



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA**

**MODELO BIOECONÓMICO DINÁMICO PARA LA PESQUERÍA DEL PULPO  
ROJO (*Octopus maya*) EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE:  
MAESTRO(A) EN CIENCIAS**

**PRESENTA:**

**JESSICA JOHANA GARCÍA MELÉNDEZ**

**TUTOR PRINCIPAL:**

**DR. DAVID ALBERTO SALAS DE LEÓN  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA UNAM**

**COMITÉ TUTOR:**

**DR. JAVIER ALDECO RAMÍREZ  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

**DR. JORGE A. LÓPEZ ROCHA  
UNIDAD MULTIDISCIPLINARIA DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN SISAL, FACULTAD DE  
CIENCIAS  
UNAM**

**DR. ENRIQUE MORALES BOJÓRQUEZ  
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE (CIBNOR)  
UNIDAD LA PAZ**

**DR. JAVIER TOVAR ÁVILA  
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN PESQUERAS (CRIP) BAHÍA BANDERAS**

**ASESOR(A) EXTERNO(A):**

**DR. JESÚS JURADO MOLINA**

**GLOBAL GRUPO DE GESTIÓN E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS  
MARINAS, AMBIENTE, DESARROLLO SOCIAL Y ALIMENTACIÓN, A.C.**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX., JULIO, 2022**



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.



**MODELO BIOECONÓMICO DINÁMICO PARA LA PESQUERÍA DEL PULPO ROJO (*Octopus maya*) EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:  
**MAESTRO(A) EN CIENCIAS**

PRESENTA:  
**JESSICA JOHANA GARCÍA MELÉNDEZ**

**TUTOR(A) O TUTORES PRINCIPALES:**  
DR. DAVID ALBERTO SALAS DE LEÓN  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA UNAM

**COMITÉ TUTOR:**  
DR. JAVIER ALDECO RAMÍREZ  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
DR. JORGE A. LÓPEZ ROCHA  
UNIDAD MULTIDISCIPLINARIA DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN SISAL, FACULTAD DE CIENCIAS  
UNAM  
DR. ENRIQUE MORALES BOJÓRQUEZ  
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE (CIBNOR)  
UNIDAD LA PAZ  
DR. JAVIER TOVAR ÁVILA  
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN PESQUERAS (CRIP) BAHÍA BANDERAS

**ASESOR(A) EXTERNO(A):**  
DR. JESÚS JURADO MOLINA  
GLOBAL GRUPO DE GESTIÓN E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS MARINAS, AMBIENTE, DESARROLLO SOCIAL Y ALIMENTACIÓN, A.C.

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX., JULIO, 2022**

## **Agradecimientos**

▮ Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por recibirme en esta prestigiosa institución y a sus excelentes investigadores y maestros por todo el conocimiento compartido.

▮ A la beca recibida de parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología con número de CVU 1042618.

▮ Al Dr. David Alberto Salas de León, por todo el tiempo, paciencia, dedicación que invirtió en mi paso por esta institución, gracias por todo el apoyo y consejos para mi formación.

▮ A los miembros del comité tutorial, Dr. Javier Aldeco Ramírez, Dr. Enrique Morales Bojorquez, Dr. Jorge A. López Rocha, y Dr. Javier Tovar Ávila por todas las observaciones, recomendaciones y el tiempo invertido para el desarrollo de este trabajo, ha sido un honor el que me hayan orientado. Y muy especialmente mi agradecimiento para mi asesor externo; El Dr. Jesús Jurado Molina por todos estos años trabajando juntos, por todas esas enseñanzas desde la licenciatura, gracias por todos esos cursos y ese apoyo incondicional, de no haber sido por usted no hubiese hecho una maestría, no hubiera soñado en grande, eternamente agradecida.

## **Agradecimientos personales**

A mi familia, en especial a madre Jesica Greta Meléndez Albarrán por esas palabras de aliento, y esos consejos de vida que tanto me han ayudado a crecer, no puede tener una mejor maestra de vida. A mis hermanas (Sho, Marian, Eimy y Rubí) por estar siempre presentes. A mi abuela Delia y María por consentirme, y a mi padre por volver a formar parte de mi círculo cercano.

A mi nuevo amigo (Carlos) por ser ese sostén emocional y ese ser incondicional, un gran apoyo que aún en la distancia se sentía tan cercano, y a mis mejores amigas (Yech y Abbi) por “echarme porras”, darme una mano cuando estaba a punto de tirar la toalla, los quiero muchísimo.

Toda la ciencia comparada con la realidad es primitiva e infantil...  
Y sin embargo es lo máspreciado que tenemos.  
Albert Einstein

# ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	<b>9</b>
3.1 ASPECTOS GENERALES DE LA ESPECIE.....	9
3.2 PESQUERÍA.....	10
3.2.1 <i>Datos pesqueros</i> .....	10
3.2.2 <i>Investigaciones previas</i> .....	12
3.3 BIOECONOMÍA PESQUERA EN OTRAS ESPECIES.....	15
<b>4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA</b> .....	<b>18</b>
<b>5. HIPÓTESIS</b> .....	<b>19</b>
<b>6. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>20</b>
6.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
<b>7. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
7.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	21
7.2 OBTENCIÓN DE DATOS .....	21
7.2.1 <i>Datos económicos</i> .....	22
7.3 MODELOS DE PRODUCCIÓN EXCEDENTE .....	22
7.3.1 <i>Selección de modelo</i> .....	24
7.4 MODELOS BIOECONÓMICOS.....	25
7.4.1 <i>Modelo bioeconómico en equilibrio</i> .....	25
7.4.2 <i>Modelo bioeconómico dinámico</i> .....	27
<b>8. RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
8.1 MODELOS DE PRODUCCIÓN EXCEDENTE .....	29
8.1.1 <i>Selección del Modelo</i> .....	32
8.2 MODELOS BIOECONÓMICOS .....	33
8.2.1 <i>Datos socioeconómicos</i> .....	33
8.3 MODELO EN EQUILIBRIO .....	35
8.4 MODELO BIOECONÓMICO DINÁMICO .....	35
<b>9. DISCUSIÓN</b> .....	<b>46</b>
<b>10. CONCLUSIONES</b> .....	<b>53</b>
<b>11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>54</b>
<b>12. ANEXOS</b> .....	<b>63</b>
12.1 ANEXO 1 .....	63
12.2 ANEXO 2 .....	64

<b>Índice de figuras</b>		
<b>Figura 1.-</b>	Tendencia temporal de la captura del pulpo rojo (1998-2013) y del índice de abundancia absoluto observado (2002-2007,2012-2013) en la Península de Yucatán; lobs - índice de biomasa absoluto observado.	17
<b>Figura 2.-</b>	Área de captura del pulpo rojo (achurado con líneas grises) en la Península de Yucatán.	21
<b>Figura 3.-</b>	Ajuste del modelo de producción excedente de Shaefer para el pulpo rojo capturado en la Península de Yucatán; I obs- índice de abundancia absoluta observada, I est- índice de abundancia absoluta estimada.. Ajuste del modelo de producción excedente de Shaefer para el pulpo rojo capturado en la Península de Yucatán; I obs- índice de abundancia absoluta observada, I est- índice de abundancia absoluta estimada.	31
<b>Figura 4.-</b>	Ajuste del modelo de producción de Fox para el pulpo rojo capturado en la Península de Yucatán; I obs- índice de abundancia absoluta observada, I est- índice de abundancia absoluta estimada.	31
<b>Figura 5.-</b>	Ajuste del modelo de producción de Pella-Tomlinson para el pulpo rojo capturado en la Península de Yucatán; I obs- índice de abundancia absoluta observada, I est- índice de abundancia absoluta estimada.	32
<b>Figura 6.-</b>	Tendencia temporal de la biomasa del pulpo rojo estimada con el modelo de Schaefer de 1998 a 2013 por el método de máxima verosimilitud.	33

<b>Figura 7.-</b>	Modelo bioeconómico en equilibrio del pulpo rojo en la península de Yucatán; $\alpha$ - equilibrio económico, $\beta$ -Máximo beneficio sostenible, $\pi$ - ingreso neto sostenible; ITS-ingreso total sostenible y CT-costos totales.	35
<b>Figura 8.-</b>	a) Distribución marginal posterior de la capacidad de carga (K), b) frecuencia acumulada de la capacidad de carga, ambas estimadas por el método SIR.	36
<b>Figura 9.-</b>	a) Distribución marginal posterior de la tasa intrínseca de crecimiento (r), b) Frecuencia acumulada de la tasa intrínseca de crecimiento por el método SIR.	37
<b>Figura 10.-</b>	a) Distribución marginal posterior del coeficiente de capturabilidad (q), b) Frecuencia acumulada del coeficiente de capturabilidad por el método SIR.	38
<b>Figura 11.-</b>	a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2015, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2015; con una tasa de explotación del 40% por el método SIR.	40
<b>Figura 12.-</b>	a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2015, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2015; con una tasa de explotación del 70% por el método SIR.	40
<b>Figura 13.-</b>	a) Distribución marginal posterior de la captura en 2015 y (b) Frecuencia acumulada de la captura en 2015; con una tasa de explotación del 40% por el método SIR.	41
<b>Figura 14.-</b>	a) Distribución marginal posterior de la captura en 2015 y (b) Frecuencia acumulada de la captura en 2015; con una tasa de explotación del 70% por el método SIR. a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2015 y (b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2015; con una tasa de explotación del 40% por el método SIR.	42



<b>Figura 15.-</b>	a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2015 y (b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2015; con una tasa de explotación del 40% por el método SIR.	42
<b>Figura 16.-</b>	a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2015 y (b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2015 con una tasa de explotación del 70% por el método SIR.	43
<b>Figura 17.-</b>	Modas de las distribuciones de la captura y la biomasa del pulpo rojo en la Península de Yucatán con diferentes tasas de explotación para el año 2015. Modas de las distribuciones de la captura y la biomasa del pulpo rojo en la Península de Yucatán con diferentes tasas de explotación para el año 2018.	44
<b>Figura 18.-</b>	Modas de las distribuciones de la captura y la biomasa del pulpo rojo en la Península de Yucatán con diferentes tasas de explotación para el año 2018. Modas del Beneficio para el pulpo rojo en el corto y mediano plazo 2015 y 2018 respectivamente con diferentes tasas de explotación	43
<b>Figura 19.-</b>	Modas del Beneficio para el pulpo rojo en el corto y mediano plazo 2015 y 2018 respectivamente con diferentes tasas de explotación	44

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.-</b>	. Estimación de los parámetros de los modelos de producción Schaefer, Fox y Pella-Tomlinson para la población del pulpo rojo en la Península de Yucatán por máxima verosimilitud. Donde K, capacidad de carga; r, tasa de crecimiento; %K, biomasa inicial en el año 1998; q, coeficiente de capturabilidad; $\sigma$ , error estándar; p, término de asimetría para el modelo Pella-Tomlinson.	30
<b>Tabla 2.-</b>	Criterio de información de Akaike (AIC) y criterio de información Bayesiano (BIC) para los modelos de producción excedente de Schaefer, Fox y Pella-Tomlinson.	32
<b>Tabla 3.-</b>	Costo por temporada y tonelada, precios y captura por tonelada del pulpo rojo en la temporada 2020 en MXN. * Datos alejados de la media.	34
<b>Tabla 4.-</b>	Precios y costos por tonelada usados en el modelo bioeconómico dinámico.	39
<b>Tabla 5.-</b>	Modas de los índices de desempeño con diferentes tasas de explotación (TE) para el corto (2015) y el mediano (2018) plazo; Bio 15 - Biomasa del año 2015, Bio 18 – Biomasa del año 2018, C15- Captura del año 2015, C18- Captura del año 2018, Ben-15 Beneficio del año 2015, Ben 18- Beneficio del año 2018. El beneficio es mostrado en millones de pesos.	44

## 1. Resumen

Ante la necesidad de conocer el estado de salud de la pesquería del pulpo rojo (*O. maya*) y su impacto bioeconómico, se realizó una evaluación del stock con datos obtenidos por medio de los desembarcos comerciales (captura) y reportes técnicos del INAPESCA (índice de abundancia absoluta), utilizando los modelos de producción de Schaefer, Fox y Pella-Tomlinson para la dinámica poblacional y el método de máxima verosimilitud para la estimación de los parámetros los cuales fueron: tasa intrínseca de crecimiento ( $r$ ), capacidad de carga ( $K$ ), Biomasa inicial ( $B_0$ ), parámetro de asimetría ( $p$ ) capturabilidad ( $q$ ) y error estándar ( $\sigma$ ). Posteriormente, se llevó a cabo la selección de modelo con el criterio de Akaike y el criterio de información Bayesiano (BIC). Los resultados sugirieron que el modelo de Schaefer es el que mejor se ajusta a los datos observados. Los resultados muestran que para el 2013 únicamente permaneció el 44% de la biomasa que equivale a 20,782 t. A partir del modelo de Schaefer se desarrolló el modelo bioeconómico en equilibrio de Gordon-Schaefer junto con los datos económicos obtenidos por entrevistas a pescadores vía web y telefónica. Se estimaron tres puntos de referencia; **punto de equilibrio ( $\alpha$ )** con un valor de 4,681 embarcaciones, **máximo ingreso sostenible ( $\pi$ )** con un valor de 913.3 millones de pesos alcanzado con un esfuerzo de 3,646 embarcaciones y el **máximo beneficio sostenible ( $\beta$ )** con un valor de 383.8 millones de pesos logrado con 2,341 embarcaciones. Posteriormente se desarrolló un modelo bioeconómico dinámico que busca explicar la evolución del stock y el beneficio en el tiempo con diferentes escenarios de manejo a partir de la estimación de las distribuciones posteriores y acumuladas de los parámetros ( $r$ ,  $K$  y  $q$ ) y los indicadores (biomasa, captura y beneficio) a diferentes tasas de explotación (del 40% al 70%), para lograr lo anterior se usaron métodos bayesianos con simulaciones de cadenas de Markov Monte Carlo (MCMC) mediante el algoritmo Sample-Importance-Resample SIR. Los resultados sugirieron una disminución de la biomasa conforme se incrementa la tasa de explotación contrario a la captura, la cual crecería al aumentar la tasa de explotación. Una tasa de explotación constante del 55% daría pie a un máximo beneficio para el 2018 con valor de 450 millones de

pesos, lo cual sugirió un incremento del 4% de capturas de 2015 a 2018 manteniendo una biomasa de 24,360 t que corresponde al 52% de K. Los resultados de este estudio no muestran una tendencia actualizada debido a la falta de datos, pero sirven para dar una tendencia general de la pesquería además contribuye en incrementar la información de tipo económico para proporcionar asesoramiento científico adicional para la gestión de esta pesquería.

## **Abstract**

Given the need to know the health status of the red octopus (*O. maya*) fishery and its bioeconomic impact, an assessment of the stock was carried out with data obtained through commercial landings (catch) and technical reports from INAPESCA (index of absolute abundance), using the Schaefer, Fox and Pella-Tomlinson production models for population dynamics and the maximum likelihood method for estimating the parameters, which were: intrinsic growth rate ( $r$ ), carrying capacity ( $K$ ), initial biomass ( $B_0$ ), asymmetry parameter ( $p$ ) catchability ( $q$ ) and standard error ( $\sigma$ ). Subsequently, the model selection was carried out with the Akaike criterion and the Bayesian information criterion (BIC). The results suggested that the Schaefer model is the one that best fits the observed data. The results show that for 2013 only 44% of the biomass remained, equivalent to 20,782 t. Based on the Schaefer model, the Gordon-Schaefer equilibrium bioeconomic model was developed together with the economic data obtained by interviewing fishermen via the web and by telephone. Three reference points were estimated; **equilibrium point ( $\alpha$ )** with a value of 4,681 vessels, **maximum sustainable income ( $\pi$ )** with a value of 913.3 million pesos reached with an effort of 3,646 vessels and the **maximum sustainable benefit ( $\beta$ )** with a value of 383.8 million pesos achieved with 2,341 boats. Subsequently, a dynamic bioeconomic model was developed that seeks to explain the evolution of the stock and the benefit over time with different management scenarios based on the estimation of the posterior and accumulated distributions of the parameters ( $r$ ,  $K$  and  $q$ ) and the indicators (biomass, capture and profit) at different exploitation rates (from 40% to 70%), to achieve the above, Bayesian methods were used with Markov Monte

Carlo (MCMC) simulations using the Sample-Importance-Resample SIR algorithm. The results suggested a decrease in biomass as the exploitation rate increases, contrary to the capture, which would grow as the exploitation rate increases. A constant exploitation rate of 55% would give rise to a maximum benefit for 2018 with a value of 450 million pesos, which suggested a 4% increase in catches from 2015 to 2018, maintaining a biomass of 24,360 t, which corresponds to 52% de K. The results of this study do not show an updated trend due to lack of data, but they serve to give a general trend of the fishery and contribute to increasing economic information to provide additional scientific advice for the management of this fishery.

