



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

## FACULTAD DE CIENCIAS

EVALUACIÓN DE LAS CAPTURAS DEL PULPO ROJO *Octopus  
maya* (Voss y Solís, 1966) MEDIANTE INDICADORES DE  
SUSTENTABILIDAD BASADOS EN TALLAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**LICENCIADO EN MANEJO SUSTENTABLE DE  
ZONAS COSTERAS**

P R E S E N T A:

**ARTURO BRAVO CALDERÓN**

**DIRECTOR DE TESIS:**

DR. JORGE ALBERTO LÓPEZ ROCHA  
SISAL, YUCATÁN, 2017





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.

Datos del alumno

Bravo  
Calderón  
Arturo  
30906146-5  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Manejo Sustentable de Zonas Costeras

Datos Tutor

Dr.  
Jorge Alberto  
López  
Rocha

Datos Sinodal 1

Dra.  
Laura Elena  
Vidal  
Hernández

Datos Sinodal 2

Dr.  
Edgar  
Torres  
Irineo

Datos Sinodal 3

Dr.  
Iván  
Velázquez  
Abunader

Datos Sinodal 4

Dr.  
Gaspar  
Poot  
López

Datos del trabajo escrito

Evaluación de las capturas del pulpo rojo *Octopus maya* (Voss y Solís 1966) mediante indicadores de sustentabilidad basados en tallas.  
2017

# AGRADECIMIENTOS

A mi madre Rosa María Calderón, por ser el mejor ejemplo de perseverancia y empeño, y por apoyarme siempre.

Quiero agradecer a mi tutor, el Dr. Jorge A. López Rocha, por haberme guiado desde mi primer estancia de investigación en tercer semestre, por haberme tenido la paciencia, por haberme señalado mis errores y aciertos, y por haberme respaldado en mis decisiones.

Al resto de mis sinodales, la Dra. Laura E. Vidal, y los Dres. Edgar Torres, Iván Abunader y Gaspar Poot, por ser parte de este trabajo. Particularmente los dos primeros, quienes además fueron mis profesores en distintas asignaturas, me brindaron observaciones de suma utilidad.

También quiero agradecer a la Dra. Maite Mascaró, por despertar en mí el gusto por la estadística y por presentarme y enseñarme R. Y al Mtro. Cisneros por todo lo aprendido en sus grupos de trabajo de investigación social, que aprecié mucho.

A mis compañeros Jeanine, Carmen, Alejandro, Perla, Omar y Fernanda, cuya compañía y apoyo a lo largo de la licenciatura fue gratificante; y con quienes he podido tener reflexiones que me han marcado en lo académico y en lo personal. También a Cesar *Champion*, los Rodrigos (*Don* y *Rodri*) y Diego por los buenos ratos que compartimos, les agradezco a todos.

Agradezco al proyecto del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), Ciencia Básica CB-2010-01 154400 y al proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT: IB202412 – RR282412 por los financiamientos otorgados para la realización de este estudio.

## RESUMEN

Se evaluó el stock del pulpo rojo (*Octopus maya*, Voss y Solís 1966) en trece y seis puertos de las temporadas 2012 y 2014 respectivamente, mediante los indicadores basados en tallas propuestos por Froese (2004). Estos fueron:  $P_{\text{mat}}$ , que indica la proporción de organismos maduros en la captura; y  $P_{\text{opt}}$ , que indica la proporción de organismos en  $\pm 10\%$  de la longitud óptima ( $L_{\text{opt}}$ ), en ambos el objetivo de manejo es el 100% de organismos capturados. Para los análisis se dividió el área de estudio en dos regiones: Campeche (que incluye los puertos del estado) y Yucatán (que incluye además, al puerto de Holbox).  $P_{\text{mat}}$  fue calculado utilizando dos valores de longitud de madurez ( $L_{\text{mat}}$ ): 11 y 13 cm de longitud de manto (LM); la primera es la talla mínima legal ( $tmc$ ) y la segunda es una nueva  $tmc$  propuesta recientemente.  $L_{\text{opt}}$  fue calculado con información de parámetros de crecimiento publicados de 1992 a 2017 (mortalidad natural  $M$ , coeficiente de crecimiento  $k$  y longitud asintótica  $L_{\infty}$ ). Se evaluó la sensibilidad de  $P_{\text{opt}}$  a variaciones en estos parámetros. Para evaluar las variaciones espacio-temporales de las tallas, se utilizó un nuevo indicador:  $P_x$ , resultado de la adición de  $P_{\text{mat}}$  y  $P_{\text{opt}}$ , y se agruparon los resultados por puerto, mes y temporada. Además, se estimó la biomasa relativa ( $Br$ ) de una cohorte con base también en las tallas, que sirvió para comparar distintos escenarios de explotación.

Los indicadores permitieron detectar variaciones espaciales (por región y puerto) y temporales (por mes y temporada) del stock. Los resultados muestran que *O. maya* presenta diferencias en su estructura por tallas, donde las mayores se encuentran en el noreste y las menores en el oeste de la península. En general se muestra una considerable cantidad de pulpos capturados a una talla menor a la  $tmc$  y es en Campeche donde se captura mayor cantidad de estos pulpos. Los indicadores son altamente sensibles a diferentes valores en los parámetros de crecimiento utilizados para su cálculo en toda la península y su sensibilidad es mínima en el caso de Campeche. Se incrementó la longitud de primera captura ( $L_c$ ) en ambas regiones, con valores cercanos a la  $tmc$  en Campeche y mayores en Yucatán. En este sentido, la  $Br$  de una cohorte aumentó en la temporada de 2014 respecto a la de 2012. De acuerdo con nuestra estimación, si en Yucatán se establece una  $L_c$  igual a la  $tmc$  se asegura más del 50% de la biomasa sin explotar, esto significa cumplir con el objetivo del manejo pesquero, sin embargo, en Campeche no lo hace. *O. maya* es una especie fuertemente explotada, se considera que se debe evaluar la implementación de metas regionales de manejo y se sugieren algunas recomendaciones encaminadas a la sustentabilidad ecológica de la pesquería.

# Índice

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>III</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>3</b>
El recurso . . . . .	3
Biología . . . . .	3
Pesquería . . . . .	4
Historia de la pesca y las capturas . . . . .	5
Artes y métodos de pesca . . . . .	7
Regulación pesquera . . . . .	7
Problemática . . . . .	10
Justificación . . . . .	11
Objetivo . . . . .	12
General . . . . .	12
Específicos . . . . .	12
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>13</b>
Marco teórico . . . . .	13
Indicadores basados en tallas . . . . .	14
Antecedentes . . . . .	17
Metodología . . . . .	19
Área de estudio y recolección de datos . . . . .	19
Estimación de indicadores con base en tallas . . . . .	20
Sensibilidad de los indicadores . . . . .	23
Variaciones espacio-temporales en las proporciones por tallas de <i>O. maya</i> . . . . .	25
Estimación de la biomasa relativa de una cohorte con respecto a la talla . . . . .	25
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>29</b>
Resultados . . . . .	29
Análisis exploratorio . . . . .	34
Sensibilidad de los indicadores . . . . .	36
Variaciones espacio-temporales en las proporciones por tallas de <i>O. maya</i> . . . . .	40
Biomasa relativa de una cohorte con respecto a la talla . . . . .	47
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>49</b>
Discusión . . . . .	49
Conclusiones . . . . .	55
Comentarios finales y recomendaciones . . . . .	56
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>61</b>

<b>ANEXOS</b>	<b>67</b>
Comandos utilizados para el cálculo de $P_{\text{mat}}$ , $P_{\text{opt}}$ y $P_{\text{mega}}$ en R . . . . .	67
Símbolos, siglas y acrónimos usados . . . . .	70

## Índice de figuras

1.	Captura de pulpo en la península de Yucatán. Elaboración propia con base en Sollís-Ramírez y Chávez (1986) y anuarios pesqueros (CONAPESCA). . .	6
2.	Mapa mental del marco regulatorio de la pesca del pulpo en Yucatán. Elaboración propia. . . . .	9
3.	Área de estudio. Se indican los puertos muestreados de ambas temporadas. .	21
4.	Histograma y ajuste del modelo por cada puerto (ordenados por fila) muestreado durante la temporada 2012 en Campeche. Eje x: LM en cm; Eje y: frecuencia absoluta; Eje y secundario: proporción de individuos. . . . .	30
5.	Histograma y ajuste del modelo por cada puerto muestreado durante la temporada 2012, en Yucatán. Eje x: LM en cm; Eje y: frecuencia absoluta; Eje y secundario: proporción de individuos. . . . .	31
6.	Histograma y ajuste del modelo por cada puerto (ordenados por fila) muestreado durante la temporada 2014. Eje x: LM en cm; Eje y: frecuencia absoluta; Eje y secundario: proporción de individuos. . . . .	32
7.	Gráficos de cajas para ambas regiones y temporadas, y todos los meses y puertos; se señala la tmc (línea azul) y la media general (línea roja). . . . .	35
8.	Relación entre las proporciones de captura (cuadrado abierto = Popt; cruz = Pmat) para la historia de vida 2 (control), las otras historias de vida y las diferentes tasas de mortalidad en la región de Campeche. La línea roja es de referencia 1:1. . . . .	37
9.	Relación entre las proporciones de captura (cuadrado abierto = Popt; cruz = Pmat) para la historia de vida 2 (control), las otras historias de vida y las diferentes tasas de mortalidad en la región de Yucatán. La línea roja es de referencia 1:1. . . . .	38
10.	Relación entre las proporciones de captura (cuadrado abierto = Popt; cruz = Pmat) para la historia de vida 2 (control), las otras historias de vida y las diferentes tasas de mortalidad en ambas regiones. La línea roja es de referencia 1:1. . . . .	39
11.	Diagrama de mosaico utilizando los datos de la Tabla 7 (región y mes), conforme a los grupos establecidos respecto a su valor de Px (vea metodología - variaciones espacio-temporales), se señala: en rojo, los datos de inmaduros; en azul oscuro los datos de pequeños; y en azul claro los datos de maduros. .	42
12.	Diagrama de mosaico utilizando los datos de la Tabla 5 (región y temporada), conforme a los grupos establecidos respecto a su valor de Px (vea metodología - variaciones espacio-temporales), se señala: en rojo, los datos de inmaduros; en azul oscuro los datos de pequeños; y en azul claro los datos de maduros. .	43
13.	Medias de Popt y Pmat de Campeche y Yucatán en relación a los meses. Las líneas azules corresponden a las Popt estimadas de acuerdo a las historias de vida: la sólida a la HV2, y las punteadas a las HV1 y HV3 (Tabla 2). Las líneas amarillas corresponden a los dos valores de Lmat usados (11 y 13 cm de LM). . . . .	45



14.	Medias de Popt y Pmat en relación a los puertos. Las líneas azules corresponden a las Popt estimadas de acuerdo a las historias de vida: la sólida a la HV2, y las punteadas a las HV1 y HV3 (Tabla 2). Las líneas amarillas corresponden a los dos valores de Lmat usados (11 y 13 cm de LM). . . . .	46
15.	Biomasa relativa (Br) en función con la LM. Líneas negras continuas = escenarios a y b; línea amarilla punteada = escenario c; línea azul punteada = escenario d; línea verde punteada = escenario e. Adicionalmente, se muestran en líneas verticales la talla de primera captura (Lc), la talla legal (tmc= 11 cm), la propuesta tmc = 13 cm y la Lopt. . . . .	48
16.	Indicadores basados en tallas por mes, región y año, junto con el peso desembarcado, su valor en pesos mexicanos y las temporadas climáticas. . . . .	52

# Índice de tablas

1.	Parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy: $L_{inf}$ = longitud asintótica; $k$ = tasa de crecimiento; $M$ = mortalidad natural; $t_{max}$ = talla a la máxima edad, para O. maya en la plataforma continental de la península de Yucatán. Datos recopilados de Flores-Hernández et al. (2017) . . . . .	18
2.	Historias de vida utilizadas para el cálculo de los indicadores en ambas regiones y el total. El asterisco (*) denota el caso control. HV1, HV2 y HV3 = historia de vida 1, 2 y 3; $M/k=1$ y $M/k=2$ = proporción entre mortalidad natural sobre la tasa de crecimiento igual a 1, e igual a 2, las longitudes están en mm. . . . .	24
3.	Parámetros utilizados para la estimación de Br. . . . .	27
4.	Pulpos medidos durante el muestreo, por puerto, región y temporada. . . . .	29
5.	$L_{opt}$ en mm calculados para los análisis, HV = historia de vida (véase la Tabla 2). . . . .	33
6.	Valores de $P_x$ obtenidos para las 52 observaciones, ordenadas de acuerdo al nombre del puerto. . . . .	40
7.	Tabla de contingencia con las frecuencias absolutas de las variables: región, mes y temporada de acuerdo a sus valores de $P_x$ . . . . .	41
8.	Proporción de la biomasa relativa en relación a los escenarios planteados . . . . .	48

# INTRODUCCIÓN

El pulpo rojo *Octopus maya* (Voss y Solís 1966) es la especie predominante de una de las pesquerías de cefalópodos más importante en América. Es bentónico y se distribuye en zonas someras, desde aguas adyacentes a Ciudad del Carmen, Campeche hasta Isla Mujeres en Quintana Roo; es endémico de la península de Yucatán. La pesquería de pulpo es la cuarta en importancia económica y la onceava en volumen de captura en el país, en Yucatán además de *O. maya* se compone de *O. vulgaris* (Cuvier 1797), una especie cosmopolita que habita hasta los 200 m de profundidad (Salas *et al.*, 2008). De manera que la flota artesanal centra sus esfuerzos en *O. maya*. En la península de Yucatán se captura el 94.4 % del total de pulpo en el país (CONAPESCA, 2014), operan 395 embarcaciones de mediana altura y 5,444 embarcaciones de flota menor; la pesquería ocupa a más de 20,000 pescadores.

En los años ochenta, dos años después del ingreso de la flota mayor a la pesquería, el pulpo ya mostraba signos de sobrepesca (Salas, Mexicano-Cíntora y Cabrera, 2006). Flores-Hernández *et al.* (2017) recapitulan los resultados de distintas estimaciones del estado de explotación de la pesquería, las cuales siguen mostrando signos de sobrepesca en menor o mayor grado. La creciente demanda internacional incentivó la inversión, se mejoró la infraestructura de las plantas procesadoras y se aumentó el esfuerzo pesquero (Salas *et al.*, 2009). Aunque la pesquería se considere explotada en su máximo rendimiento sostenible, ha mostrado marcadas fluctuaciones en las capturas. En algunos años se registran capturas altas, pero en los subsiguientes la captura es tan baja, que los registros presentan pronunciados declives. Esto se ha atribuido tanto al esfuerzo pesquero como a factores meteorológicos. En general la talla promedio ha presentado disminuciones, por lo que se capturan pulpos antes de que alcancen la edad de primera reproducción (Solís-Ramírez, Arreguín-Sánchez y Seijo, 1997).

Bajo este contexto, este trabajo se propone contribuir al conocimiento del stock de *O. maya* en la península de Yucatán, en términos de su dinámica espacial y temporal. Se ha observado que en aspectos como la estructura de la población, capturabilidad, reproducción y crecimiento, hay una marcada heterogeneidad espacial (Velázquez-Abunader, Salas y Cabrera, 2013; Gamboa-Álvarez, López-Rocha y Poot-López, 2015; Ávila-Poveda *et al.*, 2016). Este trabajo intenta esbozar el panorama de esta heterogeneidad reflejado en las tallas de las capturas, pero considerando también parámetros de las historias de vida<sup>1</sup>: la mortalidad natural  $M$ , el coeficiente de crecimiento  $k$  y la longitud asintótica  $L_{\infty}$ .

Para esto se utilizarán dos indicadores que forman parte de un conjunto de métodos para el análisis de capturas pesqueras denominados “para datos limitados”, los cuales fueron propuestos por Froese (2004) y retomados por Cope y Punt (2009) quienes extendieron su uso al estimar puntos de referencia para su interpretación. En sus trabajos sin embargo, los indicadores se calculan siempre para peces; aquí pretendemos estimarlos en un cefalópodo. El

---

<sup>1</sup>Estos parámetros tienen su origen en el reconocimiento de la íntima vinculación entre las propiedades genéticas y ecológicas de las especies. De esta forma, la relación entre éstas y con su hábitat, determina su estrategia selectiva ( $r$  o  $K$ ). Esto se fundamenta en la asunción de que la selección natural opera sobre estas características para maximizar el número de descendientes (Adams, 1989). Para mayor orientación sobre los parámetros y su estimación véase *Estimation of Life-History Key Facts* (<http://www.fishbase.org/manual/key%20facts.htm>)

estar basados en la composición por tallas de las capturas y en parámetros de las historias de vida, los aleja de los efectos del mercado y las consecuentes regulaciones basadas en el esfuerzo de pesca, centrándolos exclusivamente en el estado poblacional. Es por esta característica que podemos afirmar que sus objetivos están dirigidos a la sustentabilidad ecológica de la pesquería.

Los indicadores son: Proporción de organismos maduros en la captura ( $P_{\text{mat}}$ ) y Proporción de organismos cerca de su longitud óptima ( $L_{\text{opt}}$ ) en la captura ( $P_{\text{opt}}$ ); la  $L_{\text{opt}}$  es aquella donde el número de individuos en una determinada edad y año, multiplicada por la media de su peso individual es máxima y, por tanto, el rendimiento y los ingresos máximos pueden ser obtenidos. El objetivo para el manejo pesquero sería que los valores de ambos indicadores sean cercanos a 1, es decir, al 100 % de organismos capturados. Estas son, denominadas por Cope y Punt (2009), las “Recomendaciones sustentables de Froese”.

Mediante estos indicadores se evaluó el stock durante las temporadas 2012 y 2014 en trece y seis puertos respectivamente, de los tres estados que conforman la península de Yucatán. Para brindar mayor soporte para la interpretación de los indicadores, se evaluó también su sensibilidad a los cambios en la longitud de primera madurez ( $L_{\text{mat}}$ ) y a distintos parámetros de las historias de vida necesarias para el cálculo de la  $L_{\text{opt}}$ . Además, se realizó una estimación de la biomasa realtiva basada también en las tallas (Froese, 2004) que sirvió para comparar distintos escenarios de explotación.

Este trabajo se desarrolla bajo el precepto de que algo tan “simple” como el monitoreo de la longitud de los pulpos capturados puede no sólo aportar información relevante para saber el “estado actual” de la población, sino que puede contribuir al diseño de medidas de manejo. El trabajo se encuentra dividido en cuatro capítulos: en el primero se contextualiza la situación de la pesquería de *O. maya*, sus características, su marco regulatorio, la problemática y la justificación del trabajo; el segundo aborda el marco teórico, la revisión de trabajos que anteceden a éste y la propuesta metodológica; en el tercero se presentan los resultados obtenidos; mismos que son discutidos en el último capítulo, donde también se presentan las conclusiones y algunas recomendaciones.

# CAPÍTULO 1

## El recurso

El recurso pulpo en el golfo de México y el mar Caribe mexicano está constituido por dos especies: *Octopus maya* (pulpo maya o rojo) y *O. vulgaris* (pulpo patón o común). *O. maya* es una especie litoral, bentónica y endémica de la Península de Yucatán (Solís-Ramírez y Chávez, 1986), se distribuye en aguas someras (hasta profundidades de 15 brazas) de la plataforma continental, desde aguas adyacentes a Ciudad del Carmen, Campeche hasta Isla Mujeres en Quintana Roo (Salas *et al.*, 2006; CONAPESCA, 2008), habita resquicios de rocas y oquedades del fondo; con frecuencia forman parte de la comunidad de *Thalassia testudinum*. Sus madrigueras comúnmente están bordeadas por fragmentos de exoesqueletos de crustáceos y restos de moluscos bivalvos. Se les encuentra también ocupando conchas de gasterópodos, tales como: *Strombus gigas*, *S. costatus*, *Pleuroploca gigantea* (Solís-Ramírez y Chávez, 1986) y cuevas existentes en la loza cárstica del fondo, o entre rocas coralinas distribuidas en manchones (Solís-Ramírez *et al.*, 1997). Presenta crecimiento rápido y ciclo de vida corto (Solís-Ramírez y Chávez, 1986), con una edad máxima estimada alrededor de 12 meses (Solís-Ramírez y Chávez, 1986) a 18 meses (Arreguín-Sánchez, 1992).

*Octopus vulgaris* por su parte, es una especie cosmopolita distribuida en mares tropicales y templados, de hábitos béntico-neríticos cuyos picos reproductivos ocurren a profundidades de 18-50 m (Solís-Ramírez *et al.*, 1997; CONAPESCA, 2008), aunque pueden encontrarse hasta los 200 m de profundidad (Salas *et al.*, 2009). Las diferencias entre ambas especies en su distribución batimétrica ha determinado que el esfuerzo pesquero sea asignado espacialmente en función de la profundidad, por lo que *O. maya* es explotada con mayor intensidad por la flota artesanal (Salas *et al.*, 2006).

## Biología

*Octopus maya* es una especie relativamente grande caracterizada por presentar un par de ocelos de color café oscuro; el inicio de los brazos II y III izquierdos ocurre a la altura de los ojos, presenta huevos grandes (17 mm de longitud y 4.5 mm de ancho) y su fecundidad oscila entre los 1,500 y 2,000 huevos en promedio (Solís-Ramírez 1967 y Seijo *et al.* 1990 citados por Solís-Ramírez 1999), llegándose a encontrar hasta 5,000 huevecillos en hembras cultivadas (Van Heukelem 1977 citado por Solís-Ramírez 1999). Su talla se basa en la longitud del manto y puede llegar hasta los 250 mm; no se han encontrado diferencias al comparar la longitud del manto en función del sexo (Solís-Ramírez y Chávez, 1986). Es una especie semélpara, la incubación dura cerca de dos meses y en el transcurso de este período la hembra no se alimenta; cuando nacen las crías la madre muere por inanición y éstos adoptan vida bentónica prácticamente de inmediato (Solís-Ramírez, 1999). Arreguín-Sánchez (1992a) reporta dos épocas de reproducción; la primera de febrero a marzo y la segunda en julio, y más recientemente Ávila-Poveda *et al.* (2016) observaron temporadas reproductivas diferentes en las poblaciones de Campeche y Yucatán pero con el periodo mayo-junio común para ambas.

## Pesquería

La pesca de pulpo ocupa actualmente el cuarto y onceavo sitio en importancia económica y por volumen de captura a nivel nacional, su producción proviene en un 94.4 % de la península de Yucatán (CONAPESCA, 2014). Para el 2005 se consideraba que la pesquería ocupaba entre 10 y 15 mil pescadores (Solana *et al.*, 2005), en el 2010 generaba 15 mil empleos y más de 27 millones de dólares anuales (Jurado-Molina, 2010). Actualmente operan 395 embarcaciones de mediana altura y 5,444 embarcaciones de flota menor con participación de aproximadamente 20 mil pescadores (DOF-SAGARPA, 2012), volviéndola la de mayor importancia socioeconómica de cefalópodos en América, donde el 80 % de la captura es exportada a Europa y Asia, constituyendo una importante actividad económica en la región (Rosas *et al.*, 2014).

En Yucatán y Campeche, la pesquería de pulpo ocupa el primer lugar en volúmenes de captura con el 52 % (Salas *et al.*, 2008). Dadas las diferencias entre la flota pesquera de ambos estados y las diferencias batimétricas en las distribuciones de ambas especies, en Campeche, el 100 % de las capturas son de *O. maya*, mientras en Yucatán, se reportan capturas de *O. vulgaris* en Progreso y en menor proporción en Dzilam de Bravo. Sobre las proporciones de la captura de *O. maya* frente a *O. vulgaris*, Arreguín-Sánchez, Solís-Ramírez y González (2000) reportaron 80 %, Pérez *et al.* (2006) el 63 % y Salas *et al.* (2008) el 80.2 %<sup>2</sup>. Aunque recientemente Lima *et al.* (2017) probaron que son comunes las equivocaciones para diferenciar entre ambas especies, sobre todo en las capturas descargadas en Progreso.

El crecimiento de la importancia económica de esta pesquería ha resultado en un estable incremento de empleos cada año, con importantes efectos para las comunidades costeras de la península. El incremento en la demanda de este recurso también ha concatenado conflictos sociales entre las comunidades. Algunos abogan por la pesca a escala local (es decir, la pesca en las zonas cercanas a sus comunidades), mientras que otros defienden “perseguir” el recurso dondequiera que se encuentre (Rosas *et al.*, 2014). En la aparente ausencia de barreras físicas o biológicas, el aprovechamiento de *O. maya* se considera y gestiona como una sola población (Begg *et al.* 1999 en Rosas *et al.* 2014). Aun cuando para dedicarse a la captura de pulpo se requiere contar con permisos de pesca, esta pesquería se puede considerar de libre acceso (Salas *et al.*, 2006) y ocupa aproximadamente al 90 % de la población pesquera de Yucatán y Campeche. La industria pesquera en ambos estados soporta su actividad en el recurso pulpo (Fraga, Salas y Mexicano-Cintora, 2008).

La flota artesanal generalmente alcanza su máximo rendimiento económico en la segunda quincena de septiembre y la flota mayor en la segunda de noviembre (Seijo, Solís-Ramírez y Morales, 1987). Aunque esta condición ha ido cambiando en los últimos años al aumentar la frecuencia de huracanes (Salas *et al.*, 2006). Los registros históricos muestran indicios de que las variaciones de captura del pulpo (*O. maya* y *O. vulgaris*) parecen estar fuertemente relacionadas con aumentos en el esfuerzo pesquero, variaciones en las condiciones oceanográficas y fluctuaciones del mercado. Los efectos atmosféricos han mostrado una fuerte influencia en las capturas de pulpo, las cuales se han incrementado posteriormente a la ocurrencia de

---

<sup>2</sup>Con excepción de Progreso, en donde *O. vulgaris* compone 63 % de la captura, es también este puerto donde se concentró en 1999 (último registro oficial) el 86 % de la flota mayor (Salas *et al.*, 2008).

huracanes. Un ejemplo de ello son los huracanes Gilberto en 1988, Ópalo y Roxana en 1995 (Solís-Ramírez, Fernández y Márquez, 2000).

La dinámica poblacional de *O. maya* está fuertemente influenciada por cambios en el reclutamiento, el cual parece tener un comportamiento oscilatorio (Hernández *et al.*, 2004). Dado su corto ciclo de vida, de 12 a 18 meses, el pulpo es muy sensible a impactos en el stock desovante y consecuentemente al reclutamiento, de tal forma que la sobrepesca del stock desovante de una temporada podría afectar el reclutamiento de la siguiente, e incluso ocasionar el colapso de la pesquería (Solís-Ramírez *et al.*, 1997). Los resultados de las evaluaciones anuales sugieren que actualmente *O. maya* se encuentra explotado a un nivel muy cercano a su máximo rendimiento sostenible, esto implica que las medidas de manejo que actualmente están establecidas (como son la talla mínima de manto y el periodo de veda), han tenido como resultado que los niveles de biomasa y las capturas se mantengan relativamente estables (DOF, 2014).

### Historia de la pesca y las capturas

De acuerdo a los registros oficiales<sup>3</sup>, en la península de Yucatán la explotación comercial del pulpo comenzó en 1949, año en que se registró un volumen de 50 toneladas en el puerto de Campeche, único lugar durante una década del que se tienen registros, para incorporarse posteriormente los puertos campechanos de Seybaplaya y Champotón. El precio era regido bajo la ley de la oferta y la demanda hasta 1965, año en que la empresa paraestatal Puerto Piloto Pesquero de Alvarado, Veracruz, inició su participación como comprador, adquiriendo el 30 % de las 1,321 toneladas capturadas ese año en Campeche, y estabilizando el precio de playa; Voss y Solis (1966) identificarían posteriormente la especie (*O. maya*)<sup>4</sup>.

