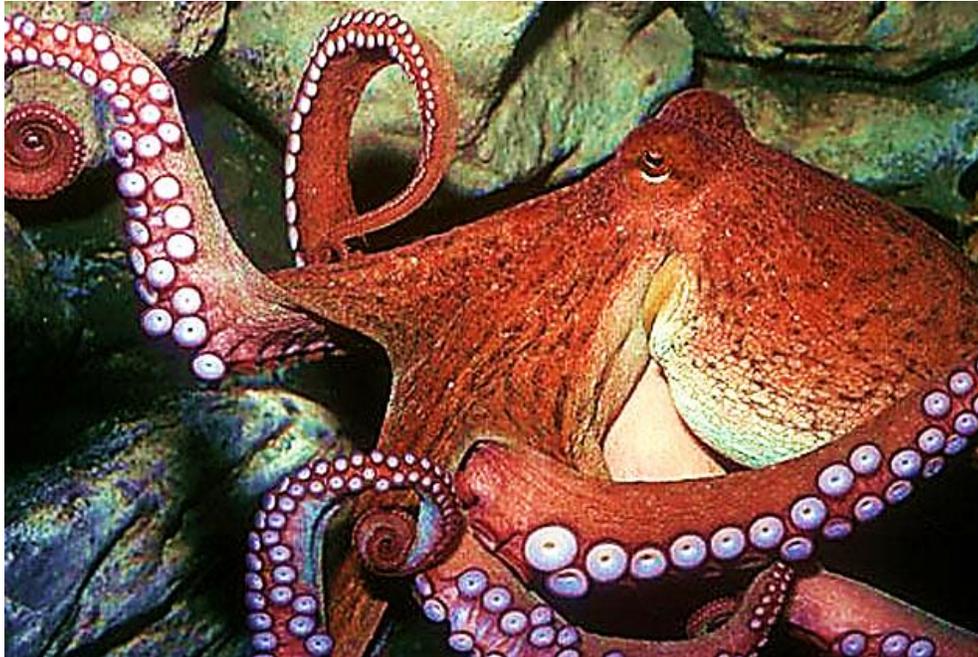


Fig. 1. Pulpo rojo (*Octopus maya*) (Tomada de Global Biotech Consulting Group 2015).

El pulpo rojo es una especie con crecimiento rápido y ciclo de vida corto (Solís-Ramírez y Chávez 1986), ya que la edad máxima se ha estimado alrededor de 12 a 18 meses (Solís-Ramírez y Chávez 1986; Arreguín-Sánchez 1992).

El pulpo rojo ha sido descrito como una especie endémica y bentónica, que se distribuye en aguas someras de la plataforma continental de la península de Yucatán (Voss y Solís-Ramírez 1966; Solís-Ramírez y Chávez 1986; Solís-Ramírez 1988; CONAPESCA y SAGARPA 2008), desde aguas adyacentes a Ciudad del Carmen, Campeche, hasta Isla Mujeres en Quintana Roo, a una profundidad aproximada de 58.52 metros (Tunnell *et al.* 2007). Se les encuentra en praderas de *Thalassia testudinum*, en conchas vacías de moluscos gasterópodos (*Strombus gigas*, *S. costatus* y *Pleuropoca gigantea*), en cuevas existentes en la zona calcita del fondo (CONAPESCA y SAGARPA 2008) o entre rocas coralinas distribuidas en manchones (Solís-Ramírez y Chávez 1986). Otros autores han sugerido que habita hasta los 150 metros de profundidad, en aguas que registran una temperatura entre 6 y 33 °C, aunque es más común que se ubique entre los 10 y 30 °C (CONAPESCA y SAGARPA 2008). Esta

especie es un depredador que se alimenta de crustáceos, otros cefalópodos, peces (SAGARPA 2014) y algas (Global Biotech Consulting Group 2015).

2.2 Pesquería del pulpo rojo

La pesquería del pulpo rojo es uno de los recursos más importantes de la península de Yucatán. Ésta ofrece una alternativa económica para muchos usuarios, tanto de origen costero como rural (Salas *et al.* 2008; Fraga *et al.* 2009). Sus bajos costos de operación la convierten también en una actividad atractiva (Salas *et al.* 2009). Su explotación comercial inició en 1949 (Solís-Ramírez *et al.* 1997). Esta actividad genera anualmente un total de 15000 empleos directos y una derrama económica anual de aproximadamente de 360 millones de pesos (SAGARPA e INAPESCA 2008). Su valor comercial ha motivado que se establezcan flotas pesqueras en toda la región donde se distribuye (Jurado-Molina 2010). El área de influencia de la pesquería está localizada entre los 19° y los 23° de latitud norte y entre los 87° y los 91° de longitud oeste (Fig. 2).

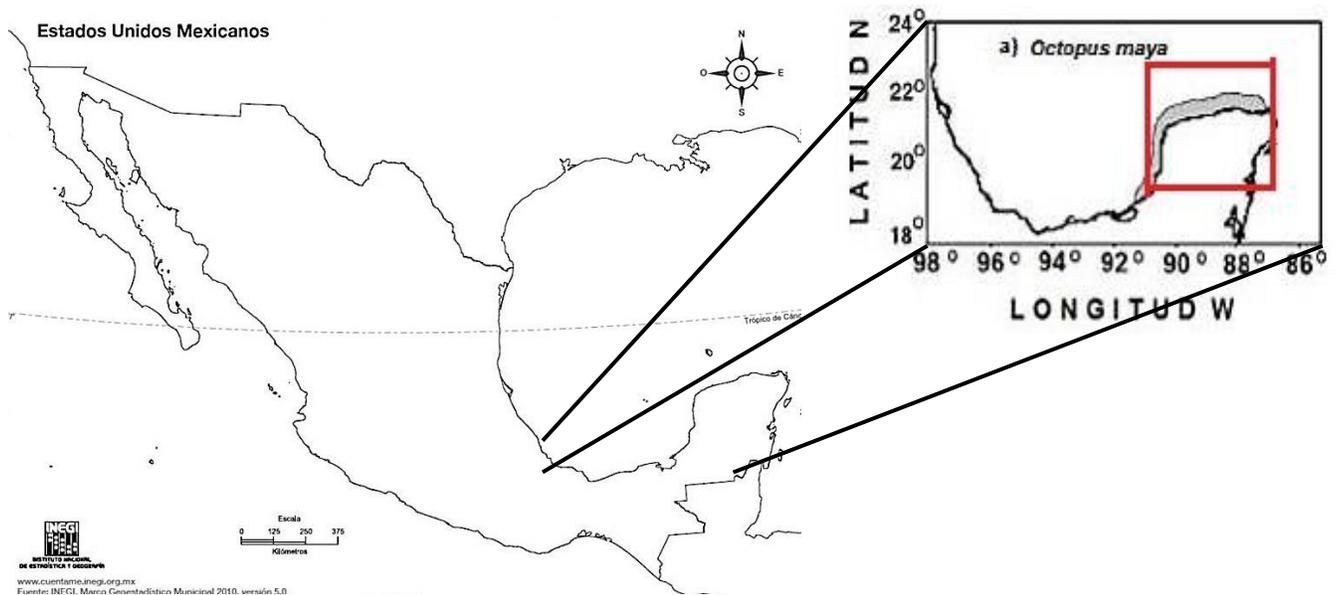


Fig. 2. Áreas de captura del pulpo rojo en la plataforma continental de la península de Yucatán (Modificada de SAGARPA 2014).

En 2002, INAPESCA desarrolló un programa para estimar un índice de abundancia independiente de la pesquería. A partir de ese año se estableció una cuota anual para esta pesquería, basada en la estimación de la biomasa. Es importante señalar que ésta es una de las pocas pesquerías en México

regulada por cuota. A pesar de que no es claro cómo se ha establecido esta cuota y cuál es la estrategia de manejo implementada en esta pesquería (SAGARPA e INAPESCA 2002, 2007 y 2008)), la cuota ha variado entre 44 % y 50 % de la biomasa estimada, sin embargo, las capturas han variado entre 30 % y 76 % de la misma (Jurado-Molina 2010).

Debido a la importancia socio-económica de esta pesquería es necesario que se garantice la explotación sustentable de este recurso. Algunas medidas se han tomado en este sentido, por ejemplo, a través de monitoreos continuos anuales, a fin de contar con la información que permita determinar medidas de administración pesquera, que tengan como objetivo una explotación sustentable del recurso (Anónimo 2000).

La pesquería del pulpo se basa principalmente en dos especies: el pulpo rojo (*Octopus maya*) y el pulpo patón (*Octopus vulgaris* (Cuvier 1797)). De estas dos, la del pulpo rojo es la principal, debido a que contribuye con 80 % de la producción de la captura total del molusco en la región (Wakida *et al.*, 2004). Cabe mencionar que en el litoral del golfo de México y el mar Caribe es la cuarta pesquería más importante (SAGARPA e INAPESCA 2008) debido a su valor económico (SAGARPA e INAPESCA 2013; Global Biotech Consulting Group 2015) y ocupa el noveno lugar por sus volúmenes de captura (SAGARPA e INAPESCA 2013). Noventa y ocho por ciento de la producción nacional proviene de Yucatán, Campeche y Quintana Roo (CONAPESCA y SAGARPA 2008) y la pesca anual es de aproximadamente 9000 toneladas métricas (Tunnell *et al.*, 2007).

El reclutamiento pesquero del pulpo rojo ocurre entre los seis y siete meses de edad y se captura de agosto a noviembre a lo largo de las costas de Campeche y Yucatán, a una profundidad de 27.42 metros, a bordo de embarcaciones menores de 5.5 y 9.0 m de eslora (CONAPESCA y SAGARPA 2008). La tendencia temporal de las capturas de pulpo rojo en la península de Yucatán, de 1998 a 2013, se muestra en la Fig. 3. La captura en dicho periodo de tiempo varió de un mínimo de 7282.65 t en 2005 a un máximo 20274.86 t en 2006. La captura promedio fue de 13856.87 t, con una D.E. de 3856.37 y un C.V. de 0.27. Se pudo apreciar un aumento considerable en la producción de los años 1998 a 2000 y de 2009 a 2012; y una disminución de la misma entre los años 2000 a 2003 y de 2006 a 2008. En los años 2003 a 2006 la producción varió considerablemente.