## 2. Introducción

A nivel mundial existen 845 especies de cefalópodos descritos hoy en día, alrededor de 200 comprenden la familia *octopodidae*, de la cual proviene casi toda la pesca. Las excepciones son los pulpos gigantes de la familia *Enteroctopodidae* y los pulpos con una sola columna de ventosas a lo largo de cada brazo, que comprenden la familia *Eledonidae*. Las primeras actividades pesqueras datan de hace 160 mil años en el sur de África y en las últimas seis décadas las poblaciones de cefalópodos se han incrementado debido a su plasticidad adaptativa y a la reducción de sus depredadores por sobrepesca (Sauer et al. 2019).

Los pulpos son capturados de manera dirigida o incidental alrededor del mundo mediante distintos métodos por ejemplo: redes de arrastre donde algunas especies europeas del género *Eledone* son parte de la pesca incidental; trampas con carnada viva para *O. minor*, algunas hechas de polímeros biodegradables; ollas (pots) de diferentes materiales como plástico, barro y cemento comúnmente usadas para *O. americanus* (antes *O. vulgaris*, Avendaño et al. 2020); al garete, que consiste en líneas de pesca con carnada para *E. dofleini* y *O. maya*; buceo libre haciendo uso de ganchos o sustancias como cloro, fuertes soluciones salinas, fluidos de pepinos de mar y peróxido empleadas para *O. cyanea*, *O. Hubbsorum*, *O. insularis* entre otros (Sauer et al. 2019). Por otra parte, a nivel mundial las estrategias de manejo cambian dependiendo la zona y la especie, entre las más comunes está la limitación de embarcaciones, temporadas de veda, longitud mínima de manto, prohibición de químicos y el número de ollas por bote. Entre las estrategias menos utilizadas se encuentra el establecimiento de una cuota de captura (Sauer et al. 2019).

Del 2005-2014 se pescaron 4.8 millones de cefalópodos, 10% pertenecen a los pulpos entre los que destacan la familia *eledonidae* y las especies *Octopus maya* y *O. americanus*. En México en la Península de Yucatán se encuentra la pesquería del pulpo más grande del continente americano y, la tercera a nivel mundial (Sauer et al. 2019). Uno de cada 10 pulpos capturados en el mundo tiene origen en una actividad pesquera mexicana (Agricultura 2019). El 98% de la pesquería de pulpo a nivel nacional proviene de los estados que conforman la Península de Yucatán, de

la cual 80% de lo que se pesca en esta región es de pulpo rojo y el 20% de pulpo patón (Juárez 2016). La pesca de estas especies en la Península de Yucatán se realiza por medio del método del “gareteo” que consiste en colocar en la popa y proa de la embarcación menor una vara llamada “jimba”, de las cuales cuelgan líneas con carnada (jaiba *callinectes sp.*, ocool *Cardisoma armatum* y maxquil *Libinia emarginata* y *L.dubia*); y un plomo, después se coloca la embarcación a la deriva por un tiempo que varía de acuerdo a las condiciones del clima y abundancia de la captura, revisando cada línea con un pequeño tirón tratando de identificar aquellas que tengan un incremento de peso debido a que el pulpo ha capturado la carnada. Cuando esto ocurre se recupera la línea y se recolecta la captura. Se considera un método sostenible debido a que permite hacer una selección de las presas con talla legal. Asimismo, por la conducta de las hembras, las cuales no se alimentan cuando están cuidando sus puestas de huevos, evitan ser capturadas al no ser atraídas por la carnada. Este método de extracción necesita de condiciones de viento y corrientes (superficiales y de fondo) adecuadas para hacer más eficiente la captura (Blancas 2012).

La pesquería del pulpo rojo genera cerca de 15,000 empleos directos y una derrama económica anual de alrededor de 360 millones de pesos en toda la región, la cual se sustenta en la exportación de más de 80% del pulpo capturado, principalmente a los mercados de Europa y Japón (Juárez et al. 2010), su captura se ha convertido en una actividad primaria importante en los estados de Campeche y Yucatán. La industria pesquera en ambos estados basa sus objetivos de captura anuales en el recurso pulpo. Cabe mencionar que no se tienen registros sobre la magnitud de la pesca ilegal. A nivel nacional, la tendencia de la captura de la pesquería de pulpo durante 2010-2014, dados los datos disponibles, es decreciente (DOF 2014), en especial para el pulpo rojo. No se han publicado datos de desembarco oficiales del pulpo rojo desde hace 6 años.

La administración de este recurso pesquero está regulada por la siguiente normatividad e instrumentos de política:

- 1) **NOM-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, dónde se establece la talla mínima de captura: 110 mm de longitud de manto además de los equipos y métodos de pesca: a) Una embarcación menor equipada con un motor fuera de borda con una potencia nominal máxima de hasta 85.76 kilovatios (equivalentes a 115 caballos de fuerza), con un máximo de dos alijos y cuatro pescadores. Captura al "gareteo" con dos varas con hasta siete líneas cada una y hasta cinco líneas más en un costado de la embarcación y b) Una embarcación mayor con hasta 12 alijos y 12 pescadores (un alijo por pescador a bordo), en cada alijo, un par de varas ("jimbas") y cinco líneas pulperas (DOF 2016).
- 2) **NOM-009-PESC1993** establece las épocas de veda durante el periodo comprendido del 16 de diciembre al 31 de julio de cada año (DOF 1994).
- 3) **Acuerdo** por el que se establece una equivalencia en peso de la talla mínima de captura de 110 milímetros de longitud de manto a 450 gramos de peso entero (DOF 2019).

Además, CONAPESCA, con la asesoría del INAPESCA, se encarga de establecer las cuotas de captura por especie y región para cada temporada de pesca; así como, los límites permisibles de esfuerzo pesquero (Botello et al. 2010).

Es importante resaltar que, aunque se tienen diversas medidas para la protección del recurso, se ha denunciado la falta de vigilancia para el cumplimiento de la normatividad. Por ejemplo, la extracción de pulpo por métodos ilegales como el uso de agentes tóxicos, el incumplimiento de veda y el incumplimiento de la cuota de captura. Un mejor manejo de este recurso requiere análisis para evaluar el estado de salud (la relación que existe entre el último año de biomasa y la capacidad de carga) de la pesquería del pulpo, conocer sus óptimos niveles de explotación, establecer puntos de referencia, reglas de control de la tasa de explotación, e incluir aspectos bioeconómicos para la explotación sostenible del recurso.



Los modelos de producción excedente son una de las herramientas simples utilizada para caracterizar el estado y productividad de un stock pesquero. Este tipo de modelos pueden ser usados para desarrollar modelos bioeconómico. Sin embargo, la mayoría de este tipo de modelos asumen que las poblaciones están en equilibrio, es decir, no se tiene en cuenta el reclutamiento, crecimiento, mortalidad natural, estructura de edad o la interacción con otras especies, lo cual constituye un serio inconveniente a la hora de administrar los recursos ya que poseen un alto grado de incertidumbre y estocasticidad inclusive en una escala de tiempo reducida (FAO 1997). En presencia de pesca la tasa de cambio de la biomasa es igual a:

$$B = P - Y \quad (1)$$

Donde  $P$  es la producción de biomasa;  $Y$  es el rendimiento acumulado desde la cosecha hasta el tiempo ( $t$ ), lo cual muestra que la biomasa incrementa cuando la productividad excede al rendimiento y viceversa ( $P > Y$  por lo tanto  $B > 0$ ). En ausencia de pesca. Cuando la biomasa no cambia ( $\Delta B = 0$ ), se dice que el stock **está en equilibrio**:

$$\int_0^{Y^*} dY = \int_0^t P(B^*) dt \quad (2)$$

debido a que la productividad latente de equilibrio,  $P(B^*)$ , es constante en función del tiempo,  $t$ . Si el tiempo se mide en unidades anuales, entonces para un período de un año ( $t = 1$ ), de aquí surge el concepto importante de que la producción excedente anual (la integral de la productividad) puede tomarse como rendimiento de equilibrio a través de la cosecha (Quinn y Deriso 1999). Un manejo pesquero con un enfoque holístico requiere realizar estimaciones y predicciones de los posibles impactos bioeconómicos en pesquerías sujetas a diferentes regímenes de explotación, por lo cual es necesario modelar estos sistemas desde el punto de vista dinámico (FAO 1997).

En el presente proyecto, para la construcción del modelo bioeconómico se desecha este supuesto de equilibrio, es decir la biomasa del pulpo rojo no permanece constante y responde a cambios en el esfuerzo pesquero repercutiendo en los

ingresos netos. Es decir, el modelo bioeconómico dinámico, la población se recuperará inmediatamente como respuesta a la reducción del esfuerzo, por el contrario, la abundancia decrece al aumentar el esfuerzo; en el modelo los costos totales son proporcionales al esfuerzo y el beneficio económico se estima como resultado de los ingresos y los costos totales para diferentes escenarios de mortalidad por pesca. El modelo bioeconómico dinámico toma en cuenta distintos tipos de incertidumbre en un marco estadístico Bayesiano en el cual se explora las posibles consecuencias de distintos niveles de explotación en la dinámica poblacional de la especie y en el ámbito económico de la explotación del recurso pesquero en un corto y mediano plazo. Los resultados producidos por el modelo bioeconómico aportarán información complementaria para asegurar la explotación sostenible del recurso.

### 3. Antecedentes

#### 3.1 Aspectos generales de la especie

El pulpo rojo es una especie endémica de la zona costera de la Península de Yucatán. Es un organismo carnívoro y se le considera un consumidor secundario, se alimenta básicamente de invertebrados principalmente crustáceos y algunos caracoles (Albarrán 2010). Es una especie con crecimiento rápido y ciclo de vida corto, su edad máxima es de 18 meses (Hernández y De Jesús 2010). Su reproducción es continua con mayor intensidad a finales de año, sus huevos son de 17 mm de largo y 4.5 mm de ancho, piriformes y de color blanco lechoso cuando son recién depositados. Su número por puesta oscila entre 1,500 y 2,000. 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 generalmente muere por inanición y éstos desarrollan vida independiente como depredadores. Las crías son de desarrollo directo, al eclosionar poseen todas las características anatómicas y conductuales propias de un pulpo adulto e incluso responden a los estímulos de coloración, textura de piel, expulsión de la tinta cuando son irritados; además de adoptar la vida béntica casi de inmediato (Solís y Chávez 1985). El mero (*Epinephelus morio*) es el depredador más importante del pulpo, dado que el mero ha disminuido sensiblemente su abundancia, se supone un efecto favorable para el crecimiento de la población de pulpo (FAO 2018) y viceversa, al tener una sobre explotación del pulpo crearía un impacto directo a la pesquería del mero.

El pulpo rojo habita en aguas someras de la plataforma continental de Yucatán a una profundidad máxima de 60m. Su hábitat principal son las zonas dónde pueden encontrar cuevas para desovar y esconderse de los depredadores. Ocupan fondos lodosos o calcáreos, también pueden ser encontrados en las praderas de pastos marinos formados principalmente por *Thalassia testudinum*, en conchas vacías de moluscos gasterópodos (*Strombus gigas*, *S. costatus* y *Pleuroploca gigantea*), y cuevas existentes en la loza cárstica del fondo o entré rocas coralinas (Cruz 2010).

## 3.2 Pesquería

El aprovechamiento de pulpo en el Golfo de México y Mar Caribe tiene su origen en el puerto de Campeche, Campeche, a partir de 1949. En 1970, a consecuencia del decremento de la captura en ese estado, los pescadores incursionan en aguas próximas a Celestún y es así como se integra Yucatán e inicia la explotación formal de la especie *O. maya* (Botello et al. 2010). El pulpo rojo al ser una especie costera es explotada con mayor intensidad por la flota artesanal (flota menor), mientras que la flota mayor, gracias a su mayor autonomía, tiene como objetivo la población del pulpo patón que habita en aguas más profundas (Salas et al. 2008). Por sus volúmenes de producción, constituye el primer recurso pesquero en términos económicos y el segundo en volúmenes de captura, misma que recae principalmente en las especies de pulpo rojo y pulpo patón, situándose entre las pesquerías de octópodos con mayor potencial mundial. De acuerdo con los volúmenes de producción anuales, Yucatán es la entidad con la mayor producción en la Península, seguida de Campeche y finalmente Quintana Roo (Botello et al. 2010).

El padrón de usuarios para la captura del pulpo de 2017 en la carta nacional pesquera reporta para Campeche: 379 permisionarios con 10 embarcaciones de mediana altura y 1,749 embarcaciones menores y 5,000 pescadores. Yucatán: 70 permisionarios con 385 embarcaciones de mediana altura y 220 permisionarios con 3,372 embarcaciones menores, 12,000 pescadores. Quintana Roo: 18 permisionarios con 323 embarcaciones menores, 690 pescadores (DOF 2018).

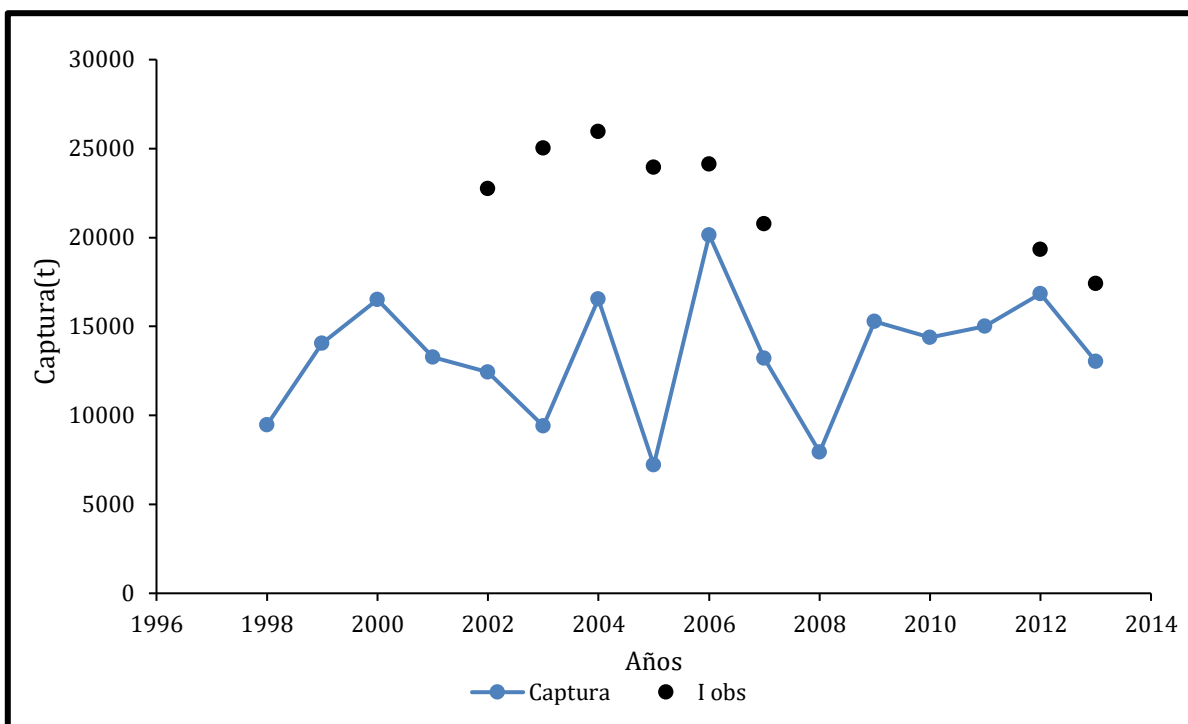
### 3.2.1 Datos pesqueros

La captura anual del pulpo rojo se caracteriza por tener amplias fluctuaciones (**Figura 1**), la captura mínima se registró en el 2005 con 7,206 t, mientras que su máximo fue al año siguiente con 20,138 t. Con un promedio de  $13,418 \pm 878$  t para el periodo de estudio. Es de suma importancia mencionar que en la mayoría de los años la cuota de captura no se ha respetado; por ejemplo, en el año 2009 se estableció una cuota de 8,195 t y se pescaron 15,289 t esto es 86.5% más de lo

estimado, los únicos años en los que se ha respetado esta norma han sido: 2002, 2003, 2005 y 2008. Para frenar la pesca ilegal, muestra claramente una falta de inspección y vigilancia, además de sanciones (FAO 2018).