En 1970, al decrecer la disponibilidad del recurso en aguas campechanas, los pescadores de esa entidad incursionaron en aguas de Celestún, Yucatán, en busca de la especie, marcándose prácticamente en ese año el establecimiento de la pesca de pulpo en escala comercial en el estado. Se registraron 304 toneladas; eventualmente se incorporarían todos los puertos de la entidad<sup>5</sup>. En Quintana Roo, los registros indican una pesca escasa y fluctuante en el puerto de Holbox desde 1976 (Figura 1).

Aunque aún se señalaba en foros y congresos a Yucatán como una región eminentemente agrícola y no pesquera, a partir de la década de los ochenta pasó a convertirse en un estado fuertemente concentrado en una economía terciaria con el comercio y los servicios, pero con una importante aportación de la pesca al producto interno bruto (Fraga *et al.*, 2008). En 1982 se conceden permisos a la flota mayor para participar en la explotación del pulpo en el puerto de Progreso en Yucatán<sup>6</sup> (Galindo-Cortes, Hernández-Flores y Santos-Valencia, 2006; Salas *et al.*, 2006), incorporándose *O. vulgaris* a las capturas (Salas *et al.*, 2009). En 1984

<sup>3</sup>Este párrafo se basa en información de Solís-Ramírez 1975 y Solís-Ramírez y Chávez (1986).

<sup>4</sup>CONAPESCA comenzaría a registrar las capturas discerniendo entre ambas especies hasta 1998 (Subdelegación INAPESCA).

<sup>5</sup>Durante el periodo 1970-2000, la crisis del henequén le inyecta dinamismo a la costa aportando el 70 % de fuerza de trabajo inmigrante que está vinculada al sector pesquero (Fraga, 2000).

<sup>6</sup>En Campeche, la captura de *O. maya* en se realizó con embarcaciones artesanales hasta 2003.

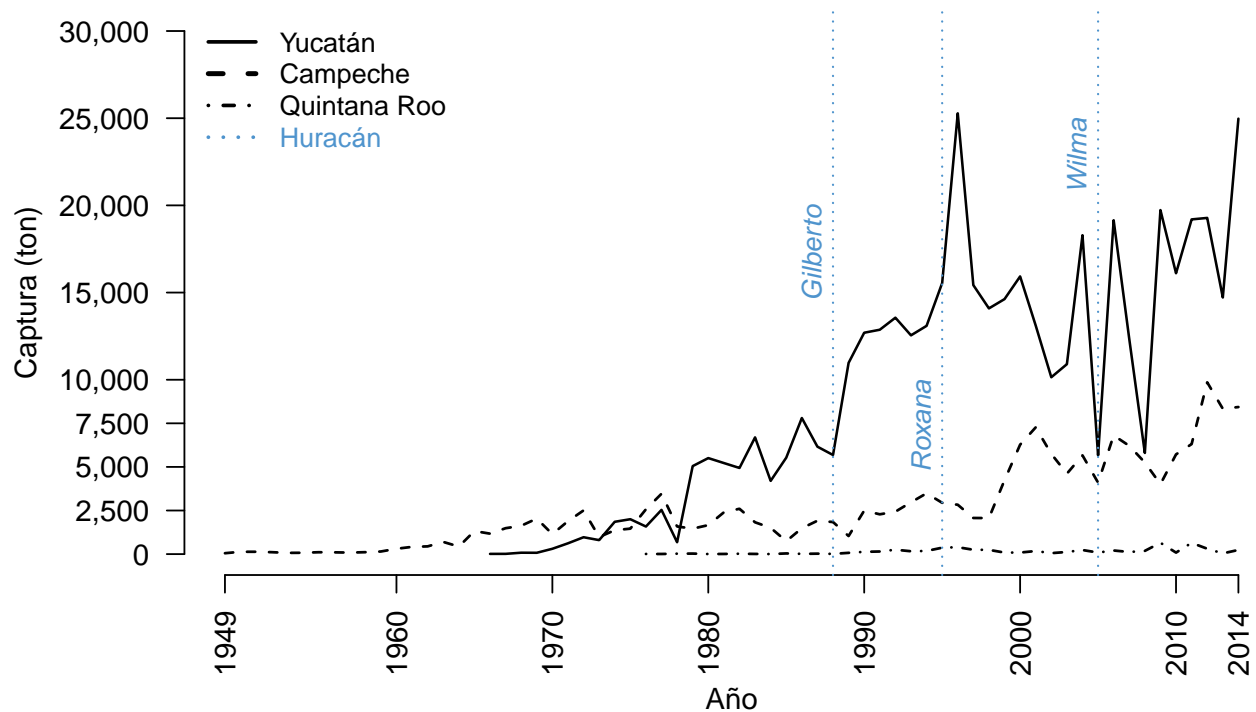


Figura 1: Captura de pulpo en la península de Yucatán. Elaboración propia con base en Solís-Ramírez y Chávez (1986) y anuarios pesqueros (CONAPESCA).

se establece el periodo de veda (diciembre 16 – julio 31)<sup>7</sup>, un año después la pesquería ya generaba 5 mil empleos en Yucatán, la segunda en el estado.

En los años noventa se sugiere incursionar en aguas más profundas con embarcaciones de mayor autonomía para aliviar la presión de pesca sobre los juveniles tanto de pulpo como de otras especies (Solís-Ramírez *et al.*, 1997). La apertura del mercado europeo para el pulpo de la región estimuló mejoras en la infraestructura pesquera (Fraga *et al.*, 2008), para 1996, Marruecos, país que era el principal proveedor de pulpo al mercado español, decretó un cierre de su pesquería por lo que incrementó la demanda del producto, y aunada a la demanda del mercado japonés, se elevó su captura en Yucatán alcanzando un récord de 25,280 toneladas<sup>8</sup> (Galindo-Cortes *et al.*, 2006; Salas *et al.*, 2006), creando un incentivo para la participación de más pescadores (Salas *et al.*, 2006). Para 1997, se estimaron entre siete y diez mil (incluyendo pescadores libres) en Yucatán (Solís-Ramírez *et al.*, 1997). Sin embargo este mercado no se mantuvo por largo tiempo y las capturas disminuyeron significativamente después de 1998, debido a reducción en los precios y la demanda exterior ocasionada particularmente porque en ese año se abrió de nuevo la pesca en Marruecos (Salas *et al.*, 2006). En el 2001 se comenzó a establecer la cuota de captura por temporada y ésta ha fluctuado entre 9 y 13 mil toneladas. Los factores oceanográficos y de mercado han permitido que las capturas de pulpo alcancen

<sup>7</sup>Reemplazando un periodo establecido con carácter experimental en 1972 que restringía la temporada de captura a tres meses y medio (del 1ero de agosto al 15 de noviembre). Aparentemente no se han hecho revisiones sobre la congruencia de la temporada de veda en fechas recientes (Salas *et al.*, 2006).

<sup>8</sup>En el total de la península, recientemente se estableció el récord de 33,644 ton, donde la captura en Yucatán registró 24,973 ton (CONAPESCA 2015).



grandes niveles de explotación; éstos se presentaron un año posterior a los huracanes Gilberto (1988), Roxana (1996) y Wilma (2005) (SAGARPA 2011) (Figura 1).

### Artes y métodos de pesca

Los métodos de pesca empleados son el “gareteo” y a buceo con gancho o fisga, este último empleado particularmente en Holbox y ocasionalmente en algunas localidades de Campeche (Solís-Ramírez y Chávez, 1986). El método de “gareteo” es el único amparado por la ley, consiste en utilizar pequeñas embarcaciones, con eslora promedio de 7 m dotadas de dos pértigas de carrizo o “jimbas” de 4 a 5 m de longitud cada una colocada a proa y popa; en tales condiciones se atan a lo largo de dichas varas y a un costado del bote entre 10 y 25 líneas (Solís-Ramírez y Chávez, 1986; Chávez, 1998). Al extremo libre de la línea se ata la carnada, principalmente jaiba (*Callinectes spp.*) y *Libinia dubia*, localmente conocido como “maxquil” (Salas *et al.*, 2006) y aproximadamente a 20 cm de la porción distal de la línea se coloca un plomo (200 g aproximadamente), se sumergen éstas y se deja la nave al garete o deriva. Por acción del viento y las corrientes, la embarcación se desplaza y las líneas cuyo cebo es arrastrado en el fondo, al pasar por la guarida de un pulpo, éste lo atrapa, lo cual se manifiesta en cierta tensión de la línea y de inmediato el pescador levanta ésta y sujeta al pulpo con la mano, procede a matarlo con cuchillo o bien lo muerde en la porción interocular (Solís-Ramírez y Chávez, 1986; Solís-Ramírez *et al.*, 1997). Con este método son necesarias condiciones de viento y corrientes (superficiales y de fondo) adecuadas para hacer más eficiente la captura, preferentemente que actúen en coordinación (Solís-Ramírez *et al.*, 1997; Pérez *et al.*, 2006) y debido a que casi todas las hembras maduras y las que han desovado son menos proclives a alimentarse, este “gareteo” con “jimbas” se considera muy conservativo, ya que podría capturar más machos que hembras (DOF, 2014) y actuar sobre tallas más grandes que cuando se usa el buceo, lo que sugiere que este componente poblacional del recurso queda protegido mediante su empleo (Wakida *et al.*, 2004).

### Regulación pesquera

En México, la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables (LGPAS) establece los principios de ordenamiento, fomento y regulación del manejo pesquero<sup>9</sup>. Dentro de los instrumentos creados para apoyar la Política Nacional Pesquera se encuentran los Planes de Manejo Pesquero (PMP), a cargo del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA)<sup>10</sup>, que señalan las acciones a seguir para el desarrollo de la actividad de forma equilibrada, integral,

<sup>9</sup>Junto con otras leyes concurrentes como la Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente (LGEEPA), relativa a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, protección al ambiente y acervo biológico y la Ley General de Sociedades Cooperativas que rige la organización y funcionamiento de las sociedades de producción pesquera.

<sup>10</sup>Órgano público descentralizado sectorizado con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), se encarga de dirigir, coordinar y orientar la investigación científica y tecnológica que requiera el sector pesquero y acuícola. El INAPESCA cuenta con Centros Regionales de Investigación Pesquera (CRIP) que se encargan de la investigación acuícola y pesquera.

sustentable y basadas en conocimiento actualizado. En 2014 se publicó el PMP del Pulpo en el golfo de México y el mar Caribe.

La Norma Oficial Mexicana NOM-008-SAG/PESC-2015 (DOF, 2015), tiene el objetivo de ordenar el aprovechamiento de ambas especies (*O. maya* y *O. vulgaris*) de las aguas del golfo de México y el mar Caribe. Para su pesca, establece la talla mínima de captura (*tmc*) en 110 mm de longitud de manto (LM); un periodo de veda que abarca del 16 de diciembre al 31 de julio; el “gareteo” con “jimbas” como único método de pesca legal<sup>11</sup> y; la condición de establecer anualmente una cuota de captura total. La Figura 2 presenta un mapa mental del marco regulatorio de la pesca<sup>12</sup>, si bien las medidas de manejo son para el golfo de México, se optó por mostrar el panorama del estado de Yucatán, al ser donde hay más pescadores y donde se obtiene la mayor captura. No es competencia de este trabajo analizar el marco regulatorio de la pesca, mas durante la elaboración de esta figura, la impresión de manera general, es una gestión centralizada, los permisos se otorgan a nivel federal y en el consejo estatal hay poca representación de los pescadores.

---

<sup>11</sup>La única excepción es en Veracruz, donde *O. vulgaris* se captura mediante buceo libre con gancho pulpero.

<sup>12</sup>Esta figura fue elaborada con CmapTools, software desarrollado en la *University of West Florida*, (<https://cmap.ihmc.us/>)

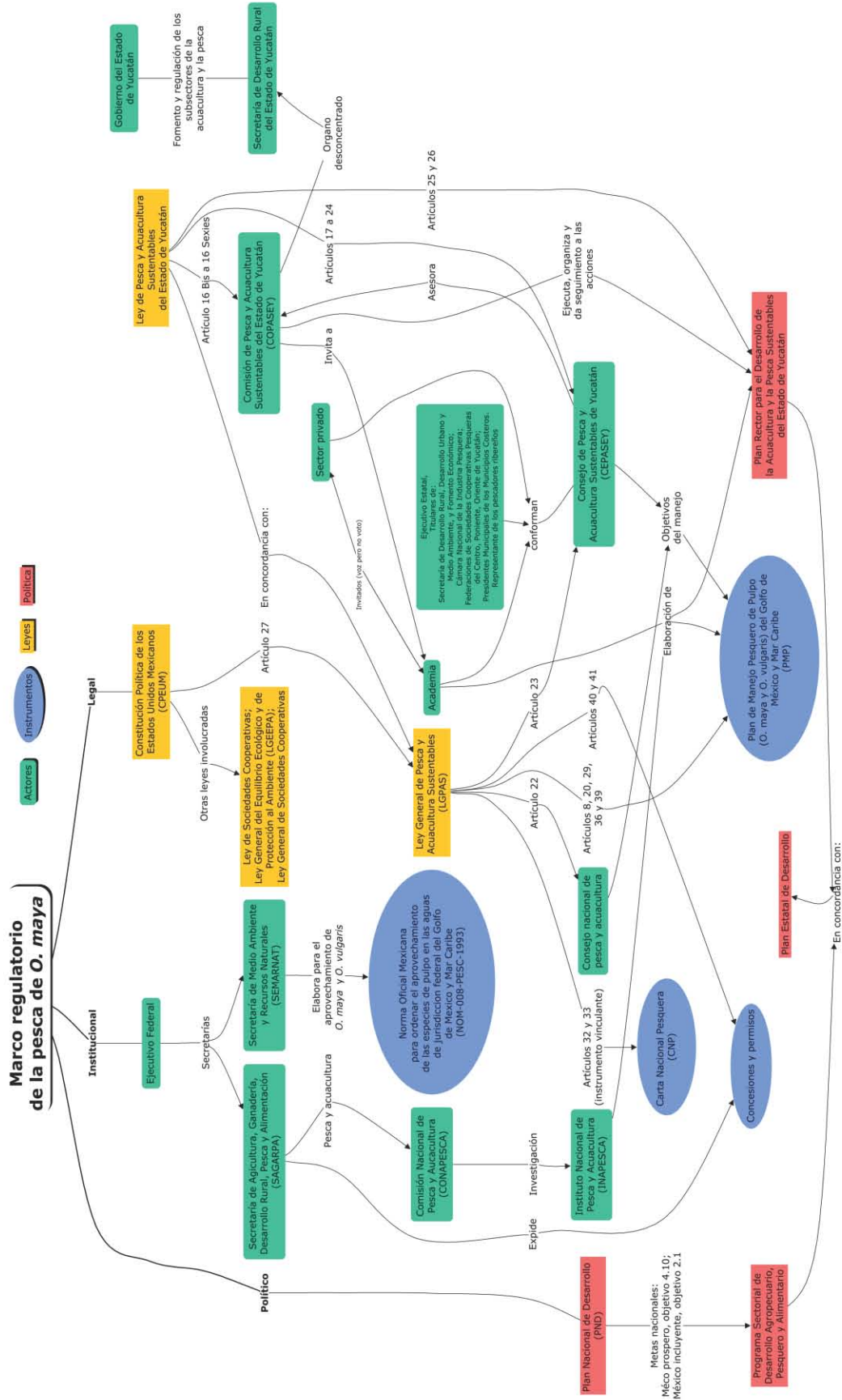


Figura 2: Mapa mental del marco regulatorio de la pesca del pulpo en Yucatán. Elaboración propia.

De manera general, el manejo de la pesquería de pulpo se ha centrado en proteger la sobrevivencia y el reclutamiento de un número adecuado de hembras maduras al final de la temporada de pesca (DOF-SAGARPA, 2012). La cuota de captura se estima en las áreas de mayor pesca de Campeche y Yucatán; de mayo a julio de cada año se realizan muestreos para estimar la biomasa total de la población al inicio de la temporada y se propone una cuota que asegure la sobrevivencia del 50 % de la población. De acuerdo al PMP, se contempla a corto plazo realizar estudios para evaluar otros puntos de referencia como el Máximo Rendimiento Sostenible. De las medidas establecidas en la NOM, el periodo de veda es la única que se ha respetado, al menos en Yucatán<sup>13</sup>. Las cuotas de captura y la *tmc* no están siendo cumplidas y se reporta el uso de gancho para la pesca e incluso en ocasiones del cloro para la extracción del pulpo de su refugio.

## Problemática

En la actualidad la pesca de pulpo está clasificada oficialmente como una pesquería que se encuentra en su máximo aprovechamiento sustentable (DOF-SAGARPA, 2012). Sin embargo, se ha sugerido que presenta algunos signos de sobreexplotación<sup>14</sup> (Hernández-Sánchez y Jesús-Navarrete, 2010; Jurado-Molina, 2010; Flores-Hernández *et al.*, 2017) y de incumplimiento reiterativo de las medidas de manejo, principalmente de la talla mínima de captura y de la cuota de captura (Salas *et al.*, 2008).

A pesar de esto, la pesquería estableció un nuevo récord de captura en 2014 con 33,644 ton (CONAPESCA 2015). Las capturas muestran fluctuaciones muy marcadas que se atribuyen a varios factores (incluidos la pesca y meteorológicos), aunque con una ligera tendencia al decremento (Salas *et al.*, 2008; 2009). En la última década, la captura ha fluctuando entre 9 mil y 24 mil toneladas. Para Yucatán, la producción de pulpo en 2006 generó alrededor de 767 millones de pesos y en 2007 produjo 473 millones de pesos. En el estado de Campeche el valor de la producción en la temporada 2006 fue de 199 millones de pesos y en la temporada 2007 fue de 183 millones de pesos. En Quintana Roo el valor de la producción de 2006 fue de aproximadamente nueve millones de pesos y en 2007 de siete millones de pesos (DOF, 2014). En Yucatán, para Fraga *et al.* (2008):

“... es a finales de la década de 1990 cuando comienza a visibilizarse el estancamiento de la actividad pesquera en cuanto a volúmenes de captura, con una fuerte repercusión en los hogares de los pescadores. Los pescadores ven disminuir los volúmenes de captura, el aumento de los precios de la gasolina y el aceite, las mayores distancias recorridas para encontrar la pesca, los precios manipulados por los grandes intermediarios y un conjunto de medidas de vigilancia y normatividad que restringe su actividad. El término escasez empieza a surgir entre los pescadores artesanales de Yucatán y se traduce en “más gente pescando, recursos

<sup>13</sup>En algunos años el sector pesquero en Yucatán ha solicitado la extensión de la temporada de pesca, cuando la pesca ha sido mala y no se ha alcanzado la cuota de captura asignada (Salas *et al.*, 2008).

<sup>14</sup>Desde que en 1982 se concedieron permisos a la flota mayor para la explotación experimental del pulpo, en solo dos años *O. maya* ya mostraba indicios de sobrepesca (Solís-Ramírez y Chávez, 1986; Seijo *et al.*, 1987).

cada vez más escasos, más riesgo al alejarse a mayores profundidades (cerca de los 30 m)... a finales de 1999, la expresión “naufraga la pesca en Yucatán” ocupó las primeras planas de los periódicos de mayor circulación local y se reportó la necesidad de completar el Programa de Ordenamiento Pesquero, anunciado desde 1997 e implementado casi 10 años después”.

La tendencia histórica de las principales pesquerías denotan la concentración del esfuerzo pesquero en un número restringido de especies marinas, el mero (*Epinephelus spp.*) y el pulpo aportan el 60% de las capturas. Particularmente, si se elimina la captura de pulpo de la captura total, se observa claramente el desplome de la captura del resto de los recursos en la región y especialmente la de mero (Fraga *et al.*, 2008). La dinámica poblacional de *O. maya* está fuertemente influenciada por cambios en el reclutamiento, el cual parece tener un comportamiento oscilatorio (Hernández *et al.*, 2004), lo que implica que es muy sensible a impactos en el stock desovante. Es por esto que la intensidad de pesca de un año, afecta directamente la captura del siguiente año (Pérez *et al.*, 2006). Chávez (1998) advertía no incrementar el número de permisos de pesca, pero la creciente demanda internacional ha incentivado la inversión en su pesquería, mejorando la infraestructura de las plantas procesadoras y aumentando del esfuerzo pesquero sobre el recurso (Salas *et al.*, 2009).

## Justificación

En la costa, el sector pesquero es la principal actividad con 33% del empleo total costero y considerando la parte agrícola y no solo la costera, el 39% del sector primario (Munguía y Sarmiento, 2014). La pesca y los pescadores son la escena y los actores de la vida económica y cultural de la costa (Fraga, 2004). La pesca de pulpo constituye una actividad económica que ha extendido su dinámica social de apropiación del espacio costero con la vinculación de comunidades campesinas ubicadas a más de 100 kilómetros de distancia (más allá de la zona costera convencional de 20 km). En el 2004 la flota en el estado de Yucatán comprendía un total de 4,946 embarcaciones: 628 mayores, 4,318 embarcaciones menores, además de 8,666 alijos; se registraron 3,414 permisos de pesca, y una participación de alrededor de 20,442 personas. Dada la cuasi-renta por pescador, la pesca de pulpo puede resultar una mejor alternativa para un individuo que cualquier empleo donde perciban un salario mínimo (Salas *et al.*, 2012). Durante un periodo de seis meses (julio a diciembre) los ingresos por la pesca de pulpo y langosta permiten a la población de pescadores, que puede ser hasta 25 veces mayor (Salas *et al.*, 2012), contar con ingresos suficientes para cubrir necesidades como mejoramiento de vivienda, pago de estudios de los hijos en otras comunidades y entretenimiento familiar (Fraga *et al.*, 2008).

Ante la problemática de la pesquería, y su importancia socioeconómica, la manera vertical del manejo (*top down*) ha prevalecido, siendo escasos los esquemas tipo *bottom up* o esquemas de consulta pública, en los cuales la participación de los usuarios para la toma de decisiones en el manejo es la regla (Fraga *et al.*, 2008). Las características biológicas de *O. maya* y la variación en los registros de capturas anuales exigen constante seguimiento científico y sugieren la necesidad de estrategias metodológicas más integrales para incentivar la participación de los interesados.

Froese (2004) al respecto, propone algunos sencillos indicadores para observar el nivel de explotación de stocks pesqueros (cuyas especificidades se abordarán más adelante) que se basan en la composición de tallas y en parámetros de historias de vida (comúnmente, como es este caso, documentados). Estos métodos de evaluación con información limitada, resultan sencillos y fácilmente interpretables, lo que vuelve más factible el cálculo para cualquier interesado y pueden incentivar el registro y seguimiento de las capturas por parte de los actores involucrados (incluyendo a los pescadores). Asimismo, la virtud de estar exclusivamente basados en la composición de tallas y las historias de vida, los aleja de los efectos del mercado y las consecuentes regulaciones basadas en el esfuerzo de pesca, centrándolos exclusivamente en el estado poblacional. De tal forma, es posible afirmar que constituyen un instrumento con objetivos encaminados a la sustentabilidad ecológica de la actividad pesquera.

## Objetivo

### General

- Evaluar espacial y temporalmente el stock de *O. maya* en la península de Yucatán mediante indicadores basados en tallas, para contribuir al conocimiento de su dinámica.

### Específicos

- Estimar las proporciones de organismos maduros  $P_{\text{mat}}$  y cerca de su longitud óptima  $P_{\text{opt}}$  en la captura de *O. maya* de la península de Yucatán.
- Evaluar la sensibilidad de  $P_{\text{opt}}$  a las historias de vida y a la proporción de  $M/k$ .
- Evaluar la sensibilidad de  $P_{\text{mat}}$  a diferentes valores de  $L_{\text{mat}}$ .
- Evaluar las variaciones espaciales y temporales de  $P_{\text{mat}}$  y  $P_{\text{opt}}$  en la península de Yucatán.
- Estimar la biomasa relativa de una cohorte con base en tallas.

## CAPÍTULO 2

### Marco teórico

Hasta ahora se ha recapitulado la situación de la pesquería de *O. maya*; sus características, su problemática y las medidas actuales de manejo. Este capítulo se desarrolla en torno a las mediciones basadas en tallas, se retoma el contexto de su aparición como propuesta metodológica, los antecedentes que dieron pie a su utilización para la generación de datos para el manejo y los supuestos e implicaciones teóricas inherentes. También se describe la metodología, se muestran los parámetros estimados en estudios anteriores, y se especifica la forma en que fueron utilizados para los análisis de este trabajo. Para llegar a esto, es conveniente retomar los eventos históricos más relevantes del desarrollo de la ciencia pesquera hasta el modelo propuesto por Raymond J.H. Beverton y Sidney Holt, que fue esencial para el desarrollo de los indicadores utilizados aquí, pues constituye su base teórica.

La investigación pesquera es relativamente joven, se desarrolló y sistematizó durante la segunda mitad del siglo XIX. En Londres se acuñó el concepto de “sobrepesca” o sobreexplotación en la pesca a finales de este siglo, y fue la pesquería de platija en el mar del Norte la que registró esta condición por primera vez. El incremento del esfuerzo de pesca no resultó en un incremento de la producción, sino disminuyó la captura por unidad de esfuerzo y para 1931 ya se contaba con un registro fidedigno que mostraba que la longitud y el peso de las capturas decrecían.

La ciencia pesquera se constituyó fundamentalmente con aportes de la biología, Baranov (1918) determinó teóricamente la curva de crecimiento y con su trabajo se iniciaron los estudios de dinámica poblacional. Posteriormente von Bertalanffy (1934) desarrolló un modelo de crecimiento individual que todavía es utilizado. Sus contribuciones sobre la edad y el crecimiento individual, resultaron fundamentales en la constitución del paradigma que sustenta la determinación de parámetros básicos para la evaluación de las poblaciones de especies de uso pesquero<sup>15</sup>. A partir de aquí, el desarrollo de modelos se enfoca, en última instancia, en establecer una relación matemática entre el rendimiento anual de la pesquería monoespecífica y la mortalidad por pesca. De acuerdo con la reflexión de Morán-Angulo, Téllez-López y Cifuentes-Lemus (2010) podemos diferenciar dos grandes caminos:

- Por un lado el recorrido por Graham (1935) y Schaefer (1954, 1957) que utilizando datos de captura y esfuerzo de pesca, modelan lo que llaman el stock poblacional, y desarrollan el concepto de Rendimiento Máximo Sostenible (RMS)<sup>16</sup>. Sin embargo, estos modelos continuaron incorporando sólo parámetros pesqueros. La propuesta de

---

<sup>15</sup>Ludwing von Bertalanffy es más conocido por su Teoría General de Sistemas, que dio pie a los estudios interdisciplinarios. En este sentido, los enfoques integradores de gestión pesquera (y demás recursos naturales), tienen su base en la propuesta del estudio holístico de sistemas abiertos. Las pesquerías son ahora entendidas como sistemas social-ecológicos.

<sup>16</sup>El Rendimiento Máximo Sostenible se refiere al punto en que se mantienen los niveles de captura que maximizan el valor económico y mantienen estable la población explotada. El RMS es considerado como la contribución original al paradigma actual del desarrollo sostenible.

Scott Gordon (1954) logra incluir parámetros económicos y es considerada la base de los estudios bioeconómicos.

- Por el otro, Russel (1931), Thomson y Bell (1934), Ricker (1954) y Beverton y Holt (1957) usaron la edad y el crecimiento para modelar la dinámica poblacional, estimando el rendimiento por recluta, la edad de primera captura y la mortalidad por pesca. A estos modelos también se les denomina analíticos o deductivos, puesto que se derivan de ciertas características biológicas de la pesquería; de manera general buscan predecir los rendimientos, su complejidad estriba en el número de variables utilizadas. El modelo más trascendente es el de Rendimiento por Recluta propuesto por Beverton y Holt en 1957, que permitió optimizar el rendimiento balanceando la mortalidad por pesca con la edad o la longitud de primera captura ( $L_c$ ).