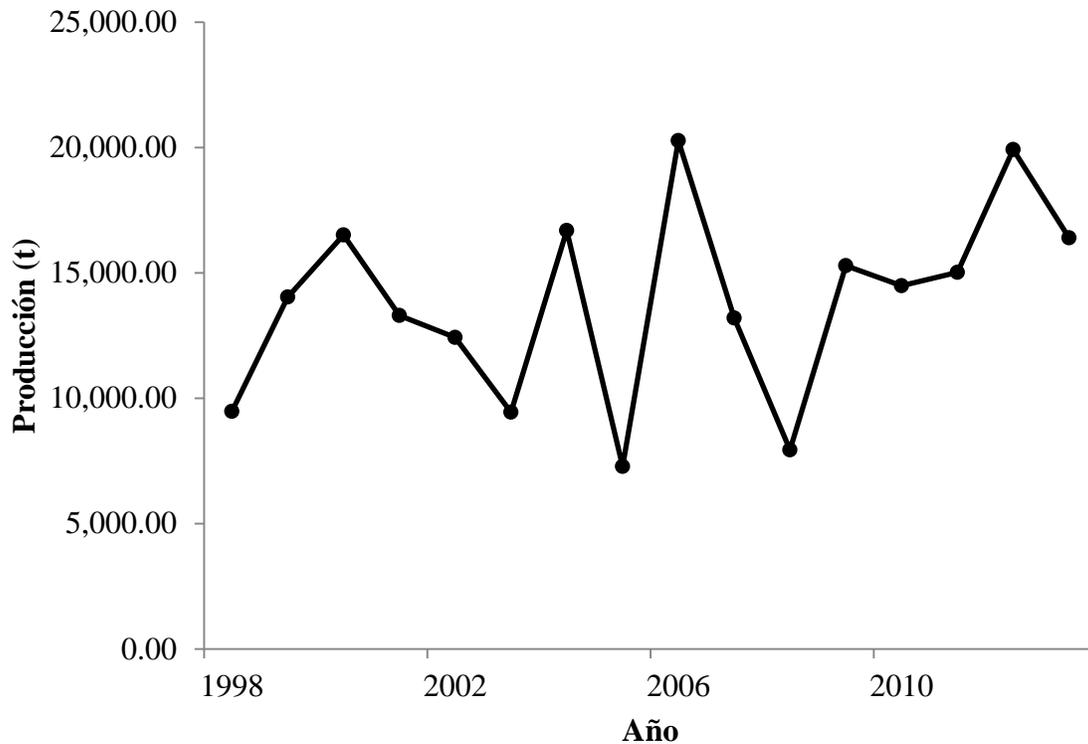


Fig. 3. Tendencia temporal de la producción del pulpo rojo en la península de Yucatán en el periodo 1998 - 2013.

El manejo de los recursos pesqueros en México está basado en tres herramientas de manejo: los planes de manejo, la Carta Nacional Pesquera (contiene información breve de los recursos pesqueros mexicanos, como captura, regulaciones pesqueras, estado de salud del recurso, etc.) y las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs), que son regulaciones técnicas obligatorias expedidas por el gobierno mexicano, estableciendo reglas, especificaciones, atributos y características aplicadas a productos, procesos, logística, sistemas, actividades, servicios o métodos de producción (*Diario Oficial de la Federación 30/04/2009*). La administración de este recurso pesquero está regulada por dos NOMs en materia pesquera:

1. NOM-008-PESC-1993. Donde se establece la talla mínima de captura en 110 mm de longitud de manto y prohíbe el uso de ganchos y figsas (SAGARPA e INAPESCA 2008).
2. NOM-009-PESC-1993. Donde se especifica un período de veda que abarca del 16 de diciembre al 31 de julio. Esta veda tiene como objetivo proteger el principal período de reproducción de *O. maya* y el crecimiento de los reclutas, que se reproducirán durante la veda en el segundo pico reproductivo que ocurre en la primavera, cuya cohorte sostiene la pesquería conforme esta avanza. Dentro de

este instrumento de regulación se establece la necesidad de que el Gobierno Federal asigne anualmente una cuota de captura de este recurso por región, para cada temporada de pesca (SAGARPA e INAPESCA 2008).

De acuerdo con la Carta Nacional Pesquera (DOF 2018), la población del pulpo rojo se encuentra al máximo nivel permisible. Con base en esto, INAPESCA ha realizado dictámenes técnicos donde presenta la evaluación de la población de pulpo rojo en la región comprendida dentro de la plataforma continental de la península de Yucatán durante las temporadas de pesca 2002 a 2013 (SAGARPA e INAPESCA 2002-2008 y 2011-2013).

En dichos dictámenes técnicos se muestran los indicadores sobre la disponibilidad y conservación, indispensables en la toma de decisiones en la administración y manejo de los recursos, elementos que eliminan la discrecionalidad de las acciones administrativas. Estos indicadores contemplan la estimación de la biomasa poblacional y la proporción posible a extraer, para garantizar la sustentabilidad del recurso pulpo (SAGARPA e INAPESCA 2002-2008; 2011-2013).

Los resultados presentados en los dictámenes técnicos y planes de manejo pesqueros se basaron en la información de muestreos directos en las costas de Yucatán y Campeche (SAGARPA e INAPESCA 2002-2008; 2011-2013). Estos se efectuaron en transectos lineales a través de buceo autónomo y las estimaciones se llevaron a cabo con el método de muestreo de la distancia (Buckland *et al.* 1993; Solana *et al.* 2002).

La tendencia temporal de las evaluaciones de biomasa observada de pulpo rojo en la península de Yucatán en los años 2002 a 2013 se muestra en la Fig. 4. La biomasa estimada varió de un mínimo de 16219 t en 2008 a un máximo de 25944 t en 2004. La biomasa promedio resultó de 21959 t, la D.E. fue de 3355.39 t, con un C.V. de 0.15. Se pudo apreciar que, en el período de 2002 a 2007, la biomasa se mantuvo con valores estables pero con ligeras disminuciones cada año; en 2007 y 2008 los valores de biomasa disminuyeron más que en los años anteriores, posteriormente la biomasa se volvió a estabilizar en el año 2011 y disminuyó de nuevo en 2012 y 2013. No se tienen disponibles datos de los años 2009 y 2010 debido a que no se hicieron dictámenes técnicos sobre la población del pulpo rojo por INAPESCA en esos años.

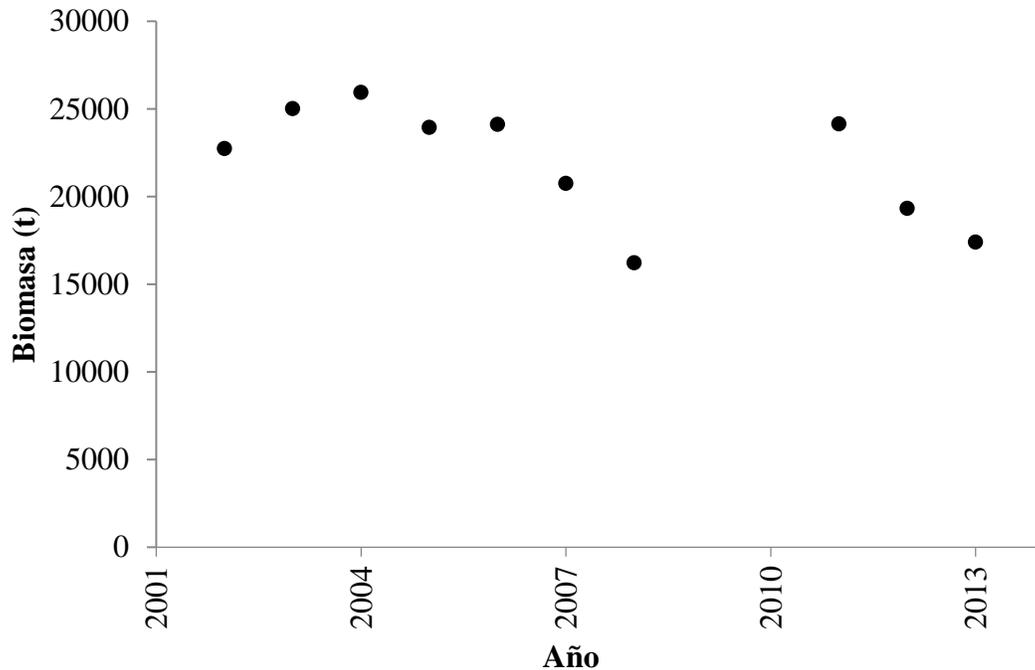


Fig. 4. Tendencia temporal de las evaluaciones de biomasa observada del pulpo rojo en la península de Yucatán en el periodo 2002 - 2013.

Sobre la magnitud de la pesca ilegal no se tienen registros, sin embargo, se conoce que existe el uso de artes de pesca y métodos prohibidos como el gancho o fisga, tanto en temporada de captura como durante la veda. En la temporada de pesca 2007 se usó de manera ilegal en Campeche una forma de pesca conocido localmente como “palangre pulpero”, que fue prohibido y propició una fuerte movilización de la instancias encargadas de vigilar la observancia de la normatividad, debido a que incide directamente sobre hembras reproductoras altamente vulnerables al cuidar sus nidos y sobre los juveniles que encuentran en estos objetos refugio. Asimismo, en Campeche se ha observado en las últimas temporadas de pesca un incremento en el número de embarcaciones ilegales con matrícula clonada, sin que a la fecha se pueda conocer cuál es el número (SAGARPA 2014).

2.3 Flota Pesquera

En la península de Yucatán participan actualmente 70 permisionarios de flota mayor y 217 de costa, que operan 3330 embarcaciones menores y 385 mayores, con 15000 pescadores aproximadamente. La unidad de pesca está compuesta por dos tipos de embarcaciones. La primera es la de flota mayor, de 10 toneladas brutas, que actúa como nodriza llevando hasta 12 alijos, 12 pescadores, patrón y cocinero.

Cada alijo lleva un pescador a bordo, un par de varas de bambú (jimbas) y cinco líneas pulperas (dos por vara y una a un costado del alijo). Usan como carnada cangrejos, jaibas y cabezas de pescado. Los pescadores laboran dos veces por día y la jornada es de 11 horas (CONAPESCA y SAGARPA 2008). El segundo tipo utiliza una embarcación menor que mide entre 5.5 y 9 metros de eslora con un máximo de tres alijos (de 3 metros de eslora cada uno) y cuatro pescadores. El método de captura es el “gareteo” (Fig. 5), con dos varas de bambú para un promedio de 12 líneas por lancha. Cada alijo con un pescador, lleva dos jimbas utilizando entre 5 y 7 líneas por jimba y cinco más en un costado de la lancha.