Actualmente en la pesca ilegal se usan métodos de pesca prohibidos y agresivos para el medio ambiente uno de ellos consiste en la aplicación de cloro y ácidos en las cuevas para que salga la hembra y así capturarla, terminan también matando a los huevecillos y contaminado el agua, hecho reportado por la comunidad yucateca anunciado en diversos periódicos como la Jornada y el Universal en 2008, *“habría que realizar un estudio de calidad de agua además de vigilancia pesquera honesta, ya que a pesar de las denuncias, las autoridades dicen que hacen operativos, pero no ocurren, mientras las embarcaciones colocan su equipo para capturar pero en realidad están buceando, solo es la pantalla”*, manifestó Matos (2018).

Las bajas capturas pueden deberse a marea roja (Blancas et al. 2012), esfuerzo pesquero, variaciones en las condiciones oceanográficas y fluctuaciones del mercado. Los efectos atmosféricos han mostrado una fuerte influencia en las capturas del molusco, las cuales se han incrementado después del impacto de huracanes en la región (Salas et al. 2008). Por otra parte, el Índice de abundancia absoluta está disponible únicamente para los años 2002-2008 y 2012-2013, el índice aumenta del 2002 al 2004, y comienza a disminuir en 2005, se muestra una marcada reducción para el 2013 (17,400 t) en comparación con el pico más alto en el 2004 con 25,944 t.



**Figura 1.** Tendencia temporal de la captura del pulpo rojo (1998-2013) y del índice de abundancia absoluto observado (2002-2007, 2012-2013) en la Península de Yucatán; I obs - índice de biomasa absoluto observado.

### 3.2.2 Investigaciones previas

El instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) ha realizado diversos trabajos de investigación sobre la pesquería del pulpo rojo. Estas investigaciones tratan sobre métodos de pesca, regulaciones y manejo, mejoras e implementación de su pesquería; así como, dictámenes técnicos realizados por INP (2002-2007) y el INAPESCA (2008, 2011-2013).

Solís y Chávez (1985) realizaron una evaluación y analizaron un régimen óptimo de pesca del pulpo en la Península de Yucatán, con datos de desembarques de Yucatán y Campeche en 1980, analizaron datos biológicos y económicos obtenidos de entrevistas a pescadores y permisionarios los cuales permitieron hacer una estimación de la relación Beneficio/Costo. Los datos correspondían a una muestra de 67 embarcaciones. Desarrollaron un diagnóstico de la pesquería con el modelo

de Beverton y Holt el cual indicó que el rendimiento máximo sostenible para esta población corresponde a 4,500 t. Llegaron a la conclusión de que se tiene un estado de sobreexplotación del recurso.

Arreguín y colaboradores (2000) utilizaron datos estructurados de captura de las flotas artesanales para realizar un análisis de la dinámica poblacional, se asumió que los pulpos crecen según la ecuación de Von Bertalanffy, éstos se estimaron por medio del método ELEFAN I como se proporciona en el programa FiSAT, además realizaron un análisis del estado actual de la explotación, por el método de Thompson y Bell. Sus resultados sugieren una explotación intensiva, la población está siendo explotada por debajo de su límite biológico máximo aceptable. Una reducción del 20% en la mortalidad por pesca puede proporcionar mayores rendimientos.

Salas et al. (2008) colectaron información en campo y estadísticas pesqueras para aplicar indicadores asociados a las operaciones de pesca a fin de evaluar la efectividad de las medidas de regulación para la pesquería. Sus resultados muestran que al menos dos de las medidas de regulación existentes no son cumplidas (cuotas de captura y talla mínima de captura); además, el uso de gancho para la pesca del pulpo e incluso en ocasiones el uso de cloro para la extracción del animal de su refugio ha sido reportado por algunos pescadores. Esto deja a la veda como única medida que se respeta al menos en el estado de Yucatán con múltiples implicaciones en la sustentabilidad de la pesquería. Tres flotas inciden sobre la pesca de pulpo rojo: flota mayor que incide en organismos de tallas medianas y grandes, la menor lo hace sobre un amplio rango de tallas, aunque con alta incidencia en animales pequeños, mientras que la de mediana altura lo hace sobre un rango de tallas que abarca a las dos anteriores. El efecto combinado de las tres flotas podría enmascarar tendencias que tendrían repercusiones a mediano y largo plazo. La captura por unidad de esfuerzo en los tres casos varía entre 14, 18 y 23 Kg/alijo/día para embarcaciones artesanal, medianas y mayores respectivamente resultando hasta la fecha una pesquería rentable.

Consultores en Ecosistemas (2009) a través de SAGARPA (actualmente SADER-Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) y CONAPESCA implementaron el “Programa maestro de pulpo en el estado de Yucatán” donde abordaron diversos temas, entre los que destacan la exportación del pulpo, los costos que incurren en esta pesquería, precio de venta, la proyección de datos para llegar a la producción máxima sustentable, y estrategias para su manejo. Los escenarios económicos fueron: evaluación de embarcaciones menores, mayores, centros de acopio y plantas de proceso. Los indicadores económicos para considerar en la evaluación fueron el Valor actual neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR) y Beneficio costo (B/C). La evaluación y exactitud de ajuste se realizó por medio de cuatro métodos de medidas del error: desviación media absoluta, error absoluto porcentual, error cuadrático medio (MSE) y raíz del error cuadrático medio (*RMSE*). Las capturas promedio proyectadas en seis años van de 4,993 t a 9,162 t, la menor presente en el año 2013. La estimación en inversión promedio para embarcaciones menores fue de \$289.2 millones y consideraron dos precios de venta entre los \$39 y \$42 pesos por kilogramo de producto, los ingresos fluctúan entre los \$209.7 millones y \$357.3 millones de pesos y con la cantidad actual de usuarios los costos de producción varían entre los \$188.7 y \$269 millones de pesos. Los mayores costos de producción correspondieron a los gastos en salarios que representan un 43% del total de costos. Con estos resultados el análisis económico-financiero indica que, a este nivel de capital invertido, la rentabilidad a largo plazo es negativa.

Jurado-Molina (2010) usó el índice de abundancia estimado por el INAPESCA (antes INP) para llevar a cabo una valoración del stock y un análisis de decisión usando el modelo de Schaefer (1954). Aplicó un enfoque Bayesiano para la estimación de los parámetros de un modelo de producción para proyectar la población de esta especie bajo escenarios de manejo con una tasa de explotación constante y un error de implementación. Los resultados sugirieron que la población podría estar sobreexplotada y que podría ser necesario un plan de reconstrucción del recurso, una tasa de explotación del 30% incrementaría la esperanza de la captura en 2018, mientras que una mayor tasa de explotación podría producir una tendencia decreciente en la biomasa.



Gómez (2016) hizo una comparación económica entre la pesca del pulpo en Chile (*E. megalocyathus*) y (pulpo rojo) en México, para analizar qué país tiene un mejor escenario de rentabilidad y productividad. Realizaron entrevistas a pescadores para conocer las principales características de la pesquería, se realizaron proyecciones futuras de la captura para obtener una “demanda” observada y usarla posteriormente en el análisis de rendimiento económico. Llegaron a la conclusión de que ambos países poseen escenarios favorables para continuar con la actividad, donde México tiene un mayor Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno. Lo cual se debe a que, este país posee un mayor volumen de equipos e infraestructuras. Pero Chile, posee mayor productividad cercana a los 13.3 kg/h, mientras que México solo 4.8 kg/h.

Aburto (2018) comparó tres modelos de dinámica de biomasa: Schaefer, Pella-Thomlinson y Fox, estimó cuatro parámetros en total ( $K$ ,  $r$ ,  $p$  y  $\sigma$ ), y seleccionó el mejor modelo con el índice de Akaike, el resultado fue el modelo de Schaefer con una biomasa inicial del 65%,  $K$  de 47,449,  $r$  de 1.24, y  $\sigma$  de 0.0003. Aplicó tres encuestas a pescadores de cooperativas para la obtención de datos económicos, enfocándose en la obtención del costo total por temporada. Con el modelo seleccionado desarrolló un modelo bioeconómico en equilibrio el cual sugiere que la pesquería se encuentra cerca del equilibrio económico.

### **3.3 Bioeconomía pesquera en otras especies**

Cabe mencionar que en cuanto a modelos bioeconómicos, son pocos los trabajos realizados para el pulpo rojo, a continuación, se presenta información sobre este tema:

Aliaga et al. (2001) realizaron un Análisis bioeconómico de la pesquería de sardina (*Sardinops sagax*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona norte de Chile, integraron información biológico-pesquera y económica al modelo Gordon-Schaefer. Realizaron encuestas para la obtención de datos económicos, tomaron en cuenta el salario fijo y variable (primas de pesca), los costos intermedios (combustible e insumos) y la depreciación. Los puntos de referencia biológicos y económicos determinados con el modelo Gordon-Schaefer, mostraron que la flota

operó utilizando un esfuerzo mayor al correspondiente en el punto de máximo rendimiento económico y en el punto de equilibrio, en tanto que las capturas sobrepasaron el Máximo Rendimiento Sustentable.

Barreto et al. (2014) realizaron un estudio bioeconómico de las pesquerías de camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) del Pacífico Colombiano con información de captura y esfuerzo 49 años, complementados con información de talla y peso que permitieron utilizar modelos de producción excedente y bioeconómicos de Gordon-Schaefer. Sus resultados determinaron que el recurso está siendo sometido a un sobreesfuerzo lo cual ha obligado a la realización de diferentes periodos de veda. El máximo rendimiento sostenible fue de 808 t con un esfuerzo correspondiente de 54 embarcaciones/año, el máximo rendimiento económico de 760 t con un esfuerzo correspondiente de 41 embarcaciones/año, los cuales ya habían sobrepasado sus niveles registrados de capturas anuales que no superaron las 200 t/año.

Urías et al. (2019) hicieron un análisis bioeconómico de la pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el noroeste de México, usaron datos oficiales de capturas anuales de 1974-2012 y de esfuerzo pesquero de 2010-2012 para pangas y barcos. Utilizaron el modelo de Schaefer para el ajuste de la dinámica poblacional. Los costos de operación y precios de venta del producto fueron obtenidos mediante entrevistas con productores pesqueros de la región. Como resultado: el esfuerzo aplicado en 2012 estuvo cerca del esfuerzo necesario para obtener el máximo rendimiento económico en ambas flotas, y el esfuerzo total autorizado fue operando en condiciones económicas subóptimas entre el esfuerzo en el máximo rendimiento económico y el esfuerzo en equilibrio bioeconómico, se alcanzó un equilibrio poblacional en 34% de K. Estos autores llegaron a la conclusión de que la biomasa estimada debió estar más baja que la pronosticada por el modelo biológico de 19%, lo que implica que se pudo haber llegado al esfuerzo del máximo rendimiento económico de las pangas, en un nivel de biomasa de riesgo para el stock.

Rodríguez (2019) presentó el análisis de un modelo bioeconómico de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*). Su objetivo fue analizar si sus actuales atributos

poblacionales permiten la reapertura de la pesquería. Mediante el modelo bioeconómico de Schaefer se evaluó el efecto de la pesca ilegal sobre el tiempo de recuperación de dicha especie y las potenciales pérdidas económicas que esto podría producir, además, se analizaron diferentes escenarios del estado de su población. Como resultado el máximo rendimiento económico se alcanzó capturando 583 t con 178 embarcaciones con un rendimiento de \$6,077 millones de dólares. En el peor escenario la pesca ilegal podría provocar que la moratoria (Cese de las actividades pesqueras) se ampliara hasta 35 años cuando se alcanzara la biomasa necesaria para reanudar las actividades de pesca.

#### 4. Justificación e importancia

La pesquería de pulpo es una de las más importantes del país en el litoral del Golfo de México y Mar Caribe, donde es la primera en cuanto a volumen y la segunda en valor comercial. Este recurso impulsa la economía principalmente en los estados de Yucatán y Campeche, cada temporada de captura aproximadamente 90% de la población pesquera se dedica a esta actividad. Estas especies además de ser consumidas localmente se distribuyen al mercado nacional y se afirma que existe alta demanda de ambas especies (pulpo rojo y patón) en mercados internacionales como Japón y España (Salas et al. 2008).

La pesquería del pulpo contribuye a la seguridad alimentaria del país, es parte de la dieta de muchos mexicanos porque es una fuente rica de vitaminas B3 y B12, además de potasio, yodo, selenio, calcio, sodio, fósforo y gran cantidad de proteínas que ayudan al buen mantenimiento de la piel, músculos, cabello y uñas (SIAP, 2016).

Actualmente se tiene poca información de esta pesquería, entre la cual se destaca el estado de salud del pulpo y la rentabilidad de la pesquería. Los últimos datos oficiales de la pesquería son hasta el 2013, estos reflejan que la producción de pulpo en la Península de Yucatán no es constante, su captura fluctúa entre 9 mil y 24 mil toneladas (DOF 2014). El carácter renovable de las poblaciones, la estructura institucional de propiedad de estos recursos y la existencia de efectos externos en la utilización de los mismos, entre otros factores, han propiciado el desarrollo de un instrumento teórico específico para el análisis de explotaciones pesqueras, los denominados modelos bioeconómicos; los cuales son fundamentales para determinar las trayectorias óptimas de explotación en forma sostenible maximizando el beneficio condicionado por la restricción biológica del recurso natural (Surís 1992). Una proyección a futuro con diferentes esquemas de explotación ayudará a formar las bases para garantizar la no sobreexplotación del recurso.

## 5. Hipótesis

La pesquería del pulpo rojo se encuentra cerca de un nivel de sobreexplotación ya que sus puntos de referencia sugieren que se encuentran por debajo del equilibrio económico, el esfuerzo pesquero es mayor al que podría soportar la pesquería, por lo cual no hay un beneficio favorable. A corto plazo una tasa de explotación menor a la sugerida por las autoridades (50%) incrementará considerablemente la biomasa y con ello la captura y probablemente el beneficio.

Para abordar la hipótesis planteada se responderán las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el estado de salud (relación del último año de biomasa y la capacidad de carga “K”) de la pesquería del pulpo rojo?
- Bajo condiciones de equilibrio ¿cuál es el esfuerzo necesario para obtener el máximo beneficio económico y el máximo ingreso sostenible?
- Al plantear escenarios con diferentes tasas de explotación ¿cuál asegura una explotación sustentable del pulpo rojo?

## 6. Objetivo general

Evaluar el estado de salud de la pesquería de *Octopus maya* hasta el 2013 y los aspectos bioeconómicos bajo condiciones de equilibrio y de tipo dinámico, para evaluar los efectos a corto y mediano plazo bajo diferentes escenarios de explotación.