En su ecuación de rendimiento, la respuesta de una población a la presión pesquera depende de la mortalidad natural ( $M$ ), la mortalidad por pesca ( $F$ ), la tasa de crecimiento ( $k$ , de la VBGF) y la edad de primera captura ( $t_c$ ). Si bien su modelo requería de cuatro parámetros, la  $M$  representaba el mayor reto, y de esta forma comenzaron a abordar las relaciones entre los propios parámetros; así, demostraron que la mortalidad por pesca estaba inversamente correlacionada con la longitud media de la captura, esto, usando datos de frecuencias de longitud y los parámetros de crecimiento y longitud de primera captura.

Posteriormente se demostró que aunque se requieran cuatro parámetros para la ecuación, los aspectos esenciales de la respuesta de un stock a la pesca están en las relaciones:  $k/M$ , que refleja las características biológicas intrínsecas de una población, y la longitud de primera captura con la longitud asintótica (de la VBGF)  $L_c/L_\infty$ , en la que influye el manejo pesquero (Jennings y Dulvy, 2009).

Este trabajo se apoya también en trabajos posteriores del propio Beverton (1992) donde explora la longitud en la cual se puede obtener el rendimiento potencial máximo, y el trabajo de Myers y Mertz (1998) que mostraron que a mayor diferencia entre la edad de primera captura y la edad de primera madurez, más vulnerable es el stock a la sobrepesca. Los indicadores tienen su base en estos puntos con objetivos concretos, y además proponen que la longitud en la primera captura sea mayor a la longitud de primera madurez y que la longitud media sea cercana a la longitud del rendimiento potencial máximo (Beverton, 1992).

### Indicadores basados en tallas

Las mediciones basadas en las tallas responden a los impactos de la pesca porque la talla del cuerpo determina la vulnerabilidad de individuos, poblaciones y comunidades (Mc Allister y Orr, 2006). En estas mediciones, los cambios inducidos por pesca pueden atribuirse a los cambios dentro de la población en la composición del tamaño y la historia de vida, los cambios genéticos, las relaciones depredador-presa y los efectos de la competencia. Por tanto, las tendencias de estos indicadores reflejan la respuesta de toda la población a la mortalidad.

A nivel poblacional, disminuciones en la longitud media y la media de peso, o cambios en



la longitud máxima media y la media de peso máximo, reflejan la eliminación de los peces más grandes (Rochet y Trenkel, 2003; Ault, Smith y Bohnsack, 2005; Shin *et al.*, 2005). Indicadores como la longitud promedio, por ejemplo, tienen una interpretación clara y se entiende bien el impacto de la pesca en ellos, además de ser preciso y con un alto nivel de potencia estadística (Rochet y Trenkel, 2003). Rochet (1998) demostró que ante la pesca, los peces desarrollan respuestas compensatorias, disminuyen su edad de madurez e incrementan su talla a la vez; resultado en concordancia con la respuesta teórica de los stocks explotados a los cambios dependientes de la densidad en el crecimiento y maduración.

Actualmente las pesquerías mundiales se encuentran en una creciente sobrepesca, es decir, las poblaciones se están explotando más rápido de lo que se pueden recuperar ellas mismas (Pauly *et al.*, 1998; Sadovy, 2001). Organismos internacionales y organizaciones sin fines de lucro promueven enfoques integradores, que sean técnicamente factibles. Desde la Convención de Río de Janeiro en 1992 se promueve el Manejo Pesquero Basado en Ecosistemas (EBFM, por sus siglas en inglés), que ha sido expuesto como un enfoque holístico que reconoce las complejidades físicas, biológicas, económicas y sociales de la gestión de los recursos marinos vivos (Cicin-Sain y Knecht 1993; Grumbine 1994; Griffis y Kimball 1996 citados por Patrick y Link 2015). En este sentido, las mediciones basadas en las tallas han sido propuestas como indicadores afianzadores de estrategias a mediano y largo plazo (5 a 10 años) del EBFM, en las que se intentan usar como monitor del cambio ecológico y para evaluar el comportamiento del manejo (Shin *et al.*, 2005).

Dicho esto, los indicadores basados en tallas no sólo proporcionan una alternativa deseable para las evaluaciones pesqueras, sino atienden a otras causas de la sobrepesca, particularmente en torno a los siguientes aspectos:

- 1) La carencia de datos biológicos para el manejo pesquero.

Para el manejo pesquero se requiere de información y bases de datos de mediciones individuales de los organismos, que permitan hacer estimaciones sobre el estado del stock. La información de diversos stocks es escasa y algunas instituciones se niegan a disponer los datos en bruto al público e ignoran el beneficio potencial de incorporarlos en bases de datos apropiadas (p. ej. la WDC), de esta manera se debe gastar un esfuerzo económico y temporal adicional para generarlos (Dittert, Diepenbroek y Grobe, 2001). Esto podría explicar el gran contraste en la cooperación internacional, que mientras en este campo y otros (p. ej. modelos ecosistémicos globales) es mínima y poco efectiva, en la oceanografía y la climatología el intercambio de datos tiene una larga tradición y los resultados de los modelos globales son ampliamente utilizados y aceptados (Froese, Lloris y Opitz, 2003). En este sentido se debiera garantizar que los datos científicos archivados estén disponibles libremente hasta que un repositorio global de libre acceso se pueda configurar. Este puede ser el mejor primer paso, bajo el objetivo a largo plazo de asegurar datos valiosos (Dittert *et al.*, 2001). Asimismo, existe la creencia alrededor del EBFM de sólo poder ser implementado en regiones donde existe una considerable cantidad de datos (Patrick y Link, 2015). No obstante, se realiza en situaciones de escasez de datos ahora (Smith *et al.* 2007) y es claramente reconocido que puede y debe llevarse a cabo en tales situaciones, especialmente en países en desarrollo (Pikitch *et al.* 2004, Hobday *et al.* 2011 citados por Patrick y Link 2015).

- 2) Las implicaciones de la complejidad de los modelos científicos en el involucramiento y la participación.

Pauly (1990) acuñó el término “sobrepesca malthusiana”, para referirse a la sobrepesca deliberada que, debido a la pobreza y la falta de alternativas, es administrada de forma en que encuentra más conveniente el riesgo del eventual colapso de stocks que el riesgo de generar conflictos sociales o políticos, las cuotas comúnmente son decididas ignorando evidencia científica y permitiendo capturas más allá de niveles seguros, lo que Froese (2004) denomina “sobrepesca de conveniencia”, cuyo resultado han sido los niveles históricamente más bajos y continúan declinando. Una pre-condición para esta sobrepesca de conveniencia es la aparente ausencia del involucramiento público en los asuntos pesqueros. La investigación pesquera durante el último siglo, se ha encargado de desarrollar complejos modelos de evaluación de los stocks que son incomprensibles con excepción de unos pocos expertos. Esta complejidad ha hecho imposible para ciudadanos ajenos a las instituciones tradicionales, llevar su influencia sobre cómo se relacionan con el uso responsable de los recursos naturales acuáticos (Froese, 2004), que aunado al mito de considerar necesarios modelos muy complicados para la implementación del EBFM (Patrick y Link, 2015) evidencia la necesidad de nuevas propuestas metodológicas cuya información sea fácilmente interpretable por todos.

- 3) la política pesquera basada en cuotas de Rendimiento Máximo Sustentable.

Cualquier evaluación científica requiere hacer suposiciones sobre el funcionamiento de la naturaleza, lo importante es ser explícito sobre estas suposiciones y cuestionarlas en relación al contexto particular del asunto a evaluar. En este sentido, los científicos pesqueros deben tener precaución en recomendar políticas a partir del Rendimiento Máximo Sustentable (MSY, por sus siglas en inglés), basada en evaluaciones de una especie, e ignorando los roles ecosistémicos de las especies explotadas (Francis *et al.*, 2007). Hay por lo menos dos perspectivas ante esta problemática<sup>17</sup>. Una de ellas es ver el MSY como un paradigma viable que no siempre se ha implementado correctamente en el pasado, pero no obstante es esencial en la ciencia pesquera (Mace 2001). El otro es reemplazar el MSY por un “Rendimiento Ecológicamente Sustentable” (ESY, por sus siglas en inglés) más integral (Zabel *et al.* 2003). Este concepto puede incluir una variedad de indicadores, como los utilizados en este trabajo.

Por último, una atracción principal de las mediciones basadas en las tallas es la amplia disponibilidad de datos recogidos durante programas de supervisión o monitoreo (Rochet y Trenkel, 2003), pues comúnmente, es una cuestión de rutina para los registros de la pesca comercial y el proceso de reunir una serie temporal de la información de tallas suele ser sencilla, rentable y se puede combinar de diferentes maneras para producir indicadores basados en el tamaño en los diferentes niveles jerárquicos dentro de un ecosistema (Mc Allister y Orr, 2006).

---

<sup>17</sup>También se propuso, y se usa, el Máximo Rendimiento Económico (MEY, por sus siglas en inglés), que surge bajo la premisa de que una pesquería que maximiza su beneficio económico, también cumplirá con sus objetivos de conservación. Se refiere al esfuerzo que maximiza los beneficios económicos, y por lo general, sus objetivos en términos de niveles de esfuerzo son menores al RMS y en biomasa son mayores (Dichmont *et al.*, 2010).

## Antecedentes

En el contexto de las pesquerías de pulpo, Gillespie, Parker y Morrison (1998) advierten de la carencia de información y recomiendan realizar índices de abundancia y estimaciones, que evalúen el estado de los stocks para prevenir impactos adversos dado el rápido crecimiento en la participación de las mismas. Si bien la pesquería de pulpo es de las más estudiadas en Yucatán<sup>18</sup>, su problemática ha prevalecido y no tiende a mejorar; en este sentido los análisis basados en las historias de vida y la dinámica de las tallas en las capturas pueden resultar una alternativa factible para proyectar al manejo objetivos claramente vinculados al EBFM.

Los indicadores utilizados fueron propuestos por Froese (2004), quien realizó estudios para estimar distintos parámetros a partir de relaciones empíricas<sup>19</sup>, mostrando que la longitud de primera madurez es ante todo una función del tamaño, a la  $L_{\infty}$  como un gran estimador de  $L_{opt}$ , y la edad en  $L_{opt}$  como un buen indicador de la edad de madurez en peces (Froese y Binohlam, 2000), también ha presentado ejemplos del éxito de utilizar la longitud óptima ( $L_{opt}$ ) como régimen en el manejo pesquero, enumerando distintas ventajas<sup>20</sup> (Froese *et al.*, 2008). Recientemente ha propuesto la relación  $M/k = 1.5$  como un objetivo del manejo pesquero, dado que la fecundidad es proporcional al peso y que durante el pico de la biomasa de la cohorte se encuentra el pico de fecundidad y de producción de crías (Froese *et al.*, 2016).

Los indicadores, incorporan para su estimación los siguientes parámetros: talla de primera madurez ( $L_{mat}$ ), mortalidad natural ( $M$ ) y los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (VBGF, por sus siglas en inglés)<sup>21</sup>. Al respecto de estos últimos, se han hecho numerosas estimaciones en los diferentes estados de la península (Tabla 1)<sup>22</sup>. La relación entre las historias de vida<sup>23</sup> y la dinámica de la población ha ocupado un lugar destacado en los debates sobre el nivel de explotación de las especies (explotada, amenazada o segura), en gran medida esto es una cuestión empírica que debe resolverse antes de permitir que las especies sean declaradas seguras con base en rápidas historias de vida. Mientras tanto, existe la posibilidad de utilizar componentes de las historias de vida para proporcionar orientación

<sup>18</sup>Véase los trabajos de Solís-Ramírez (1975, 1988, 1994); Solís-Ramírez y Chávez (1986); Solís-Ramírez *et al.* (1997, 2000); Seijo *et al.* (1987); Arreguín-Sánchez (1992, 1992a); Arreguín-Sánchez *et al.* (2000); Walkida *et al.* (2004); Pérez *et al.* (2006); Salas *et al.* (2006,2008, 2009).

<sup>19</sup>Longitud asintótica ( $L_{\infty}$ ), longitud máxima observada ( $L_{max}$ ), longitud de primera madurez ( $L_{mat}$ ) de  $L_{\infty}$  life-span ( $t_{max}$ ) de la edad de primera madurez ( $t_m$ ), y longitud al máximo rendimiento posible por recluta ( $L_{opt}$ ) de  $L_{\infty}$  y de  $L_{mat}$ , respectivamente (Froese y Binohlam, 2000).

<sup>20</sup>Adicionalmente, ha contribuido en el dominio público colaborando con la creación de FishBase que es un sistema de información libre desarrollado por el Centro Internacional para el Manejo de los Recursos Acuáticos Vivos (ICLARM) en colaboración con la FAO, contiene datos clave de la biología de todos los peces (alrededor de 25 mil especies) con diferentes aportaciones de diferentes personas, desde nombres comunes, hasta referencias o reportes, gráficos y soporte para la parametrización de modelos (Froese 1999, 2000; Froese y Pauly 2000).

<sup>21</sup>Los estudios de crecimiento se han sustentado principalmente en el supuesto de que la VBGF aplica para el molusco (Salas *et al.*, 2008).

<sup>22</sup>Los datos de esta tabla fueron recopilados en el trabajo de Flores-Hernández *et al.* (2017).

<sup>23</sup>Los parámetros utilizados comúnmente para describir las historias de vida son:  $t_m$  (edad de madurez),  $L_m$  (longitud de madurez),  $t_{max}$  (máxima edad registrada),  $k$  (tasa de crecimiento de VBGF),  $L_{\infty}$  (talla máxima teórica de la VBGF) y  $M$  (tasa instantánea de mortalidad natural) (Reynolds, Jennings y Dulvy, 2001).

simple y poder dar prioridad a las evaluaciones de conservación de las muchas especies de peces de la que poco se sabe (Reynolds *et al.*, 2001).

Tabla 1: Parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy: Linf = longitud asintótica; k = tasa de crecimiento; M = mortalidad natural; tmax = talla a la máxima edad, para *O. maya* en la plataforma continental de la península de Yucatán. Datos recopilados de Flores-Hernández *et al.* (2017)

Región	Autor	Linf	k	M	tmax
Ambas regiones	Solís y Chávez, 1986	229	0.26	0.41	11.4
	Arreguín-Sánchez <i>et al.</i> 2000	252	1.4	2.2	2.1
Campeche	González y de la Rosa <i>et al.</i> 1997	241	1.5	2.48	2
	Pacheco, 2001	222	1.4	-	2.1
	Flores-Hernández <i>et al.</i>	219	1.2	2.15	2.5
Yucatán		233	1.3	2.25	2.3
		245	1.2	2.08	2.5
		230	1.3	2.21	2.3
	Zambrano, 1992	232	0.95	1.82	3.2
		230	1.4	2.64	2.1
		215	1	1.97	3
		210	1.3	2.29	2.3
	Arreguín-Sánchez <i>et al.</i> 1996	250	1.1	-	2.7
	Nepita y Defeo, 2001	213	0.5	-	6
		285	1.35	-	2.2
	Hernández-Sánchez y de Jesús-Navarrete, 2010	215 h	0.68	1.49	4.4
		240 m	0.97	1.49	3.1
	Cabrera y Salas	236	0.87	1.65	3.4
	Hernández y Medina, 2004	237	1.2	-	-

Para el caso de *O. maya*, se ha reportado anteriormente que presenta variaciones espacio-temporales en su distribución por tallas, de menores a mayores de poniente a oriente (Cabrera *et al.*, 2012; Salas *et al.*, 2012; Gamboa-Álvarez *et al.*, 2015). Al respecto se considera que a pesar de la presencia de endogamia y de variaciones espaciales en la heterocigosis<sup>24</sup>, *O. maya* consta de una sola unidad de manejo que abarca toda la península de Yucatán (Juárez, 2011). Por tanto, se ha sugerido que estos patrones son debido a movimientos migratorios de oeste a

<sup>24</sup>La endogamia se refiere al apareamiento de los individuos de una población genéticamente aislada, es decir, los individuos están íntimamente emparentados, lo que tiende a disminuir la adecuación de las poblaciones naturales. Esto favorece la homocigosis, que un individuo tenga dos alelos idénticos en un locus determinado. La heterocigosis se refiere a lo contrario: dos alelos diferentes en el mismo locus.

este (Cabrera *et al.*, 2012; Salas *et al.*, 2012; Gamboa-Álvarez *et al.*, 2015), delineados por la localización de sitios óptimos para la reproducción, refugio y alimentación (Gamboa-Álvarez *et al.*, 2015), o bien, por el cambio en la temperatura, principalmente en época reproductiva para el mantenimiento de la conectividad entre localidades (Juárez, 2011).

La temperatura se considera una variable de suma relevancia pues regula la temporada de desove, Juárez *et al.* (2015) sugieren la existencia de dos cohortes de población (oriente-occidente) y para el caso de occidente, sólo es una cohorte al año. La temperatura óptima para la incubación, fertilización, desarrollo embrionario, y la supervivencia de las crías se encuentra en los rangos de 22-26 °C (Caamal-Monsreal *et al.*, 2016). Juárez *et al.* (2015) atribuyen a las surgencias de primavera-verano, generar condiciones que promueven el desove y desarrollo de neonatos en la frontera oriental de la plataforma continental de Yucatán.

## Metodología

### Área de estudio y recolección de datos

La costa de la península de Yucatán se compone de rocas calizas en donde domina el carbonato de calcio, que junto a una estructura tabular u horizontal y las condiciones de humedad, permiten la presencia del modelo cárstico en el relieve. Está sujeta a la influencia de los vientos alisios que provienen del Este-Noreste a lo largo del año generando un oleaje que arriba del sector Noreste, de tal forma que refuerza la corriente que proviene de la circulación costera del Caribe mexicano; originando un flujo paralelo a la costa, en dirección al Poniente (García 1981). En el verano y otoño la influencia más notoria proviene de los ciclones tropicales y en el invierno de los nortes, que con sus vientos húmedos contribuyen a elevar el porcentaje de lluvia invernal (entre 5 y 10 % de la total anual) (Ortíz-Pérez y Lanza-Espino, 2006).

En estas regiones, la zona costera ha tenido un uso de suelo dedicado particularmente a la conservación, urbanización semintensiva, y desarrollo portuario. Fuertes lluvias caracterizan el periodo junio-octubre y menores de noviembre a febrero, mientras que el periodo de marzo-junio es la época de estiaje (Herrera-Silveira, Comín y Capurro, 2004). En la zona marina hay extensas áreas cubiertas de vegetación sumergida, en las que dominan los pastos marinos (Onuf *et al.* 2003 en Herrera *et al.* 2004). No obstante, existen diferencias que se deben recalcar.

En Yucatán existe una extensa zona de humedales costeros, que inducen a que la zona marina costera tenga un comportamiento de tipo estuarino de acuerdo a los gradientes de salinidad del agua (Herrera-Silveira *et al.*, 2004). Además es zona de surgencias dinámicas de circulación, cuyo origen se vincula con la interacción del fondo somero de esta parte de la plataforma continental y la corriente de Yucatán (García 1981), y se asocia con la entrada de agua fría en primavera y verano disminuyendo la temperatura particularmente del fondo (Piñeiro *et al.*, 2001). Por otra parte, la región de Campeche (particularmente la sonda de Campeche) está influenciada por el constante aporte de material terrígeno como arena fina, limo y arcilla producto del transporte fluvial de los ríos Usumacinta y Grijalva (García

1981), es considerada de importante valor ecológico y ha sido ampliamente estudiada por su diversidad de especies, la heterogeneidad de sus hábitats y por la expansión de los puertos industriales, ya sea por la explotación petrolera o la industria pesquera (García-Cuéllar *et al.*, 2004).

Ciertamente la distribución de *O. maya* no responde a divisiones territoriales políticas, sino a elementos biofísicos propios de los estados de Campeche y Yucatán. Por esto, en este trabajo, Holbox, al ser el único puerto quintanarroense donde se captura, fue incluido en la región “Yucatán” junto con el resto de los puertos del estado (de Celestún a Holbox), mientras que los puertos campechanos (de Sabancuy a Isla Arena) constituyen la región “Campeche” (Figura 3). Se realizaron muestreos mensuales durante las temporadas de pesca (agosto-diciembre) de 2012 y 2014 de los desembarques de *O. maya* de los viajes de pesca de la flota ribereña; trece puertos en 2012 y seis en 2014 (Figura 3). En los muestreos se midió con cinta métrica con precisión de 1 centímetro la longitud del manto (LM) de los organismos muestreados.

### Estimación de indicadores con base en tallas

El uso de indicadores basados en tallas y el trabajo de Froese fueron ganando atención (Jennings y Dulvy, 2005; Francis *et al.*, 2007) hasta que Cope y Punt (2009) les dieron mayor rigor y eficiencia para el manejo dotándolos de puntos de referencia. Estos indicadores se basan en las composiciones de longitud que pueden derivar de las capturas comerciales y se compara con propiedades biológicas que son generalmente conocidas o fácilmente establecidas, por lo que es sencillo estimarlos y vuelve más factible el involucramiento de los actores interesados en la gestión pesquera (Froese, 2004). El autor propone tres indicadores:

- Proporción de individuos sexualmente maduros en las capturas totales ( $P_{\text{mat}}$ ). Se mide como porcentaje de especímenes maduros en la captura. El objetivo de manejo sería dejar que el 100 % de pulpos desoven al menos una vez antes de ser capturados para reconstruir y mantener las poblaciones reproductoras sanas (Ec. 1).
- Proporción de individuos de la talla que maximiza el rendimiento en las capturas totales ( $P_{\text{opt}}$ ). Se mide como el porcentaje de los individuos capturados en su longitud óptima. La longitud óptima suele ser un poco más grande que la longitud de primera madurez. El objetivo para el manejo sería capturar todos los peces (100 %) dentro del  $\pm 10\%$  de la longitud óptima (Ec. 2).
- Proporción de individuos sexualmente maduros de tallas más grandes (mega-reproductores) en las capturas totales ( $P_{\text{mega}}$ ). Se mide como porcentaje de los grandes individuos en la captura, es decir, los peces de un tamaño más grande que la longitud óptima más un 10 %. Aquí el objetivo es implementar una estrategia de pesca que da lugar a ningún (0 %) mega-reproductor de ser atrapado. Si tal estrategia está funcionando y por lo tanto la captura refleja la estructura de edad y tamaño de la población, los valores de 30 a 40 % de mega-reproductores representan una estructura de edad sana y deseable, mientras que menos del 20 % será un motivo de preocupación (Ec. 3).

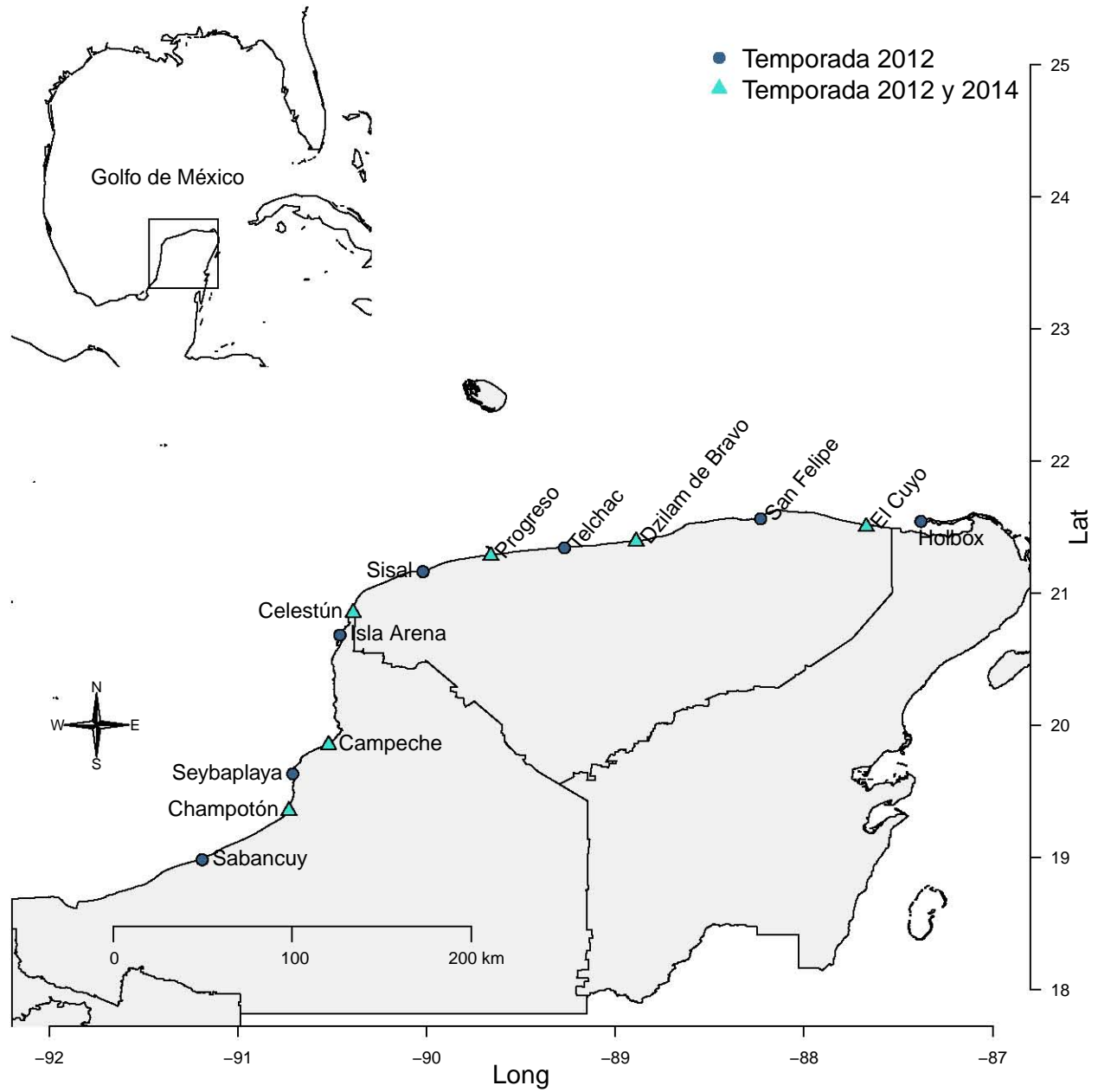


Figura 3: Área de estudio. Se indican los puertos muestreados de ambas temporadas.

El cálculo de los indicadores está determinado por:

$$P_{mat} = \sum_{L_{mat}}^{L_{max}} P_{LM}, \quad (1)$$

$$P_{opt} = \sum_{0,9L_{opt}}^{1,1L_{opt}} P_{LM} \quad (2)$$

y

$$P_{mega} = \sum_{1,1L_{opt}}^{L_{max}} P_{LM} \quad (3)$$

Donde:

- $P_{LM}$  = Proporción de la captura de la clase de longitud de manto LM.
- $L_{mat}$  = Longitud de primera madurez (a la cual el 50 % de la población se encuentra sexualmente madura).
- $L_{max}$  = Longitud máxima de la especie.
- $L_{opt}$  = Longitud a la cual la biomasa de la cohorte es maximizada.

No obstante, no se estimó  $P_{mega}$ , pues *O. maya* es una especie semélpara, las hembras realizan un único desove anual para morir posteriormente por inanición (DOF, 2014), lo que vuelve poco factible los resultados pues en el stock no existen mega-reproductores hembras. Para la estimación de intervalos de LM se utilizó la regla de Sturges;  $k = 1 + 3.322 * \log(n)$ . Donde  $k$  es el número de intervalos,  $A$  es la amplitud del intervalo y se calcula:  $A = k/\text{rango}$ , el rango es la resta del mínimo al máximo valor de LM y  $n$  es el número de individuos en la muestra.