Fig. 5. Método de captura del pulpo rojo “gareteo” (Tomada de SAGARPA 2014).

Las jornadas son diarias, de 7 horas y la capacidad máxima de almacenaje es de 0.5 t. Basado en estos datos, una forma de medir el esfuerzo pesquero es el número de embarcaciones. Los viajes tienen una duración de un día, con excepción de algunas embarcaciones de 9 metros de eslora, cuya autonomía puede ser de hasta tres días. La flota industrial tiene una autonomía de 15 días (CONAPESCA y SAGARPA 2008).

Actualmente, la flota menor opera a lo largo del litoral de la península de Yucatán, en 27 comunidades pesqueras, concentrándose las descargas en 19 puertos, de los cuales destaca el puerto de Progreso como base de operación y de descarga (CONAPESCA y SAGARPA 2008). La flota menor es la más numerosa, opera en todo el litoral de Campeche, Yucatán y Norte de Quintana Roo. La flota que pesca

en el Sistema Arrecifal Veracruzano también se puede considerar dentro de esta categoría. La flota de mediana altura en Yucatán opera casi exclusivamente en el puerto de Progreso, Yucatán (SAGARPA 2014).

2.4 Mercado del pulpo rojo

La principal razón del incremento en el aprovechamiento de los moluscos como el pulpo es el alto valor nutritivo que poseen. La carne del pulpo contiene vitaminas A, B, C y D, calcio y proteínas de fácil digestión (casi al 100 %), entre otros nutrientes. Así mismo, el contenido de colesterol del pulpo es menor en comparación con el de otros mariscos (Global Biotech Consulting Group 2015).

La presentación del producto para el mercado nacional e internacional es fresco enhielado, y fresco congelado a una temperatura de -30 °C, esto facilita su transportación por vía marítima o aérea. Este producto es exportado a Japón, España, Corea, Italia (SAGARPA 2014), Grecia y Portugal (Global Biotech Consulting Group 2015).

Para el mercado local el producto es transportado en vehículos terrestres, equipados con refrigeración, principalmente hacia la Ciudad de México y a los estados de Puebla, Guanajuato, Michoacán, Jalisco, Sinaloa y Mexicali. (SAGARPA 2014). También se encuentra la presentación de enlatado (Solís-Ramírez y Chávez 1986).

En la Fig. 6 se muestran algunas de las presentaciones del pulpo rojo en el mercado. Actualmente la presentación fresco-congelado ha alcanzado mayor aceptación y mejores precios en el mercado (SAGARPA 2014). El precio del pulpo rojo por kilogramo en el mercado oscila entre \$155 y \$250 (PROFECO 2017). Si bien el precio del pulpo ha sido un incentivo para el ingreso de barcos a la pesquería, la relación oferta demanda no define los precios localmente, esto es que en la península de Yucatán no se han llegado a establecer o fijar los precios de esta especie, sino más bien ha sido un tomador de precios. Lo mismo ocurre en Campeche (SAGARPA 2014).



Fig. 6. Presentaciones del pulpo rojo en el mercado: **a)** Enlatado, **b)** Fresco-congelado y **c)** Fresco enhielado (Tomada de Global Biotech Consulting Group 2015).

2.5 Modelos de dinámica de biomasa

Un modelo de dinámica de biomasa es una de las herramientas más simples que puede utilizarse para caracterizar el estado y productividad de una población de todo tipo de organismos siempre y cuando se tengan los datos adecuados (Hilborn y Walters 1992). Si se tiene disponible una serie de tiempo de datos de captura, un índice de abundancia relativa, un modelo de biomasa excedente, un criterio de ajuste y el software adecuado se pueden aplicar los modelos de dinámica de biomasa. Con estos datos, es posible derivar estimados de índices de desempeño o puntos de referencia que pueden ser usados en el manejo del recurso pesquero (Punt y Hilborn 1996).

Estos puntos de referencia incluyen la biomasa actual (B) y el rendimiento máximo sostenible (RMS). Juntos, pueden usarse para evaluar las implicaciones de un rango de futuras capturas en el estado del recurso (Punt y Hilborn 1996).

Los modelos de dinámica de biomasa asumen que los cambios en el tamaño de la población de organismos son causados por la interacción entre tres factores: crecimiento individual, mortalidad natural y reproducción. La suposición fundamental de un modelo de dinámica de biomasa es que los

efectos de estos tres factores pueden incorporarse en una función de la magnitud de la población. La magnitud de estos efectos depende de factores como la edad, tamaño y estructura de la población, variación ambiental, patrones de densidad espacial a lo largo la distribución de la población de pulpo rojo existente y la biomasa actual e histórica (Punt y Hilborn 1996).

La función de dinámica de biomasa determina el efecto neto de la combinación de estos factores en una población de un tamaño en particular. El tamaño de la población se incrementará por el crecimiento individual y la reproducción; y se reducirá por la mortalidad natural y por pesca. La elección de una función de dinámica de biomasa apropiada para una población particular es determinada con base en qué tan bien las alternativas se ajustan a los datos y si los datos exhiben suficiente contraste para permitir estimar todos los parámetros con precisión (Punt y Hilborn 1996).

Se asume que los datos que usarán los modelos de dinámica de biomasa provienen de una única población biológica, considerada cerrada (unidad poblacional) y las tasas de emigración e inmigración se consideran insignificantes comparadas con las tasas de crecimiento y mortalidad natural (Punt y Hilborn 1996).

La pesquería del pulpo rojo presenta una oportunidad importante para la modelación de diferentes escenarios de manejo debido a la disponibilidad de datos de captura anual, de un índice de abundancia y datos del error de implementación en la cuota propuesta. Este último tipo de error tiene un papel importante en la dinámica de las especies, porque refleja las implicaciones de la capacidad de implementar plenamente las acciones de manejo (Punt y Hilborn 2001) y es reconocido como un componente importante en el análisis de decisión pesquero (Rice y Richards 1996).

Uno de los modelos de dinámica de biomasa es el de Schaefer (1954), que está definido por la siguiente ecuación:

$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right) - C_t \quad (1)$$

Donde B_t es la biomasa en el año t , r es la tasa intrínseca de crecimiento, K es la capacidad de carga poblacional y C_t es la captura comercial en el año t . Similarmente, el modelo de Fox (1970) está descrito por:

$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{\ln(B_t)}{\ln(K)} \right) - C_t \quad (2)$$

Hay muchas poblaciones para las cuales el modelo de Fox provee un mejor ajuste a los datos (Punt y Hilborn 1996). Finalmente, el modelo de Pella-Tomlinson (1969) tiene la siguiente ecuación:

$$B_{t+1} = B_t + \frac{r}{p} B_t \left(1 - \left(\frac{B}{K} \right)^p \right) - C_t \quad (3)$$

Donde p es el parámetro de forma de la curva de captura contra esfuerzo. El modelo de Pella-Tomlinson es equivalente al de Schaefer con $p=1$, y el modelo de Fox es el límite del de Pella-Tomlinson cuando $p \rightarrow 0$ (Punt y Hilborn 1996). Si el valor de p es distinto de 1, la curva de captura contra esfuerzo ya no es simétrica, si no que se inclina hacia la izquierda o a la derecha. El modelo de Schaefer (1954) y sus derivados (Pella-Tomlinson 1969; Fox 1970) son comparables a aquellos modelos utilizados para el estudio de las relaciones depredador-presa. Estos últimos consideran a la población como una entidad en la cual la abundancia depende de la acción depredadora ejercida por el hombre. Si se expresa la biomasa como la captura por unidad de esfuerzo y la depredación por el hombre por el esfuerzo de pesca, se observa generalmente una relación lineal o no lineal negativa entre estas dos cantidades (FAO 2015).

La relación entre la captura total y el esfuerzo, es una curva que puede ser parabólica y pasa a través de un nivel máximo e intermedio de abundancia. Estos modelos también forman las bases para la administración de pesquerías por cuota de captura o limitación de esfuerzo (FAO 2015). Los modelos dinámicos han sido aplicados principalmente a las especies con una tasa intrínseca de crecimiento relativamente baja (Punt y Hilborn 1996), como es el caso del pulpo rojo.

2.6 Modelos bioeconómicos

El tejido socioeconómico es uno de los condicionantes de la actividad pesquera. Es necesario que exista el recurso y un interés económico para explotarlo (Franquesa 1995). El esfuerzo pesquero ejercido por una embarcación se ve influenciado por la forma en que otras hagan uso del recurso, de tal manera que la entrada de más embarcaciones incrementará el esfuerzo de pesca sobre este, afectando los

rendimientos de los diferentes usuarios de la pesquería. Es necesario modelar matemáticamente las pesquerías sujetas a diferentes regímenes de explotación para realizar estimaciones y predicciones de los posibles impactos bioeconómicos en estas. Para ello se requiere conocer los fundamentos de la teoría bioeconómica de pesquerías, los cuales permitirán explorar e introducir las complejidades inherentes al manejo de recursos pesqueros (FAO 1997).

En los años 50 aparecieron a nivel teórico los modelos bioeconómicos a partir de los trabajos de Gordon y Schaefer (1954), que tratan de relacionar la reproducción de un recurso renovable, con su explotación motivada por fines económicos (Franquesa 1995). Los modelos bioeconómicos son modelos matemáticos que simulan el comportamiento productivo, ambiental y económico de sistemas de producción, se basan en funciones de producción con coeficientes físicos y económicos y en ocasiones emplean indicadores ambientales. Estos modelos superan parcialmente la necesidad de implementar sistemas físicos, permiten evaluar muy variadas alternativas de producción y optimizan los factores de producción mediante optimización lineal (Díaz 2012). Cabe mencionar que el modelo de Schaefer en equilibrio tiene algunos supuestos y limitaciones importantes:

Supuestos

- a) Existen condiciones de equilibrio poblacional, mediante el cual se compensan los procesos de mortalidad con los de crecimiento y reclutamiento.
- b) Para obtener el rendimiento de la población sujeta a explotación, asumiendo condiciones de equilibrio, se parte de que la mortalidad por pesca F es directamente proporcional al esfuerzo f , siendo q la constante de proporcionalidad, tal que:

$$F = qf \tag{4}$$

- c) La captura por unidad de esfuerzo ($CPUE$) es directamente proporcional a la abundancia de la población, es decir:

$$CPUE = C / f = qB \tag{5}$$

- d) El recurso se mantiene en un ambiente físico estable determinado por una capacidad de carga constante.
- e) El recurso lo compone una sola especie y el esfuerzo es aplicado exclusivamente a ésta.
- f) La tecnología utilizada en la extracción del recurso se mantiene constante.