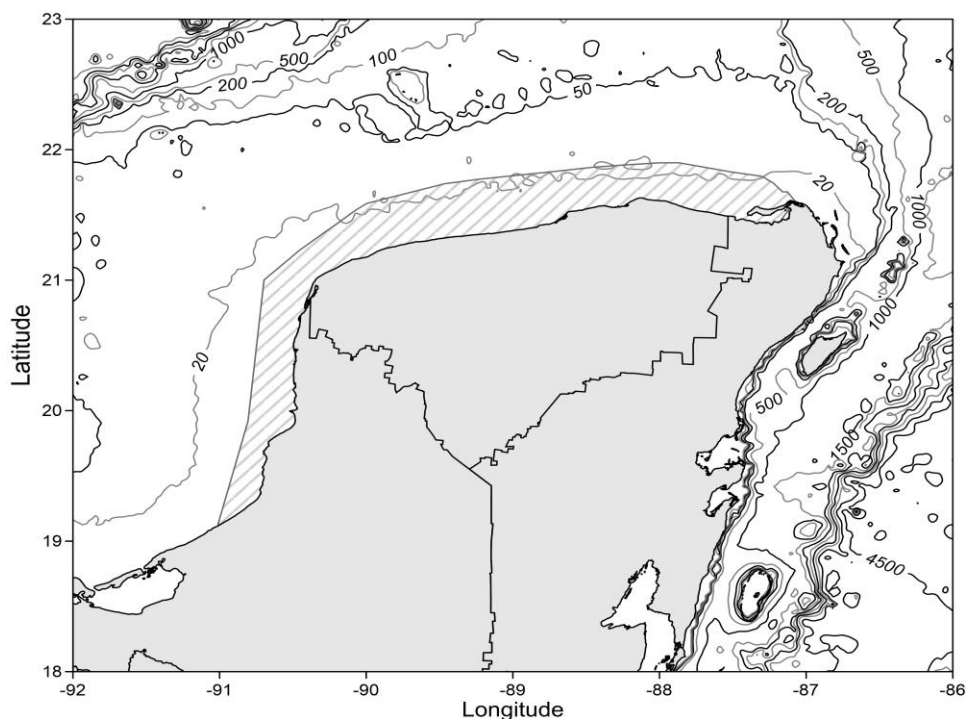
### 6.1 Objetivos específicos

- Determinar el modelo que mejor se ajuste a los datos observados del índice de abundancia absoluta.
- Determinar el estado de salud del pulpo rojo hasta el año 2013.
- Desarrollar un modelo bioeconómico en equilibrio que permita conocer el esfuerzo asociado a los distintos puntos de referencia económica: máximo beneficio económico ( $\beta$ ), máximo ingreso sostenible ( $\pi$ ), equilibrio económico ( $\alpha$ ).
- Desarrollar un modelo bioeconómico dinámico para calcular las distribuciones posteriores de biomasa, captura y beneficio económico.
- Determinar el impacto de distintos niveles de mortalidad por pesca en los indicadores de sostenibilidad y económicos.
- Sentar las bases para proporcionar asesoramiento científico para la gestión de esta pesquería.

## 7. Materiales y Métodos

### 7.1 Área de estudio

La pesquería de pulpo rojo se desarrolla en la Península de Yucatán que incluye los estados de Campeche, Yucatán y el litoral Norte del estado de Quintana Roo (**Figura 2**). La pesquería opera hasta una profundidad de 60m, entre los 19° y los 23° de Latitud Norte y entre los 87° y los 91° de Longitud Oeste (DOF 2014).



**Figura 2.** Área de captura del pulpo rojo (achurado con líneas grises) en la Península de Yucatán.

### 7.2 Obtención de datos

Para desarrollar los modelos de producción excedente, se usaron datos de captura de la pesquería comercial del pulpo rojo en la Península de Yucatán de 1998 a 2013, y las estimaciones del índice de abundancia absoluta desarrollada por el INAPESCA (INP 2002-2007; INAPESCA 2008; 2011-2013) (**Figura 1**). Las estimaciones de abundancia absoluta realizadas por el INAPESCA (2008) se hicieron con datos obtenidos en campañas de muestreo, donde se realizaron recorridos en transectos

lineales por medio del buceo autónomo y la estimación de la biomasa se llevó a cabo usando el método de la distancia (Buckland et al. 1993) antes de la temporada de pesca.

### 7.2.1 Datos económicos

Los datos económicos se determinaron a partir de encuestas anónimas con 20 preguntas abiertas (Ver anexo 1), esta se subió a la web por medio de los formularios de Google, se compartió con un enlace en la plataforma de Facebook con diversos grupos de pesca de Campeche y Yucatán de agosto de 2021 a febrero 2022 en el cual se pedía a la comunidad apoyo para la investigación. Dos interesados se contactaron por mensaje privado para mostrar su interés en participar y proporcionaron sus números telefónicos y así aplicar la encuesta ya que no contaban con internet.

Una vez obtenidos los datos se determinó el promedio de las siguientes variables: costo total por temporada (se consideraron 19.5 semanas), toneladas pescadas por temporada, costo por tonelada y precio por tonelada; así como, el error estándar de las últimas dos para ser usadas en las distribuciones normales a priori. Se eliminaron valores extremos de costos y precios.

### 7.3 Modelos de producción excedente

Para analizar la dinámica poblacional del pulpo rojo en la Península de Yucatán, se aplicaron tres modelos de producción excedente. El primer modelo, el modelo de Schaefer (1954), es una de las herramientas más simples utilizada para caracterizar el estado y productividad de una población de peces (Hilborn y Walters 1992):

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



Donde  $B_t$  es la biomasa en el año  $t$ ,  $r$  es la tasa intrínseca de crecimiento,  $K$  es la capacidad de carga poblacional y  $C_t$  es la captura comercial en el año  $t$ . Se supuso que la población inicial en 1998 ( $B_0$ ) era un porcentaje de la capacidad de carga.

Otro modelo de producción que se usó fue el modelo de Fox (1970) que está descrito por:

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

Y finalmente el modelo de Pella-Tomlinson (1969) cuya ecuación es:

$$B_{t+1} = B_t + \frac{r}{p} B_t \left(1 - \left(\frac{B}{K}\right)^p\right) - C_t \quad (4)$$

Dónde  $p$  es el parámetro de forma. El modelo de Pella-Tomlinson es equivalente al de Schaefer con  $p=1$ , y el modelo de Fox es el límite del de Pella-Tomlinson cuando  $p \rightarrow 0$  (Punt y Hilborn 1996). El modelo de Schaefer (1954) y sus derivados (Fox 1970; Pella y Tomlinson 1969), son comparables a aquellos modelos utilizados para el estudio de las relaciones depredador-presa. Éstos últimos consideran a la población como una entidad en la cual la abundancia depende de la acción depredadora ejercida por el hombre (García y Reste 1998).

El ajuste de los modelos a los datos observados del índice de abundancia absoluto determinado por el INAPESCA (2002-2008, 2012-2013) se llevó a cabo asumiendo un error de observación con distribución log-normal, para un año dado  $t$ , el logaritmo negativo de la verosimilitud ( $LL$ ) está dado por (Hilborn y Mangel 1997):

$$LL = \ln(\sigma) + \frac{\ln(2\pi)}{2} + \frac{[\log(I_{est,t}) - \log(I_{obs,t})]^2}{2\sigma^2} \quad (5)$$

El logaritmo negativo total de la verosimilitud es la suma de los  $n$  componentes (número de los datos disponibles del índice de abundancia), el error estándar ( $\sigma$ )

asociado a cada estimación del índice de abundancia no está disponible (2002–2007, 2012-2013,); por consiguiente, se admitió un valor constante para ayudar a reducir el número de parámetros estimados de  $n + 4$  a 5 y hacer el proceso de estimación posible. Debido a que el INAPESCA lleva a cabo las estimaciones del índice de abundancia a mitad del año, el índice de abundancia ( $I^{est}$ ) fue calculado como:

$$I_t^{est} = \hat{q} \frac{(\hat{B}_{t+1} + \hat{B}_t)}{2} \quad (6)$$

Dónde  $\hat{q}$  es el coeficiente de capturabilidad estimado y  $B$  la biomasa estimada con los modelos de producción. El ajuste del modelo se llevó a cabo con la subrutina *optim* del paquete estadístico R (R Core Team 2020). Los parámetros estimados fueron  $r$ ,  $K$ ,  $B_0$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $\sigma$  con sus errores estándar.

### 7.3.1 Selección de modelo

Una vez ajustados los tres modelos se seleccionó el modelo que mejor se ajustó a los datos observados del índice de biomasa absoluto  $I_{obs,t}$ , con el criterio de Akaike (1973) y el criterio de información Bayesiano (BIC) propuesto por Schwarz (1978):

$$AIC = -2 \ln(L_{max}) + 2P \quad (7)$$

$$BIC = -2 \ln(L_{max}) + 2 \ln(n)p \quad (8)$$

Dónde  $L_{max}$  representa el valor máximo de la verosimilitud en cada uno de los modelos,  $n$  representa el número de datos disponibles y  $p$  representa el número de parámetros estimados.

El modelo que mejor se ajustó a los datos observados del índice de abundancia absoluta se usó para desarrollar los modelos bioeconómicos.

## 7.4 Modelos bioeconómicos

### 7.4.1 Modelo bioeconómico en equilibrio

En cuanto a los modelos bioeconómicos, la curva de rendimiento sostenible en función del esfuerzo es la base del modelo económico de Gordon (1954), quien deriva la función de rendimiento e incorpora la componente económica; aborda el problema de los recursos de propiedad común y desarrolla la teoría de acceso abierto. Su principal mérito fue clarificar en términos económicos el concepto de “sobrepesca” en pesquerías no reguladas. Sin embargo, el modelo de Gordon utiliza el supuesto del equilibrio. Donde la biomasa en equilibrio ( $Be$ ) en función del esfuerzo de pesca se deriva del modelo de Schaefer y está dada por:

$$Be = \left(1 - \frac{q^*f}{r}\right)K \quad (9)$$

Donde  $f$  es el esfuerzo pesquero (número de embarcaciones) y  $q^*$  es la capturabilidad de la pesquería. Para un nivel dado de esfuerzo, la población en equilibrio ( $Be$ ) alcanzará un nivel donde la tasa de captura es igual a la de crecimiento. Por tanto, para cada nivel de esfuerzo existirá un nivel de población en equilibrio. Como resultado se tiene una relación inversa entre la población en equilibrio y el esfuerzo pesquero (FAO 1997).

La capturabilidad de la pesquería ( $q^*$ ) se calcula como:

$$q^* = \frac{c}{fB} \quad (10)$$

Donde se usó la captura, el esfuerzo (DOF 2018) y el índice de abundancia (INP 2002-2007; INAPESCA 2008; 2011-2013)) reportados para los años 2002-2008 y 2012-2013. La captura en condiciones de equilibrio ( $Ce$ ) está dada por:

$$Ce = q \times f K \left(1 - \frac{qf}{r}\right) \quad (11)$$

La ecuación (10) representa una parábola, donde la captura (C) para un esfuerzo (f) es denominado rendimiento sostenible, esta curva puede ser considerada como la función de producción de la pesquería en el largo plazo, donde para un nivel dado de esfuerzo “f<sub>1</sub>”, se obtiene un rendimiento “C<sub>1</sub>”, el cual será mayor a medida que el primero se incremente hasta un nivel de máximo rendimiento sostenible (MRS) correspondiente a un nivel dado de esfuerzo, después de este punto, el rendimiento decrece si el esfuerzo aumenta. En este punto, la población ya no podrá reponer las pérdidas por mortalidad, y a medida que la presión de pesca aumente, la captura tenderá a disminuir debido al decremento en la biomasa de la población (FAO 1997).

El modelo bioeconómico de Gordon-Schaefer establece que los ingresos netos ( $\pi$ ) derivado de la actividad pesquera están en función de los ingresos totales (ITS) y los costos totales (CT):

$$\Pi = ITS - CT \quad (12)$$

Los ingresos totales sostenibles (bajo condiciones de equilibrio) se obtienen de la siguiente ecuación:

$$ITS = C_{eq}P^* = q^*fK \left(1 - \frac{qf}{r}\right)P^* \quad (13)$$

donde  $C_{eq}$  es la captura de equilibrio,  $P^*$  es el precio de venta por tonelada, y  $q^*$  es la capturabilidad de la pesquería. El costo total es una función lineal del esfuerzo pesquero, los costos totales quedan como:

$$CT = C_{bar}f \quad (14)$$

Donde  $C_{bar}$  es el costo por embarcación.

Para el modelo bioeconómico de Gordon se definen tres puntos de referencia: el ingreso neto sostenible ( $\pi$ ), el máximo beneficio sostenible ( $\beta$ ), y el punto de equilibrio ( $\alpha$ ) donde los ingresos igualan a los costos. El esfuerzo pesquero para el punto de equilibrio  $\alpha$  es:

$$f_{\alpha} = \frac{r(q^*KP^* - C_{bar})}{q^{*2}KP^*} \quad (15)$$

El esfuerzo pesquero para el máximo ingreso sostenible  $\pi$  se estimó maximizando la ecuación (12):

$$f_{pi} = \frac{r}{2q^*} \quad (16)$$

El esfuerzo pesquero para  $\beta$  requiere maximizar la ecuación (12):

$$f_{\beta} = \frac{r}{2q^*} - \frac{rC_{bar}}{2q^{*2}KP^*} \quad (17)$$

Gordon (1954) pronostica, que el esfuerzo en el equilibrio bioeconómico será el doble del ejercido al nivel de máximo rendimiento económico (MRE).

El modelo bioeconómico de Gordon Schaefer se desarrolló en Excel.

#### 7.4.2 Modelo bioeconómico dinámico

En el presente estudio, se usaron los conceptos bioeconómicos de Gordon-Schaefer, y se incorporaron a una población dinámica fuera del equilibrio para llevar a cabo un análisis de decisión. En la simulación (2014 en adelante) se asumió que a partir del 2014 la captura es igual a la biomasa por la tasa de explotación, mientras que para la determinación de la biomasa se usaron los parámetros estimados por máxima verosimilitud a partir del 2015. El cambio de la tasa de explotación nos permite plantear los distintos escenarios. Dónde el ingreso total por temporada ( $IT$ ) se obtendrá a partir del valor de la captura:

$$IT = C_t P^* = T_e B_t P^*. \quad (18)$$

Donde  $P^*$  es el precio por tonelada,  $B_t$  es la biomasa en el año  $t$  y  $T_e$  representa la tasa de explotación.

El costo total en una temporada ( $CT$ ) está dado por:

$$CT = C_{ton}C_t = C_{ton}T_eB_t \quad (19)$$

Donde  $C_{ton}$  es el costo por tonelada capturada por temporada y  $C_t$  es la captura total por temporada en toneladas.

El beneficio o ingreso neto ( $BEN$ ) está dado por:

$$BEN = IT - CT \quad (20)$$

Desde una perspectiva económica se determinó un indicador relevante: el beneficio o ingreso neto (ec. 20) para los años 2015 y 2018.

La construcción del modelo bioeconómico se desarrolló a partir del modelo de Schaefer que fue seleccionado basado en los criterios de Akaike y el de información Bayesiano. El modelo bioeconómico se desarrolló en un marco de análisis Bayesiano para llevar a cabo la etapa de análisis de decisión. En el análisis de decisión se enfoca en explorar las posibles implicaciones de distintas estrategias de explotación en indicadores de desempeño. En particular, los indicadores de desempeño que se analizaron fueron: la biomasa, captura y beneficio todos en el corto y mediano plazo (2015 y 2018). Cabe mencionar que el análisis Bayesiano es un método de inferencia estadística en el cual se usa el teorema de Bayes, este enfoque brinda una forma sencilla de incorporar información adicional (información a priori) para estimar las distribuciones a posteriori de los parámetros del modelo e indicadores de desempeño. En este marco estadístico, la probabilidad de la hipótesis dados los datos o la distribución de probabilidad posterior que se estimó con la siguiente ecuación (Hilborn y Mangel 1997):

$$Pr\{H_i|datos\} = \frac{L\{datos|H_i\}Priori\{H_i\}}{\int L\{datos|H_j\}Priori\{H_j\}} \quad (21)$$

Donde  $L$  es la verosimilitud de los datos dado la hipótesis y  $Priori$  es la distribución de probabilidad a priori para cada hipótesis que resume todo el conocimiento previo. Debido a la falta de información previa de  $r$  y  $K$  para el pulpo rojo, se decidió utilizar distribuciones uniformes no informativas para esos parámetros. Se asumió  $r \sim U(0.5, 1.7)$ ,  $K \sim U(20,000, 90,000)$  y  $q \sim U(0.30, 1.3)$ . La distribución posterior se

calculó para los parámetros  $K$ ,  $q$ ,  $r$ , y los indicadores de desempeño mencionados anteriormente, estas distribuciones fueron estimadas con simulaciones mediante cadenas de Markov-Monte Carlo (MCMC) mediante el algoritmo Sample-Importance-Resample SIR (McAllister y Ianelli 1997). El algoritmo está basado en el siguiente código:

1. Se obtuvo un vector de parámetros de las distribuciones a priori.
2. Se evaluó la verosimilitud asociada al vector de parámetros y los indicadores de desempeño.
3. El vector de parámetros, los indicadores de desempeño y la verosimilitud se almacenaron.
4. Los pasos 1-3 se repitieron millones de veces para construir una distribución conjunta para el vector de parámetros.

La dinámica poblacional, el criterio de ajuste y el algoritmo SIR se implementaron usando el paquete estadístico R. Se realizaron un total de 250 millones de simulaciones con “quemado” inicial de 100,000 vectores de parámetros. En las simulaciones se tomaron en cuenta la incertidumbre de los parámetros, la incertidumbre de costos y los precios.