$P_{LM}$  se estimó mediante la siguiente fórmula:

$$P_{LM} = \frac{1}{1 + e^{(a-b*L)}} \quad (4)$$

Donde  $a$  y  $b$  son parámetros de la función logística y  $LM$  es la talla para la que se realiza la estimación.

Para estimar  $P_{mat}$  se requiere un valor de talla de primera madurez  $L_{mat}$  de la especie (Ec. 1) En las poblaciones,  $L_{mat}$  es considerado como la longitud a la cual el 50 % de los individuos en la población alcanzan la madurez. Esto es determinado por una curva logística ajustada a la relación entre la proporción de individuos maduros y sus edades o tallas (Reynolds *et al.*, 2001).

Para estimar  $P_{opt}$  se requiere el valor de  $L_{opt}$ . Éste se calculó mediante la ecuación de Beverton (1992):



$$L_{opt} = L_{\infty} \frac{3}{3 + (M/k)} \quad (5)$$

Donde:

- $L_{\infty}$  = Longitud asintótica, parámetro de la VBGF (cm).
- $M$  = Mortalidad natural (por año).
- $k$  = Coeficiente de crecimiento o parámetro de curvatura de la VBGF, determina la rapidez con la que el organismo alcanza la longitud asintótica  $L_{\infty}$  (Sparre y Venema, 1997).

Las estimaciones de  $L_{opt}$  se hicieron por región. Para esto se utilizaron valores de  $L_{\infty}$ ,  $M$  y  $K$  ya estimados por diferentes autores (Tabla 1). Cabe señalar que la selección de parámetros sobre longitud, madurez, crecimiento y mortalidad natural, afectará el porcentaje de  $L_{opt}$ , pero no sus tendencias (Froese, 2004).

### Sensibilidad de los indicadores

Dado su corto ciclo de vida, en *O. maya* la distancia entre la  $L_{mat}$  y la  $L_{opt}$  es reducida. Esto puede implicar imprecisión en las estimaciones de los indicadores, lo que significa incertidumbre en la gestión pesquera. Las “recomendaciones sustentables de Froese” nos sugieren valores cercanos al 100 % de  $P_{mat}$  y  $P_{opt}$ , pero se hace necesaria una guía o punto de partida sobre la sensibilidad de los indicadores ante las variaciones de los parámetros utilizados en su cálculo (Tabla 1).

Entre los parámetros de la Tabla 1, contrastan los valores reportados por Solís-Ramírez y Chávez (1986). Esta diferencia es posiblemente una consecuencia del método utilizado para estimar  $M$ , o que en realidad la mortalidad era menor en ese tiempo (Flores-Hernández *et al.*, 2017), por tanto, estos parámetros fueron excluidos del análisis. Entonces es el trabajo de Arreguín-Sánchez *et al.* (2000) el único que presenta parámetros considerándolo una sola población (su muestreo se realizó en nueve puertos de Campeche y Yucatán). En su trabajo, los autores dan cuenta de cómo la mortalidad pos-eclosión puede afectar las estimaciones de la tasa de explotación, y proponen una  $M = 3.3$  alternativa, que a pesar de no estar basada en ningún diseño experimental, provee una tasa de explotación ajustada.

A partir de los parámetros de la tabla 1 (exceptuando los de Solís-Ramírez y Chávez 1986) se establecieron tres historias de vida por cada región, utilizando el primer y tercer cuartil y la mediana, esta última utilizada como el caso control por región. Para los datos en conjunto se utilizó como caso control los valores reportados por Arreguín-Sánchez *et al.* (2000), y como casos alternativos, se utilizó en el primero la  $M = 3.3$  alternativa, y el segundo, estimando las medias de los casos base de ambas regiones (Tabla 2).

Por otra parte, usar la relación  $M/k$  es conveniente porque tiende a variar menos que los propios parámetros individuales  $M$  y  $k$ ; cuando esta relación es 1.5, la cohorte se encontrará en su pico de fecundidad y de producción de crías (Froese *et al.*, 2016). Por esto se incluyó un

caso donde  $M/k = 1.5$ , utilizadas junto con las historias de vida para calcular los indicadores en ambas regiones (Tabla 2).

Tabla 2: Historias de vida utilizadas para el cálculo de los indicadores en ambas regiones y el total. El asterisco (\*) denota el caso control. HV1, HV2 y HV3 = historia de vida 1, 2 y 3;  $M/k=1$  y  $M/k=2$  = proporción entre mortalidad natural sobre la tasa de crecimiento igual a 1, e igual a 2, las longitudes están en mm.

Parámetro	HV1	HV2*	HV3	$M/k = 1.5$
-				
C A M P E C H E				
-				
Longitud asintótica (Linf)	221	231	243	231
Coefficiente de crecimiento (k)	1.35	1.4	1.42	1.4
Mortalidad natural (M)	2.17	2.2	2.34	2.1
M/k	1.61	1.57	1.64	1.5
Longitud en máxima biomasa (Lopt)	143	151	157	154
-				
Y U C A T Á N				
-				
Longitud asintótica (Linf)	222	233	242	233
Coefficiente de crecimiento (k)	0.96	1.2	1.3	1.2
Mortalidad natural (M)	1.85	2.14	2.24	1.8
M/k	1.93	1.78	1.72	1.5
Longitud en máxima biomasa (Lopt)	135	146	154	155
-				
T O T A L				
-				
Longitud asintótica (Linf)	232	252	252	252
Coefficiente de crecimiento (k)	1.3	1.4	1.4	1.4
Mortalidad natural (M)	2.17	2.2	3.3	2.1
M/k	1.66	1.57	2.35	1.5
Longitud en máxima biomasa (Lopt)	149	165	141	168

Como se mencionó anteriormente, para el caso de *O. maya*, la  $L_{mat} = tmc = 11$  cm LM. Recientemente, Ávila-Poveda *et al.* (2016) estimaron una  $L_{mat}$  entre 7.24 y 7.42 cm LM para machos, y entre 10.95 y 12.58 cm LM para hembras. Por lo que proponen una nueva  $tmc = 13$  cm LM. Estas dos estimaciones fueron utilizadas para evaluar la sensibilidad de  $P_{mat}$  ante ambos escenarios:

- La regulación actual, que establece una  $tmc = 11$  cm LM (DOF, 2014).
- La nueva evidencia científica, que sugiere una  $tmc = 13$  cm LM (Ávila-Poveda *et al.*,

2016).

Se explorará gráficamente, por región, variaciones entre ambos indicadores a las historias de vida y a los dos valores de  $L_{\text{mat}}$ .

### Variaciones espacio-temporales en las proporciones por tallas de *O. maya*

Para analizar las variaciones espaciales y temporales del stock de *O. maya*, se utilizarán los parámetros de Arreguín-Sánchez *et al.* (2000) de la Tabla 1, es decir, los de la HV2 (Tabla 2) y la  $L_{\text{mat}} = 11$  cm LM de la regulación vigente. De acuerdo con Cope y Punt (2009), se empleó un nuevo valor " $P_x$ " que corresponde a la suma de  $P_{\text{mat}}$  y  $P_{\text{opt}}$ . Este nuevo indicador tomará como valor máximo el dos, que supondría que el 100% de las capturas son pulpos cercanos a su talla óptima y por tanto el mismo porcentaje de organismos maduros. Se establecieron arbitrariamente cuatro grupos conforme a los valores de  $P_x$ :

- 1)  $P_x \leq 0.5$ ; que implicaría que necesariamente más de la mitad de pulpos capturados son inmaduros, por tanto se denominó: inmaduros.
- 2)  $0.5 < P_x \leq 1$ ; que representa un porcentaje bajo de pulpos capturados maduros, pero sobretodo en tallas óptimas, por tanto se denominó: pequeños.
- 3)  $1 < P_x \leq 1.5$ ; que implica una cantidad considerable de pulpos en tallas reproductoras, por tanto se denominó: maduros.
- 4)  $1.5 < P_x \leq 2$ ; que supondría una captura de pulpos grandes, la mayoría en su talla óptima, por tanto se denominó: óptimos.

En este trabajo no se realizó ninguna prueba de hipótesis; dada la naturaleza del muestreo y los datos, es imposible determinar diferencias estadísticas sin una importante incertidumbre y, por tanto, existe gran probabilidad de aceptar hipótesis que son falsas. Sin embargo, los grupos citados, se presentaron en una tabla de contingencia de múltiples vías y se representaron gráficamente, de forma que pueda tenerse una mejor noción del comportamiento de las capturas de acuerdo a la estructura por tallas del pulpo.

También se presentan gráficos del comportamiento temporal y espacial de  $P_{\text{opt}}$ , de acuerdo con las historias de vida (Tabla 2) y de  $P_{\text{mat}}$ , conforme ambos valores de  $L_{\text{mat}}$  propuestos (11 y 13 cm LM). Para su elaboración se tomó la media de los indicadores estimados por región y mes; por los dos valores de  $L_{\text{mat}}$  y de las tres historias de vida. De igual manera se realizó en el caso espacial, sustituyendo el mes por los puertos.

### Estimación de la biomasa relativa de una cohorte con respecto a la talla

Para evaluar el impacto en el stock debido a diferentes tallas de primera captura, se estimó la biomasa relativa de una cohorte con respecto a la talla según Froese *et al.* (2008). Al ser números relativos, estos no tienen unidad de medida. Se consideraron los siguientes cinco escenarios:

- a) Sin mortalidad por pesca ( $F$ ). Este escenario describirá la relación entre la biomasa relativa y la talla media de *O. maya* en una condición sin explotación pesquera, es decir, las condiciones naturales de la población. Lo anterior con el objetivo de obtener un escenario base de población virgen con el cual poder comparar y evaluar las diferentes estrategias de pesca planteadas en los demás escenarios.
- b) Condición actual. En este escenario se considera que la mortalidad por pesca afecta a la biomasa de la cohorte a partir de la talla de primera captura ( $L_c$ ) calculada en este estudio. Este escenario representa la condición actual de la pesquería.
- c) Talla mínima legal  $tmc = 11$  cm de LM. Este escenario reflejará el impacto a la biomasa si la talla de primera captura coincide con la talla mínima legal ( $tmc = L_c$ ). Por lo que representa el actual objetivo de manejo de la pesquería (DOF 2014, DOF-SAGARGPA 2012).
- d) Talla mínima legal  $tmc = 13$  cm de LM. Este escenario reflejará el impacto a la biomasa si la talla de primera captura coincide con la talla mínima legal ( $tmc = L_c$ ) propuesta por Ávila-Poveda *et al.* (2016). Este escenario representa el impacto a la biomasa si se adoptara un incremento en la talla mínima de captura legal y ésta efectivamente se cumpliera.
- e) Escenario  $L_{opt}$ . Este escenario describe las condiciones si la pesca de *O. maya* se realiza a partir de la  $L_{opt}$ , es decir, de la talla que producirá el mayor rendimiento en las capturas.

La estimación de la biomasa relativa se realizó por región (Campeche y Yucatán) mediante la siguiente ecuación:

$$Br = a * LM^b * N_t \quad (6)$$

Donde:

- $Br$  = Biomasa relativa a la edad  $t$ .
- $a$  = Parámetro de relación peso-longitud.
- $LM$  = longitud del manto en cm.
- $b$  = Parámetro de relación peso-longitud.
- $N_t$  = Tamaño poblacional a la edad  $t$  en número de individuos.

Los parámetros  $a$  y  $b$  para cada región se presentan en la Tabla 3.  $N_t$  se calculó con base en Froese *et al.* (2008):

$$N_t = R * e^{-M(t-t_0)} \quad (7)$$

para  $t < t_c$

$$N_t = R * e^{-M(t_c-t_0)} * e^{-(M+F)(t-t_c)} \quad (8)$$

para  $t \geq t_c$

Donde:

- $R$  = Reclutamiento
- $M$  = Mortalidad natural (por año)
- $t$  = Edad (años)
- $t_0$  = Edad a la cual la longitud es cero, parámetro que determina el punto en el tiempo en que el organismo tiene una talla teórica cero (Sparre y Venema, 1997).
- $t_c$  = Edad de primera captura (años)
- $F$  = Mortalidad por pesca

Los parámetros  $M$ ,  $t_0$  y  $F$  utilizados por región se presentan en la Tabla 3. Debido a que no se tienen estimaciones de reclutamiento se consideró un reclutamiento relativo  $R = 1$ . Esto significa que se considera  $R = 1$  como el 100 % de los organismos nacidos de una cohorte, de ahí que se analice la dinámica de la biomasa relativa y no de la biomasa absoluta.

Tabla 3: Parámetros utilizados para la estimación de Br.

Parámetro	Campeche	Autores	Yucatán	Autores
a	1.6645		2.877	
b	2.391		2.224	Cabrera y Salas, 2016
F	4.71	Flores-Hernández et al. 2016	2.78	—
t0	-0.123		-0.19	Nepita-Villanueva y Defeo, 2001
M	2.15		2.2	Arreguín-Sánchez et al. 2000
Linf	21.9	—	23.6	Cabrera y Salas, 2016
k	1.4	Pacheco, 2001	1.35	Nepita-Villanueva y Defeo, 2001

La edad de primera captura  $t_c$  se estimó de la siguiente forma:

$$t = t_0 - \frac{1}{K} \ln \left( 1 - \frac{L_c}{L_\infty} \right) \quad (9)$$

Donde  $L_t$  es la longitud a edad  $t$ .  $L_c$  fue estimado mediante la multiplicación de los parámetros  $a$  y  $b$  de la Ec. 4.

Para la generación de los cinco escenarios descritos anteriormente, se modificó el valor de  $t_c$  de la Ecuación 7b, lo cual modifica la talla a la que empieza actuar la mortalidad por pesca ( $F$ ) en la cohorte, de acuerdo a lo siguiente:

- Escenario a. En este escenario no se considera mortalidad por pesca por lo que la

estimación fue hecha con la Ecuación 7a.

- Escenario b.  $tc$  fue calculada con los valores por región de  $L_c$  calculados en este estudio.
- Escenario c.  $tc$  fue calculada con el valor de  $L_c = L_L = 11$  cm LM.
- Escenario d.  $tc$  fue calculada con el valor de  $L_c = 13$  cm LM.
- Escenario e.  $tc$  fue calculada con los valores por región de  $L_{opt}$ ; es decir  $L_c = L_{opt}$ .

El escenario “a”, que expresa la biomasa de una cohorte considerando sólo la mortalidad natural, se utilizó para contrastar las proporciones del resto de escenarios, que si consideran la mortalidad por pesca; considerando que la suma de las estimaciones de  $Br$  en cada valor de LM es la aproximación más simple de la proporción de biomasa de cada escenario, es decir, del área bajo la curva.

Todos los análisis se llevaron a cabo mediante el uso del software “R project” (R Core Team, 2016), el uso de sus librerías por defecto y la librería *Non-Linear solution 2* (Grothendieck, 2013), usada exclusivamente para la estimación de los parámetros “a” y “b” de la función logística para estimar  $P_L$  (Ec. 4), la función homónima, ajusta estos parámetros mediante el algoritmo Gauss-Newton de mínimos cuadrados, los comandos para calcular los indicadores se encuentran en el Anexo 1.

## CAPÍTULO 3

### Resultados

Se midieron 5,922 pulpos; 5029 durante la temporada 2012 y 893 durante el 2014. La  $L_{\text{mat}}$  presentó valores máximos y mínimos de 24 y 7 cm de longitud de manto (LM) en el 2012, y de 22 y 6 cm de LM en 2014. Se utilizaron nueve intervalos para la distribución por frecuencias (de 6 a 24 cm de LM). Considerando cada temporada, mes y puerto al organizar los datos, resultaron 57 observaciones de todo el muestreo. Sin embargo, por no cumplir con el  $n$  mínimo establecido ( $n = 20$ ), se excluyeron del análisis Champotón ( $n = 6$ ) en diciembre, Campeche ( $n = 7$ ) en noviembre y Progreso ( $n = 18$ ) en agosto, de la temporada del 2012; mientras de la temporada del 2014, se excluyeron los datos de Campeche ( $n = 5$ ) de agosto y noviembre. Por tanto, se analizaron 52 observaciones, 20 de Campeche y 32 de Yucatán (Tabla 4). La Figura 4 y la Figura 5 muestran los histogramas por puerto de la temporada del 2012 y la Figura 6 del 2014, en ambas se muestra la línea de ajuste del modelo logístico de crecimiento para cada histograma. La Tabla 5 muestra los  $L_{\text{opt}}$  calculados para todos los análisis (ver Metodología).

Tabla 4: Pulpos medidos durante el muestreo, por puerto, región y temporada.

	Puerto	2012	2014	
Campeche	Sabancuy	618	-	
	Champotón	734	142	
	Seybaplaya	311	-	
	Campeche	308	191	
	Isla Arena	272	-	
	-	Suma	2243	333
Yucatán	-	Celestún	719	319
	-	Sisal	964	-
	-	Progreso	350	319
	-	Telchac	176	-
	Dzilam de Bravo	154	126	
	San Felipe	63	-	
	El Cuyo	127	96	
	Holbox	233	-	
-	Suma	2786	560	
-	Total	5029	893	

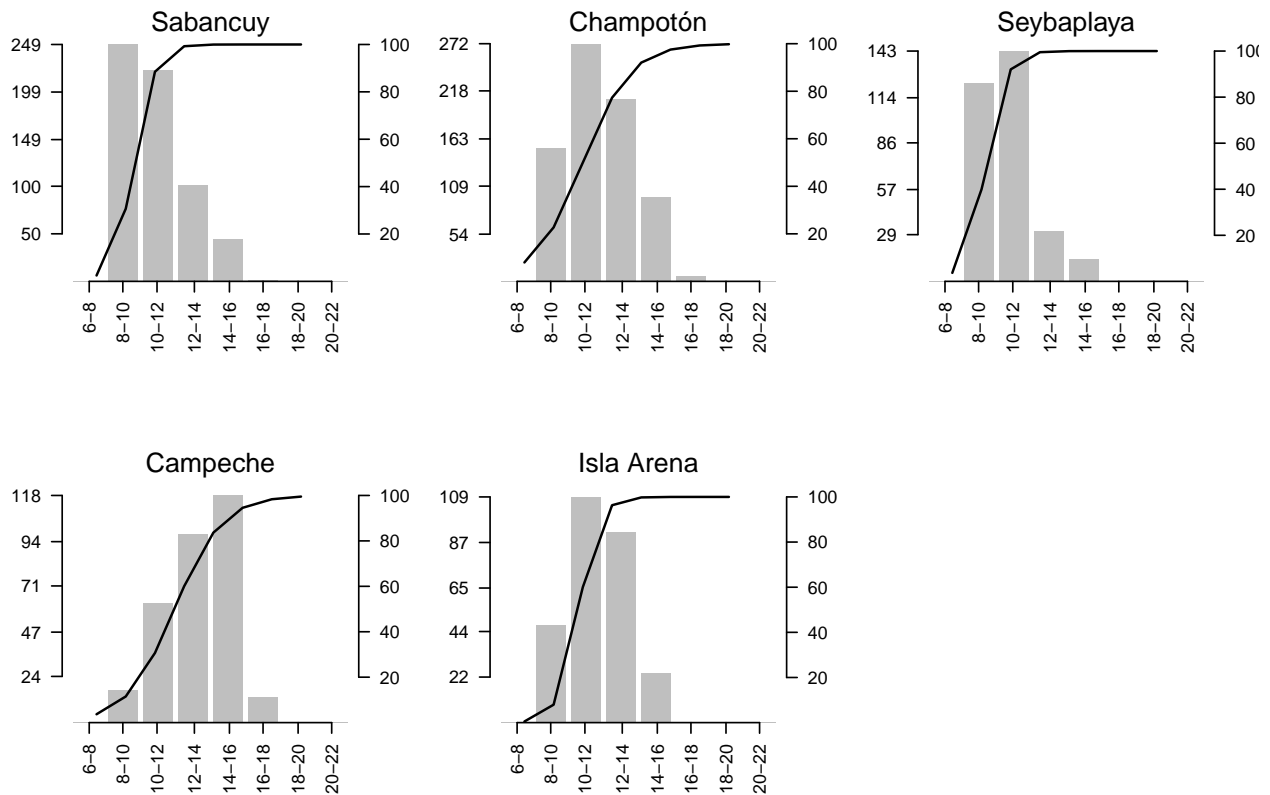


Figura 4: Histograma y ajuste del modelo por cada puerto (ordenados por fila) muestreado durante la temporada 2012 en Campeche. Eje x: LM en cm; Eje y: frecuencia absoluta; Eje y secundario: proporción de individuos.



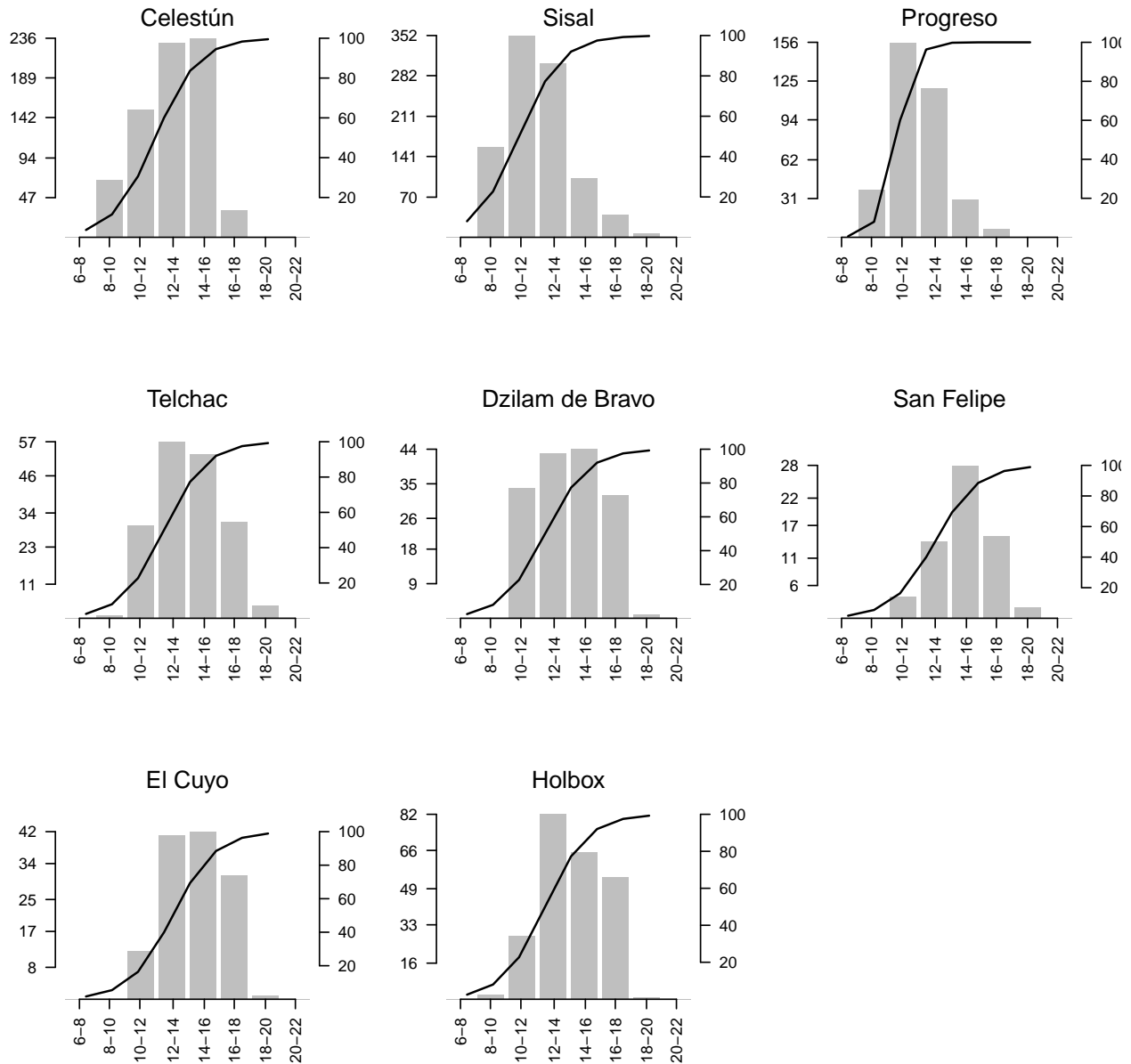


Figura 5: Histograma y ajuste del modelo por cada puerto muestreado durante la temporada 2012, en Yucatán. Eje x: LM en cm; Eje y: frecuencia absoluta; Eje y secundario: proporción de individuos.

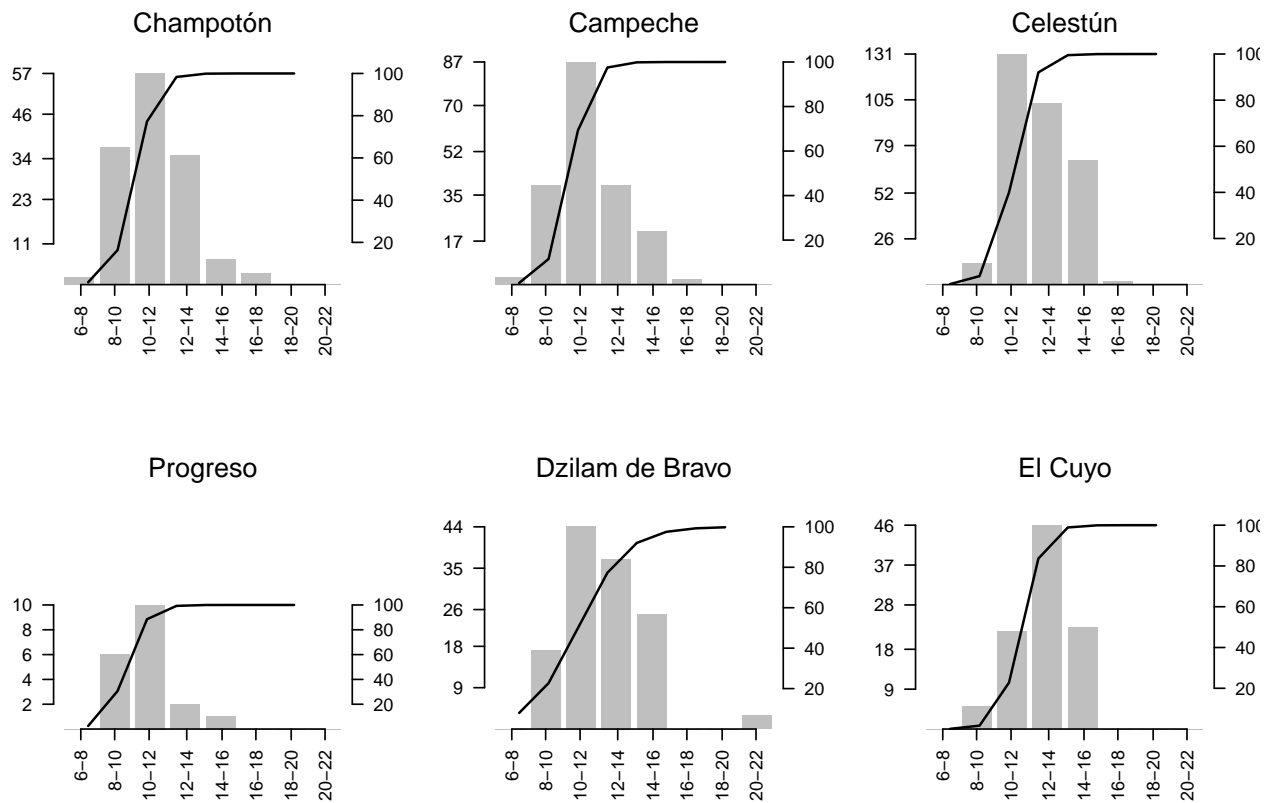


Figura 6: Histograma y ajuste del modelo por cada puerto (ordenados por fila) muestreado durante la temporada 2014. Eje x: LM en cm; Eje y: frecuencia absoluta; Eje y secundario: proporción de individuos.