Limitaciones

(I) El inciso (a) asume equilibrio, lo cual constituye un serio inconveniente a la hora de administrar los recursos (Caddy 1984). Ello implica que se dejan de lado todos los procesos que gobiernan la productividad de una población existente (*e.g.* reclutamiento), muchos de los cuales poseen un alto grado de estocasticidad, inclusive en una escala de tiempo reducida.

(II) El coeficiente de capturabilidad q no siempre puede ser considerado constante. Diferentes comportamientos de agregación en cardúmenes de recursos pelágicos o en recursos bentónicos, así como factores relacionados con la diferente selectividad y accesibilidad por clases de talla al arte de pesca, violan dicho supuesto.

(III) La *CPUE* no siempre es un índice sin sesgo de abundancia relativa de una población, como se asume en el inciso (c), en especial en recursos sedentarios donde la distribución espacial no es homogénea. La limitada movilidad de estos organismos implica que no puedan redistribuirse en el área de pesca una vez aplicado el esfuerzo pesquero. La estrategia dirigida de exterminación de parches determina un comportamiento agregado de los usuarios del recurso, lo cual limita la aplicabilidad del modelo (Caddy 1975, 1989a, b; Conan 198 y Orensanz *et al.*, 1991).

(IV) El asumir que se conoce el tamaño de la población resulta riesgoso, debido a la dificultad en la obtención de estimadores sin sesgo de tamaño poblacional, así como a las fuentes de variabilidad que pudieran producir intensas fluctuaciones en su magnitud.

(V) En el inciso (d) se ignora la dinámica de la distribución espacial del recurso, los procesos biológicos que generan la biomasa, así como las interacciones intra e inter específicas y los efectos de las variaciones estocásticas en el medio ambiente y en la abundancia de la población. Al suponer que el recurso se mantiene en un ambiente físico estable, que determina una capacidad de carga constante, se limita la aplicabilidad de este modelo determinístico (Pitcher y Hart 1982; Sissenwine 1984a, b).

(VI) El supuesto (e) ignora la ocurrencia de interdependencias biológicas (*e.g.* competencia, depredación) y tecnológicas. Además, no considera la asignación diferencial del esfuerzo en el corto plazo, esto es, cómo el pescador decide entre la captura de un recurso u otro, cuando el método y el arte

de pesca le permiten tener más de una especie objetivo, así como definir cuándo y dónde salir a pescar (Hilborn 1985; Eales y Wilen 1986; Sampson 1993).

(VII) Por otro lado, los incrementos en el poder de pesca (tecnificación de la captura) por parte de la flota determinan variaciones en q que restringen la aplicabilidad del modelo y limitan el supuesto (f).

A pesar de las limitaciones anteriores, el modelo de Schaefer (1954) ha sido usado tanto en soluciones de equilibrio como en aplicaciones más recientes y avanzadas dentro de un marco estadístico formal, como el que se adopta en la presente tesis. Por otra parte, la curva del rendimiento sostenible en función del esfuerzo pesquero es la base para el modelo bioeconómico de Gordon (1954) (Fig. 6), quien incluyó los aspectos económicos en el modelo de Schaefer. El modelo bioeconómico de Gordon establece que los ingresos netos (Π) dependen de la diferencia entre los ingresos totales sostenibles (ITS) y los costos totales (CT):

$$\Pi = ITS - CT \tag{6}$$

Los ingresos totales sostenibles son una curva de potencial de producción biológica, frente a una explotación externa y se definen como las capturas de un recurso vivo multiplicadas por su precio p (Franquesa 1995) que, en el equilibrio, se calculan al multiplicar la ecuación (1) por el precio:

$$ITS = prB \left(1 - \frac{B}{K} \right) \tag{7}$$

La otra función del modelo bioeconómico es la de costos totales. El costo del esfuerzo es proporcional a este: cuánto más cantidad de esfuerzo se emplea, mayor costo implica. A medida que descende la densidad del recurso, aumenta el esfuerzo necesario para capturarlo. Una unidad de esfuerzo (embarcación, día de pesca, número de anzuelos, número de lances, etc.) tiene un determinado precio implícito (Franquesa 1995). Los costos totales están dados por la siguiente ecuación:

$$CT = \sum(AI + Cm + Ac + Ch) \tag{8}$$

Dónde:

A_l = Costos de alimento por embarcación por viaje de pesca,

C_m = Costo del combustible por embarcación por cantidad consumida en cada viaje de pesca,

A_c = Costo de aceite por embarcación por cantidad consumida por viaje de pesca, y

C_h = Costo de carnada y hielo por embarcación por cantidad consumida por viaje de pesca (Salas *et al.* 2012).

Los costos pueden ser fijos, variables y de oportunidad, tanto de capital como de mano de obra. Los costos fijos son independientes de que la flota opere o no (devaluación, intereses, gastos administrativos, etc.), mientras que los variables solo se producen cuando el pescador sale a pescar (combustible, carnada, alimentos, entre otros). Los costos de oportunidad se definen con base en la siguiente mejor alternativa de inversión del capital o bien de ocupación de la mano de obra. Esto implica que los ingresos que hubieran podido ser generados en la siguiente mejor actividad alternativa deben ser incluidos dentro de los costos (FAO 1997).

Las funciones de costos e ingresos se miden con una dimensión homogénea: el dinero. Ello permite elaborar la hipótesis de cómo van a interrelacionarse. Desde una perspectiva económica, se pueden encontrar tres puntos de referencia relevantes en la dinámica de equilibrio, de los que se supone que la explotación tenderá a situarse en dos de ellos, según sean las condiciones. Los tres puntos relevantes: α , β y π se presentan en la Fig. 7.

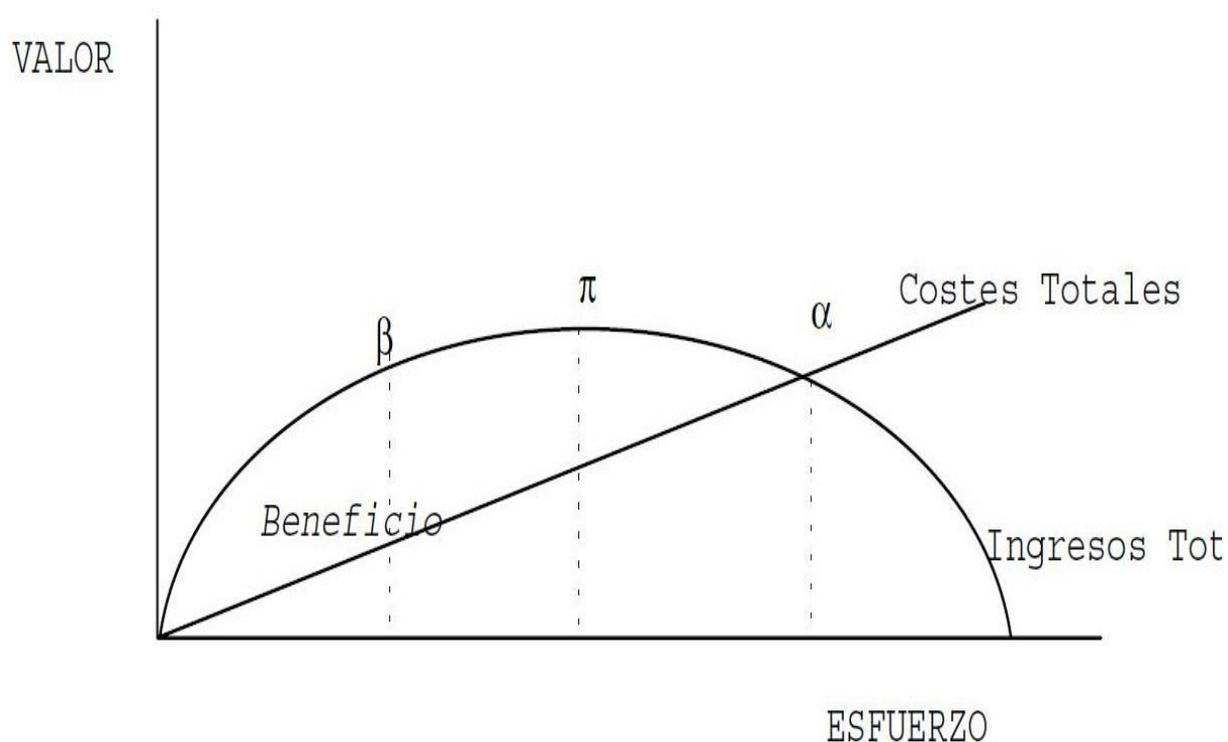


Fig. 7. Representación del modelo bioeconómico de Gordon-Schaefer (1954) (Tomada de Franquesa 1995).

El punto π es el Rendimiento Biológico Máximo Sostenible (RMS), usado como un punto de referencia importante en el manejo pesquero, también es el valor máximo de la función de ingresos y corresponde al nivel de explotación E que genera el máximo volumen de capturas físicas (en equilibrio). Desde el punto de vista económico, lo importante no es aumentar el ingreso, sino el beneficio, que es la diferencia entre ingresos y costos, como se muestra en la ecuación 6 (ver página 22) (Franquesa 1995).

En el punto β se presenta el beneficio máximo. Este punto se ubica en el momento en que las pendientes de las funciones de costos e ingresos se igualan, es decir, que las derivadas de las dos funciones son iguales y no existen ganancias ni pérdidas. Ese punto es el que maximiza la distancia entre ingresos y costos totales, entre el dinero que ingresa y el que se gasta, por tanto maximiza el beneficio. A este punto tenderá cualquier empresa que quiera maximizar el beneficio si puede impedir que otros participantes de la pesca aumenten el esfuerzo. Por tanto para alcanzar el beneficio máximo β es necesario que se cumpla la condición de que el acceso a la explotación esté regulado o que exista asignación de propiedad (Franquesa 1995).

En ausencia de regulación, el aumento del esfuerzo ocasiona un incremento en los ingresos hasta alcanzar el nivel de equilibrio bioeconómico (α), que corresponde a un nivel de esfuerzo f donde los

costos totales igualan a los ingresos totales sostenibles no hay beneficio neto e implica pérdidas económicas (Franquesa 1995). En el equilibrio biológico, la magnitud de la población se mantiene constante en el tiempo. Gordon (1954) supuso condiciones de equilibrio en la población para obtener un rendimiento máximo sostenible en el largo plazo. Si la biomasa se asume en equilibrio biológico y económico simultáneamente, se dice que se encuentra en **equilibrio bioeconómico** (FAO 1997).