## 8. Resultados

### 8.1 Modelos de producción excedente

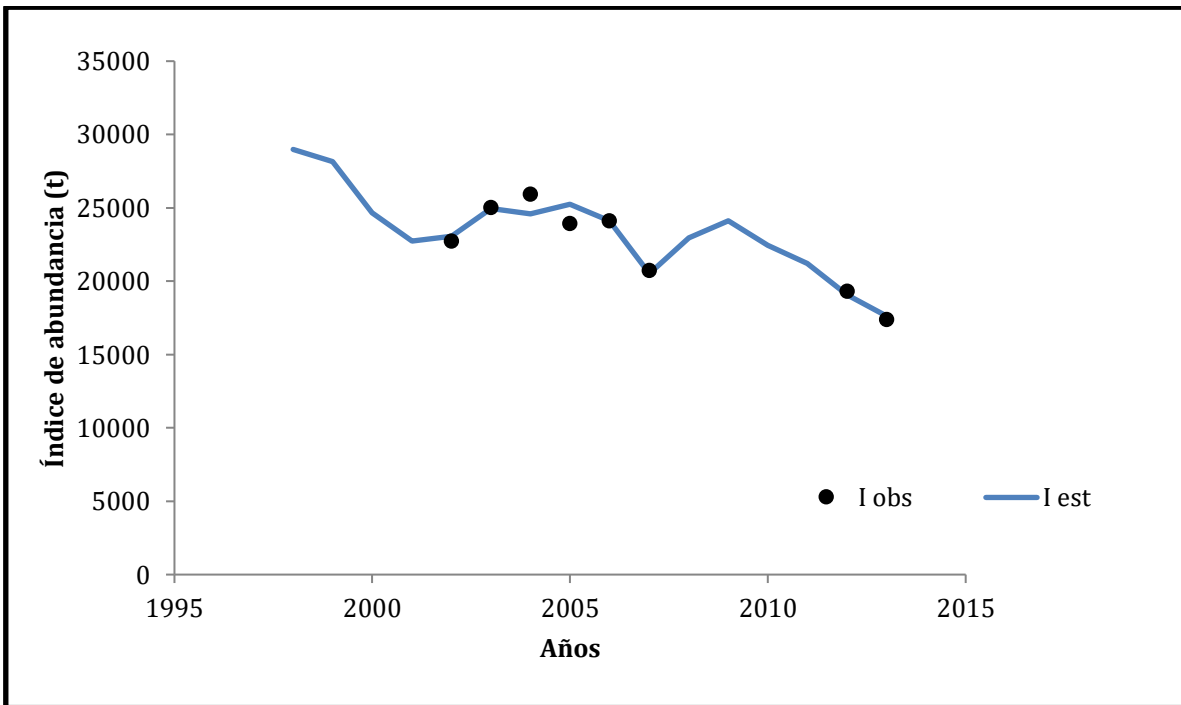
Los tres modelos se ajustaron bien a los datos observados (**Figura 3**, **Figura 4** y **Figura 5**), a continuación, se muestra una tabla con la descripción de sus parámetros (**Tabla 1**). En cuanto a la capacidad de carga ( $K$ ), Pella-Tomlinson y Schaefer tuvieron valores muy similares, mientras que Fox obtuvo una  $K$  mayor, pero una  $r$  menor, seguida de Schaefer y posteriormente Pella-Tomlinson; El porcentaje de la capacidad de carga usado para la población inicial fue mayor en el modelo de Pella-Tomlinson con el 88% y el menor correspondió a Fox con el 62%; El coeficiente de capturabilidad fue mayor para Fox y menor para Pella-Tomlinson, mientras que el

error estándar ( $\sigma$ ) se mostró constante en todos los modelos. Por último, el parámetro de asimetría P obtuvo un valor de  $2.51 \pm 3.49$ .

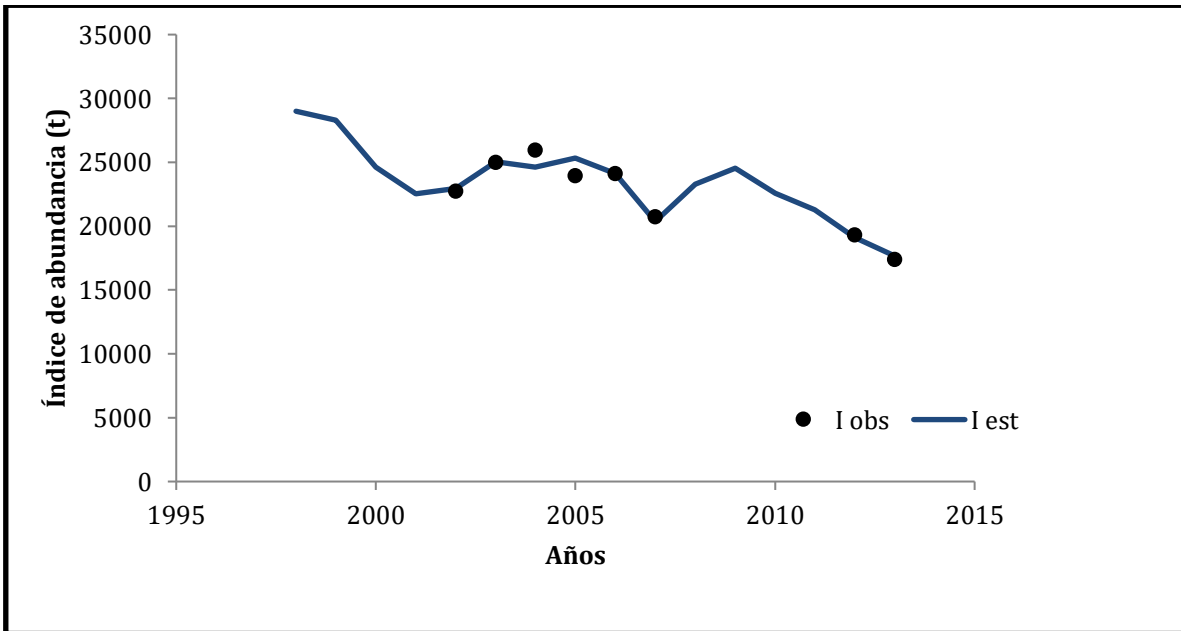
**Tabla 1.** Estimación de los parámetros de los modelos de producción Schaefer, Fox y Pella-Tomlinson para la población del pulpo rojo en la Península de Yucatán por máxima verosimilitud. Donde K, capacidad de carga; r, tasa de crecimiento; %K, biomasa inicial en el año 1998; q, coeficiente de capturabilidad;  $\sigma$ , error estándar; p, término de asimetría para el modelo Pella-Tomlinson.

Parámetro/Modelo	Schaefer	Fox	Pella-Tomlinson
<b>K</b>	$47,282 \pm 6,228$	$49,595 \pm 4,892$	$47,435 \pm 7,538$
<b>r</b>	$1.14 \pm 0.17$	$0.77 \pm 0.09$	$1.61 \pm 1.24$
<b>%K</b>	$0.71 \pm 0.22$	$0.62 \pm 0.16$	$0.88 \pm 0.69$
<b>q</b>	$0.85 \pm 0.11$	$0.92 \pm 0.09$	$0.76 \pm 0.13$
<b><math>\sigma</math></b>	$0.03 \pm 0.01$	$0.03 \pm 0.01$	$0.03 \pm 0.01$
<b>p</b>	-	-	$2.51 \pm 3.49$

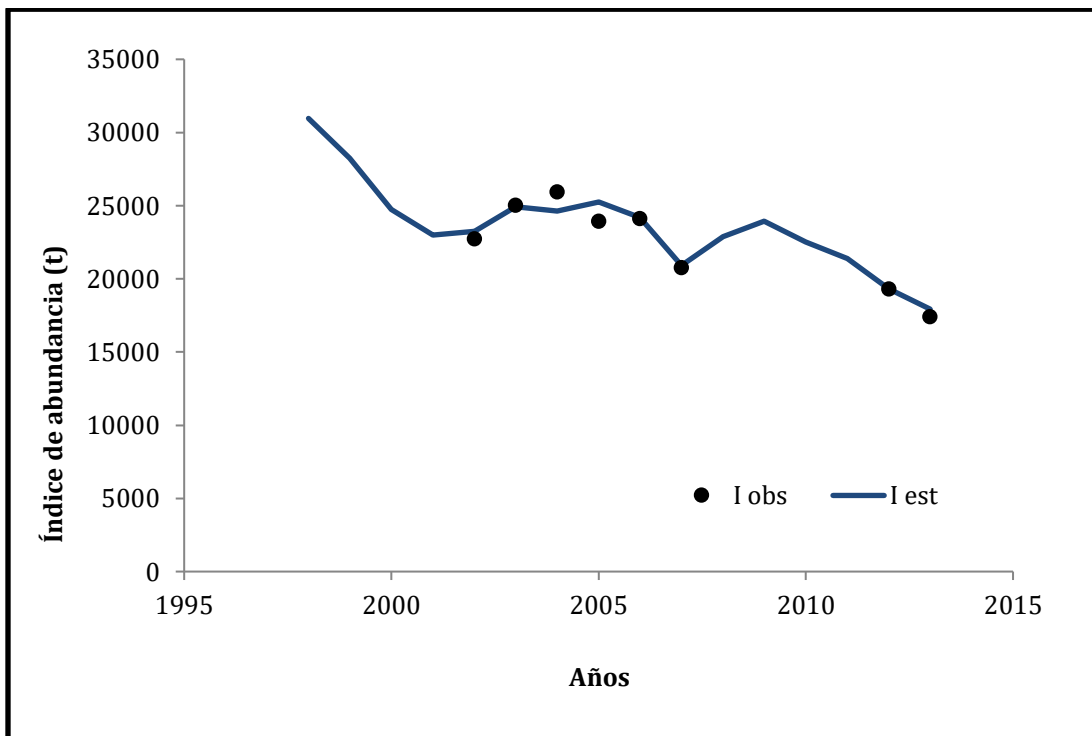




**Figura 3.** Ajuste del modelo de producción excedente de Shaefer para el pulpo rojo capturado en la Península de Yucatán; I obs- índice de abundancia absoluta observada, I est- índice de abundancia absoluta estimada.



**Figura 4.** Ajuste del modelo de producción de Fox para el pulpo rojo capturado en la Península de Yucatán; I obs- índice de abundancia absoluta observada, I est- índice de abundancia absoluta estimada.



**Figura 5.** Ajuste del modelo de producción de Pella-Tomlinson para el pulpo rojo capturado en la Península de Yucatán; I obs- índice de abundancia absoluta observada, I est- índice de abundancia absoluta estimada.

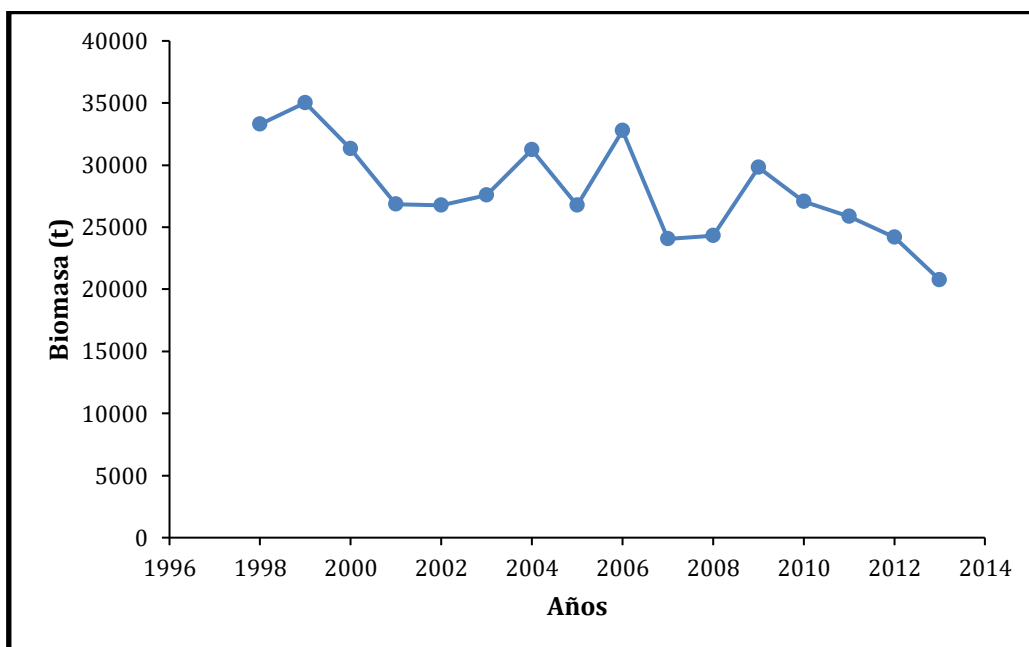
### 8.1.1 Selección del Modelo

Tanto en el criterio de AIC como el BIC, el modelo con el menor valor es el de mejor ajuste, en ambos casos Schaefer resultó ser el mejor, con un AIC de -24.43 y un BIC de -6.70 (**Tabla 1**). Seguidos de Fox y por último Pella-Tomlinson. Por consiguiente, el modelo de Schaefer junto con sus parámetros estimados fueron usados para el desarrollo del modelo bioeconómico.

**Tabla 2.** Criterio de información de Akaike (AIC) y criterio de información Bayesiano (BIC) para los modelos de producción excedente de Schaefer, Fox y Pella-Tomlinson.

Schaefer	Fox	Pella-Tomlinson
	AIC	
-24.43	-23.80	-21.71
	BIC	
-6.70	-6.07	-0.44

La biomasa mostró grandes fluctuaciones, su pico máximo en 1999 con una estimación de 35,019 t. y el mínimo para el año 2013 en el cual se estimó una biomasa de 20,768 t (**Figura 6**) lo cual indica que únicamente permanece el 44% de la capacidad de carga (47,282 t). Un valor precautorio sería mantener la biomasa reproductora a un nivel prudente, es decir por encima del 50% de su nivel sin explotar (FAO 1995). En esta idea se basa la cuota de captura para asegurar la sustentabilidad del recurso.



**Figura 6.** Tendencia temporal de la biomasa del pulpo rojo estimada con el modelo de Schaefer de 1998 a 2013 por el método de máxima verosimilitud.

## 8.2 Modelos bioeconómicos

### 8.2.1 Datos socioeconómicos

- El último grado de estudios del 50% de los pescadores fue la secundaria, 40% preparatoria o equivalente y solo el 10% terminó una licenciatura y tres de

cada diez afirman que la pesca del pulpo no es suficiente para solventar los gastos familiares.

- En promedio, los pescadores pescan seis días por semana, 10 horas diarias.
- Seis de cada 10 no cuenta con permisos de pesca y el 40% no conoce las normas por las que está regulada esta pesquería del pulpo.
- Una vez pasada la temporada del pulpo los pescadores se dedican a la pesca de otros organismos como róbalo, corvina, mero, pargo entre otras.
- Dos de cada 10 ha tenido algún apoyo del gobierno para la pesca del pulpo como vales de descuento en gasolina.

Por otra parte, para estimar el costo por tonelada, se consideraron gastos de carnada, hielo, aceite, combustible, permisos y mantenimiento de embarcación y se eliminaron los datos extremos, considerándose 19.5 semanas por temporada. Los datos económicos totales son mostrados en la **Tabla 3**. Para el modelo económico en equilibrio se utilizó el costo por embarcación por temporada, que fue de \$182,866 MXN y el precio por tonelada que fue de \$69,250 MXN. En promedio se pescaron 10.1 toneladas por embarcación.