Tabla 5:  $L_{opt}$  en mm calculados para los análisis, HV = historia de vida (véase la Tabla 2).

Análisis	Figura	$L_{opt}$
-		
C A M P E C H E		
-		
Sensibilidad y variación, HV1		143
Sensibilidad y variación, HV2	Figs. 7,	151
Sensibilidad y variación, HV3	12 y 13	157
Sensibilidad ( $M/k = 1.5$ )		154
Biomasa relativa	Fig. 14	144
-		
Y U C A T Á N		
-		
Sensibilidad y variación, HV1		135
Sensibilidad y variación, HV2	Figs. 8,	146
Sensibilidad y variación, HV3	12 y 13	154
Sensibilidad ( $M/k = 1.5$ )		155
Biomasa relativa	Fig. 14	152
-		
P E N Í N S U L A		
-		
Sensibilidad, HV1		149
Sensibilidad, HV2		165
Sensibilidad, HV3	Fig. 9	141
Sensibilidad, $M/k = 1.5$		168
Variación	Figs. 10 y 11	165

### Análisis exploratorio

A pesar de trabajarse sólo con las tallas de captura, son cuatro las variables categóricas que las caracterizan de acuerdo a su recolecta: la región, la temporada, el mes y el puerto. De manera general, se capturaron pulpos en tallas mayores en Yucatán, en la temporada del 2012 y en septiembre y noviembre. Se aprecia una tendencia a organismos mayores de oeste a este de la península.

La longitud media fue de 12.6 cm de LM con una desviación estándar de 2.1 cm: para Campeche fue de 11.8 cm de LM con una desviación estándar de 1.9 cm, y para Yucatán de 13.3 cm de LM con una desviación estándar de 2.1 cm (Figura 7).

En general en la península se muestra una considerable cantidad de pulpos capturados en una talla menor a la mínima legal (11 cm de LM). Se observa en Campeche dominancia de pulpos en tallas entre 10 y 12 cm de LM en ambos años, mientras que en Yucatán una disminución de tallas, de entre 12 a 14 cm en 2012, a 10 a 12 cm de LM en 2014. Mientras los pulpos de todos los puertos campechanos presentaron su mayor frecuencia en tallas entre 10 y 12 cm de LM, con excepción de Campeche, que en el 2012 muestra tallas entre 14 y 16 de LM (Figura 4 y Figura 5), pero que en 2014 mostró una frecuencia similar a la del resto. En la región de Yucatán, todos los puertos, con excepción de Sisal y Progreso presentan tallas por arriba de los 12 cm de LM en el 2012, tallas que también disminuyen en 2014, donde el único puerto por arriba es el Cuyo (12 – 14 cm de LM) (Figura 6).

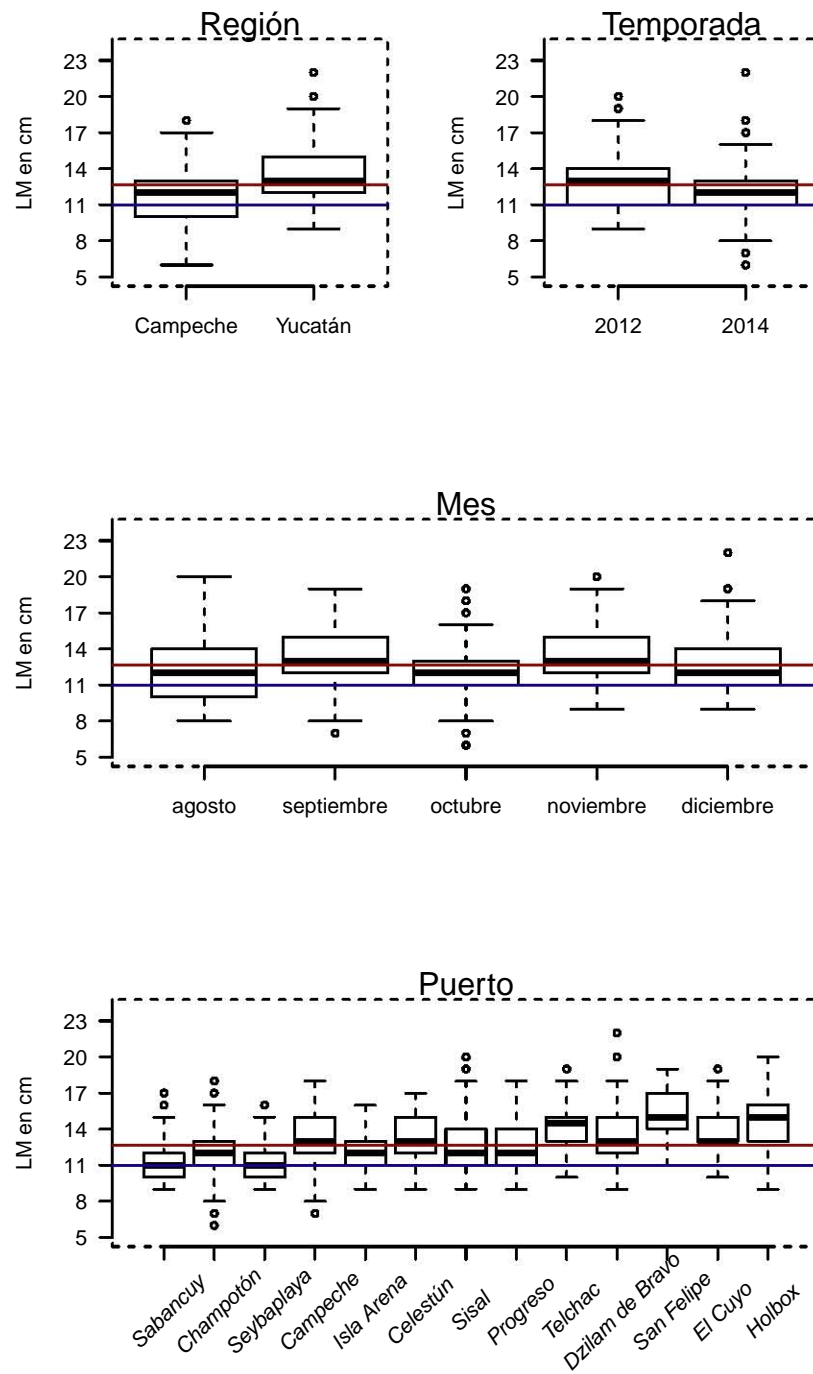


Figura 7: Gráficos de cajas para ambas regiones y temporadas, y todos los meses y puertos; se señala la tmc (línea azul) y la media general (línea roja).

### Sensibilidad de los indicadores

Conforme a los datos de la Tabla 2, la Figura 8 muestra la relación entre las distintas historias de vida en Campeche, usando las proporciones de captura de ambas temporadas; es decir, se utilizaron las  $L_{opt}$  calculadas con los parámetros de crecimiento que han sido estimados en otros estudios (ver Tabla 1). Además de la relación de  $M$  y  $k$ , a partir de las variaciones que ocasionan cambios en  $M$ , y por tanto en  $L_{opt}$  (ver Tabla 2); por último, muestra también la relación entre ambas longitudes de madurez de acuerdo a las  $L_{mat}$  propuestas de 11 y 13 cm de LM. La Figura 9 muestra lo propio con Yucatán y la Figura 10 con los datos totales.

La sensibilidad de  $P_{mat}$  a los dos valores de  $L_{mat}$  utilizados, se hace evidente utilizando los datos de cualquier región o los parámetros considerando una sola región, es una variación importante en cada una de las observaciones, es decir, por cada puerto, mes y temporada, usando cualquier conjunto de datos.

Por otra parte, las estimaciones de  $P_{opt}$  si presentan diferencias: al estimarlo para evaluar la pesquería como un solo stock (Figura 10) presenta gran sensibilidad a los parámetros de las historias de vida, particularmente de la historia de vida 3 (HV3). En cuanto a las regiones, si bien en ambas se presenta sensibilidad a sus variaciones, en Campeche son mínimas (Figura 8); en Yucatán son mayores con la HV1.

La  $L_{opt}$  calculada con la relación  $M/k = 1.5$  en Campeche resultó similar a la del caso control (HV2), sin embargo en Yucatán esta  $L_{opt}$  fue la mayor (Tabla 5). De igual forma, la sensibilidad de  $k$  a variaciones de  $M$  en  $P_{opt}$  resultó mayor en Yucatán que en Campeche.

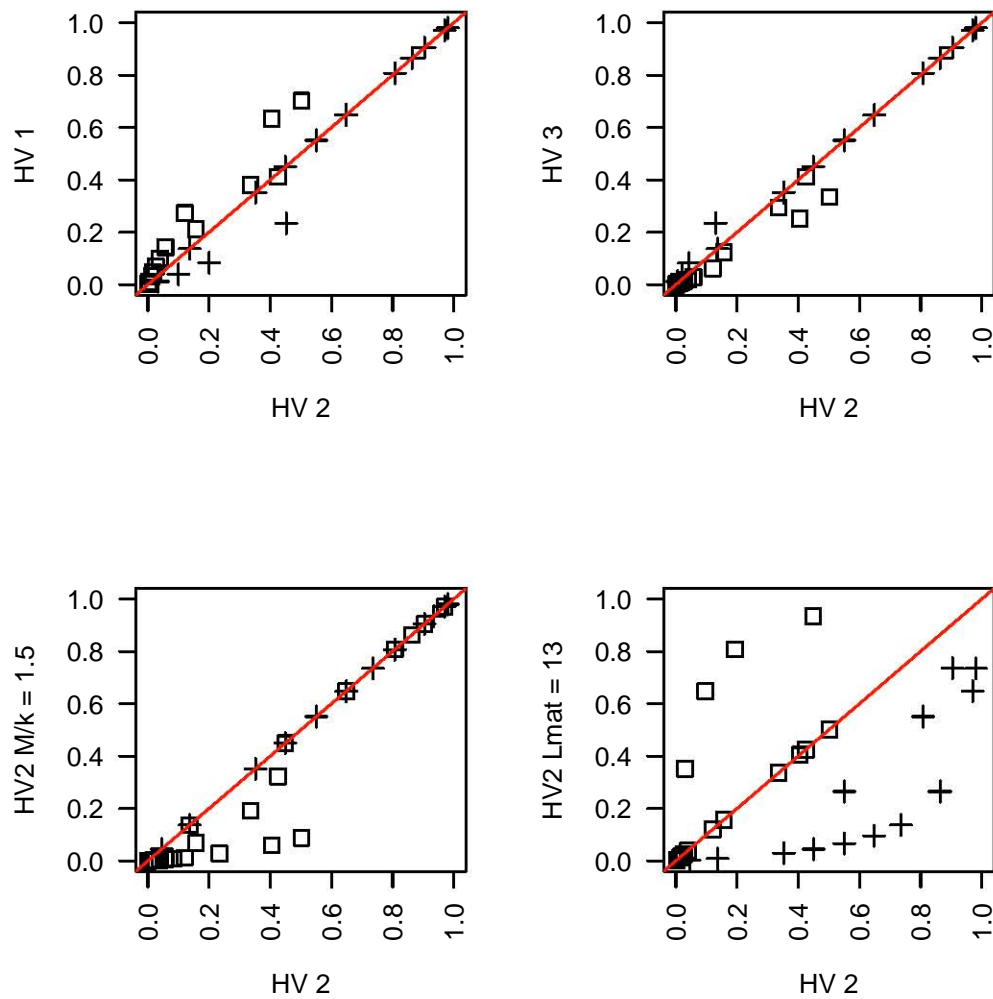


Figura 8: Relación entre las proporciones de captura (cuadrado abierto = Popt; cruz = Pmat) para la historia de vida 2 (control), las otras historias de vida y las diferentes tasas de mortalidad en la región de Campeche. La línea roja es de referencia 1:1.

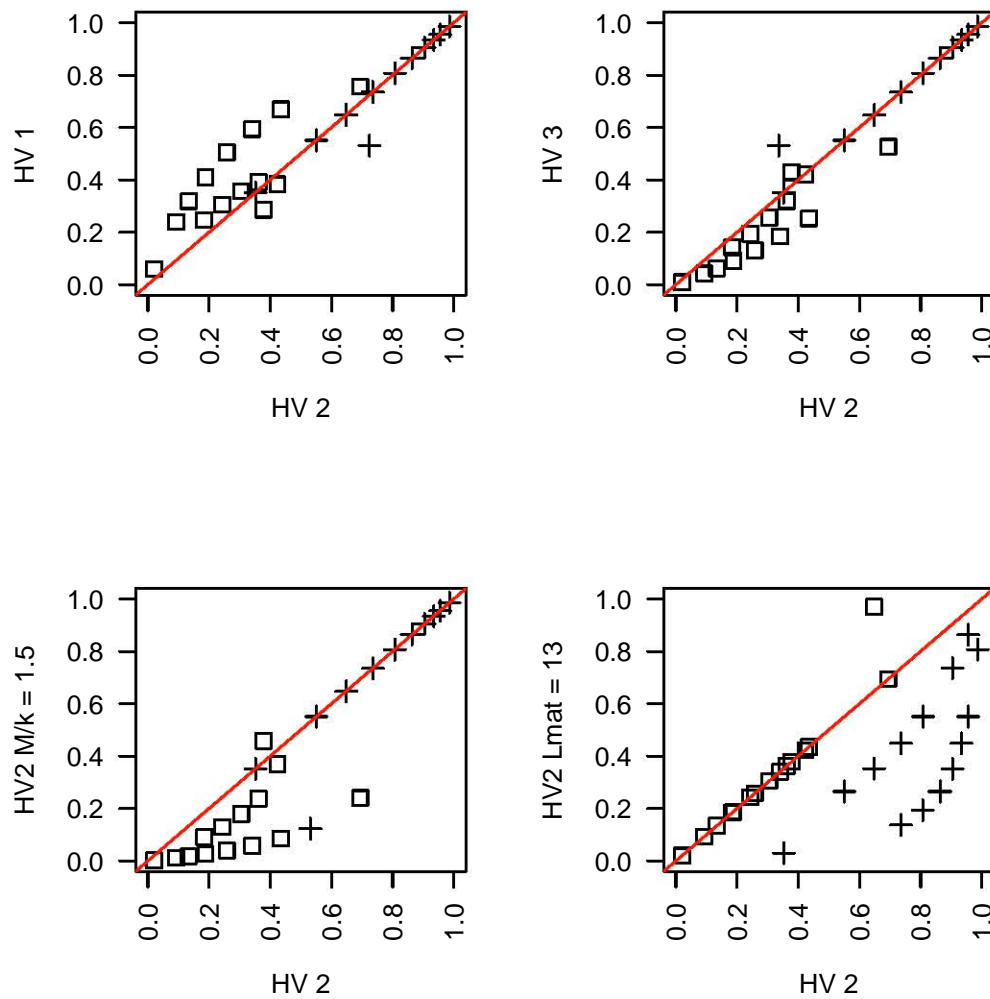


Figura 9: Relación entre las proporciones de captura (cuadrado abierto =  $P_{opt}$ ; cruz =  $P_{mat}$ ) para la historia de vida 2 (control), las otras historias de vida y las diferentes tasas de mortalidad en la región de Yucatán. La línea roja es de referencia 1:1.



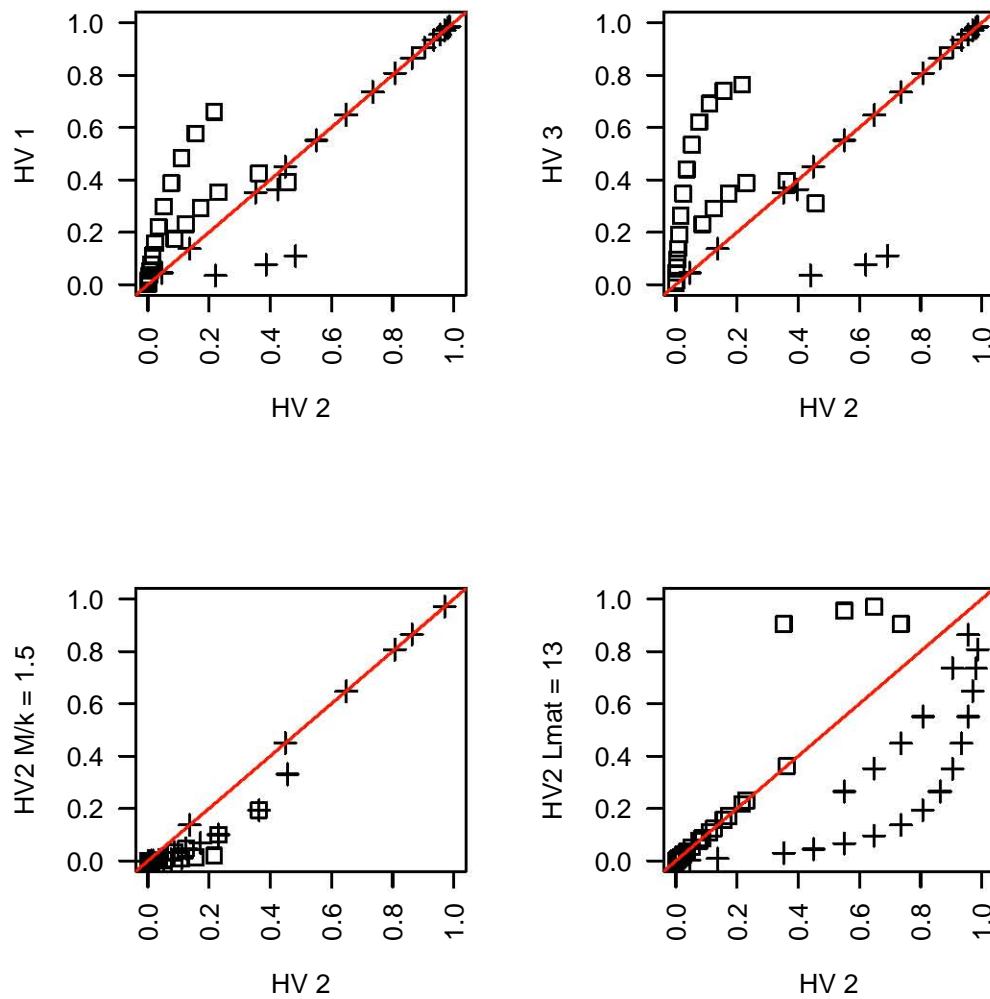


Figura 10: Relación entre las proporciones de captura (cuadrado abierto = Popt; cruz = Pmat) para la historia de vida 2 (control), las otras historias de vida y las diferentes tasas de mortalidad en ambas regiones. La línea roja es de referencia 1:1.

**Variaciones espacio-temporales en las proporciones por tallas de *O. maya***

La Tabla 6 presenta los valores obtenidos de  $P_x$  ( $P_x = P_{\text{mat}} + P_{\text{opt}}$ ) para las 52 observaciones, y su clasificación (ver Metodología). Los valores de 0.14 de Sabancuy y Seybaplaya en agosto fueron los mínimos, mientras 1.41 en Dzilam de Bravo en octubre fue el máximo. La Tabla 7 presenta las frecuencias absolutas de  $P_x$  de acuerdo a los tres grupos preestablecidos: inmaduros ( $P_x \leq 0.5$ ), pequeños ( $0.5 < P_x \leq 1$ ), y maduros ( $1 < P_x \leq 1.5$ ). El grupo “óptimos” resultó sin ninguna frecuencia. Excluyendo la variable “temporada”, esta tabla fue utilizada para elaborar la Figura 11, que utiliza las variables de región, mes y los grupos predefinidos de valores de  $P_x$ , mientras la Figura 12 utiliza la temporada en lugar del mes. En estas figuras, mientras mayor sea el tamaño del mosaico, mayor es la frecuencia absoluta de  $P_x$  para las variables en cuestión.

Tabla 6: Valores de  $P_x$  obtenidos para las 52 observaciones, ordenadas de acuerdo al nombre del puerto.

Puerto	Mes	Temporada	$P_x$	Clasificación
SABANCUY	ago	12	0.14	Inmaduros
SABANCUY	dic	12	1.04	Maduros
SABANCUY	oct	12	0.89	Pequeños
SABANCUY	sep	12	0.56	Pequeños
CHAMPOTON	ago	12	0.45	Inmaduros
CHAMPOTON	dic	12	1.27	Maduros
CHAMPOTON	oct	12	1.08	Maduros
CHAMPOTON	ago	14	0.64	Pequeños
CHAMPOTON	nov	14	0.64	Pequeños
CHAMPOTON	sep	14	0.45	Inmaduros
SEYBAPLAYA	ago	12	0.14	Inmaduros
SEYBAPLAYA	oct	12	1.14	Maduros
SEYBAPLAYA	sep	12	0.35	Inmaduros
CAMPECHE	dic	12	1.27	Maduros
CAMPECHE	nov	12	0.75	Pequeños
CAMPECHE	sep	12	0.56	Pequeños
CAMPECHE	dic	14	0.66	Pequeños
CAMPECHE	sep	14	0.66	Pequeños
ISLA ARENA	ago	12	0.82	Pequeños
ISLA ARENA	sep	12	0.35	Inmaduros
CELESTUN	ago	12	1.04	Maduros
CELESTUN	dic	12	0.77	Pequeños
CELESTUN	nov	12	0.89	Pequeños
CELESTUN	oct	12	1.04	Maduros
CELESTUN	sep	12	1.20	Maduros
CELESTUN	nov	14	0.94	Pequeños
CELESTUN	oct	14	0.89	Pequeños
CELESTUN	sep	14	0.82	Pequeños

Puerto	Mes	Temporada	Px	Clasificación
SISAL	ago	12	0.91	Pequeños
SISAL	dic	12	0.94	Pequeños
SISAL	nov	12	0.77	Pequeños
SISAL	oct	12	0.75	Pequeños
SISAL	sep	12	0.64	Pequeños
PROGRESO	dic	12	0.75	Pequeños
PROGRESO	nov	12	0.75	Pequeños
PROGRESO	oct	12	0.75	Pequeños
PROGRESO	sep	12	0.82	Pequeños
PROGRESO	sep	14	0.35	Inmaduros
TELCHAC	dic	12	1.27	Maduros
TELCHAC	oct	12	1.04	Maduros
TELCHAC	sep	12	1.03	Maduros
DZILAM	oct	12	1.41	Maduros
DZILAM	sep	12	0.94	Pequeños
DZILAM	nov	14	0.99	Pequeños
DZILAM	sep	14	0.77	Pequeños
SAN FELIPE	ago	12	1.27	Maduros
CUYO	ago	12	1.27	Maduros
CUYO	oct	14	0.94	Pequeños
CUYO	sep	14	1.03	Maduros
HOLBOX	ago	12	1.27	Maduros
HOLBOX	oct	12	1.08	Maduros
HOLBOX	sep	12	1.27	Maduros

Tabla 7: Tabla de contingencia con las frecuencias absolutas de las variables: región, mes y temporada de acuerdo a sus valores de Px.

Región	Mes	Temporada	Inmaduros	Pequeños	Maduros	
Campeche	ago	12	3	1	0	
		14	0	1	0	
	sep	12	2	2	0	
		14	1	1	0	
	oct	12	0	1	2	
		14	0	0	0	
	nov	12	0	1	0	
		14	0	1	0	
	dic	12	0	0	3	
		14	0	1	0	
	Yucatán	ago	12	0	1	4
			14	0	0	0

Región	Mes	Temporada	Inmaduros	Pequeños	Maduros
	sep	12	0	3	3
		14	1	2	1
	oct	12	0	2	4
		14	0	2	0
	nov	12	0	3	0
		14	0	2	0
	dic	12	0	3	1
		14	0	0	0

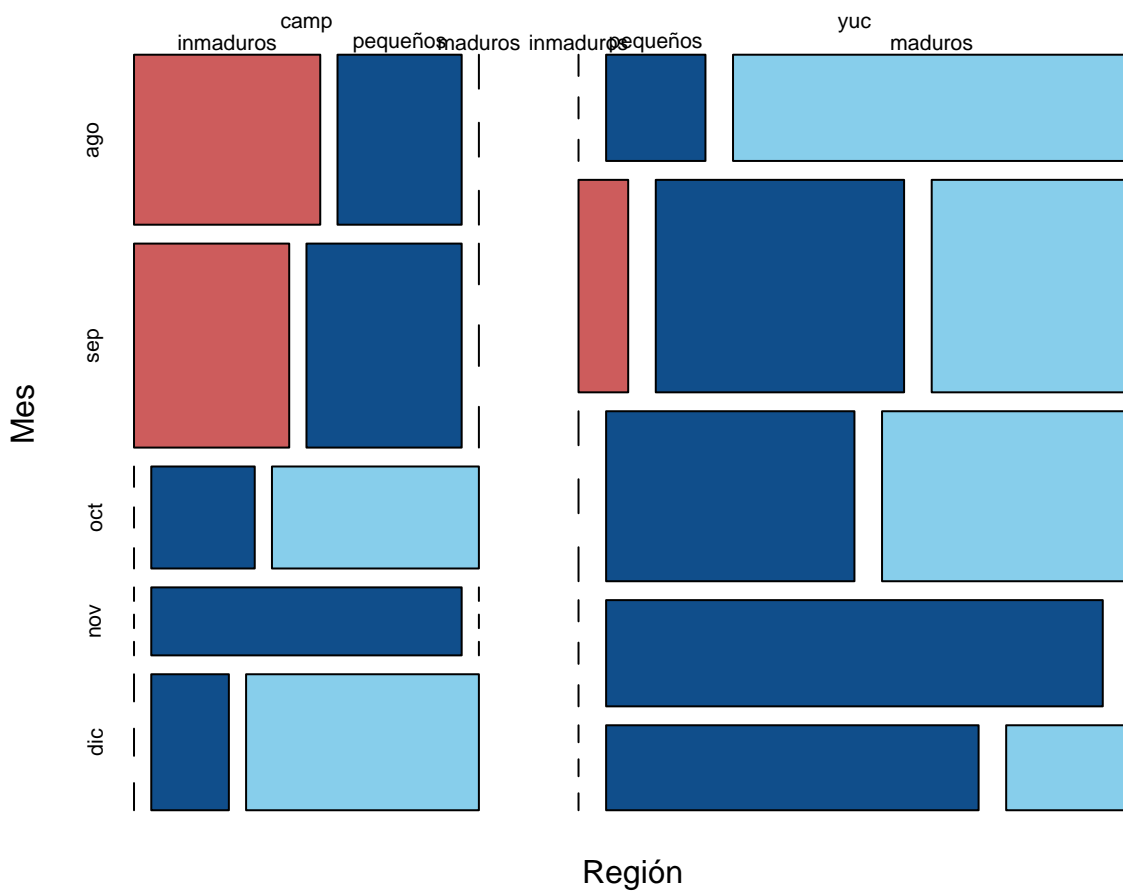


Figura 11: Diagrama de mosaico utilizando los datos de la Tabla 7 (región y mes), conforme a los grupos establecidos respecto a su valor de Px (vea metodología - variaciones espacio-temporales), se señala: en rojo, los datos de inmaduros; en azul oscuro los datos de pequeños; y en azul claro los datos de maduros.