Bajo estas condiciones la biomasa será siempre mayor a cero dado que el esfuerzo se reducirá o cesará cuando los costos totales superen a los ingresos totales. En consecuencia, el modelo pronostica: (1) sobreexplotación, si la curva de costos totales interseca a la de ingresos totales sostenibles, con niveles de esfuerzo pesquero superiores a los requeridos para operar en rendimiento máximo sostenible; y (2) la no extinción del recurso, debido a que antes que este se agote, deja de ser rentable ejercer esfuerzo sobre la especie en cuestión. La condición de no extinción dependerá del tipo de crecimiento asumido para el recurso y la forma que adquiera la función de captura (Clark 1985; Anderson 1986). Asimismo, debe precisarse que la predicción de no extinción será correcta si y solo si la biomasa resultante en equilibrio bioeconómico excede el nivel de **biomasa umbral** requerido para darle viabilidad de existencia a la población (FAO 1997).

La posición de la curva de costos es muy importante, ya que si estos se reducen existirán ganancias (aunque con menores rendimientos) y por tanto, habrá estímulos para incrementar el esfuerzo hasta alcanzar un nuevo nivel de equilibrio, ateniéndose también a un nuevo nivel de esfuerzo para obtener el máximo rendimiento económico. Se asume que el esfuerzo extra es producido por la operación de botes nuevos que operan de una manera eficiente, más que por la expansión del esfuerzo de los ya existentes (Anderson 1986; FAO 1997). Gordon pronosticó que el esfuerzo en el equilibrio bioeconómico sería el doble del ejercido al nivel de máximo rendimiento económico (Franquesa 1995).

La reacción de una población frente al aumento de la mortalidad por un factor externo (en este caso el esfuerzo de pesca) es aumentar su tasa de reproducción. Este aumento es proporcional a la perturbación que sufre la población, pero solo hasta un punto máximo biológico (π) (Fig. 7), a partir del cual si sigue aumentando la presión sobre esta, va a tener dificultades para reproducirse. A partir de ese punto, el nivel de reproducción será cada vez menos capaz de reponer a la población y si el ritmo de captura sigue aumentando puede alcanzar el punto de extinción (Franquesa 1995).

El modelo tiene que transformar la ecuación que muestra el comportamiento de una biomasa de captura (número de individuos, kilos, entre otros) en una curva que exprese un comportamiento económico. Así se transforma la biomasa de la captura en dinero, multiplicando el volumen de biomasa del recurso (captura) por su precio unitario (pesos por kilogramo o pesos por tonelada). Aquí se introduce un nuevo

supuesto, pues se supone que el primer kilogramo tiene el mismo precio que el último (Franquesa 1995).

La mayoría de los modelos bioeconómicos se desarrollan con el supuesto de que las poblaciones se encuentran en equilibrio, de tal forma que la población permanece constante. Para el modelo de Schaefer (1954), en equilibrio se tiene que $B_{t+1} = B_t$ por lo que la ecuación se reduce a:

$$0 = rB_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right) - C_t \quad (9)$$

Por lo que la captura de equilibrio o producción de equilibrio está dada por:

$$C_t = rB_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right) = rB_t - \frac{rB_t^2}{K} \quad (10)$$

La ecuación anterior describe a la captura como función de la biomasa, con una forma parabólica si se deriva la ecuación anterior con respecto a B_t y se iguala a cero:

$$\frac{dC}{dB} = r - \frac{2rB_t}{K} = 0 \quad (11)$$

Despejando B_t se encuentra el valor de la biomasa B_{rms} para el rendimiento máximo sostenible:

$$B_{rms} = \frac{K}{2} \quad (12)$$

En términos de esfuerzo pesquero, la ecuación (11) se puede reescribir como:

$$\frac{C}{rB_t} + \frac{B_t}{K} = 1 \quad (13)$$

En la ecuación (11) puede utilizarse la definición de captura en términos del esfuerzo pesquero (Schaefer 1954):

$$C_t = qfB_t \quad (14)$$

Y sustituirla para obtener la siguiente expresión:

$$\frac{qfB_t}{rB_t} + \frac{B_t}{K} = 1 \quad (15)$$

Finalmente, despejando B_t de la ecuación anterior, se obtiene la biomasa de equilibrio B_e como función del esfuerzo:

$$B_e = \left(1 - \frac{qf}{r}\right)K \quad (16)$$

La expresión anterior sugiere que, en el equilibrio, la biomasa es inversamente proporcional al esfuerzo pesquero, por lo que disminuye al aumentar el esfuerzo. La captura de equilibrio o rendimiento sostenible sigue un comportamiento similar a la biomasa de equilibrio y se calcula al sustituir la expresión anterior (16) en la ecuación (14) para obtener nuevamente la ecuación de una parábola, donde la captura depende del esfuerzo al cuadrado:

$$C = qfK\left(1 - \frac{qf}{r}\right) = qfK - \frac{q^2 Kf^2}{r} \quad (17)$$

3. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES DE *Octopus maya*

Se han realizado numerosos trabajos de investigación sobre el pulpo rojo. Voss y Solís-Ramírez (1966) elaboraron la descripción de la especie, donde se mencionaron ampliamente sus características morfológicas, basándose en ocho ejemplares recolectados, incluyendo esquemas de cada parte del cuerpo del pulpo y una clave de campo para la identificación de las especies del género *Octopus* de aguas someras del Atlántico tropical occidental; también se comparó esta especie con otras similares. SAGARPA e INAPESCA (2002-2008; 2011-2014) realizaron numerosos dictámenes técnicos y planes de manejo pesquero en los cuales mencionaron la biología del pulpo rojo, su distribución en la península de Yucatán, la importancia que tiene para la pesquería en México, en qué consiste la flota pesquera y el método de pesca, la estimación de la producción y la biomasa en cada año y la comparación de estos datos con los de años anteriores. También sugirieron medidas para el manejo de esta pesquería y mejor aprovechamiento del recurso sin agotarlo totalmente.

Santos-Valencia *et al.* (2005) describieron los órganos reproductores de las hembras de la zona norte de Campeche, también estudiaron la fecundación, el desarrollo de los huevos y su eclosión.

Wakida-Kusunoki *et al.* (2004) realizaron muestreos en el año 2002 para evaluar la abundancia del pulpo rojo y su disponibilidad pesquera y así poder recomendar medidas apropiadas para la administración del recurso. Estimaron la abundancia poblacional absoluta mediante el método de distancia y la disponibilidad del recurso para la pesca fue obtenida por el método de pesca de área barrida.

Jurado-Molina (2010) realizó una valoración de la población existente y un análisis de decisión usando el modelo de Schaefer con un enfoque bayesiano para la estimación de los parámetros del modelo y para proyectar la población de esta especie bajo dos escenarios de manejo: con una tasa de explotación constante y un error de implementación.

Entre los trabajos con modelos bioeconómicos que se han realizado en México para otras especies, se encuentra el de Canedo-López *et al.* (1999), en el erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) de Baja California y el de Dreyfus-León y Manzo-Monroy (1993), del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) del Océano Pacífico oriental. Actualmente no se han realizado otros trabajos utilizando modelos bioeconómicos para esta especie.

4. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un modelo bioeconómico que proporcione información complementaria a los trabajos de SAGARPA e INAPESCA (2002-2008; 2011-2014) y Jurado-Molina (2010) para mejorar el manejo de la pesquería del pulpo rojo de la península de Yucatán.

4.1 Objetivos particulares

- Utilizar los modelos de dinámica de biomasa para caracterizar el estado y productividad de la población del pulpo rojo.
- Extender los trabajos realizados por Jurado-Molina (2010) e INAPESCA con datos actualizados hasta el año 2013.
- Aplicar el modelo bioeconómico para estimar y predecir las implicaciones que podría tener la explotación del recurso pulpo en un futuro cercano.
- Con base en los resultados obtenidos, proponer mejoras para el manejo de la pesquería del pulpo rojo en la península de Yucatán y mencionar algunos problemas que esta presenta.

5. JUSTIFICACIÓN

El pulpo rojo tiene una gran importancia en las comunidades humanas cercanas a su distribución geográfica, ya que la pesquería de este recurso produce muchos empleos y crea ingresos para los pescadores y sus familias; también para el gobierno en sus diferentes niveles, estatal o federal; además de la derrama económica que tiene esta actividad. Debido a las exportaciones de este producto, genera la captación de divisas extranjeras. En la cultura gastronómica, el pulpo rojo forma parte de la dieta de los lugareños y de los consumidores en el país y en el extranjero. Actualmente, en la península de Yucatán, existen una multitud de recetas tradicionales y modernas para su elaboración.

La captura anual de este recurso sustenta a la industria pesquera de los estados de Yucatán y Campeche (SAGARPA 2014). Debido a todo lo anterior, el pulpo rojo debe ser explotado de manera sustentable, para lograrlo, se requiere que se analicen los aspectos biológicos (valoración de la población de pulpo rojo existente), pesqueros (análisis de decisión), ecosistémicos y económicos; además, el manejo cuantitativo óptimo de los recursos pesqueros debe estar basado en la disponibilidad de datos y en las técnicas cuantitativas adecuadas. Se debe determinar el estado de salud actual del recurso y las

potenciales consecuencias de las distintas estrategias de explotación en un futuro cercano, a mediano y largo plazos.