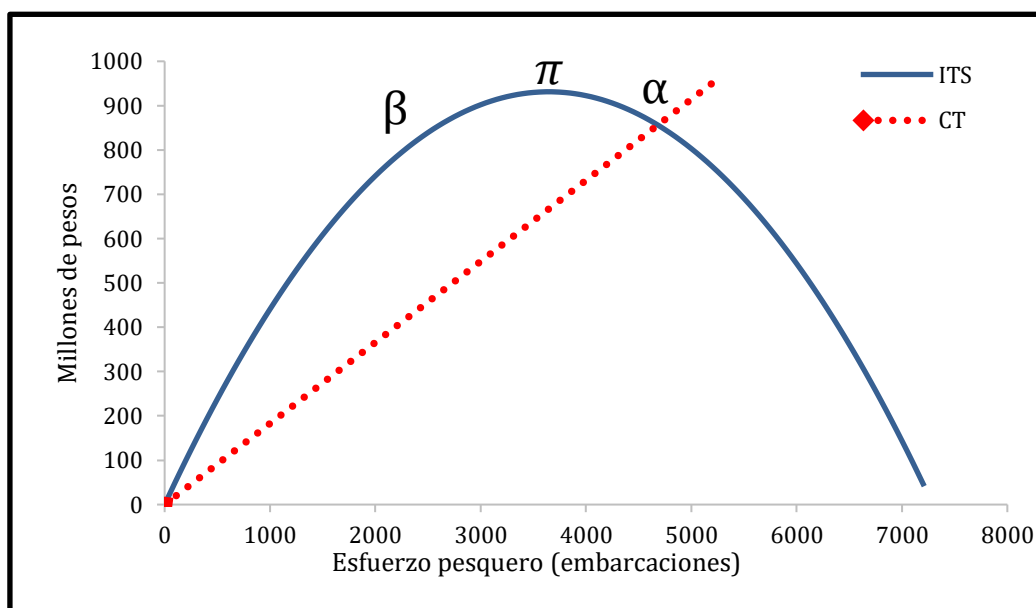
**Tabla 3.** Costo por temporada y tonelada, precios y captura por tonelada del pulpo rojo en la temporada 2020 en MXN. \* Datos alejados de la media.

CONCEPTO/ COOPERATIVA	COSTO TOTAL POR TEMPORADA	TONELADAS PESCADAS POR TEMPORADA	COSTO POR TONELADA	PRECIO POR TONELADA
1	\$246,558	4.5	\$54,791	\$55,000*
2	\$157,100	6	\$26,899	\$55,000*
3	\$234,377	6	\$28,530	\$60,000
4	\$227,950	30	\$30,572	\$60,000
5	\$206,295	18	\$11,569	\$50,000*
6	\$162,850	12	\$13,876	\$35,000*
7	\$395,500	12	\$33,063	\$75,000
8	\$104,575	12	\$30,570	\$70,000
9	\$230,085	18	\$12,937	\$59,000*

10	\$159,830	3	\$54,214	\$75,000
11	\$102,500	6	\$17,08	\$85,000
12	\$50,000	1	\$50,000	\$70,000
13	\$100,000	3	\$33,333	\$120,000*

### 8.3 Modelo en equilibrio

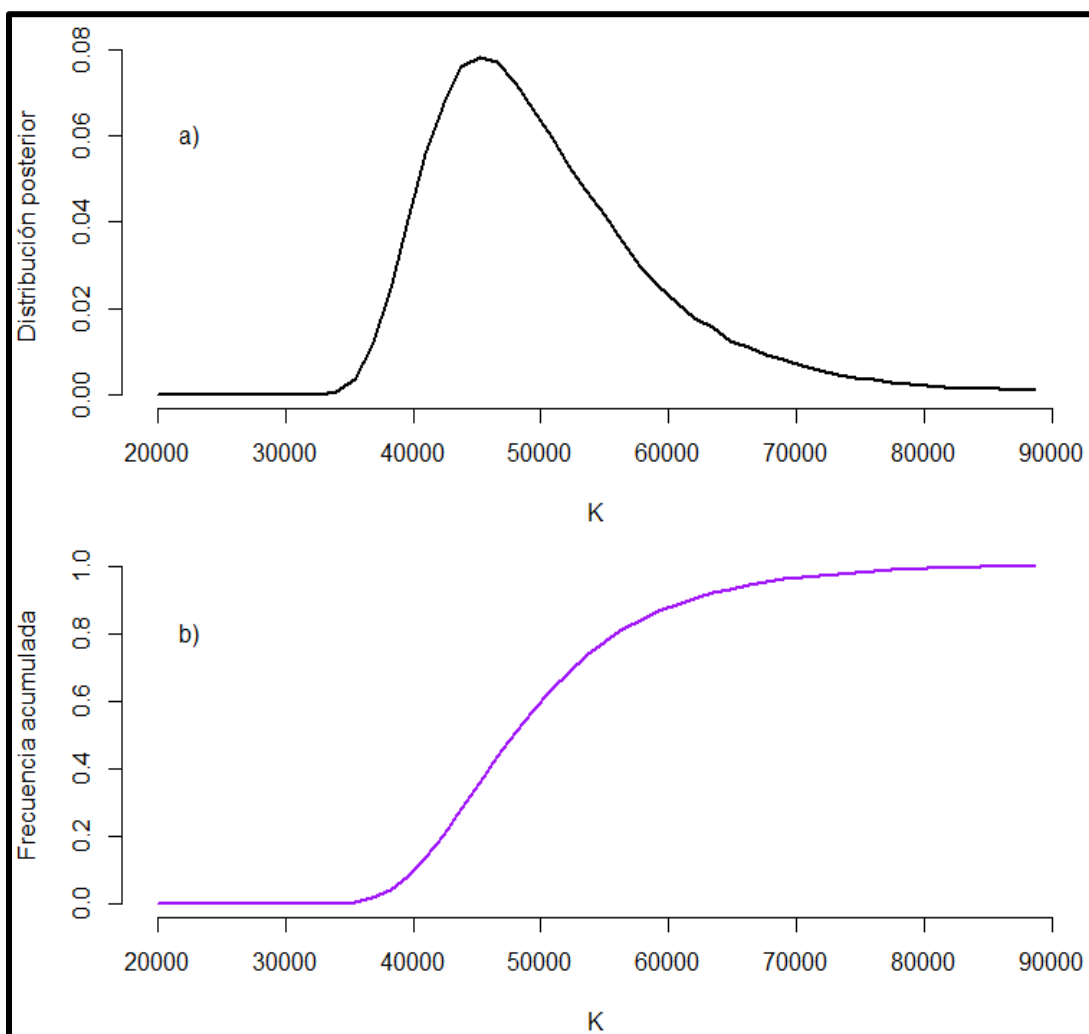
La estimación de  $q^*$  para la flota fue de  $1.56 \times 10^{-4}$ . Los resultados del modelo en equilibrio de Gordon-Schaefer sugirieron que el ingreso neto sostenible ( $\pi$ ) fue de \$913.3 millones de pesos, alcanzado con un esfuerzo pesquero de 3,646 embarcaciones, mientras que el máximo beneficio sostenible ( $\beta$ ) fue de \$383.8 millones de pesos con un esfuerzo pesquero de 2,341 embarcaciones y, el esfuerzo pesquero asociado al punto de equilibrio ( $f_\alpha$ ) fue de 4,681 embarcaciones (*Figura 7*).



**Figura 7.** Modelo bioeconómico en equilibrio del pulpo rojo en la península de Yucatán;  $\alpha$ - equilibrio económico,  $\beta$ -Máximo beneficio sostenible,  $\pi$ - ingreso neto sostenible; ITS-ingreso total sostenible y CT-costos totales.

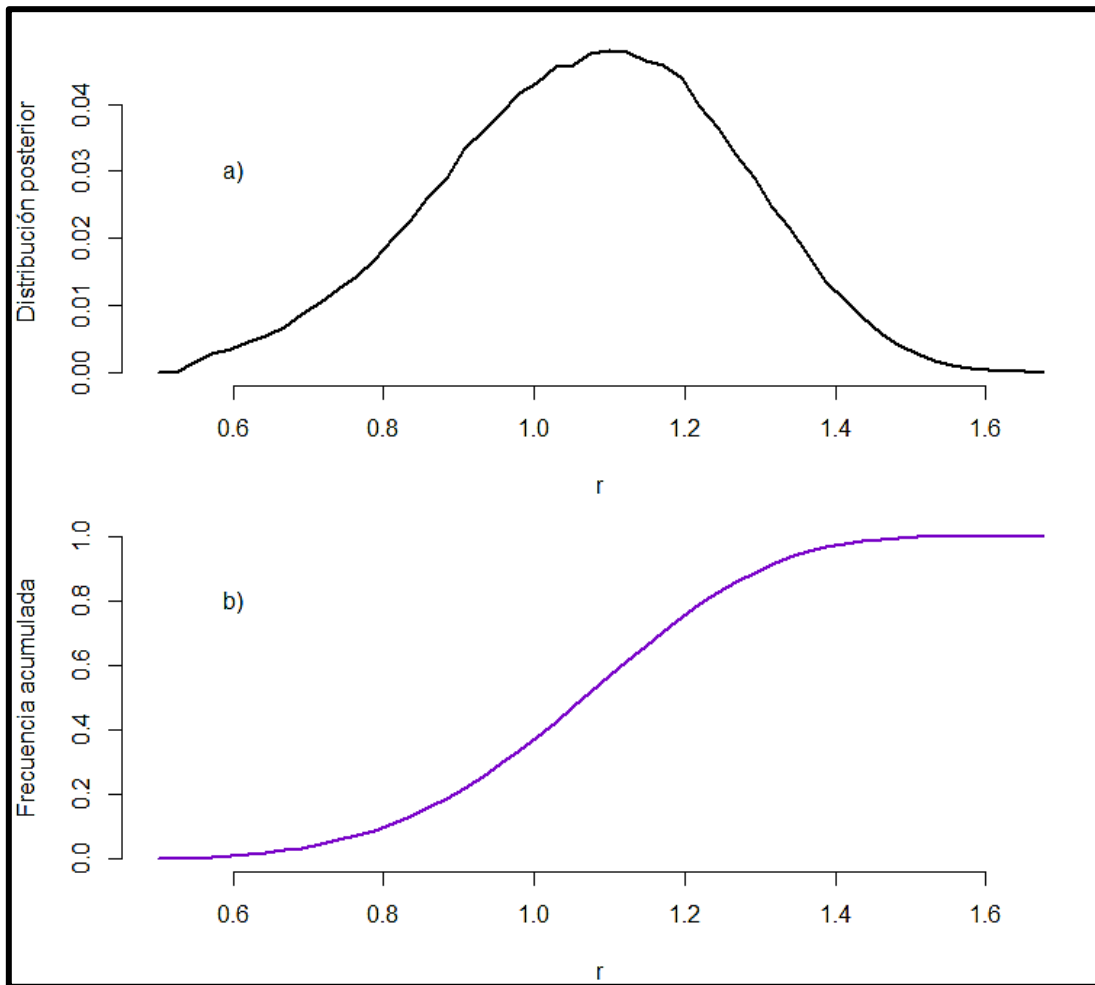
### 8.4 Modelo bioeconómico dinámico

Para la distribución posterior de la capacidad de carga ( $K$ ) se obtuvo un valor de 46,600 t (moda) con un intervalo del 95% de probabilidad de (36,800 73,200) el cual se muestra a continuación en la *Figura 8*. Valor muy similar al estimado por el método de máxima verosimilitud 47,282.



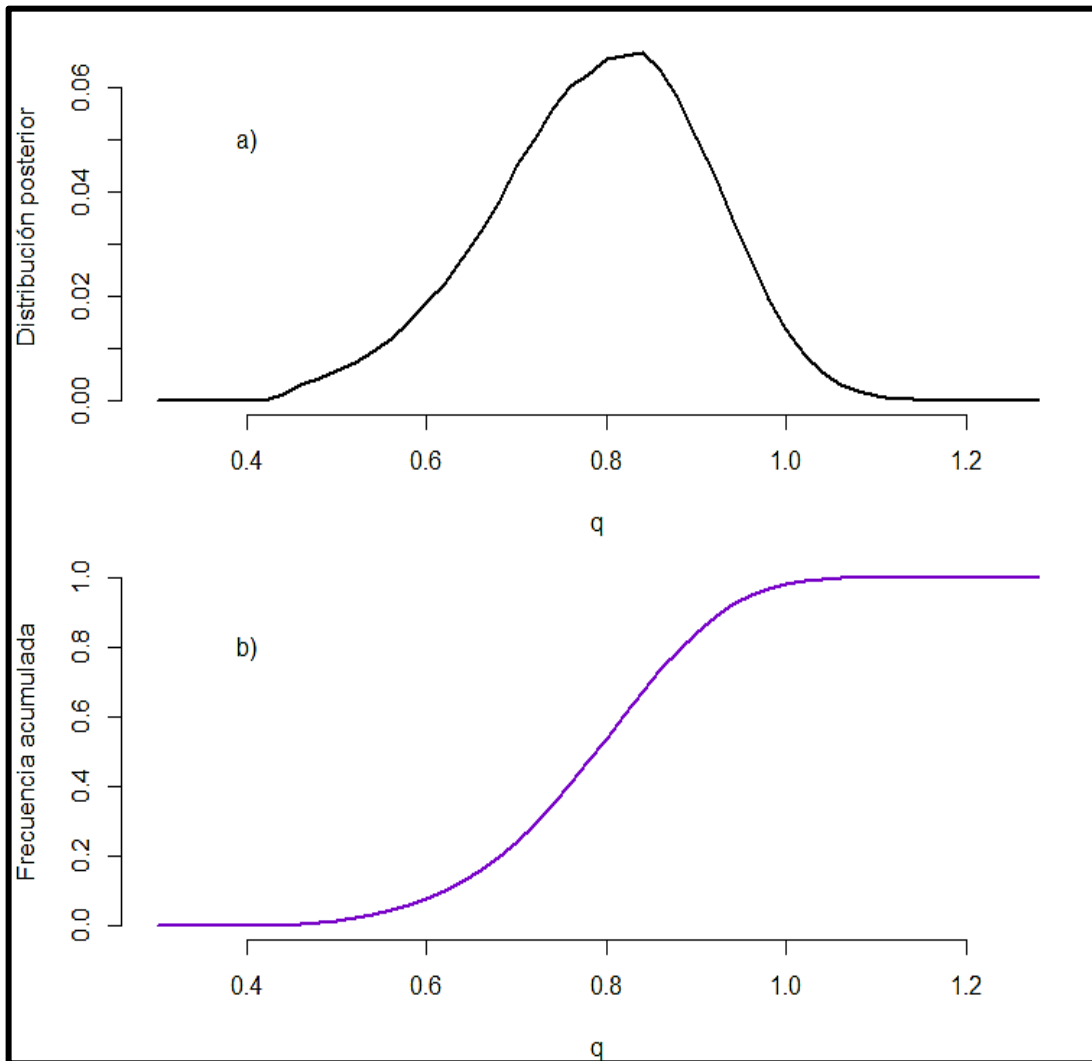
**Figura 8.** a) Distribución marginal posterior de la capacidad de carga (K), b) frecuencia acumulada de la capacidad de carga, ambas estimadas por el método SIR.

En cuanto a la tasa intrínseca de crecimiento el valor más probable (moda de distribución marginal) fue de 1.12 (**Figura 9**), igual al estimado por el método de máxima verosimilitud, con un intervalo del 95% de probabilidad de (0.66, 1.41).



**Figura 9.** a) Distribución marginal posterior de la tasa intrínseca de crecimiento ( $r$ ), b) Frecuencia acumulada de la tasa intrínseca de crecimiento por el método SIR.

En cuanto al coeficiente de capturabilidad  $q$  el valor más probable (moda de distribución marginal) fue de 0.82, similar al de máxima verosimilitud 0.85), con un intervalo del 95% de probabilidad de (0.52, 1.0), como se muestra en seguida (**Figura 10**).



**Figura 10.** a) Distribución marginal posterior del coeficiente de capturabilidad ( $q$ ),  
 b) Frecuencia acumulada del coeficiente de capturabilidad por el método SIR.