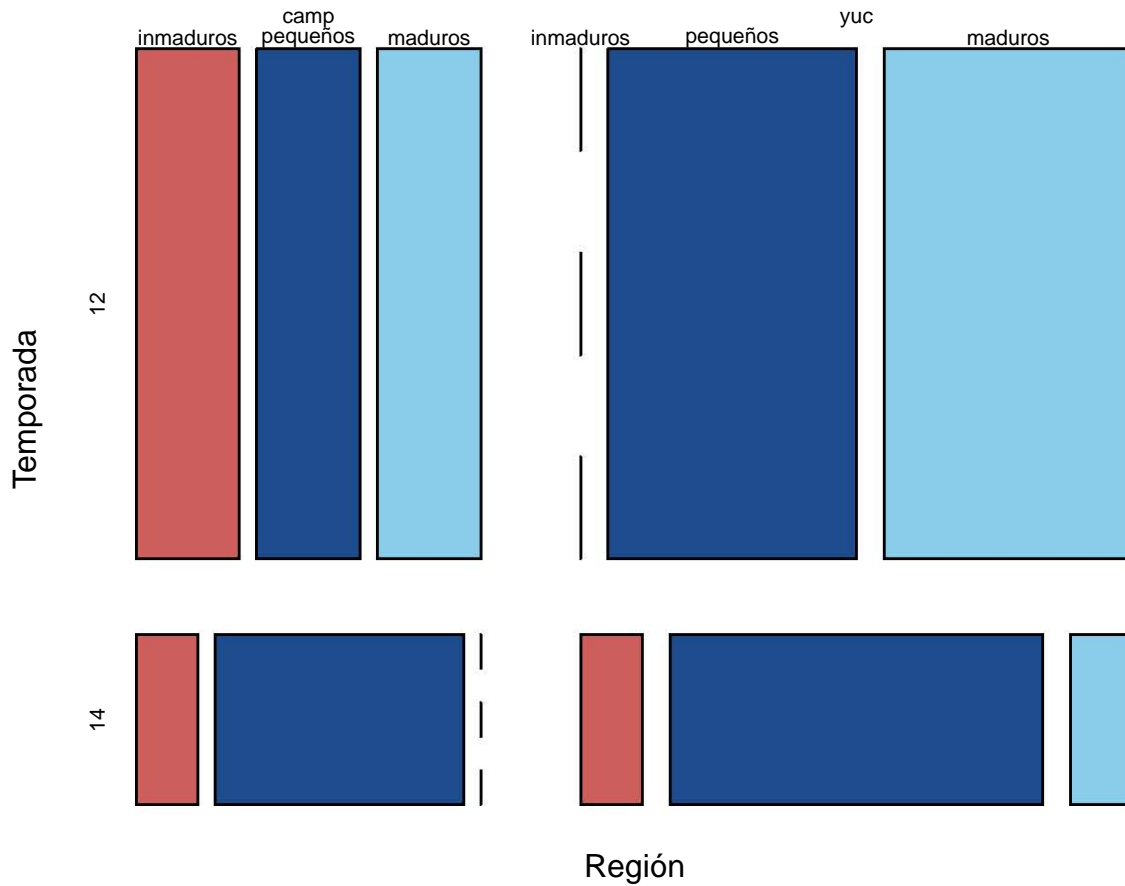


Figura 12: Diagrama de mosaico utilizando los datos de la Tabla 5 (región y temporada), conforme a los grupos establecidos respecto a su valor de Px (vea metodología - variaciones espacio-temporales), se señala: en rojo, los datos de inmaduros; en azul oscuro los datos de pequeños; y en azul claro los datos de maduros.

Se calcularon las medias de los  $P_{\text{mat}}$  estimados con ambas tallas (11 y 13 cm de LM) y los  $P_{\text{opt}}$  con las tres historias de vida (Tabla 2), esto en ambas regiones en relación a los meses (Figura 13), y para cada puerto (Figura 14). Estas figuras pueden ser consideradas como las representaciones de los indicadores generales de cada puerto y región.

En Campeche, la mayor parte de la temporada, en donde  $P_{\text{mat}}$  es calculada con una  $L_{\text{mat}} = 13$  cm de LM, los indicadores tienen valores casi idénticos a las  $P_{\text{opt}}$  estimadas con parámetros de la HV1, con excepción de diciembre. En Yucatán sí hay mayor diferenciación y sólo en noviembre  $P_{\text{mat}}$  con  $L_{\text{mat}} = 13$  cm de LM fue menor que  $P_{\text{opt}}$  estimada con parámetros de la HV1. Noviembre es el único mes en que las estimaciones de Yucatán muestran una variación considerable. En Campeche hay un patrón con mayor variación, siendo octubre el mes que más diferenciado.

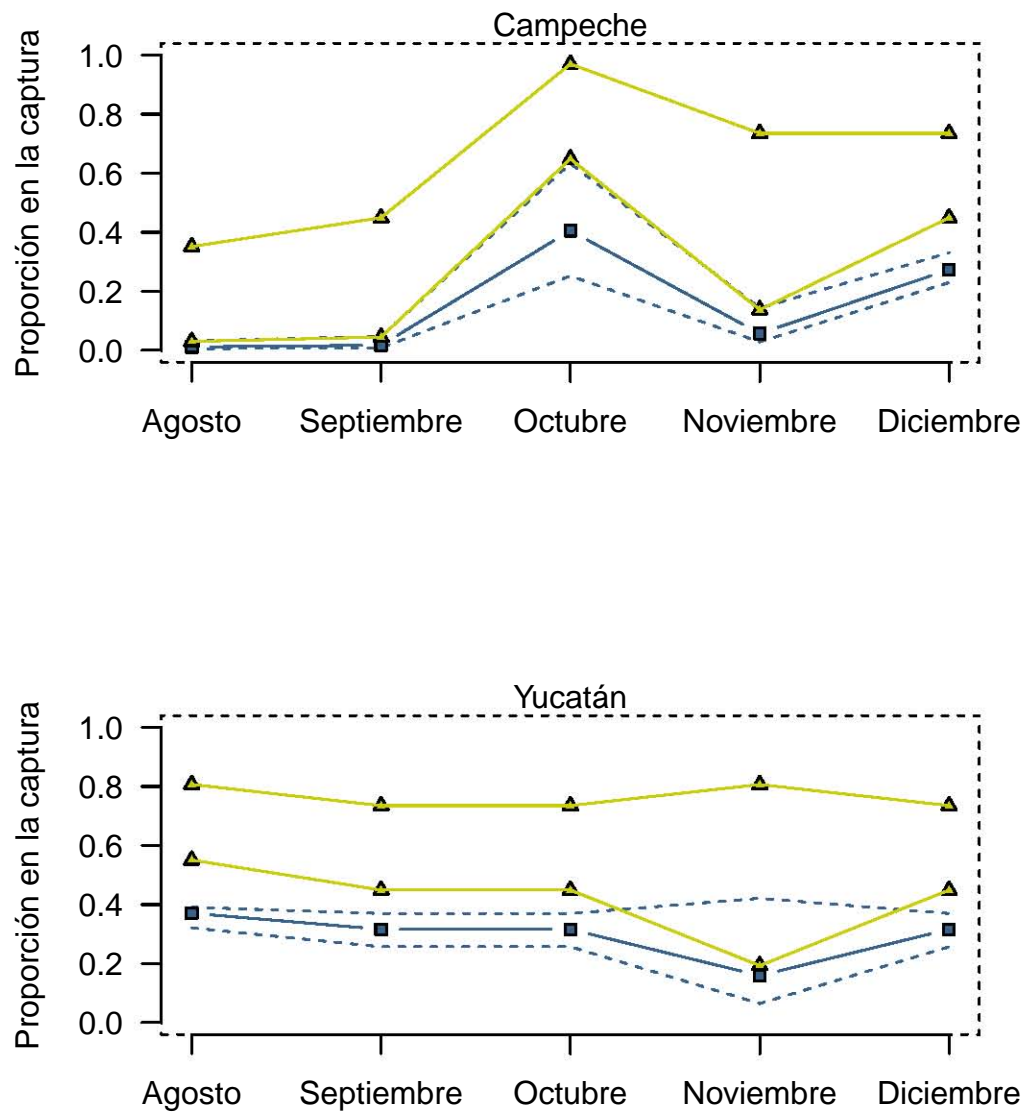


Figura 13: Medias de  $P_{opt}$  y  $P_{mat}$  de Campeche y Yucatán en relación a los meses. Las líneas azules corresponden a las  $P_{opt}$  estimadas de acuerdo a las historias de vida: la sólida a la HV2, y las punteadas a las HV1 y HV3 (Tabla 2). Las líneas amarillas corresponden a los dos valores de  $L_{mat}$  usados (11 y 13 cm de LM).

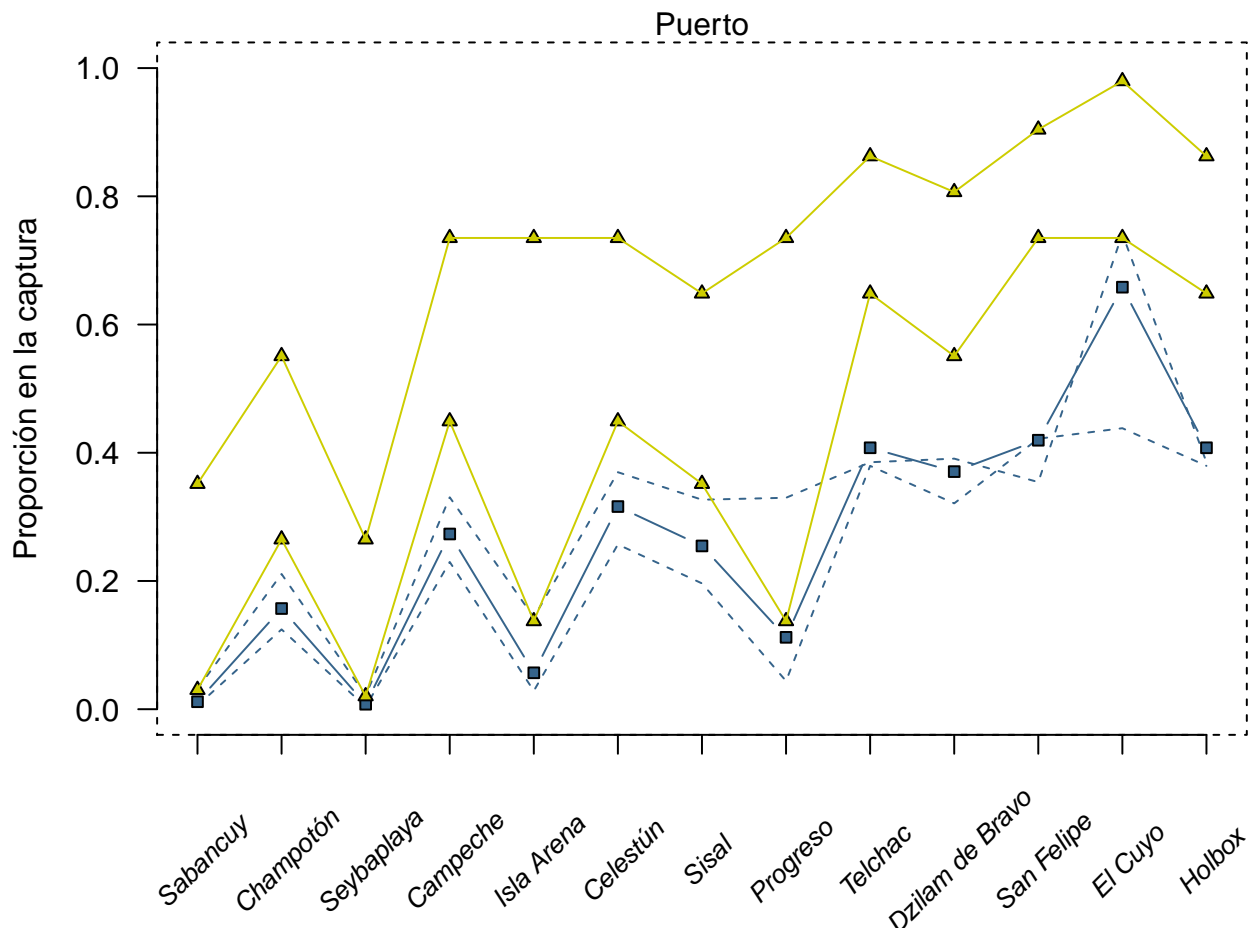


Figura 14: Medias de Popt y Pmat en relación a los puertos. Las líneas azules corresponden a las Popt estimadas de acuerdo a las historias de vida: la sólida a la HV2, y las punteadas a las HV1 y HV3 (Tabla 2). Las líneas amarillas corresponden a los dos valores de Lmat usados (11 y 13 cm de LM).



## Biomasa relativa de una cohorte con respecto a la talla

Dado que la estimación de la biomasa relativa ( $Br$ ) se realizó con parámetros obtenidos de la literatura (Tabla 3), las curvas estimadas de la  $Br$  sin considerar  $F$  de ambas regiones es idéntica para ambos años. Todos los escenarios para ambas regiones y años se presentan en la Figura 15. Las  $L_c$  estimadas fueron: para Campeche, 7.14 cm de LM en el 2012 y 8.59 cm de LM en 2014; para Yucatán, 8.12 cm de LM en el 2012 y 11.35 cm de LM en 2014. La Tabla 8 muestra la proporción de la  $Br$  estimada en relación el escenario “a” (sin considerar la mortalidad por pesca  $F$ ). A continuación se describen los resultados de los escenarios planteados:

**Escenario a.** Excluyendo  $F$ , es decir, sólo considerando la mortalidad natural del stock  $M$ . Hay una mayor  $Br$  en la región de Yucatán, aunque la diferencias son pequeñas, mientras en Campeche la  $Br$  alcanza 192 en su cúspide, en Yucatán es 235.

**Escenario b.** Incluyendo  $F$ , considerando la mortalidad por pesca del stock (condiciones actuales). Los resultados indican que en 2012 en Yucatán se extrajo el 50 % de la  $Br$  total, mientras en Campeche el 66 %. En el 2014 se aprecia un aumento en la  $Br$  respecto al 2012 en ambas regiones, dado el aumento en las  $L_c$  estimadas, en Campeche la  $Br$  extraída incrementó en 8 % y en Yucatán en 15 %.

**Escenario c.** Este escenario supone una  $L_c$  igual a la  $tmc$  (objetivo actual del manejo pesquero). En Yucatán este escenario es prácticamente idéntico al actual (escenario b) en ambas temporadas. En Campeche el aumento de la  $L_c$  hizo que la diferencia entre la  $Br$  (de ambas temporadas) de los escenarios b y c se redujera de 7 a 2 %. Por otra parte, aun asumiendo este escenario, en Campeche no se estaría asegurando el 50 % de la biomasa como plantea el PMP.

**Escenario d.** Supone un incremento en la  $tmc$  de acuerdo con Ávila-Poveda *et al.* (2016), y una  $L_c$  igual a esta  $tmc$  (13 cm de LM). Pescando los pulpos en esta longitud si se conservaría el 50 % de la  $Br$  en Campeche. En Yucatán con los datos del 2014 se conservaría el 66 %, durante esta temporada las estimaciones de los escenarios b, c y d se fueron casi idénticas, pero en Campeche si hay un incremento de al menos 10 % de  $Br$  que se conservaría respecto a la talla objetivo del manejo (escenario c).

**Escenario e.** Supone un incremento en la  $tmc$  igual a la  $L_{opt}$ . Suponiendo que la  $L_c$  fuera en la  $L_{opt}$ , la cual (calculada con los parámetros de la Tabla 3) es mayor en Yucatán (Tabla 5). En Yucatán la biomasa que se conservaría adoptando este objetivo es mayor al 70 %, y en Campeche es 67 % para ambas temporadas. La diferencia con el objetivo actual del manejo (escenario c) es de 21 y 9 % en Yucatán de las temporadas de 2012 y 2014 respectivamente, mientras que en Campeche las proporciones de ambos años son similares y por encima de las de Yucatán (26 y 23 % de 2012 y 2014 respectivamente).

Tabla 8: Proporción de la biomasa relativa en relación a los escenarios planteados

	Campeche (2012)	Yucatán (2012)	Campeche (2014)	Yucatán (2014)
escenario a	1	1	1	1
escenario b	0.34	0.5	0.42	0.65
escenario c	0.41	0.52	0.44	0.66
escenario d	0.52	0.58	0.54	0.66
escenario e	0.67	0.73	0.67	0.75

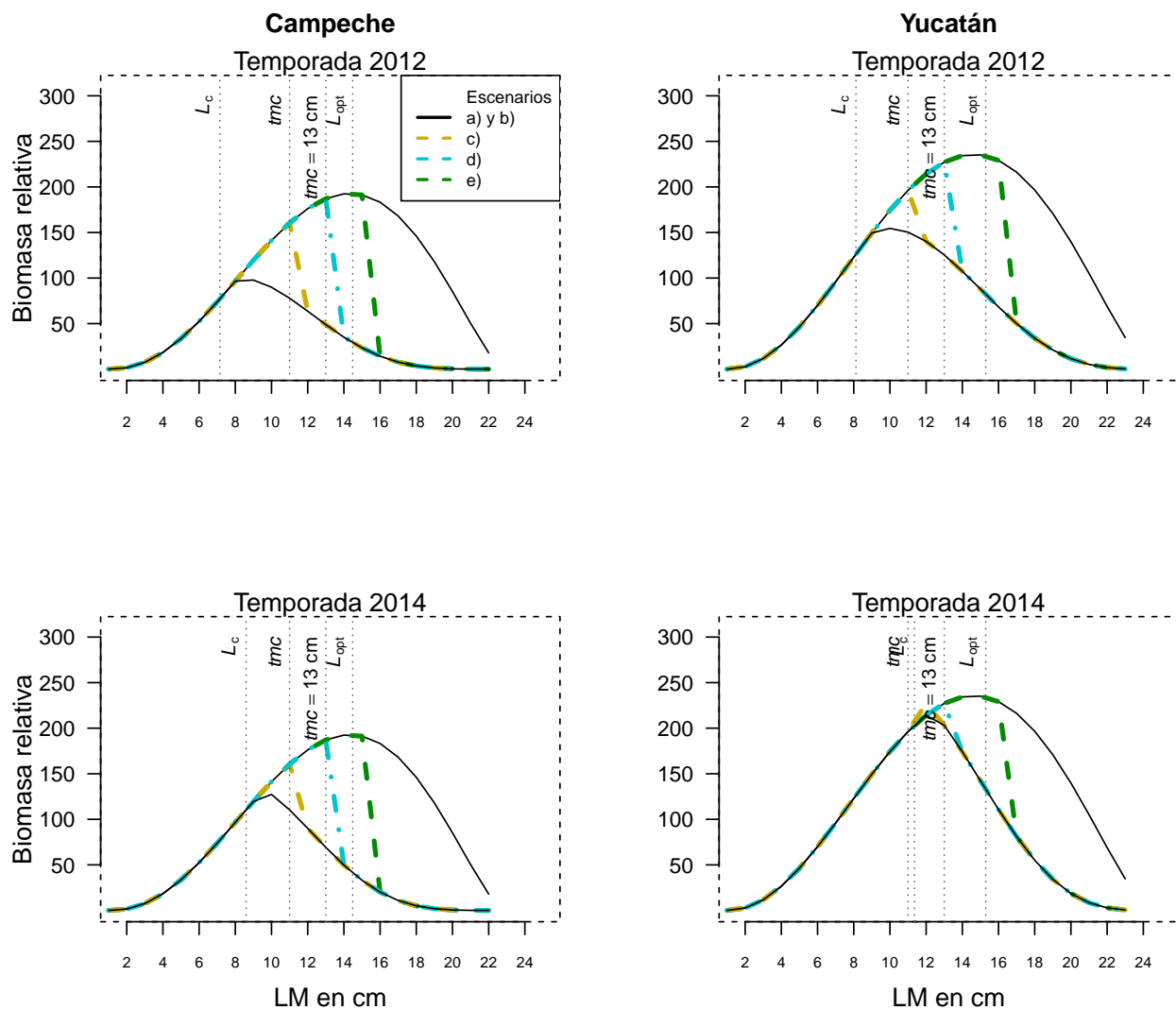


Figura 15: Biomasa relativa (Br) en función con la LM. Líneas negras continuas = escenarios a y b; línea amarilla punteada = escenario c; línea azul punteada = escenario d; línea verde punteada = escenario e. Adicionalmente, se muestran en líneas verticales la talla de primera captura ( $L_c$ ), la talla legal ( $tmc=11 \text{ cm}$ ), la propuesta  $tmc = 13 \text{ cm}$  y la  $L_{opt}$ .

## CAPÍTULO 4

### Discusión

De acuerdo con nuestros resultados los pulpos más pequeños e inmaduros se capturaron en Campeche y durante la temporada de 2012. Sin embargo, se presentaron diferencias en la dinámica espacial y temporal de las capturas. De manera general, *Octopus maya* presenta una estructura por tallas donde los más grandes están hacia el oriente, como ya ha sido reportado anteriormente por Salas *et al.* (2012) y Cabrera *et al.* (2012), y además, una variación temporal similar a la reportada en la capturabilidad y abundancia relativa por Gamboa-Álvarez *et al.* (2015). En Yucatán agosto es el mes en que se capturan pulpos maduros y más grandes, mientras que en Campeche en ese mes se captura un porcentaje importante de pulpos pequeños e inmaduros. Por el contrario, en diciembre es en Campeche donde se capturan ejemplares de mayor tamaño, mientras en Yucatán se capturan principalmente pulpos pequeños (Figura 11).

Estas variaciones espaciales y temporales en la estructura de tallas de *O. maya* pueden estar relacionadas con la variación en la temperatura del agua y su repercusión en los periodos reproductivos. De acuerdo con Rosas *et al.* (2012), la temperatura en ambas zonas de la península restringe la reproducción del oeste (Campeche) a los meses más fríos del año. Por otra parte, en la región oriental, Piñeiro *et al.* (2001) encontraron que la entrada de agua fría tiene un efecto significativo en la temperatura de fondo entre estaciones y zonas<sup>25</sup>, y las surgencias de primavera-verano generan las condiciones necesarias para el desove y desarrollo de neonatos (Juarez *et al.*, 2015). Si consideramos que para su desove, *O. maya* tiene preferencia por temperaturas bajas (Zamora-Ríos, 2018), con base en nuestros resultados, su estructura por tallas concuerda con estas observaciones.

Los resultados del análisis de sensibilidad podrían también apoyar esto, las  $L_{opt}$  variaron 14 mm en Campeche, 20 mm en Yucatán y 27 mm considerando todos los datos (Tabla 2). Esto se ve reflejado en la variación de  $P_{opt}$  calculado con datos de ambas regiones (Figura 10) en contraste con Campeche, donde parece haber una mayor tendencia lineal (Figura 8); lo que puede ser resultado de la variación en la longitud asintótica ( $L_{\infty}$ ) del trabajo de Arreguín-Sánchez *et al.* (2000), quienes no segmentaron espacialmente su muestreo. No obstante, la HV3 de los datos de ambas regiones fue la menor de todas las calculadas (Tabla 5), ésta se calculó con base en la HV2 (calculada con los parámetros de Arreguín Sánchez *et al.* 2000) y una  $M = 3.3$ , que fue la mayor de todas y que fue propuesta por los mismos Arreguín-Sánchez *et al.* (2000). De cualquier forma, la variación de  $P_{opt}$  de Yucatán también es mayor que la de Campeche (Figura 10), lo que también refleja estas variaciones espaciales.

También se observó sensibilidad a la relación  $M/k = 1.5$ ; las  $L_{opt}$  calculadas con esta relación fueron mayores al caso control (HV2), pero en Campeche la diferencia fue de 3 mm, y se situó entre los rangos de las  $L_{opt}$  calculadas con los parámetros de las HV1 y HV3; mientras en Yucatán fue 9 mm mayor que la  $L_{opt}$  de la HV2 y todas las calculadas para la región

<sup>25</sup>En su trabajo, Piñeiro *et al.* (2001) consideraron dos zonas: oeste (de Progreso a Dzilam de Bravo) y este (de San Felipe a Holbox).

(Tabla 2). Por su parte, la relación  $M/k$  fue mayor a 1.5 para todas las HV de Campeche y aun mayor en Yucatán, donde la  $M/k$  de la HV1 fue 1.93; de acuerdo con Froese *et al.* (2016) estos altos valores representan que el pico de biomasa de la cohorte sea de tallas pequeñas, de poca fecundidad y de un corto tiempo de generación. Un aspecto que es importante resaltar, es que en la mayoría de moluscos, dada su semelparidad, la presión pesquera puede marcar la evolución de las historias de vida en un plazo menor al de otras especies iteróparas; esto puede ser en su talla, su edad y su madurez, y hay evidencia al respecto (Rodhouse, Murphy y Coelho, 1998).

La pesquería de *O. maya* siempre ha sido gestionada bajo el supuesto de homogeneidad en su población y así lo sigue considerando el Plan de Manejo Pesquero (PMP); esto parece contribuir al impacto de un, por sí mismo, considerable esfuerzo de pesca. Gamboa-Álvarez *et al.* (2015) sugieren evaluar la necesidad de adoptar una gestión de la pesca regional (oeste-este), al respecto, ésta podría considerar a la temperatura como la variable central de la distribución de *O. maya*, entonces habría que centrarse en los procesos oceanográficos físicos y ecológicos que promueven la variación estacional de la temperatura además de las tallas: las surgencias mencionadas anteriormente y, en Campeche, Arreguín-Sánchez y Chávez (1995) sugieren que la exportación de nutrientes provenientes de la Laguna de Términos durante el otoño tiene repercusión en la abundancia de *O. maya*. Por otro lado, en Campeche Cabrera *et al.* (2012) observaron una progresión en la distribución por tallas de *O. maya* con organismos más grandes hacia Isla Arena, nosotros no identificamos un patrón claro en este sentido. Nuestros resultados incluso sugieren una tercera región: de Isla Arena a Progreso. Entre estos puertos se muestran los rangos de mayor magnitud entre ambos  $P_{\text{mat}}$  calculados (Figura 14), sugiriendo que los pulpos disponibles para la pesca artesanal en esta zona son de tallas pequeñas y pudiendo estar relacionado con zonas de crianza, por ejemplo cerca del puerto de Sisal (Gamboa-Álvarez *et al.*, 2015).

Hasta la publicación del PMP, el manejo pesquero del pulpo se basó esencialmente en mantener una cantidad del stock que asegurara la apertura de la temporada del siguiente año (DOF-SAGARPA, 2012), mediante las medidas anteriormente descritas (ver Regulación Pesquera), en las que se incluye la  $tmc = L_{\text{mat}}$ . Nuestros resultados sugieren que cuando la  $L_c$  es igual a la  $tmc$  en Yucatán se asegura al menos la mitad de la biomasa, lo que concuerda con el objetivo de la cuota de captura; sin embargo en Campeche esto no es así (Tabla 8), en realidad todos los escenarios muestran una menor biomasa respecto a Yucatán (Figura 15), lo está ligado a la enorme mortalidad por pesca de la región ( $F = 4.71$ ), cercana al doble de la de Yucatán ( $F = 2.78$ ); en ambas regiones la mortalidad natural  $M$  es menor que la  $F$  (Tabla 3). De acuerdo con Froese *et al.* (2016) la mitad de la biomasa sin explotar debiera ser un límite mínimo de referencia, lo mismo para  $F$ , para la que recomiendan una relación de  $F = 0.8 M$ . En Campeche  $F$  es más de dos veces mayor que  $M$ , y estos valores tan altos no son exclusivos de la investigación utilizada, otras estimaciones han dado resultados similares (véase la Tabla 7 del trabajo de Flores *et al.* 2017).