6. METODOS

6.1 Modelos de dinámica de biomasa

Los modelos de dinámica de biomasa que se usaron para describir la dinámica poblacional del pulpo rojo en la península de Yucatán fueron el modelo de Schaefer (1954), el de Fox (1970) y el de Pella-Tomlinson (1969). El índice de abundancia estimado por INAPESCA se ajustó a cada uno de los modelos mencionados (Fig. 8) y se asumió un error de observación con distribución log-normal, de tal forma que, para un año dado t , el logaritmo negativo de la verosimilitud (LL) está dado por la siguiente ecuación (Hilborn y Mangel 1997):

$$LL = \ln(\sigma) + \frac{(\ln I_t^{obs} - \ln I_t^{est})^2}{2\sigma^2} \quad (18)$$

Donde I^{est} es el valor estimado del índice de abundancia por el modelo, I^{obs} representa los valores del índice de abundancia estimado por el INAPESCA y σ el error estándar asociado a cada estimación del índice de abundancia; sin embargo, cabe mencionar que este parámetro no está disponible en los reportes técnicos del INP (2002–2008) y del INAPESCA (2011-2013); por consiguiente, se supuso un parámetro constante a estimar y así ayudar a reducir el número de parámetros estimables de $n+4$ a 5. El logaritmo negativo de la verosimilitud total es la suma de los n componentes (número de los datos disponibles de I^{obs}). Debido a que la evaluación anual de la biomasa se llevó a cabo a la mitad del año, I^{est} fue calculado como:

$$I_t^{est} = \hat{q} \frac{(\ddot{B}_{t+1} + \ddot{B}_t)}{2} \quad (19)$$

Donde \hat{q} es el coeficiente de capturabilidad estimado, correspondiente al índice de abundancia estimado por INAPESCA (Fig. 3). Otro supuesto importante usado en los modelos es que la población inicial en 1998, B_0 , era un porcentaje de la capacidad de carga, debido a que en dicho año la población ya había estado bajo explotación ($B_0=x\% K$), por lo que se tuvo que estimar dicho porcentaje. Para determinar a cuál de los tres modelos mencionados anteriormente se ajustaron mejor los datos observados del índice de abundancia, se utilizó el criterio de Akaike (1973):

$$AIC = -2\ln(L_{\max}) + 2p \quad (20)$$

Donde L_{\max} representa la verosimilitud total máxima de cada uno de los modelos y p representa el número de parámetros estimados. Para realizar el análisis se usaron los datos de captura anual de la pesquería comercial en el periodo de los años de 1998 a 2013, que fueron recabados en las subdelegaciones de pesca de Yucatán y Campeche. También se usó un índice de abundancia estimado por personal de INP/INAPESCA de 2002 a 2013 (INP 2002-2008; INAPESCA 2011-2013). La construcción de los modelos y la estimación de los parámetros se realizó con Excel 2010 y Solver 2010 respectivamente.

6.2 Modelo bioeconómico

Para estimar los costos totales (CT) en pesos mexicanos por viaje de pesca por embarcación, se realizaron tres entrevistas a permisionarios de cooperativas (1, 2 y 3) de los estados de Yucatán y Campeche. Con los datos recopilados, se calculó un promedio de los datos para obtener los costos totales de abastecimiento por viaje de pesca de cada embarcación por día y este valor fue multiplicado por el número de días que duró la temporada de pesca (137), para obtener el costo de abastecimiento por embarcación por temporada (ecuación 8).

El esfuerzo pesquero se midió en número de embarcaciones. Se obtuvieron los valores de biomasa en equilibrio mediante la ecuación 16 y se graficaron en función del esfuerzo pesquero (Fig. 9); también se calcularon los valores de la captura en equilibrio, con la ecuación 17 y se graficaron en función del esfuerzo pesquero (Fig. 10). Posteriormente se realizó el modelo bioeconómico, donde se incluyeron los parámetros r y K del modelo de Schaefer, la capturabilidad q de la flota, costo por embarcación por temporada y el valor de venta de la tonelada de pulpo rojo. Para calcular el valor de la capturabilidad q de la flota se utilizó la ecuación 14, despejándola de la siguiente manera:

$$q = \frac{C_t}{fB_t} \quad (21)$$

Se calculó solamente para los años 2004 y 2012 porque fueron los únicos en los que se tuvieron los datos completos para realizar el cálculo. Una vez calculado el valor de q para ambos años, se calculó un promedio.

Para el modelo bioeconómico se construyó el gráfico con los valores de beneficio (ecuación 6), ingresos (ecuación 7) y costos (ecuación 8) como valores dependientes en función del esfuerzo como variable independiente (Fig. 11). El valor de β corresponde al valor máximo del beneficio. Para obtener el punto de referencia π , se consideró el valor máximo de ingreso, que corresponde también al Máximo Rendimiento Sostenible; debido a la resolución utilizada en el modelo para el esfuerzo (50 embarcaciones), no se pudo calcular directamente el esfuerzo asociado al punto de referencia α , por lo que se determinó mediante una interpolación lineal.

7. RESULTADOS

7.1 Modelos de dinámica de biomasa

Los resultados obtenidos para el ajuste de los datos observados del índice de abundancia determinados por INAPESCA (2002-2008 y 2011-2013) a los modelos de Schaefer, Pella-Tomlinson y Fox al se muestran en la Fig. 8:

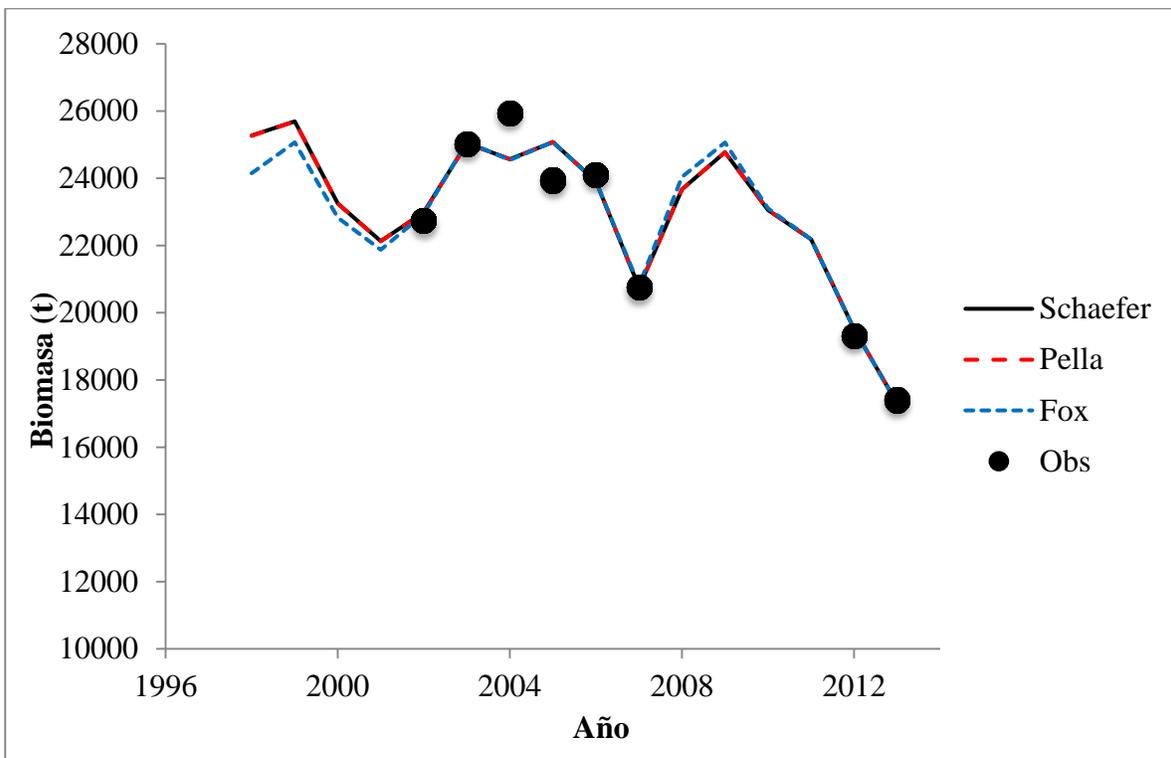


Fig. 8. Ajuste de los datos observados del índice de abundancia recabados por INAPESCA (2002-2008 y 2011-2013) a los modelos de Schaefer, Fox y Pella-Tomlinson. Obs – valores observados de biomasa (t).

Los datos del índice de abundancia se ajustaron mejor al modelo de Schaefer (1954), que obtuvo el valor mínimo del criterio de Akaike. Por esta razón, este modelo fue seleccionado para estimar el modelo bioeconómico de Gordon-Schaefer. En la tabla 1 se muestran los valores estimados de los parámetros para cada modelo y el valor del criterio de Akaike correspondiente.

Tabla 1. Parámetros estimados con la subrutina Solver para cada modelo usado en la dinámica poblacional del pulpo rojo en la península de Yucatán. K- capacidad de carga, r – tasa de crecimiento, σ^2 – varianza, p – parámetro de forma.

Parámetros/Modelos	Schaefer	Fox	Pella-Tomlinson
Porcentaje (B0)	0.65	0.57	0.65
K	47448.79	49595.73	47435.02
r	1.24	0.88	1.24
σ^2	0.0003	0.0003	0.0003
p		-	1
Criterio de Akaike	-89.08	-86.84	-87.08

7.2 Modelo bioeconómico

En la tabla 2 se muestran los promedios de los datos obtenidos en las entrevistas a permisionarios de cooperativas de Yucatán y Campeche.

Tabla 2. Costos en pesos mexicanos de abastecimiento por viaje de pesca de cada cooperativa.

Cooperativas	1	2	3	
Concepto	Precio	Precio	Precio	Promedio
Carnada	41100.00	24660.00	54800.00	40186.67
Aceite	5137.50	-	8905.00	7021.25
Hielo	5137.50	20550.00	4110.00	9932.50
Alimento	13700.00	-	11645.00	12672.50
Mantenimiento de embarcaciones	3000.00	1312.50	-	2156.25
Combustible	90420.00	67815.00	68500.00	75578.33
Permiso	333.33	375.00	-	354.17
Centro de Acopio	4500.00	822.00	-	2661.00
Costo Total por día				1099.00
Costo Total por temporada (137 días)				150562.67

El promedio de costo total por día de pesca por embarcación fue de \$1099, mientras que el promedio de costo por embarcación por temporada de pesca (137 días) fue de \$150562.67. En la Fig. 9 se muestra la relación inversamente proporcional entre la biomasa y el esfuerzo. El valor máximo de biomasa fue de 47448.79 t con un esfuerzo de 0 embarcaciones, mientras que el valor mínimo de la biomasa fue de 315.59 t con un esfuerzo de 5950 embarcaciones.