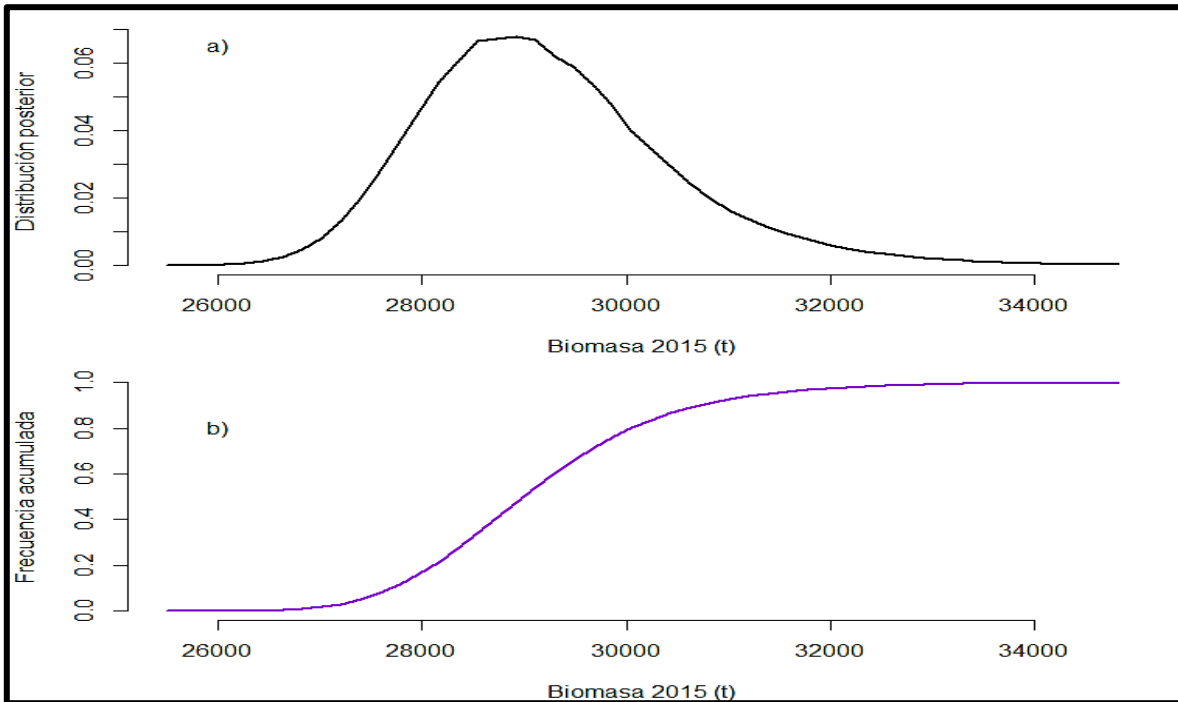
Para los datos económicos se eliminaron los valores extremos muy alejados de la media, a continuación, se muestran en el costo y el precio final con su error estándar (**Tabla 4**) usados en el modelo bioeconómico dinámico. El costo final por tonelada fue de  $\$35,898 \pm 5,557$  MXN. Mientras que el precio por tonelada fue de  $\$69,250 \pm \$2,295$  MXN.



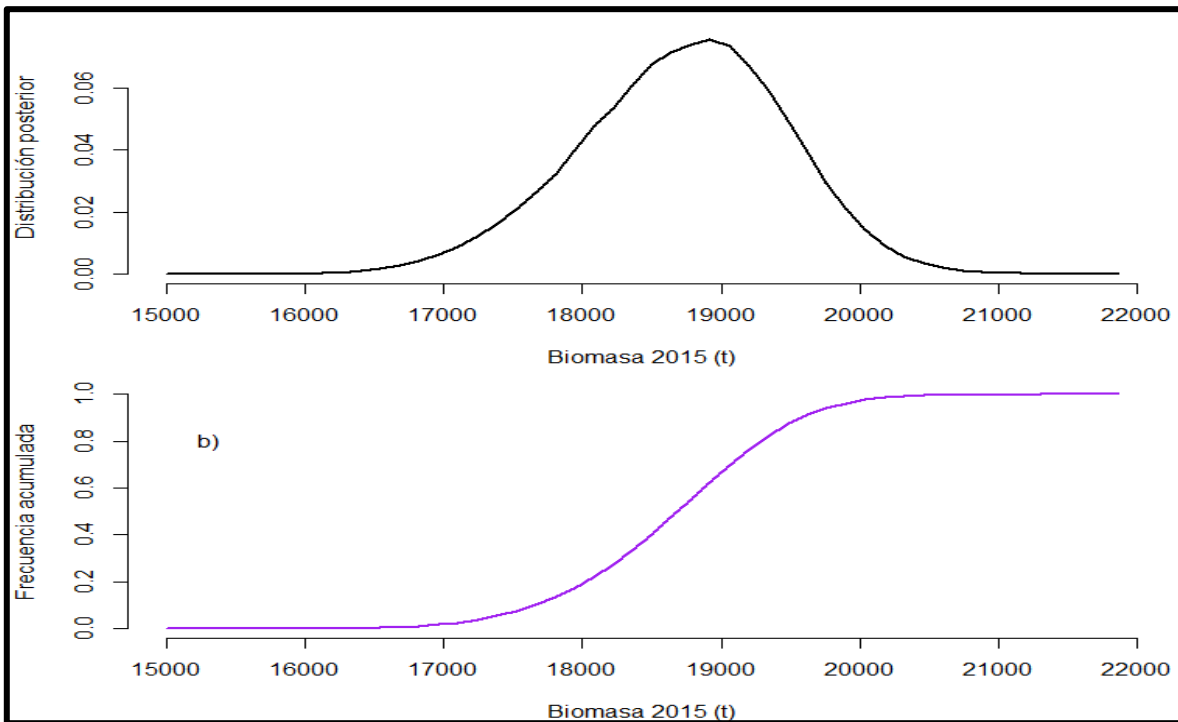
**Tabla 4.** Precios y costos por tonelada usados en el modelo bioeconómico dinámico.

<b>Costo por tonelada (\$)</b>	<b>Precio por tonelada (\$)</b>
26,899	60,000
28,530	60,000
30,572	75,000
33,063	70,000
30,570	59,000
54,214	75,000
50,000	85,000
33,333	70,000
<b><math>\bar{x}=35,898</math></b>	<b><math>\bar{x}=69,250</math></b>
<b>SE = 5,557</b>	<b>SE =2,295</b>

Posteriormente se realizaron las simulaciones correspondientes para los distintos escenarios. Estos se realizaron con tasas de explotación del 40% al 70% con intervalos de 5%. Debido a la gran cantidad de datos obtenidos, la mayoría de las gráficas se incluyen en la sección de anexos (12.2). Se cuenta con todos los datos correspondientes de biomasa, captura y beneficio para el 2015 y 2018 para las diferentes tasas de explotación. A continuación, se hizo énfasis en las gráficas del 40% y 70% de explotación para el 2015; la biomasa con una tasa de explotación del 40% se estimó con una moda de 29,110 t con un intervalo del 95% de probabilidad de (27,139-31,960), como se aprecia más adelante (**Figura 11**), mientras que para el 70% se obtuvo un valor de 19,060 t y un intervalo del 95% de probabilidad de (17,100-19,900) (**Figura 12**). Lo cual sugiere una reducción del 35% de biomasa y un remanente del 40% de la capacidad de carga (K).



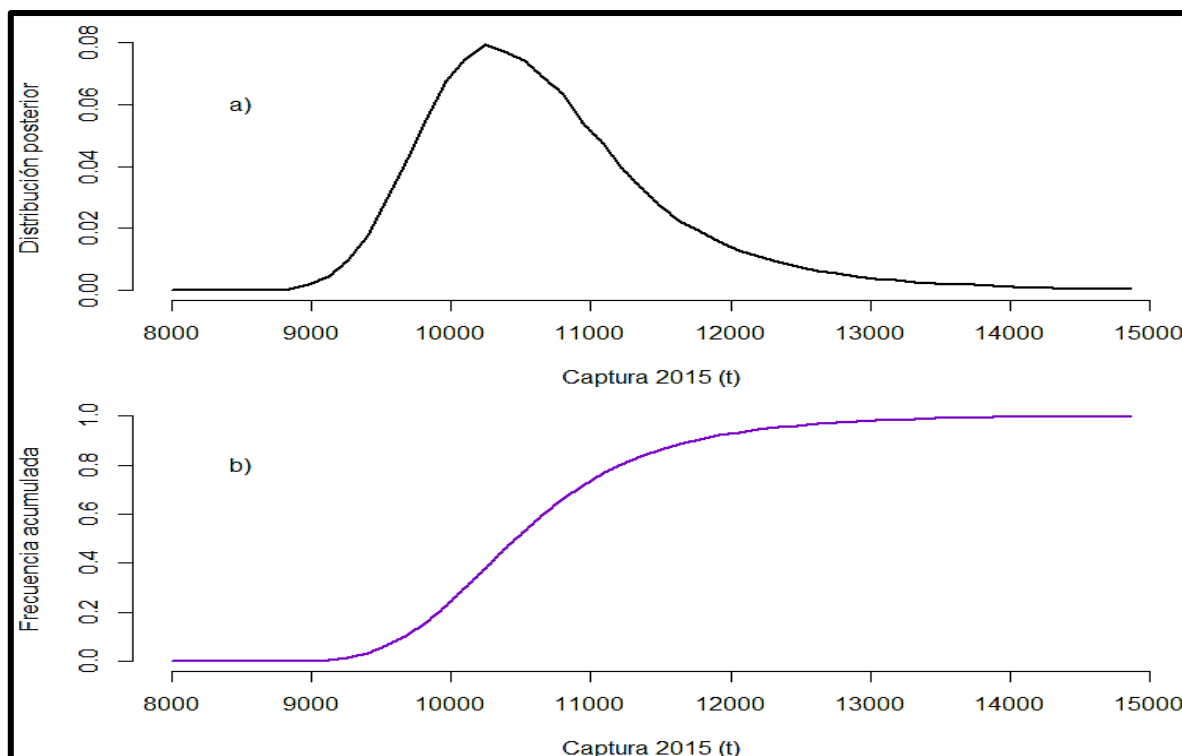
**Figura 11.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2015, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2015; con una tasa de explotación del 40% por el método SIR.



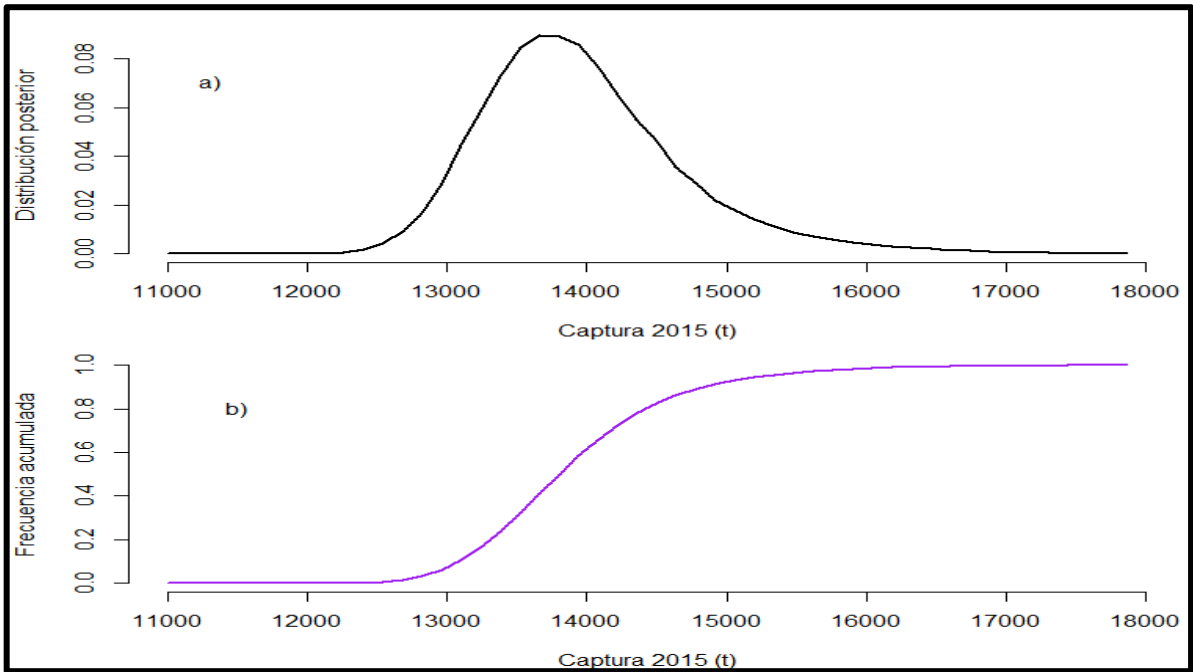
**Figura 12.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2015, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2015; con una tasa de explotación del 70% por el método SIR.

En cuanto a la captura se estimó en 2015 con una tasa de explotación del 40% un valor de 10,380 t y un intervalo del 95% de probabilidad de (9,333-12,260) (**Figura 13**), mientras que con una tasa de explotación del 70% se estimó un valor de 13,800 t y un intervalo del 95% de probabilidad de (12,760-15620) (**Figura 14**) Se observa un patrón de aumento de captura y disminución de la biomasa.

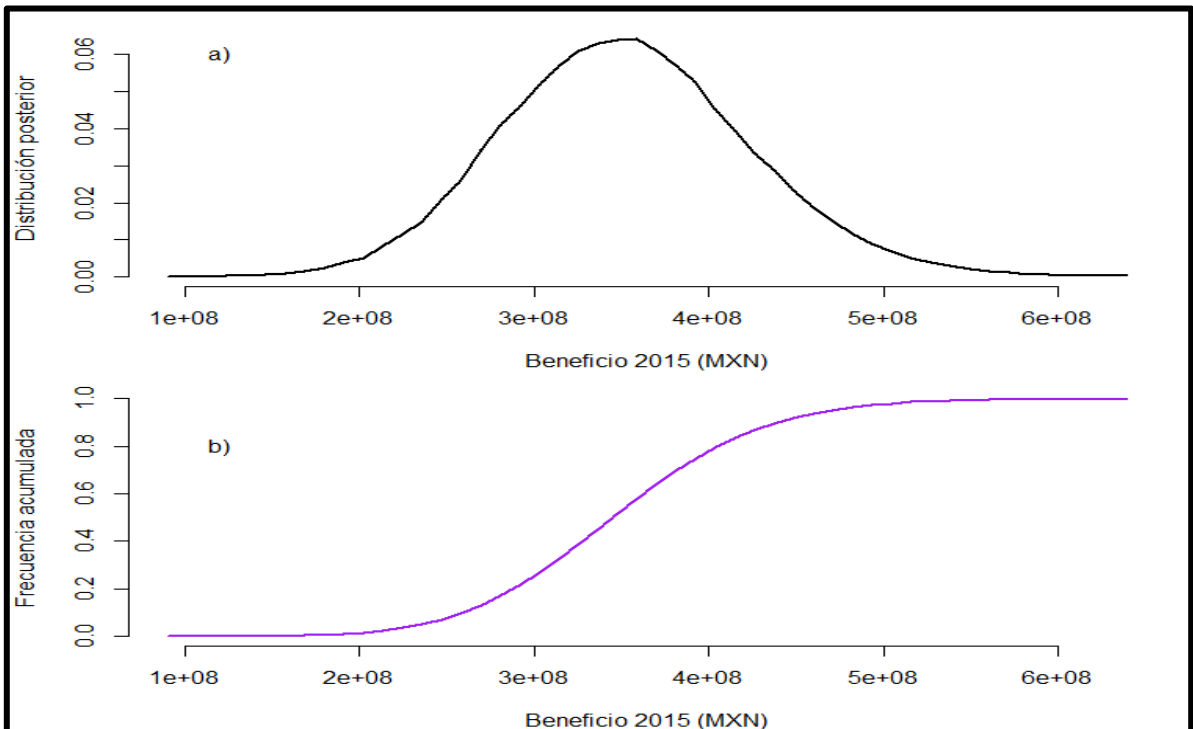
Posteriormente se estimó el beneficio en 2015 con una tasa de explotación al 40% con un valor de \$370 millones de pesos y un intervalo del 95% de probabilidad de (214,909,121- 493,200,000) (**Figura 15**). Mientras que con una tasa de explotación al 70% con un valor de \$464 millones de pesos y un intervalo del 95% de probabilidad de (286,054,163-632,000,000) (**Figura 16**), dado el incremento de captura se obtiene un aumento en el beneficio de 94 millones de pesos.