Por otra parte, el incremento de dos centímetros en la  $L_{\text{mat}}$  tuvo una influencia importante en las estimaciones de  $P_{\text{mat}}$  de ambas regiones y conjuntamente: considerando la  $tmc$  vigente (se estableció con base en un estudio de Solís-Ramírez de 1967), en Campeche más de la mitad de las capturas se encuentran por debajo (mediana = 12 cm de LM), y en Yucatán la proporción

de éstas es también importante, si la *tmc* fuese como proponen Ávila-Poveda *et al.* (2016), se estarían capturando ilegalmente la mitad de los pulpos por su baja talla. (mediana = 13 cm de LM). Como lo reportaron Salas *et al.* desde 2009, innegablemente la *tmc* no se está cumpliendo, y en proporciones alarmantes. Esto debe analizarse con cuidado: en principio el manejo pesquero tiene por premisa básica dejar que los individuos se reproduzcan al menos una vez antes de ser capturados y esto es crucial para las especies semélparas. Sin embargo, la importancia socioeconómica de esta pesquería, la cantidad de actores involucrados, y la influencia de los grandes permisionarios y dueños de las embarcaciones en la economía costera, aunado a la propia dinámica espacial y temporal de *O. maya*, hacen parecer, a corto plazo, políticamente inviable la propuesta de Ávila-Poveda *et al.* (2016). Y por último, subir la *tmc* no garantizaría que los pescadores extrajeran organismos más grandes, sobre todo considerando nuestros resultados, la gestión actual ha sido ineficaz para cumplir con la *tmc* de 11 cm de LM.

Suponiendo que los objetivos del PMP se cumplieran, es decir, siendo optimistas, en el proceso de seguimiento y reevaluación de indicadores, será fundamental un sistema efectivo de monitoreo. Desde la temporada 2007, Salas *et al.* (2008) reportaron que la falta de vigilancia y monitoreo de los desembarcos creaban condiciones favorables para que los pescadores capturen organismos en fase juvenil. Al respecto la vinculación con los actores que el PMP plantea, considera una red de vigilancia entre pescadores, población y gobierno para reducir la pesca ilegal, y la vinculación de los pescadores con las instituciones de investigación para el monitoreo de aspectos biológicos y ecológicos de pulpo, sin embargo, la estrategia de comunicación es sólo para informar sobre el esfuerzo permisible y las cuotas de captura en los puertos más importantes.

Esto es importante porque la imagen objetivo del PMP denota una vinculación pobre, con planteamientos que abordan la problemática desde una visión tecnicista. La complejidad de la pesquería exige tomar decisiones mediante procesos incluyentes y que fomenten la participación de todos. En general se ha remarcado la necesidad de que el futuro manejo pesquero requiere que los cuerpos de toma de decisión trabajen de cerca con los actores interesados, sobre todo con los pescadores, de manera que formen parte en el proceso de manejo y se promueva una forma más adaptativa de gobernanza<sup>26</sup> (Pita *et al.* 2010; 2012), lo que es particularmente importante en este caso. En este sentido es indispensable la transparencia en las instituciones y la socialización de la información, sería conveniente una base de datos libre en donde los actores de cada puerto puedan dar seguimiento a la composición de las capturas y donde se pueda apreciar también la dinámica asociada a los cambios de temperatura y otras variables.

Si bien ninguna estimación basada en tallas puede servir, por sí sola, como un efectivo indicador general de la presión pesquera (Shin *et al.*, 2005), a largo plazo los indicadores pueden ser útiles pues además de la facilidad de su cálculo, pueden verse y analizarse junto a otros; a manera de ejemplo a la Figura 16 se le anexaron las estaciones climáticas (de

---

<sup>26</sup>De manera general, la gobernanza pesquera abarca los marcos social, económico e institucional en pesquerías. Considera las instituciones, instrumentos, estructura y proceso de toma de decisiones, mercados y sociedad civil en relación con el manejo pesquero. El sistema de gobernanza guía la creación y desarrollo de las estrategias de manejo pesquero (Pita *et al.* 2012).

acuerdo con Herrera *et al.* 2004) y el peso desembarcado y su valor económico (de acuerdo a los anuarios de CONAPESCA 2012 y 2014)<sup>27</sup>.

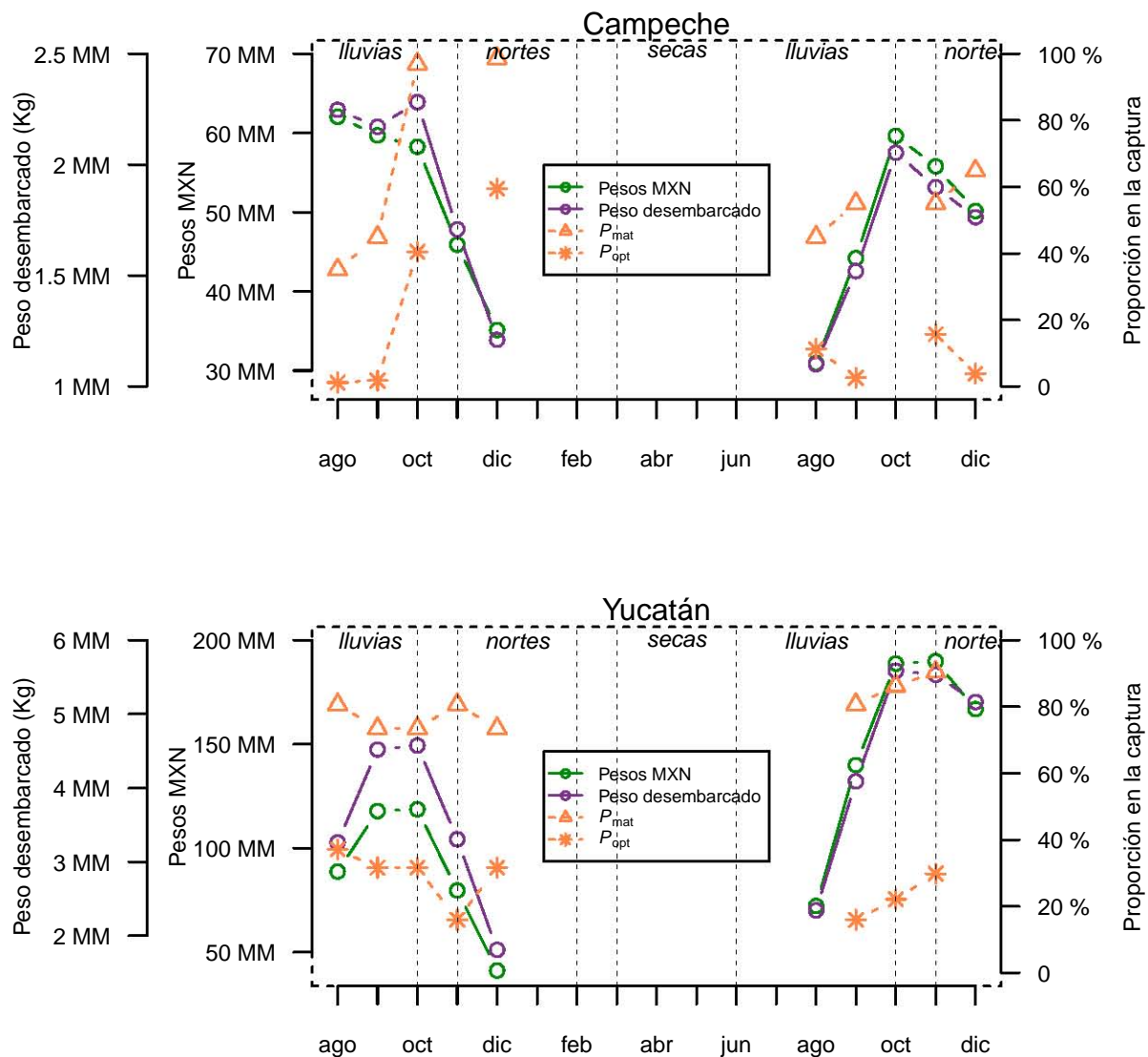


Figura 16: Indicadores basados en tallas por mes, región y año, junto con el peso desembarcado, su valor en pesos mexicanos y las temporadas climáticas.

Esta gráfica muestra que en Campeche durante octubre no sólo es cuando más pulpo se captura (Kg desembarcados), sino también cuando se capturan los pulpos más grandes; no obstante las ganancias económicas mantienen un comportamiento bastante similar al del peso desembarcado. Además, en la temporada del 2012 se observan valores muy similares entre el peso y la ganancia económica de agosto y octubre. Es decir, en agosto se capturó

<sup>27</sup>En ésta figura  $P_{mat}$  se calculó con  $L_{mat} = 11$  cm LM, mientras  $P_{opt}$  con base en la historia de vida 2 (Tabla 2); MM = millón; en la figura se excluyó el año 2013, para facilitar su interpretación.

(en peso) casi lo mismo que en octubre e incluso fue mayor la ganancia económica, pero pescando pulpos de tallas mucho menores y un gran porcentaje de pulpos inmaduros. Esto es reflejo de múltiples factores, pero podemos decir que la presión del mercado juega un rol importante, donde no se consideró la talla del pulpo, sino sólo la biomasa capturada. Por otra parte, en Yucatán, donde los valores mensuales de  $P_{\text{mat}}$  y  $P_{\text{opt}}$  se mantuvieron más estables, durante agosto, mes con valores ligeramente mayores de ambos indicadores, el peso desembarcado y el precio fueron bastante bajos, en contraste con Campeche. Además se aprecia que en Yucatán durante el 2012, hubo un mayor rango entre la cantidad pescada de pulpo y la ganancia económica generada, mientras en 2014 se registraron mayores capturas, concordando con lo visto en la Figura 15. En ambas regiones durante octubre se presenta un pico de capturas que desciende marcadamente hacia el fin de la temporada de pesca, esto coincide con el inicio de la temporada de nortes, que limita el número de viajes de pesca y promueve un incremento en los valores de los indicadores, particularmente en Campeche.

Así, este tipo de gráficos podría incorporar fácilmente otros indicadores económicos (p. ej. el precio), ambientales (p. ej. la temperatura) o indicadores de otras especies relacionadas tróficamente, lo que puede facilitar la toma de decisiones.

Al conformarse un sistema de manejo que promueva estas condiciones, las distintas cooperativas y los permisionarios por puerto, podrían trabajar en conjunto con las autoridades, la academia y demás actores. En consecuencia, el co-manejo<sup>28</sup>, que avoca mayor participación de las organizaciones comunitarias en el proceso de toma de decisiones (Jentoft, 1989) puede ser la estrategia conveniente para un manejo adaptativo de la pesquería de pulpo en la península de Yucatán. En la costa de Yucatán ya se han hecho esfuerzos con los ejidos, principalmente para promover un modelo turístico alternativo con base en los atractivos culturales y naturales, no obstante, el marco legal y regulatorio de la pesca es distinto, por tanto, sería conveniente comenzar esfuerzos de investigación al respecto.

Hay algunos puntos sobre la metodología utilizada que es importante resaltar: primero, la importancia que tiene la identificación correcta de las especies durante el monitoreo de las capturas. Lima *et al.* (2017) comprueban que actualmente no se identifican correctamente ambas especies, si bien *O. maya* se distribuye en aguas más someras, en Progreso es común que se clasifique como *O. vulgaris* a cualquier pulpo que pese más de 3.5 kg. Junto a Celestún y Dzilam de Bravo, en este puerto se captura la mayor parte de pulpo del estado y dada la concentración de embarcaciones de mayor calado, es allí donde se captura prácticamente todo *O. vulgaris* de la península, por lo que es un punto focal en este tema. Por otra parte, existe una precisión inherente al medir la longitud del manto de un pulpo, ésta, dada la naturaleza viscosa de su tejido, tiende a ser mucho más variable que en el caso habitual de la longitud estándar de los peces (de la punta de la boca hasta el límite de la última vértebra)

---

<sup>28</sup>El co-manejo pesquero por definición indica una responsabilidad compartida entre las instituciones de gobierno y los pescadores a través de organizaciones comunitarias (cooperativas), en las funciones de manejo (Bailey 1984, en Jentoft 1989), el contexto con que se introduce el co-manejo varía de país en país y de pesquería a pesquería, no hay un modelo único para su implementación, por lo que debiera ser considerado dentro de los esquemas de diseño de co-manejo (Jentoft, 1989; Chuenpagdee y Jentoft, 2007). El proceso de su implementación puede iniciar por emprendimiento local, o por liderazgo del gobierno, Chuenpagdee y Jentoft (2007) analizan las preguntas más elementales de la preparación del camino y el proceso que precede su implementación.

o total (de la punta de la boca hasta el límite de la aleta caudal) de los peces, para los que se crearon estos indicadores; sería conveniente estimar los efectos de estas imprecisiones en los registros de captura de *O. maya*, pues pueden ser considerables dada la cercanía entre la  $L_{opt}$  y la  $L_{mat}$ , sobre todo considerando los resultados de Ávila-Poveda *et al.* (2016). De la misma manera, es recomendable explorar la variabilidad de otros indicadores que no se vean limitados por este aspecto de la morfología del pulpo, como el peso, por ejemplo.

Por último, es recomendable evaluar los efectos del aumento de la temperatura en aspectos como la distribución y conducta de *O. maya* y especies asociadas tróficamente, como Juárez *et al.* (2015) mencionan, dado que la temperatura es una variable central durante la reproducción de *O. maya*, éste es vulnerable al cambio climático; por su parte Piñeiro *et al.* (2001) identificaron una tendencia al calentamiento del agua en Yucatán, sobre todo en primavera, verano e invierno. Asimismo, la temperatura también puede determinar patrones migratorios, a propósito Salas *et al.* (2012) proponen la realización de estudios de marcado, a fin de confirmar estos patrones de movimiento. Durante la búsqueda de literatura no encontramos investigaciones realizadas al respecto.



## Conclusiones

- De manera general, se capturaron pulpos de mayores tallas en Yucatán, en la temporada de 2014, y durante septiembre y noviembre, y pulpos más pequeños en Campeche, en la temporada de 2012, y durante agosto y septiembre.
- $P_{\text{mat}}$  y  $P_{\text{opt}}$  fueron útiles para detectar variaciones espaciales (por región y puerto) y temporales (por mes y temporada) del stock de *O. maya*.
- *O. maya* presenta diferencias en su estructura por tallas, donde las mayores se encuentran en el noreste y las menores en el oeste de la península.
- Los indicadores son sensibles a diferentes valores en las historias de vida utilizadas para su cálculo en toda la península, menos sensibles para datos específicos de Yucatán y de sensibilidad mínima para datos de Campeche.
- De Isla Arena a Progreso se encontraron los mayores rangos entre los  $P_{\text{mat}}$  estimados (con  $L_{\text{mat}} = 11$  y  $13$  cm de LM), que presentaron valores menores a los de  $P_{\text{opt}}$ . De acuerdo a la literatura, esta gran cantidad de pulpos pescados entre 11 y 13 cm puede deberse a la variación de la temperatura, a zonas de crianza o a la influencia de la flota mayor en Progreso.
- Existen marcadas diferencias temporales en los indicadores: al inicio de temporada en Yucatán se capturan pulpos maduros y más grandes y en Campeche se capturan pulpos pequeños e inmaduros, mientras al final de temporada pasa lo contrario. De acuerdo a la literatura, esto debe estar íntimamente relacionado con los procesos oceanográficos y ecológicos que inciden en la variación de la temperatura.
- La  $L_c$  se incrementó en ambas regiones, acercándose a la  $tmc$  en Campeche y superándola en Yucatán, lo que también implicó un aumento en la estimación de la  $Br$  de una cohorte en la temporada 2014, respecto al 2012.
- De acuerdo con nuestra estimación de la  $Br$  de una cohorte en el escenario c, estableciendo una  $L_c$  igual a la  $tmc$  en Yucatán, se asegura más del 50% de la biomasa, como señala el PMP; no obstante en Campeche no lo hace, esto es consecuencia del alto valor de  $F$  en la región.

## Comentarios finales y recomendaciones

El inicio de la temporada de pesca de *Octopus maya* es esperado año tras año por los pescadores en toda la costa de Yucatán, en buena parte de Campeche y en Holbox, Quintana Roo. Esta pesquería es la más importante para ellos e incluso atrae una importante cantidad de migrantes que se incorporan cada temporada. Hasta ahora el manejo pesquero ha evitado el colapso de la pesquería, pero ciertamente éste continúa lejos de ser responsable con la sostenibilidad de las capturas, que pueden variar enormemente de una temporada a otra. ¿Qué sigue para la pesquería de *O. maya*? Las directrices del plan de manejo pesquero (PMP) descansan sobre las bases del Máximo Rendimiento Sostenible (RMS) y en los años transcurridos desde su publicación la situación no parece muy diferente; con base en la teoría, la metodología y los resultados de esta investigación consideramos pertinente proponer algunas recomendaciones para el manejo de la pesquería, que si bien tienen contrastes con el RMS en su desarrollo epistémico y asunciones teóricas, en la práctica pueden compaginar si se aplican bajo criterios estrictos de sustentabilidad.

Para esto hay que profundizar en el concepto del RMS, como se vio, la mayor captura que puede obtenerse sin afectar la productividad a largo plazo de la población explotada. Cuando H.S. Gordon desarrolló su modelo trató de explicar, desde la perspectiva económica, por qué las pesquerías maduras bajaban su rendimiento y subsistían con rentabilidades mínimas; anotó que los problemas de estas pesquerías estaban asociados con el libre acceso a los recursos. De esta manera los modelos bioeconómicos parten del supuesto de la *tragedy of the commons*: la actividad pesquera se realiza sobre un medio de propiedad común, lo que empuja a los pescadores a comportarse como depredadores que pueden provocar una disminución tal en las poblaciones, que a su vez hace necesaria la intervención del Estado para encargarse de su regulación (Alegret, 1989). Es decir, este marco ignora la forma en que los actores, por sí mismos, pueden regular algunos aspectos de la pesquería a fin de asegurar una explotación sostenida.

Una crítica importante al RMS, es que excluye aspectos ambientales y ecológicos, que en el caso de *O. maya* parecen ser de gran importancia, como lo son dentro del marco del manejo ecosistémico. Esto no significa que no puedan considerarse otros métodos que incorporen estos aspectos, pero esto supone también incrementar recursos y complejizar el manejo, su seguimiento, evaluación y la comunicación de su progreso a los actores. Por otra parte, no podemos obviar que en el panorama social y político costero que nos ocupa, la corrupción y los cochupos<sup>29</sup> son cotidianos, y esto no es conveniente respecto a la veracidad de los datos del esfuerzo pesquero. Es posible que estemos tratando con la pesquería “de conveniencia” que señala Froese.

Lo que proponemos no es una panacea ni aspira a resolver las múltiples facetas de la problemática de la pesquería, pero sí es un enfoque dirigido a la sustentabilidad del recurso, y entendemos esto como la sostenibilidad de los procesos e interacciones de *O. maya* con los elementos biofísicos asociados a ésta. Reconociendo la complejidad que esto implica, es

---

<sup>29</sup>Los cochupos son acuerdos mediante los cuales todos los involucrados resultan beneficiados a expensas de la ley y de los intereses de la sociedad. Es un término coloquial mexicano.

imprescindible el Principio Precautorio<sup>30</sup>, y ante la carencia de información científica actualizada, las relaciones empíricas de las historias de vida y las tallas de las capturas pueden ofrecer objetivos concretos para no posponer medidas de manejo. A partir de aquí resaltaremos los puntos primordiales derivados de nuestros resultados.

Con lo visto durante este trabajo, consideramos necesario reconocer que *O. maya* tiene una dinámica espacial y temporal relacionada a las características del entorno, que influyen en las capturas, en su problemática y que debieran influir en el manejo. Partiendo de este reconocimiento, es conveniente regionalizar el manejo y alinearlos conforme a estas características, Gamboa-Álvarez *et al.* (2015) ya han sugerido evaluar la conveniencia de un manejo este-oeste. Es importante analizar los límites de estas regiones y para esto debe comprenderse la dinámica oceanográfica y de las migraciones de *O. maya*; nosotros **sugerimos evaluar tres regiones, con base en los puertos muestreados: 1) de Sabancuy a Campeche (Campeche), 2) de Isla Arena a Progreso (Yucatán Poniente), y 3) de Telchac a Holbox (Yucatán Oriente)**<sup>31</sup>. Un esquema regionalizado favorecería la descentralización en la toma de decisiones, se podrían reevaluar las medidas existentes y fijar objetivos concretos tanto de manejo como de investigación, de acuerdo a las necesidades de cada región. Algunas cuestiones generales podrían ser: en Yucatán Oriente la dinámica oceanográfica de las surgencias y su influencia en los procesos ecológicos asociados a *O. maya*; en Yucatán Poniente hay que prestar atención en la posibilidad de zonas de crianza, y en la influencia de Progreso, como el puerto que más embarcaciones y pescadores aloja, además Velázquez-Abunader *et al.* (2013) señalan la importancia de considerar una capturabilidad que varía entre flotas (mayor y menor); en Campeche es prioritario disminuir el esfuerzo pesquero, y también hay que determinar la magnitud de la influencia de los nutrientes exportados por la laguna de Términos en los procesos ecológicos de *O. maya*.

Al comenzar el análisis de las tallas lo primero que resalta es el incumplimiento de la norma oficial, en este sentido  $P_{mat}$  es un indicador de la ineffectividad del manejo. No obstante, consideramos necesario elevar la *tmc* a 13 cm de longitud de manto (LM) como proponen Ávila-Poveda *et al.* (2016) en Yucatán centro, y realizar estudios similares con pulpos de las otras regiones. Por otra parte, la meta de  $P_{opt}$  debería evaluarse para cada región, pero no ser mayor a  $P_{opt} \pm 20\%$ , pues podría involucrar pulpos menores a su longitud de primera madurez ( $L_{mat}$ ). Por tanto, **el objetivo de  $P_{mat} = 100\%$  debe ser primordial, pero la meta de  $P_{opt}$  debería evaluarse y podría ser hasta  $100 \pm 20\%$ .**

De esta manera se lidiaría, suponiendo que se realizaran progresos conforme a la meta de  $P_{opt}$ , con la amenaza de la sobrepesca y un eventual colapso de la pesquería. No obstante, hay otros factores de importancia que deben considerarse para mantener el stock sano y un rendimiento alto y sostenido, siguiendo con el mismo enfoque teórico de este trabajo, retomaremos las tres recomendaciones de Froese *et al.* (2016) para un efectivo manejo pesquero basado en

<sup>30</sup>Los orígenes de este principio se remontan al primer tercio del siglo XX, y dicta que frente a una eventual obra o actividad con posibles impactos negativos en el medio ambiente, se permita que la decisión política que no da lugar a su realización, se base exclusivamente en indicios del posible daño sin necesidad de requerir la certeza científica absoluta. Fue impulsado internacionalmente a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro, 1992.

<sup>31</sup>Nombramos estas regiones como los estados para facilitar la interpretación, pero las regiones no concuerdan con los límites políticos de estos.

ecosistemas (EBFM): “No tomes más que la naturaleza, mantén el stock en tamaño suficiente y, déjalos crecer y reproducirse antes de capturarlos”. Esto está relacionado a tres parámetros, respectivamente: la mortalidad por pesca ( $F$ ), la biomasa ( $B$ ) y la longitud óptima ( $L_{opt}$ ).

Lo primero es disminuir la  $F$ , que particularmente en Campeche debiera ser un objetivo primario, lo que además incrementaría la captura por unidad de esfuerzo (CPUE). De acuerdo con Froese *et al.* (2016), las máximas ganancias normalmente se dan con una  $F$  entre 0.5 y 0.8  $M$ ; acorde a nuestros resultados, **sugerimos una meta inicial de  $F \leq 2$  para Campeche y Yucatán Poniente y de  $F \leq 1.5$  para Yucatán Oriente**. Estos valores están basados en la  $M$  de la segunda historia de vida (HV2) en el caso de Campeche y Yucatán Poniente; en Yucatán Oriente, dado que las tallas son mayores y no hay una  $F$  tan grande, usando la  $M$  resultante de la relación  $M/k = 1.5$ . En este sentido, las  $F$  aquí propuestas son conservadoras<sup>32</sup>, considerando que es un reto mayúsculo, particularmente en Campeche esto significa reducir la  $F$  en más del 60%.

El segundo punto se refiere a la biomasa, que ya se estima actualmente y que sirve para establecer una cuota de captura que conserve el 50% de la  $B$  total, éste es también el límite que recomiendan Froese *et al.* (2016). Sin embargo, nuestros resultados muestran que en Campeche, aunque la talla de primera captura ( $L_c$ ) fuera igual a la talla mínima de captura ( $tmc$ ) no se lograría este objetivo. Esto es una señal más de la necesidad de reducir la  $F$  en la región. Por otra parte, se debe hacer eficiente la forma en que actualmente se estima la  $B$ , a fin de reducir los recursos humanos y económicos. Martell y Froese (2012), por ejemplo, utilizaron el modelo de producción de Schaefer para calcularla como parte de un método para estimar el RMS bajo el contexto de los métodos para datos limitados, mismo que tuvo gran concordancia con otras estimaciones hechas a fondo. Aunque esto no ha sido usado con pulpos.

El último objetivo al que Froese *et al.* (2016) hacen referencia se relaciona con las tallas. En este trabajo vimos que se capturan una cantidad preocupante de pulpos con una LM menor a los 11 cm que establece la NOM, y cuando suponemos una talla mínima de captura ( $tmc$ ) como la que proponen Ávila-Poveda *et al.* (2016) de 13 cm de LM, la cantidad de pulpos debajo de ésta es alarmante. Es evidente que deben elevarse las tallas de las capturas, pero la  $tmc$  debe entenderse como eso, un mínimo; la propuesta de Froese *et al.* (2016) es una la longitud media de las capturas ( $L_{media}$ ) igual a la  $L_{opt}$ . Hay dos razonamientos fundamentales para adoptar la  $L_{opt} = L_{media}$  como objetivo: para una captura dada, menos individuos deben ser capturados, y; para una  $F$  dada, se obtiene la mayor captura. En este sentido, si bien debe incrementarse la  $tmc$  a 13 cm de LM, **la meta debiera ser una  $L_{media} = 15$  cm de LM en Campeche y Yucatán Poniente, y una  $L_{media} = 16$  cm de LM en Yucatán Oriente**, valores que concuerdan de manera general con los estimados (Tabla 5). Por su parte, el objetivo de  $P_{opt} = 100\%$  lidiaría con la dispersión de los datos. Una idea central, y que debería transmitirse a los intermediarios y en general a los actores que intervienen en la comercialización, es que el incremento de las tallas en las capturas no es necesariamente perjudicial (en términos económicos) en el corto plazo. Aunque para esto es

<sup>32</sup>Las  $F$  resultantes de la relación  $F = 0.8 M$  son: 1.8 para Campeche, 1.7 para Yucatán Poniente y 1.4 para Yucatán Oriente.

necesario lidiar con otras importantes problemáticas socioeconómicas<sup>33</sup>, es un objetivo que además del beneficio consustancial que tiene para *O. maya*, puede resultar ventajoso para ellos ante las crecientes exigencias de calidad de los mercados. Es decir, reducir el impacto de la pesca y mantener un nivel alto, pero sobre todo estable, de las capturas es posible si la talla de primera captura es ajustada.

Por otra parte, es importante considerar las relaciones con las especies asociadas a la pesquería de *O. maya*. La de jaiba es particularmente poco estudiada y, si suponemos que una gran carnada atraerá organismos más grandes que una pequeña, sería particularmente deseable elevar las tallas de las jaibas y cangrejos utilizados por los pescadores. En Sisal hemos visto que la pesca de jaiba se realiza tanto en el mar, como en la ciénaga, y la composición de las capturas difiere entre zonas. Las trampas utilizadas en el mar son de menor tamaño que las especificadas para la pesca en el Pacífico<sup>34</sup>, y se capturan varias especies asociadas no especificadas en la Carta Nacional Pesquera. Además se captura *Menippe mercenaria* a pesar de estar prohibido, y se reportan grandes cantidades de organismos provenientes de lugares distantes para abastecer la demanda de carnada para la pesca de pulpo (Bravo-Calderón, López-Rocha y Cisneros-Reyes, 2016). Es necesario integrar la pesca de jaiba al manejo de la pesquería de *O. maya*, a fin de entender la dinámica de sus relaciones ecológicas y la magnitud del impacto de la pesca en ellas.