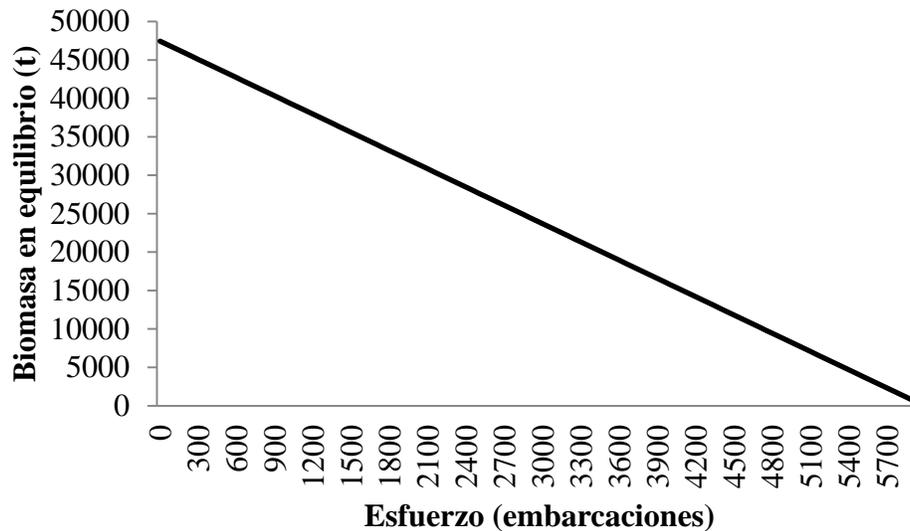


Fig. 9. Biomasa (t) en equilibrio como función lineal (inversamente proporcional) del esfuerzo pesquero (embarcaciones).

En la Fig. 10 puede apreciarse que la relación entre la captura total y el esfuerzo, es una curva parabólica y pasa a través de un nivel máximo e intermedio de abundancia. El primer valor de captura es 0 t con un esfuerzo de 0 embarcaciones, el valor máximo de captura es 14709.08 t con un esfuerzo de 3000 embarcaciones y el último valor corresponde a 388.73 t con un esfuerzo de 5950 embarcaciones.

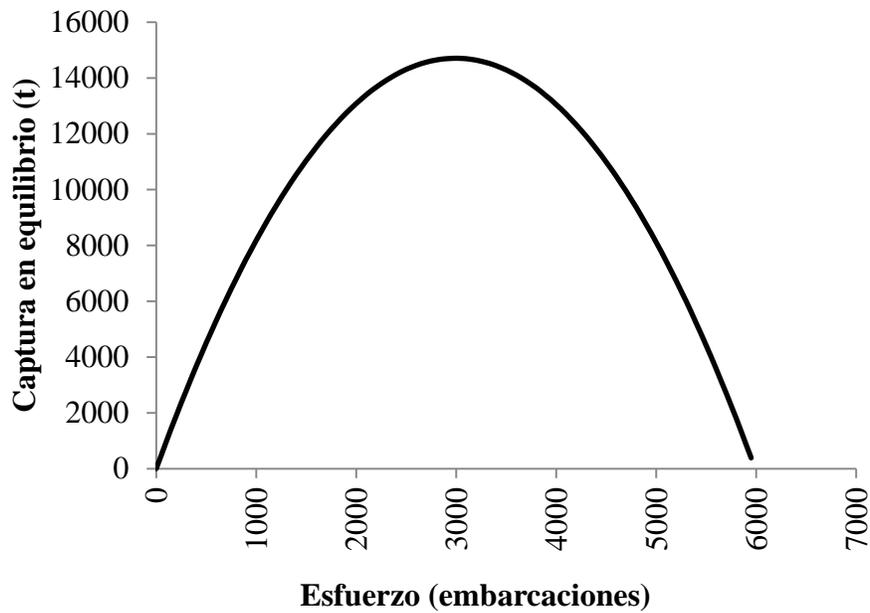


Fig. 10. Captura (t) en equilibrio como función del esfuerzo pesquero (embarcaciones).

En la Fig. 11 se puede ver que el valor de π fue de \$2214638747, con un esfuerzo correspondiente de 3000 embarcaciones; el valor de β fue de \$1786650433, con un esfuerzo de 2700 embarcaciones y el de α fue de 0, con un esfuerzo de 5380 embarcaciones.

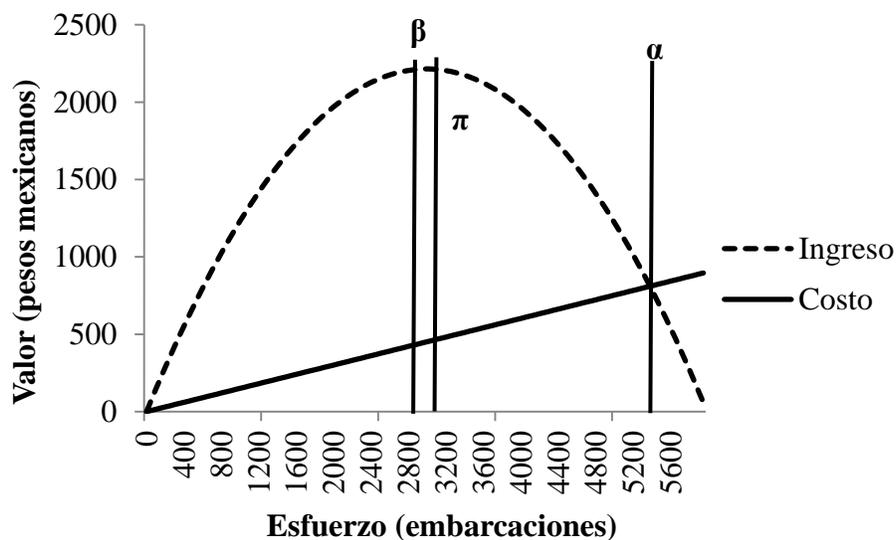


Fig. 11. Modelo bioeconómico de Gordon-Schaefer (1954). Ganancia y costos en pesos mexicanos en función del esfuerzo pesquero (embarcaciones).

8. DISCUSIÓN

Esta tesis es una extensión del trabajo realizado por Jurado-Molina (2010), donde se incluyen datos actualizados de la producción y un índice de abundancia del pulpo rojo, en el periodo de 1998 a 2013, para llevar a cabo una valoración de la población del pulpo rojo existente en la península de Yucatán. Se tomó en cuenta la incertidumbre del modelo. En general, este tipo de error no es tomado en cuenta cuando se lleva a cabo un análisis de las pesquerías en México (Kar y Kunal 2009; Jurado-Molina 2010).

El criterio de Akaike es una herramienta útil que ayuda a determinar a qué modelo se ajustan mejor a los datos y debería de ser una herramienta de uso común en la investigación pesquera. En la presente investigación, este se usó para analizar la incertidumbre de modelo; no obstante, existen otros tipos de errores que podrían ser incorporados en el trabajo. Se determinó que los datos observados del índice de abundancia se ajustaron bien a los modelos de dinámica de biomasa, pero el mejor ajuste se logró con el modelo de Schaefer; sin embargo, un problema que se presentó fue que al ajustar los datos de índice de abundancia observados por INAPESCA al modelo, dos de los datos (años 2004 y 2005) sugerían una gran variabilidad de la biomasa y no permitían un ajuste adecuado del modelo. Al tratar de ajustar el modelo se volvió inestable, por lo que se descartaron del ajuste para continuar con el análisis. Las estimaciones de biomasa de 2004 y 2005 probablemente presenten errores.

También existe la incertidumbre respecto a los parámetros del modelo. Excel no permite la estimación directa de estos, por lo que es necesario que, en futuras versiones, el modelo se implemente en algún software que permita la estimación de los errores estándar de los parámetros, como el paquete estadístico R, ADMB (Automatic Differentiation Model Builder), Matlab, etc. La presente implementación del modelo es determinista, las futuras implementaciones deberán de ser estocásticas y que incluyan las incertidumbres mencionadas en un marco de simulación de Cadenas de Markov Montecarlo.

No se obtuvo el número de entrevistas deseadas a permisionarios, por lo que la estimación realizada de costos fue hecha con los datos de sólo tres entrevistas. Existe mucha incertidumbre en cuanto a esto. El modelo podría ser sensible a esta variable, por lo que se recomienda que en futuros análisis se mejore la calidad de este dato y se lleve a cabo un análisis de sensibilidad que incluya perturbaciones al costo por unidad de esfuerzo, además, que se considere como variables de respuesta a los puntos de máxima ganancia, equilibrio y máximo beneficio (ganancia neta).

Existen muchas investigaciones acerca del pulpo rojo, sin embargo, este es de los pocos trabajos que han abordado en el desarrollo de modelos bioeconómicos para el país. También existe mucha incertidumbre en cuanto a los costos y valor de venta de la tonelada de pulpo. No se consiguió el porcentaje de la captura que se vende en el mercado local y en el de exportación. Esta información es muy importante para determinar los ingresos y para que el modelo bioeconómico funcione bien, pues muy probablemente los puntos de referencia α , β y π sean sensibles a los valores de costo y venta, por lo que se requiere mejorar la estimación de estos valores.

De acuerdo con los resultados del modelo bioeconómico, la pesquería está cerca del equilibrio. El modelo sugiere que el equilibrio se alcanzaría para un esfuerzo de 5380 embarcaciones. Según la Carta Nacional Pesquera (DOF 2017), el número de embarcaciones que operan en la península de Yucatán es de 3372. Estos resultados sugieren que, actualmente, las ganancias podrían estar muy cerca de los costos, por lo que se tendría que analizar la posibilidad de disminuir el esfuerzo para aumentar el beneficio. Sin embargo, este tipo de decisiones se debe tomar con base en la mejor información y en los objetivos de la pesquería, por lo que esta investigación debe mejorarse antes de incorporar sus resultados a la toma de decisiones. El presente trabajo contribuye como base para el desarrollo de futuras herramientas para el manejo sustentable del pulpo rojo en la península de Yucatán.

9. REFERENCIAS

- Akaike M. 1973. *Information theory and an extension of the maximum likelihood principle*. Proc. 2nd International Symposium of Information Theory. Akademia Kiado, Budapest, 267–281.
- Anderson, L.G. 1986. *The Economics of Fisheries Management*. The John Hopkins University Press, Baltimore.
- Anónimo. 2000. *Carta Nacional Pesquera*. Diario Oficial de la Federación. Tomo DLXIII. No. 20. Segunda sección. México, 28.
- Arreguín-Sánchez, F. 1992. *Consideraciones sobre el manejo de la pesquería de pulpo Octopus maya en el Banco de Campeche*. Jaina. México, 3(2): 19.
- Buckland, S. T. D. R. Anderson, K. P. Burnham, y J. L. Laake. 1993. *Distance sampling: Estimating abundance of biological population*. Chapman and Hall, USA.
- Caddy, J. F. 1975. *Spatial model for an exploited shellfish population, and its application to the Georges Bank scallop fishery*. J. Fisheries Research Board of Canada. 32: 1305–1328.

- Caddy, J. F. 1984. *Indirect approaches to regulation of fishing effort*. FAO Fishing Republic. (289, Supplement): 63–75.
- Caddy, J. F. 1989a. *A perspective on the population dynamics and assessment of scallop fisheries, with special reference to the sea scallop *Placopecten magellanicus* Gmelin*. En: Caddy, J. F. (ed.), *Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management*. J. Wiley & Sons, New York. 559–590.
- Caddy, J. F. 1989b. *Recent developments in research and management for wild stocks of bivalves and gasteropods*. En: Caddy, J. F. (ed.), *Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management*. J. Wiley & Sons, New York. 665–700.
- Canedo-López, Y., Dreyfus-León, M. J. y Cota-Villavicencio, A. 1999. *Aplicación de un modelo bioeconómico a la pesquería del erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus*, de la costa Noroccidental de baja california, México*. Ciencias Marinas 25(3). 325-344.
- Clark, C. W. 1985. *Bioeconomic Modelling of Fisheries Management*. J. Wiley & Sons, New York. 395-410.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca 2008. *Programa Rector Nacional de Pesca y Acuacultura Sustentables*. (Consultado el 1 de septiembre de 2017. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/programa-rector-nacional-de-pesca-y-acuacultura-sustentables>).
- Conan, G. Y. 1984. *Do assumptions commonly used for modelling populations of finfish apply to shellfish species?* ICES, Shellfish Committee, C.M. 1984/K. 49:21.
- CONAPESCA y SAGARPA. 2008. *Programa Rector Nacional de la Pesca y Acuacultura*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 2018. *Carta Nacional Pesquera*.
- Díaz, R. 2012. *Modelos bioeconómicos: Evaluación Técnica Económica y Ambiental de Sistemas Ganaderos y Agrícola-Ganaderos*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Uruguay. 28-35.
- Dreyfus-León, M. J. y Manzo-Monroy, H. G. 1993. *Control óptimo de un sistema bioeconómico. La pesquería del atún aleta amarilla (*thunms albacares*) en el océano pacífico oriental*. Ciencias Marinas 19(3). 353-369.
- Eales, J. y J. W. Wilen. 1986. *An examination of fishing location choice in the pink shrimp fishery*. Mar. Res. Econ. 2: 331–351.

- FAO. 1997. *Bioeconomía pesquera, Teoría, modelación y manejo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma. Depósito de documentos de la FAO. (Consultado el 24 de septiembre de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/ad015s/AD015S11.htm>).
- FAO. 2015. *Evaluación de los recursos y definición de las condiciones óptimas de explotación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma. Depósito de documentos de la FAO. (Consultado el 16 de junio de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/ad015s/AD015S11.htm>).
- Fox Jr, W. W. (1970). An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. *T.A. F. S.*, 99(1). 80-88.
- Fraga, J. S. Salas y Mexicano-Cíntora, G.. 2009. *La pesca en Yucatán: de la abundancia a la escasez, a la fragilidad de las estructuras institucionales*. 133-148 En: Fraga, J., Villalobos, G.J., Doyon, S. y García, A. (eds.) *Descentralización y Manejo Ambiental*. Gobernanza Costera en México, Plaza y Valdés (IDRC e-ISBN 978-1-55250-429-1).
- Franquesa, R. 1995. *Modelos bioeconómicos y políticas de regulación pesquera: Una lección introductoria*. Gabinete de Economía del Mar. Universidad de Barcelona. 1-5.
- Global Biotech Consulting Group. 2015. *Red de Genómica, Pesca y Acuicultura para la Innovación*. (Consultado el 19 de mayo de 2015. Disponible en: <http://www.gbcbiotech.com/genomicaypesca/especies/moluscos/pulpo.html>).
- Gordon, H. S. 1954. The economics of a common property resource: the fishery. *J. Polit. Econ.* 62: 124-142.
- Hilborn, R. 1985. *Simplified calculation of optimum spawning stock size from Ricker's stock recruitment curve*. *Can. J.Fish. Aquat. Sci.* 42: 1833–1834.
- Hilborn, R. y Mangel, M. 1997. *The Ecological Detective: Confronting Models with Data*. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey. 315.
- Hilborn, R. y Walters, C. J. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2(2), 177-178.
- Jurado-Molina, J. 2010. *Enfoque bayesiano con error de implementación para mejorar el manejo de la pesquería de pulpo rojo (Octopus maya) en la península de Yucatán*. *Ciencias Marinas*. 1-14.
- Kar, T. K. y Kunal C.. 2009. *Bioeconomic analysis of Maryland's Chesapeake Bay oyster fishery with reference to the optimal utilization and management of the resource*. *International Journal of Engineering, Science and Technology*. 172-189.

- Mollusca Base. 2018. Octopodiformes. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=325343> on 2018-08-05.
- Orensanz, J. M., Parma A. M. y Iribarne O. O. 1991. *Population dynamics and management of natural stocks*. En: Shumway, S. E. (ed.), *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. Development in Aquaculture and Fisheries Science 21. 625–713.
- Pella, J. J. y Tomlinson, P. K. 1969. *A generalized stock-production model*. Bull. IATTC. 13. 421–458.
- Pérez, M., Burgos, R., Wakida-Kusunoki, A. T., Santos, J., Cervera, K., Espinoza, J. C., Mena, J. C., Cob, E. y Medina, M. 2006. *Evaluación de la población de pulpo Octopus maya en la Península de Yucatán*. Informe de Investigación. Instituto Nacional de Pesca. CRIP Yucalpetén. Doc. Interno. 11.
- Pitcher, T. y Hart, P. J. B. 1982. *Fisheries Ecology*. Avi Publishing Company, Connecticut. 10-20.
- PROFECO, 2017. *Pescados y Mariscos*. (Consultado el 1 de septiembre de 2017. Disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/articulos/pescados-y-mariscos-102943?idiom=es>).
- Punt, A. E. y Hilborn, R. 1996. *Biomass Dynamics Models. User's manual*. FAO Computerized Information Series (Fisheries) No. 10, Rome. 62.
- Punt, A. E. y Hilborn, R. 2001. *BAYES SA: Bayesian Stock Assessment Methods in Fisheries. User's Manual*. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 12. Rome. 56.
- Rice, J.C. y Richards, L.J. 1996. *A framework for reducing implementation uncertainty in fisheries management*. Noth Am. J. Fish. Manage. 16. 488-494.
- SAGARPA e INAPESCA. 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012 y 2013. *Evaluación de la población de pulpo (Octopus maya) en la Península de Yucatán*.
- SAGARPA e INAPESCA. 2013. *Dictamen Técnico para el establecimiento de cuota de captura de pulpo Octopus maya para la temporada de pesca 2013*.
- SAGARPA. 2014. *Plan de Manejo Pesquero de pulpo (O. maya y O. vulgaris) del Golfo de México y Mar Caribe*.
- Salas, S., Cabrera, M.A., Palomo, L., Bobadilla, F., Ortega, P., y Torres-Irineo, E.. 2008. *Plan de manejo y operación de las pesquerías de pulpo y mero*. CONAPESCA-SAGARPA-Gobierno del Estado de Yucatán-CINVESTAV, Mérida, Yucatán, México.
- Salas, S., Cabrera, M.A., Palomo, L. y Torres, E. 2009. Uso de indicadores para evaluar medidas de regulación en la pesquería de pulpo en Yucatán, dada la interacción de flotas. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 61:111-121.

- Salas, S., Ramos-Miranda, J., Coronado, E., Flores-Hernández, D., Cabrera, M. A., Pérez-Sánchez, M. y Gómez-Criollo, F.. 2012. Análisis Comparativo de Formas de Operación y Cuasi-Renta de Flotas que Capturan Pulpo Rojo (*Octopus maya*), en la Península de Yucatán, México. *64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*: 472-479.
- Sampson, D. B. 1993. *Fishing tactics in a two species fisheries model*. En: Pitcher, T. & R. Chuenpadgee (ed.), *Decision Making by Commercial Fishermen*. Fisheries Centre, Research Reports, 1(2): 19–25.
- Santos-Valencia, J.; Del Río-Rodríguez, R. y Gómez-Solano, M. I. 2005. *Aspectos de la biología reproductiva de hembras de Octopus maya en la zona Norte de Campeche*. México. Research Aquamar Internacional. Yucatán, 2005. Mérida 12-14 de septiembre de 2005.
- Schaefer, M. B. 1954. *Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries*. Bull. IATTC. 25–56.
- Sissenwine, M. 1984. *Why do populations vary?*, En: May, R. M. (ed.), *Exploitation of Marine Communities*. Dahlem Konferenzen 1984. Springer-Verlag, Berlin: 59–94.
- Sissenwine, M. 1984b. *The uncertain environment of fishery scientists and fishery managers*. *Mar. Res. Econ.* 1: p.p. 1–29.
- Solana, R. et. al. 2002. *Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán, durante la temporada de veda 2002*. Informe Técnico de investigación. Instituto Nacional de la Pesca. Yucalpetén. Doc. Interno 12.
- Solís-Ramírez, M. J. 1988. *El recurso pulpo del Golfo de México y el Caribe*. En: *Los recursos pesqueros del país*. SEPESCA (Ed.). XXV Aniversario del Instituto Nacional de Pesca.
- Solís-Ramírez, M. J., Arreguín-Sánchez, F. y Seijo, J.C. 1997. *Pesquería de pulpo de la plataforma continental de Yucatán*. 61-80. En: Flores-Hernández, D., Sánchez-Gil, P., Seijo, J. C. y Arreguín-Sánchez, F. (Eds.) *Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica, 7. 496.
- Solís-Ramírez, M. J. y Chávez, E. A. 1986. *Evaluación y régimen óptimo de pesca de pulpo de la Península de Yucatán, México*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Autónoma de México. 13(3): 1-18.
- Tunnell Jr., J. W., Chávez, E. A. y Withers, K. 2007. *Coral reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press, U. S. A. 115.
- Voss, G. L. y Solís-Ramírez, M. J. 1966. *Octopus maya, a new species from the Bay of Campeche*. *Bulletin of Marine Science*. 16(3): 615.

- Wakida-Kusunoki, A. T., Solana, R, Solís-Ramírez, M., Burgos, R., Cervera, K., Espinoza, J. C. y Mena, R. 2004. *Análisis de la abundancia del pulpo rojo Octopus maya en la Península de Yucatán*. 55th Gulf and Caribbean Fisheries Institute. 451.