Suponiendo que las metas de  $F$  y  $L_{media}$  y  $P_{opt}$  se logaran, la fluctuación de las capturas cambiaría drásticamente, la captura estaría compuesta por pulpos grandes que ya se habrían reproducido y estarían cercanos a su tamaño óptimo, de manera que se podrían alcanzar los mismos rendimientos pescando menos. Sin embargo, esto roza en lo utópico, es necesario hacer esfuerzos para responder al cómo conseguirlos. Hemos mencionado que el co-manejo es una opción recomendable por involucrar a los actores; también es una estrategia reconocida en la LGPAS, que se puede promover a través de los consejos de pesca. Consideramos que el manejo bajo estos preceptos, debe contar con mecanismos de participación y de toma de decisiones eficientes y flexibles, que permitan adaptarse a cambios en el sistema, además de un monitoreo permanente de las tallas (Díaz-Uribe *et al.*, 2013). La pesquería de *O. maya* tiene la ventaja de ser prácticamente monoespecífica, pero el co-manejo sería igualmente útil para tratar temas de otras pesquerías como la del mero.

Al trabajar de cerca con los pescadores, lo primero y tal vez lo más importante debería ser no olvidar que ellos se han encontrado y se encuentran casi siempre directamente sometidos a las exigencias de una economía capitalista (Alegret, 1989). En Yucatán un problema latente es, como Robles de Benito (2017) señala: la manera en que operan los verdaderos dueños de los permisos de pesca, de las embarcaciones y motores, de las plantas de productos pesqueros, y de la red de frío en el estado; que han puesto a los pescadores en una situación de vulnerabilidad, sin contratos y mucho menos prestaciones conforme la ley, donde no son dueños de su captura y sin embargo “venden” su producto al permisionario al precio que éste le fija sin

<sup>33</sup>Problemáticas relacionadas con el rol que desempeñan los permisionarios, y los dueños de los equipos y embarcaciones en la pesquería. Un tema que si bien no es abordado en este trabajo, es fundamental para el cumplimiento de objetivos y metas similares a los aquí planteados.

<sup>34</sup>En el golfo de México la única medida de manejo para las jaibas es una *tmc* de 110 mm de ancho de caparazón. En el estado de Campeche la NOM-045-PESC-2007 regula el aprovechamiento de *M. mercenaria*.

cortapisas, ni negociación, en un arreglo a todas luces ilegal, pero con plena complacencia de la autoridad. En este sentido, la problemática de la pesquería de pulpo debe abordarse desde un enfoque interdisciplinar, con estrategias transparentes, incluyentes, participativas y, por qué no, creativas. Además de los puntos tratados en este trabajo, deben considerarse los aspectos sociales, económicos, culturales e institucionales. Al final, la composición de las capturas de *O. maya* será una evidencia inevitable del éxito o fracaso del manejo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adams, P.B. 1989. Life history patterns in marine fishes and their consequences for fisheries management. *Fishery Bulletin*, (78: 1).
- Alegret, J.L. 1989. La antropología marítima como campo de investigación de la antropología social. *Agricultura y Sociedad*, (52).
- Arreguín-Sánchez, F. 1992. Growth and Seasonal Recruitment of the Octopus (*Octopus maya*) Fishery from the Campeche Bank, Caught by the Artisanal Fleet. *NAGA*, 15(2). Philippines.
- \_\_\_\_\_. 1992a. Consideraciones sobre el manejo de la pesquería del pulpo *Octopus maya* en el Banco de Campeche, Mexico. *Jaina*, 3: 18.
- Arreguín-Sánchez, F., M.J. Solís-Ramírez y M.E. González. 2000. Population Dynamics and Stock Assessment for Octopus Maya (Cephalopoda: Octopodidae) Fishery in the Campeche Bank, Gulf of Mexico. *Revista Biología Tropical*, (48). San José Jun.
- Ault, J.S., S.G. Smith y J.A. Bohnsack. 2005. Evaluation of average length as an estimator of exploitation status for the Florida coral-reef fish community. *ICES Journal of Marine Science*.
- Ávila-Poveda, O.H., N. Koueta, F. Benítez-Villalobos, J. Santos-Valencia y C. Rosas. 2016. Reproductive Traits of Octopus Maya (Cephalopoda: Octopoda) With Implications for Fisheries Management. *Molluscan Research*.
- Beverton, R.J.H. 1992. Patterns of reproductive strategy parameters in some marine teleost fishes. *Journal of Fish Biology*, (41).
- Beverton, R.J.H. y S.J. Holt. 1957. *On the Dynamics of Exploited Fish Populations*. Fishery Investigations Series II Volume XIX.
- Bravo-Calderón, A., J.A. López-Rocha y H.B. Cisneros-Reyes. 2016. Caracterización de la pesquería de jaiba en Sisal, Yucatán, México. *Revista digital E-bios*, (Número Especial No.4). Universidad Autónoma Metropolitana.
- Caamal-Monsreal, C., I. Uriarte, A. Farias, F. Díaz, A. Sánchez, D. Re y C. Rosas. 2016. Effects of temperature on embryo development and metabolism of *O.maya*. *Aquaculture*, (451).
- Cabrera, M.A., J. Ramos-Miranda, S. Salas, D. Flores-Hernández y A. Sosa-López. 2012. Análisis de la estructura poblacional del pulpo rojo (*Octopus maya*) en la península de Yucatán, México. *Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, (64).
- Chávez, E. 1998. Estrategias óptimas de Explotación del pulpo de la Sonda de Campeche, México. *Hidrobiológica*, (8(2)).
- Chuenpagdee, R. y S. Jentoft. 2007. Step zero for fisheries co-management: What precedes

implementation. *Marine Policy*, (31(6)).

CONAPESCA. 2008. PULPO, Región IV: Yucatán, Campeche y Quintana Roo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

\_\_\_\_\_. 2014. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Cope, J.M. y A.E. Punt. 2009. Length-based reference points for data-limited situations: applications and restrictions. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, (1).

Dichmont, C.M., S. Pascoe, T. Kompas, A.E. Punt y R. Deng. 2010. On implementing maximum economic yield in commercial fisheries. *PNAS*, (107(1)).

Dittert, N., M. Diepenbroek y H. Grobe. 2001. Scientific data must be made available to all. *Nature*, (414).

Díaz-Uribe, J.G., V.M. Valdez-Ornelas, G.D. Danemann, E. Torreblanca-Ramírez, A. Castillo-López y M.Á. Cisneros-Mata. 2013. Regionalización de la pesca ribereña en el noroeste de México como base práctica para su manejo. *Ciencia pesquera*, (21(1)).

DOF. 2014. Plan de manejo pesquero del pulpo en la península de Yucatán. Diario Oficial de la Federación.

\_\_\_\_\_. 2015. Norma Oficial Mexicana 008-SAG/PESC-2015, para ordenar el aprovechamiento de las especies de pulpo en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe. Diario Oficial de la Federación.

DOF-SAGARPA. 2012. ACUERDO por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Flores-Hernández, D., M.A. Cabrera, S. Cinco-Castro, S. Salas, J. Ramos-Miranda, M. Pérez-Sánchez, F. Gómez-Criollo y E. Flores-Ramos. 2017. Dinámica poblacional del pulpo rojo (*O. maya*). En *FALTA INFO, PREGUNTAR AL PROFE*.

Fraga, J. 2000. Evaluación social de la costa norte de Yucatán. Reporte al banco mundial. CINVESTAV-Unidad Mérida-UADY-CIRNAC.

\_\_\_\_\_. 2004. Los habitantes de la zona costera de Yucatán: entre la tradición y la modernidad. En *Manejo Costero en México*. SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo.

Fraga, J., S. Salas y G. Mexicano-Cintora. 2008. La pesca en Yucatán: de la abundancia a la escasez, a la fragilidad de las estructuras institucionales. En *Descentralización y manejo ambiental. Gobernanza Costera en México*. Plaza y Valdes.

Francis, R.C., M.A. Hixon, M.E. Clarke, S.A. Murawski y S. Ralston. 2007. Ten Commandments for Ecosystem-Based Fisheries Scientists. *Fisheries*, (32(5)).

Froese, R. 2004. Keep it simple: Three indicators to deal with overfishing. *Fish and Fisheries*,



(5(1)).

Froese, R. y C. Binohlam. 2000. Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. *Journal of Fish Biology*, (56).

Froese, R., D. Lloris y S. Opitz. 2003. Scientific data in the public domain: The need to make scientific data publicly available - concerns and possible solutions. ACP-EU Fisheries Research Report (14).

Froese, R., A. Stern-Pirlot, H. Winker y D. Gascuel. 2008. Size matters: How single-species management can contribute to ecosystem-based fisheries management. *Fisheries Research*, (92).

Froese, R., H. Winker, D. Gascuel, U.R. Sumaila y D. Pauly. 2016. Minimizing the impact of fishing. *Fish and Fisheries*.

Galindo-Cortes, G., Á. Hernández-Flores y J. Santos-Valencia. 2006. Pulpo del golfo de México *Octopus maya* y *Octopus vulgaris*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Gamboa-Álvarez, M.Á., J.A. López-Rocha y G.R. Poot-López. 2015. Spatial Analysis of the abundance and catchability of the red octopus *Octopus maya* (Voss and Solís-Ramírez, 1966) on the continental shelf of the Yucatán Península, Mexico. *Journal of Shelfish Reserch*, (2).

García-Cuéllar, J.A., F. Arreguín-Sánchez, S. Hernández-Vázquez y D.B. Luch-Cota. 2004. Impacto ecológico de la industria petrolera en la sonda de Campeche, México, tras tres décadas de actividad: una revisión. *Interciencia*, (29(6)).

Gillespie, G.E., G. Parker y J. Morrison. 1998. A Review of Octopus Fisheries Biology and British Columbia Octopus Fisheries. Canadian Stock Assessment Secretariat.

Grothendieck, G. 2013. *nls2: Non-linear regression with brute force*. <https://CRAN.R-project.org/package=nls2>.

Hernández, A., M.J. Solís-Ramírez, J.C. Espinoza, R. Mena, F. Aguilar y F. Ramírez. 2004. Pulpo. Instituto Nacional de la Pesca. <http://inp.semarnat.gob.mx/Publicaciones/Publicaciones.htm/>.

Hernández-Sánchez, A. y A. de Jesús-Navarrete. 2010. Parámetros de crecimiento, mortalidad y tasa de explotación del pulpo *Octopus maya* en Holbox, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, (3).

Herrera-Silveira, J.A., F.A. Comín y L. Capurro. 2004. Los usos y abusos de la zona costera en la península de Yucatán. En *El Manejo Costero en México*. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo.

Jennings, S. y N.K. Dulvy. 2005. Reference points and reference directions for size-based indicators of community structure. *ICES Journal of Marine Science*, (62).

\_\_\_\_\_. 2009. Chapter 18. Beverton and Holt's Insights into Life History Theory: Influence, Application and Future Use. En *Advances in Fisheries Science: 50 years on from*

*Beverton and Holt.*

Jentoft, S. 1989. Fisheries co-management: delegating government responsibility to fishermen's organizations. *Marine Policy*, (13(2)).

Juarez, O.E., C. Galindo, F. Diaz y C. Rosas. 2015. Is temperature conditioning Octopus maya fitness? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, (467).

Juárez, O.E. 2011. *Identificación de la unidad de Octopus maya utilizando microsátélites*. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas.

Jurado-Molina, J. 2010. A bayesian framework with implementation error to improve the management of the red octopus fishery of the Yucatan Peninsula. *Ciencias Marinas*, (36).

Lima, F.D., W.M. Berbel-Filho, T.S. Leite, C. Rosas y S.M.Q. Lima. 2017. Occurrence of Octopus insularis (Leite and Haimovici, 2008) in the Tropical Northwestern Atlantic and implications of species misidentification to octopus fisheries management. *Marine Biodiversity*.

Martell, S. y R. Froese. 2012. A simple method for estimating MSY from catch and resilience. *Fish and Fisheries*.

Mc Allister, M. y P. Orr. 2006. A review of modelling methods of indicators for the identification of fishing impacts on marine ecosystems. INDECO Development of Indicators of Environmental Performance of the Common Fisheries.

Morán-Angulo, R.E., J. Téllez-López y J.L. Cifuentes-Lemus. 2010. La investigación pesquera: una reflexión epistemológica. *Revista Theomai. Estudios sobre Sociedad y Desarrollo*, (21).

Munguía, A. y J.F. Sarmiento. 2014. Estructura y Especialización Económica. Sector Primario. editado por Plaza y Valdés.

Myers, R.A. y G. Mertz. 1998. The limits of exploitation: a precautionary approach. *Ecological Applications*, (8).

Ortíz-Pérez, M.A. y G. Lanza-Espino. 2006. *Diferenciación del espacio costero de México: Un inventario regional*. Serie Textos Universitarios. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía.

Patrick, W.S. y J.S. Link. 2015. Myths that Continue to Impede Progress in Ecosystem-Based Fisheries Management. *Fisheries*, (40:4).

Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese y F. Torres-Jr. 1998. Fishing Down Marine Food Webs. *Science*, (279).

Pérez, M., R. Burgos, A.T. Wakida-Kusunoki, J. Santos, K. Cervera, J.C. Espinoza, J.C. Mena, E. Cob y M. Medina. 2006. Evaluación de La Población de Pulpo Octopus Maya En La Península de Yucatán. Informe de Investigación. Instituto Nacional de Pesca. CRIP-Yucalpetén.

Piñeiro, R., E. Giménez, V. Moreno, R. Burgos y A. Betanzos. 2001. Características Térmicas

- Del Banco de Campeche. *Ciencia Pesquera*, (16). México: INP.SAGARPA.
- R Core Team. 2016. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Reynolds, J.D., S. Jennings y N.K. Dulvy. 2001. Life histories of fishes and population responses to exploitation. En *Conservation of Exploited Species*. Cambridge University Press.
- Robles de Benito, R. 2017. Pesca, xenofobia y ceguera en costa yucateca. Urge asear cosmos de permisos. La Jornada Maya.
- Rochet, M-J. 1998. Short-term effects of fishing on life history traits of fishes. *ICES Journal of Marine Science*, (55).
- Rochet, M-J. y V.M. Trenkel. 2003. Which Community Indicators Can Measure the Impact of Fishing? A Review and Proposals. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, (60).
- Rodhouse, P.G., E.J. Murphy y M.L. Coelho. 1998. Impact of fishing on life histories. En *Squid recruitment dynamics. The genus Illex as a model. The commercial Illex species. Influences on variability*. Rome, FAO: FAO Fisheries Technical Paper.
- Rosas, C., P. Gallardo, M. Mascaró, C. Caamal-Monsreal y C. Pascual. 2014. Octopus maya. En *Cephalopod Culture*. Springer Science Business Media.
- Sadovy, Y. 2001. The threat of fishing to highly fecund fishes. *Journal of Fish Biology*, (59).
- Salas, S., M.A. Cabrera, L. Palomo y E. Torres-Irinea. 2009. Uso de Indicadores Para Evaluar Medidas de Regulación En La Pesquería Del Pulpo En Yucatán Dada La Interacción de Flotas. *Proceedings Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, (61).
- Salas, S., M.A. Cabrera, L.E. Palomo, F. Bobadilla, P.H. Ortega y E. Torres. 2008. Plan de Manejo Y Operación Del Comité de Administración Pesquera de Escama Y Pulpo. Informe Final. Mérida, Yucatán: CONAPESCA - SAGARPA.
- Salas, S., G. Mexicano-Cíntora y M.A. Cabrera. 2006. ¿Hacia Donde van Las Pesquerías En Yucatán? Tendencias, Retos Y Perspectivas. En *falta*. Centro de Investigación y Estudios Avanzados Departamento de Recursos del Mar. Unidad Mérida.
- Salas, S., J. Ramos-Miranda, E. Coronado, D. Flores-Hernández, M.A. Cabrera, M. Pérez-Sánchez y F. Gómez-Criollo. 2012. Análisis Comparativo de Formas de Operación Y Cuasi-Renta de Flotas Que Capturan Pulpo Rojo (Octopus Maya), En La Península de Yucatán, México. *Proceedings of the 64th Gulf; Caribbean Fisheries Institute*, (64).
- Seijo, J.C., M.J. Solís-Ramírez y G. Morales. 1987. *Simulación Bio-Económica de La Pesquería Del Pulpo Octopus Maya de La Plataforma Continental de Yucatán*. La Paz, B.C.S.: Memorias del Simposio de Investigación Biológica y Oceanografía Pesquera en México.
- Shin, Y-J., M-J. Rochet, S. Jennings, J.G. Field y H. Gislason. 2005. Using Size-Based Indicators to Evaluate the Ecosystem Effects of Fishing. *ICES Journal of Marine Science*,

(62).

Solana, S.R., M. Pérez, A. Wakida, R. Burgos y J. Santos. 2005. Evaluación de La Población de Pulpo (Octopus Maya) En La Península de Yucatán. 2005. SAGARPA, INP. CRIP-Yucalpetén, CRIP- Lerma.

Solís-Ramírez, M.J. 1999. Importancia de la Pesquería de Pulpo en el Golfo de México y Caribe Mexicano. Centro Regional de Investigación Pesquera de Yucalpetén.

Solís-Ramírez, M.J. y E.A. Chávez. 1986. Evaluación Y Régimen óptimo de Pesca Del Pulpo de La Península de Yucatán. *Anales Del Instituto de Ciencias Del Mar Y Limnología*, (13(3)).

Solís-Ramírez, M.J., F. Arreguín-Sánchez y J.C. Seijo. 1997. Pesquería de Pulpo de La Plataforma Continental de Yucatán. Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX).

Solís-Ramírez, M.J., I. Fernández y F. Márquez. 2000. Pulpo. Instituto Nacional de la pesca.

Sparre, P. y S.C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales Parte 1: Manual. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Velázquez-Abunader, I., S. Salas y M.A. Cabrera. 2013. Differential Catchability by Zone, Fleet, and Size: The Case of the Red Octopus (Octopus Maya) and Common Octopus (Octopus Vulgaris) Fishery in Yucatan, Mexico. *Journal of Shellfish Research*, (3).

Wakida, A., M.J. Solís-Ramírez, R. Burgos, K. Cervera, J.C. Espinoza y R. Mena. 2004. Análisis de La Abundancia Del Pulpo Rojo Octopus Maya En La Península de Yucatán. *Proceedings Gulf, Caribbean Fisheries Institute*, (55).

Zamora-Ríos, M. 2018. *Evaluación de La Utilización de Refugios Artificiales Como Sitios de Reproducción Para El Pulpo Rojo de Yucatán Octopus Maya*. UNAM Facultad de Ciencias - Unidad Académica de Ciencias y Tecnología en Yucatán, sede Sisal.

## ANEXOS

### Comandos utilizados para el cálculo de $P_{\text{mat}}$ , $P_{\text{opt}}$ y $P_{\text{mega}}$ en R

Este es un ejemplo con los datos de Sisal, septiembre, temporada 2012. Los parámetros utilizados son los de la historia de vida 2 (ver Metodología) y la  $L_{\text{mat}}$  de 11 cm de LM. En la función para el cálculo de los indicadores se incluye  $P_{\text{mega}}$ , aunque no fue utilizado en este trabajo.

Esta es la librería necesaria

```
require(nls2)
```

Estos son los datos:

```
x<- c(9,10,10,11,11,11,12,12,12,13,10,11,11,11,12,12,12,13,13,17,8,8,9,9,9,9,
10,10,11,11,11,12,9,9,10,10,10,10,10,11,11,12,12,12,13,13,16,9,10,11,12,12,
12,13,9,10,10,11,11,12,12,12,13,10,12,12,12,13,14,10,10,10,11,11,11,11,12,
12,12,13,14,14,15,18,8,9,9,9,10,10,11,11,11,12,13,13,13,14,15,7,9,10,11,11,
11,11,13,13,15,11,13,13,14,14,15,15,16,16,19,11,11,11,11,11,12,12,12,12,12,
12,12,13,13,13,14,14,8,9,11,12,12,12,12,13,13,14,14,14,8,8,10,11,11,11,12,
12,12,14,10,11,12,12,12,12,13,14,14,18,10,11,12,12,12,13,13,14,15,17,18,12,
12,18,10,10,11,12,12,12,13,14,14,15,10,12,12,14,15,10,11,12,13,15,13,13,15,
10,12,14,17,11,12,12,12,13,14,14,15,15,18,10,10,11,12,13,14,14,15,15,18,11,
13,12,14,17,10,11,11,12,12,13,13,13,13,13,14,14,15,15,16,9,10,10,11,11,11,
12,12,12,12,13,14,14,14,15,15,9,10,10,12,12,12,12,13,13,13,13,14,15,15,16,
10,11,12) # carga los datos
str(x); summary(x); head(x) # exploralos
```

```
## num [1:283] 9 10 10 11 11 11 12 12 12 13 ...
## Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.
## 7.00 11.00 12.00 12.17 13.00 19.00
## [1] 9 10 10 11 11 11
```

```
Loo <- 233 # longitud asintótica
K <- 1.2 # coeficiente de crecimiento
M <- 2.14 # mortalidad natural
Lmat <- 110 # Lmat en mm
```

La forma más práctica de calcularlos es automatizar el proceso en una sólo función:

```
Px<-function(x,Lmat,K,M,Loo, co = T) {
  a<- 0.1; b<- 0.1 # valores iniciales de coeficientes
  LM <- c(80,100,120,140,160,180,200,220) # intervalos de LM en mm
  prepara <- function(dat) {
    porc<- prop.table(table(cut(dat,breaks = 2*(3:11))))
```

```

return(as.vector(cumsum(porc)))}# función porcentaje observado acumulado
p_est <- function(a,b,l) { 1 / (1 + exp(a - b * l))} # función de
# modelo logístico de crecimiento
Lopt <-function(K,M,Loo) {Loo*(3 / (3 + (M/K)))} # función para
# estimar Lopt
obs<-prepara(x) # calcula porcentaje observado acumulado
fo<- obs ~ p_est(a,b,LM) # fórmula
st1 <- expand.grid(a = seq(0, 20, len = 50), b = seq(-1, 3, len = 50))
# crea rango de datos para encontrar valores iniciales de a y b
mod1 <- nls2(fo, start = st1, algorithm = "brute-force") # modelo ajustado
Pl <- p_est(a = coef(mod1)[1], b = coef(mod1)[2], l = Lmat)
# Proporción en la longitud "l"
lopt <-Lopt(K,M,Loo) # Lopt
rango <-c(0.9*lopt,1.1*lopt) # rango para estimación de Popt
Popt <-p_est(a= coef(mod1)[1], b = coef(mod1)[2], l = rango) # Popt
lmax<-max(x) # límite máximo observado
rango2<-c(1.1*lopt,lmax) # rango para estimación de Pmega
Pmega <-p_est(a= a, b = b, l = rango2) # Pmega
ifelse(co == T, return(list(co = coef(mod1), pmat = round(1 - Pl,2),
  popt = round(Popt[2]-Popt[1],2),
  pmega = round(Pmega[2]-Pmega[1],2))),
  return(list(pmat = round(1 - Pl,2),
  popt = round(Popt[2]-Popt[1],2),
  pmega = round(Pmega[2]-Pmega[1],2)))) # Salida
}

```

Esta función “Px” necesita los cinco objetos nombrados anteriormente. Adicionalmente, el argumento lógico “co” mostrará los coeficientes a y b del modelo logístico de crecimiento, a menos que se indique “co = F”. Así, la salida de la función será una lista con los indicadores de la siguiente forma:

```
Px(x,Lmat,K,M,Loo)
```

```

## $co
##      a      b
## 6.93877551 0.06122449
##
## $pmat
##      a
## 0.55
##
## $popt
## [1] 0.2
##
## $pmega

```

```
## [1] -0.14
```

Es importante mencionar que si bien esta función está hecha para *O. maya*, para usarse en otra especie sólo bastarán unos leves cambios en la función “prepara” (dentro de la función “Px”) y redefinir el vector “LM” de acuerdo a los intervalos de frecuencias de la especie en cuestión.

## Símbolos, siglas y acrónimos usados

***Br*** - Biomasa relativa de una cohorte. La biomasa es el peso de un individuo o grupo de individuos de un stock. Ésta se estimó considerando un reclutamiento relativo  $R = 1$ , como el 100 % de organismos nacidos de una cohorte.

**CONAPESCA** - Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura.

**CPUE** - Captura por unidad de esfuerzo. La cantidad de capturas que se logran por unidad de arte de pesca en determinado tiempo.

**EBFM** - Manejo pesquero basado en ecosistemas (por sus siglas en inglés).

**INAPESCA** - Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura.

***k*** - Coeficiente de crecimiento individual. Tasa instantánea de disminución de una función del peso individual, expresa la tasa en la que la  $L_{\infty}$  es alcanzada. Es uno de los tres parámetros de la VBGF.

***F*** - Tasa instantánea de mortalidad por pesca o Coeficiente de mortalidad por pesca. Tasa instantánea relativa de variación del número de supervivientes que mueren a causa de la pesca.

**$L_{\infty}$**  - Longitud asintótica o infinita. Esta es la longitud media que los individuos de una población alcanzarían si crecieran indefinidamente. Este es otro parámetro de la VBGF.

**$L_c$**  - Longitud de primera captura. Es la longitud en la cual el 50 % de los individuos muestreados son retenidos por el arte de pesca.

**LGPAS** - Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable.

**LM** - Longitud de manto.

**$L_{mat}$**  - Longitud promedio en la cual los individuos de una determinada población maduran por primera vez.

**$L_{max}$**  - Longitud de los individuos más largos en una localidad.

**$L_{opt}$**  - Longitud en donde el número de individuos en una determinada edad y año, multiplicada por la media de su peso individual es máxima y, por tanto, el rendimiento y los ingresos máximos pueden ser obtenidos.

***M*** - Tasa instantánea de mortalidad natural o Coeficiente de mortalidad natural. Tasa instantánea relativa de variación del número de supervivientes que mueren debido a cualquier causa excepto las debidas a la pesca.

**PMP** - Plan de Manejo Pesquero. Instrumento de política pesquera elaborado por el INAPESCA.

**$P_{mat}$**  - Proporción de individuos sexualmente maduros en las capturas totales, se mide como porcentaje de especímenes maduros en la captura.

**$P_{mega}$**  - Proporción de individuos sexualmente maduros de tallas más grandes (mega-reproductores) en las capturas totales, se mide como porcentaje de los grandes individuos en la captura, es decir, aquellos de un tamaño más grande que la  $L_{opt}$  más un 10 %.

**$P_{opt}$**  - Proporción de individuos de la talla que maximiza el rendimiento en las capturas totales, se mide como el porcentaje de los individuos en su longitud óptima  $L_{opt}$ .

**$P_x$**  - Sumatoria entre  $P_{mat}$  y  $P_{opt}$ , por lo que puede tomar valores entre 0 y 2.

***R*** - Reclutamiento. Número de individuos que cada año entran por primera vez al stock.

**RMS** - Rendimiento Máximo Sostenible.



$t_0$  - Edad (hipotética) en años en la que un individuo tendría una longitud cero. Este es otro parámetro de la VBGF. Básicamente es una constante para mejorar el ajuste y su efecto es mover la curva de crecimiento entera hacia los lados a través del eje  $x$ , sin afectar a  $L_{inf}$  o a  $K$ .

*tmc* - Talla mínima de captura. Talla legal para la captura de *Octopus maya* y *O. vulgaris* en el golfo de México y el mar Caribe.

**VBGF** - Función de crecimiento de von Bertalanffy (por sus siglas en inglés). Usada para describir el crecimiento en la longitud o el peso de los individuos.