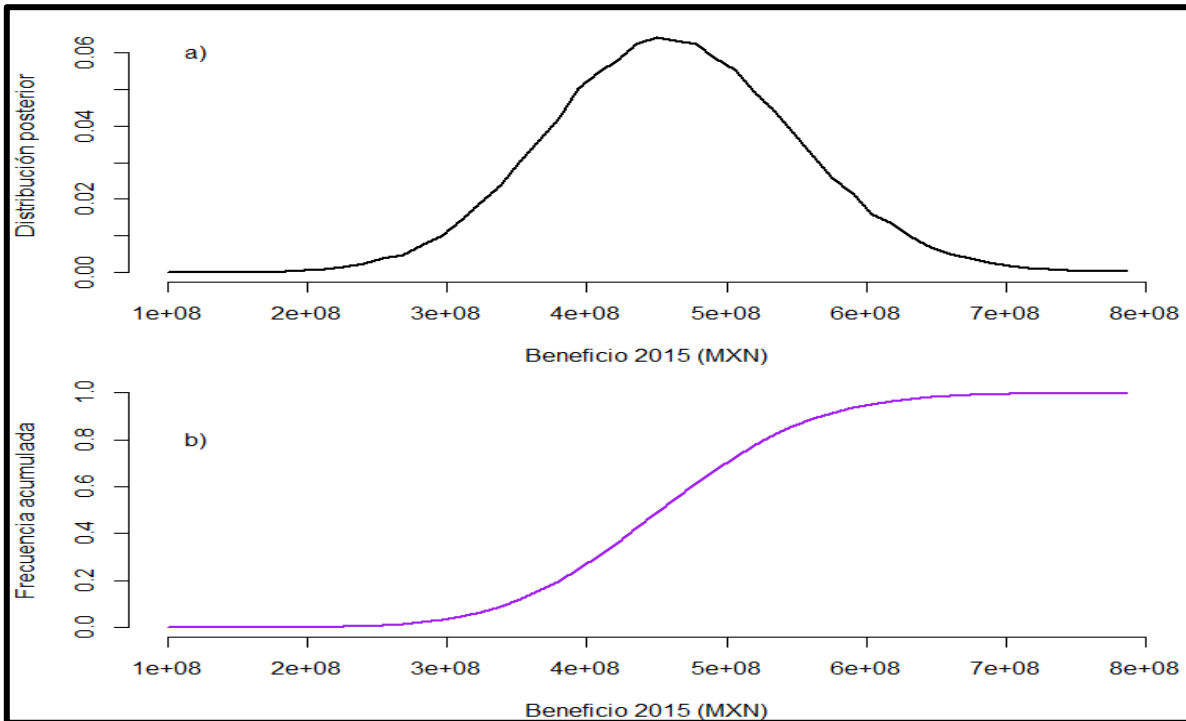
**Figura 13.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2015 y (b) Frecuencia acumulada de la captura en 2015; con una tasa de explotación del 40% por el método SIR.



**Figura 14.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2015 y (b) Frecuencia acumulada de la captura en 2015; con una tasa de explotación del 70% por el método SIR.



**Figura 15.** a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2015 y (b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2015; con una tasa de explotación del 40% por el método SIR.



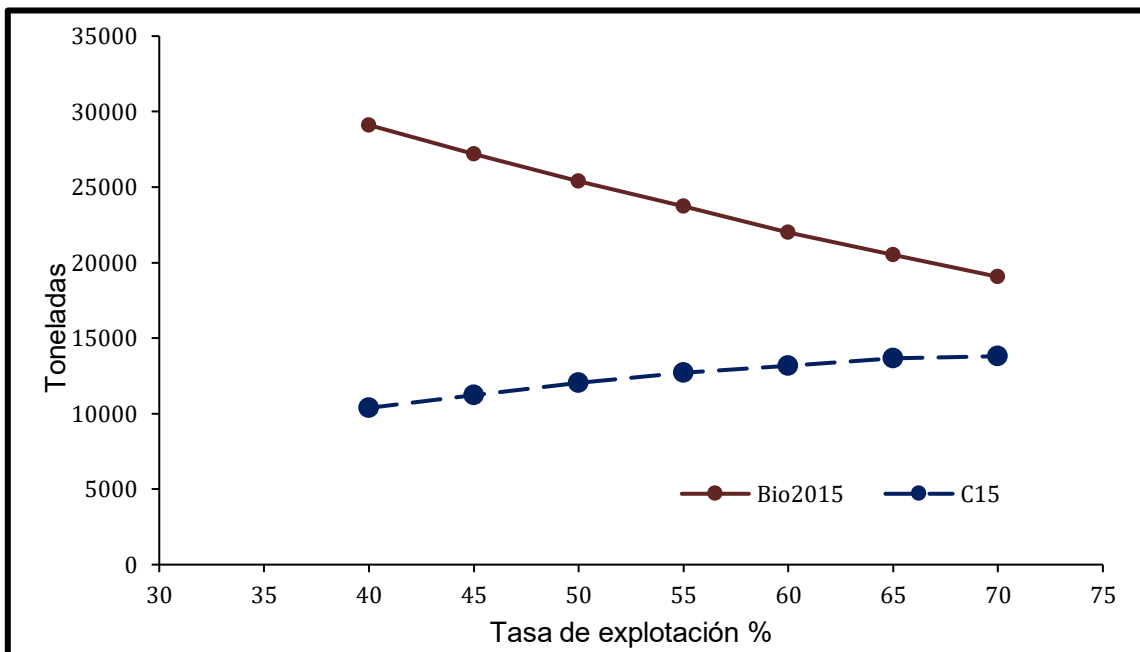
**Figura 16.** a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2015 y (b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2015 con una tasa de explotación del 70% por el método SIR.

Tanto en el corto como el mediano plazo, las capturas presentan una tendencia creciente al aumentar la tasa de explotación (**Figura 17** y **Figura 18**), aunque cabe mencionar que para las tasas de explotación altas el crecimiento de las capturas disminuye y probablemente para tasas mayores la captura empezaría a disminuir. Por el contrario, la biomasa en el corto y mediano plazo disminuye al aumentar la tasa de explotación.

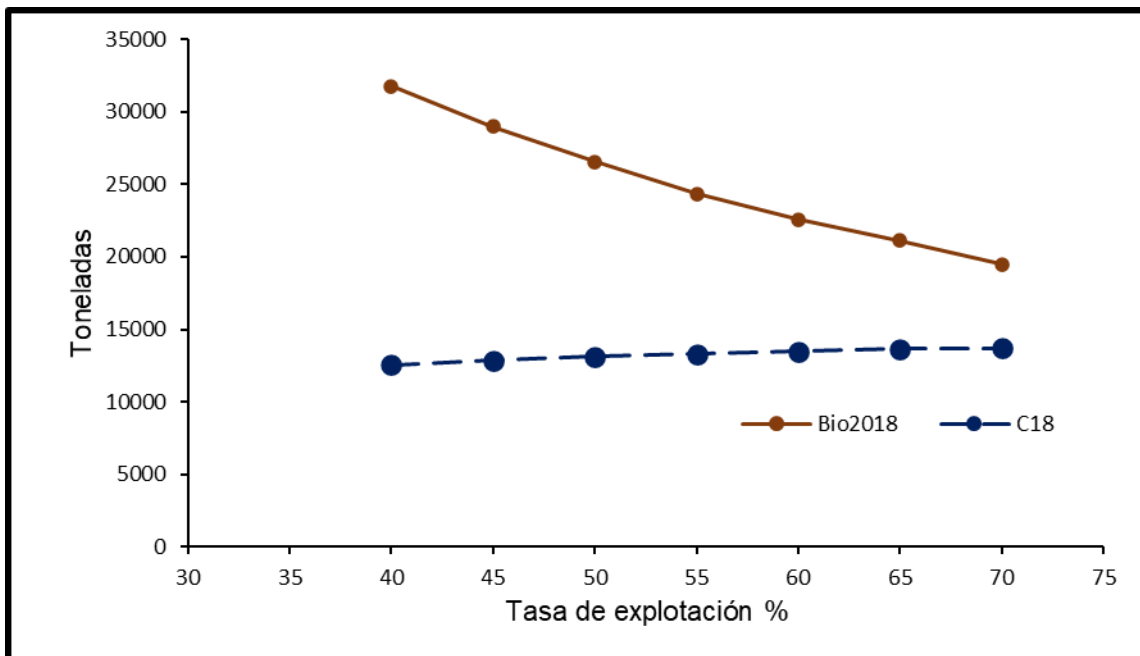
Por otra parte, en cuanto al beneficio, es mayor para 2015 para las tasas de explotación del 40% al 60% y menor que el beneficio en el 2018 para las tasas de explotación de 65% y 70% (**Tabla 5** y **Figura 19**). Lo cual muestra claramente que una mayor explotación no significa un mayor beneficio. Posteriormente a corto plazo al aumentar la tasa de explotación el beneficio aumenta hasta el 65% y después disminuye ligeramente (4 millones de pesos), a diferencia del mediano plazo su pico máximo se encuentra en 55% y al sobrepasar este punto tiene una caída drástica de 61 millones (**Figura 19**).

**Tabla 5.** Modas de los índices de desempeño con diferentes tasas de explotación (TE) para el corto (2015) y el mediano (2018) plazo; Bio 15 - Biomasa del año 2015, Bio 18 – Biomasa del año 2018, C15- Captura del año 2015, C18- Captura del año 2018, Ben-15 Beneficio del año 2015, Ben 18- Beneficio del año 2018. El beneficio es mostrado en millones de pesos.

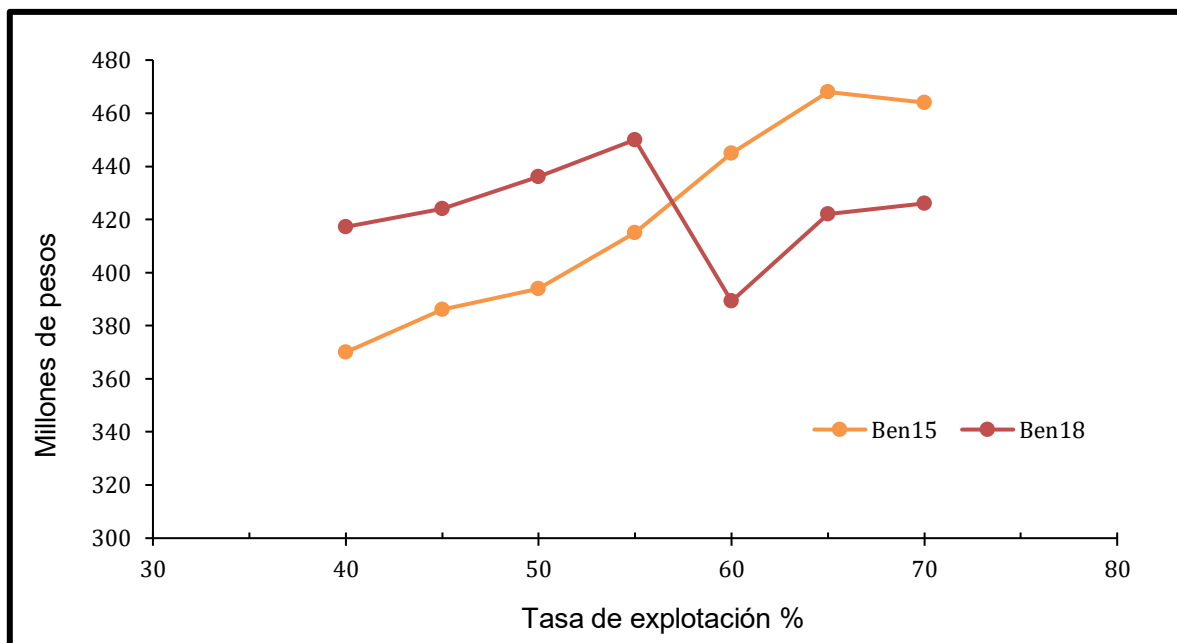
TE	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%
<b>Bio 15</b>	29,110	27,200	25,380	23,710	22,000	20,520	19,060
<b>Bio 18</b>	31,780	29,000	26,540	24,360	22,580	21,100	19,480
<b>C15</b>	10,380	11,240	12,040	12,720	13,160	13,660	13,800
<b>C18</b>	12,560	12,860	13,120	13,320	13,480	13,660	13,680
<b>Ben 15</b>	370	386	394	415	445	468	464
<b>Ben 18</b>	417	424	436	450	389	422	426



**Figura 17.** Modas de las distribuciones de la captura y la biomasa del pulpo rojo en la Península de Yucatán con diferentes tasas de explotación para el año 2015.



**Figura 18.** Modas de las distribuciones de la captura y la biomasa del pulpo rojo en la Península de Yucatán con diferentes tasas de explotación para el año 2018.



**Figura 19.** Modas del Beneficio para el pulpo rojo en el corto y mediano plazo 2015 y 2018 respectivamente con diferentes tasas de explotación

## 9. Discusión

Actualmente el manejo del pulpo rojo se rige por diversas regulaciones pesqueras; como: restricciones en el arte de pesca, temporada de veda, talla y peso mínimo; además de ser de las pocas pesquerías en México regulada por cuota anual determinada a partir del modelo de producción de Schaefer. Sin embargo, cabe mencionar que en el manejo actual solo se calcula el estimado del máximo rendimiento sostenible, sin explorar las posibles consecuencias de dicho nivel de explotación en el corto y mediano plazo. Tampoco se toma en cuenta la incertidumbre de modelo, siempre se asume que el modelo de Schaefer es el que mejor describe la dinámica poblacional del pulpo rojo.

El manejo pesquero tradicionalmente utiliza modelos monoespecíficos como el antes mencionado; sin embargo, una pesquería es una actividad económica, por lo que las autoridades pesqueras deben incorporar factores y objetivos económicos en la evaluación de recursos pesqueros (Jurado-Molina et al. 2021).

En el presente trabajo se tomó en cuenta la incertidumbre de modelo con los criterios de Akaike (1973) y de información Bayesiano (Schwarz 1978) que sugieren que el modelo de Schaefer es el que mejor se ajusta a los datos observados. Aburto (2018) y Jurado-Molina et al. (2021) coinciden con este resultado, el modelo de Schaefer supera a los modelos de Fox y Pella-Tomlinson.

Los resultados del modelo de Schaefer sugieren que la biomasa muestra una tendencia descendente, para el 2013 permanecieron 20,786 t que corresponde al 44% de la capacidad de carga, lo que sugiere que la biomasa podría estar debajo de un punto de referencia objetivo. Sin embargo, cabe mencionar que en la pesquería del pulpo rojo no se han establecido puntos de referencia ni reglas de control. Esta tendencia decreciente coincide con los resultados de Jurado-Molina et al. (2021). Un valor precautorio sería mantener la biomasa reproductora a un nivel prudente, es decir por encima del 50% de su nivel sin explotar (FAO 1995), este nivel de biomasa podría ser definido como un punto de referencia objetivo; sin embargo, como se mencionó, estas herramientas de manejo no son usadas en esta pesquería.



Es importante señalar que la pesquería del pulpo es de las pocas en México regulada por cuota; sin embargo, la mayoría de las veces la captura anual la supera porque el esfuerzo pesquero y las capturas aumentan hasta que finaliza la temporada. Es necesaria la implementación de reglas de control y puntos de referencia que detenga la captura cuando se alcanza la cuota y/o disminuye la biomasa a niveles no deseados (Jurado-Molina et al. 2021).

Respecto a la estimación de parámetros, las estimaciones encontradas en este trabajo son similares a los reportados por Aburto (2018). Por otra parte, Jurado-Molina (2010) obtiene resultados que difieren con los presentes, lo cual podría deberse a que los datos de captura usados por Jurado-Molina (2010) incluyen información de las dos especies de pulpo explotadas en la Península (pulpo común y pulpo rojo), no solo del pulpo rojo. Cabe mencionar que la tasa intrínseca de crecimiento estimada “ $r$ ” fue similar a valores estimados correspondientes a otras especies de cefalópodos, por ejemplo, el calamar gigante (*Dosidicus gigas*) (Urías 2019) y el pulpo californiano de dos manchas (*Octopus bimaculoides*) (Cisneros 2016).

La valoración de un stock para el manejo de un recurso pesquero requiere datos actualizados. En el presente trabajo de tesis no se tuvo disponibilidad de datos actualizados de captura y del índice de abundancia. La carencia de actualización de estos datos podría implicar que la estimación de los parámetros del modelo no es óptima debido a que no se aumenta el contraste de los datos. INAPESCA no ha publicado datos del índice de abundancia desde el 2014. De igual manera, CONAPESCA tampoco ha actualizado los datos de captura. Este problema se acrecentó debido a los efectos de la pandemia durante 2020 y 2021 que dificultó la comunicación con dichas instituciones. En cuanto a la captura, Sauer et al. (2019) muestran datos de la pesquería del pulpo rojo hasta 2018 y mencionan que los datos fueron obtenidos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017 y de CONAPESCA. Se hizo una revisión de dichas fuentes y el anuario no maneja datos por especie sino por localidad, por lo tanto, las capturas de pulpo son para dos especies, el pulpo rojo y el pulpo común, y en cuanto a los datos de CONAPESCA son correctos, pero están disponibles únicamente hasta el 2014. Así que la

obtención de datos sigue siendo un obstáculo para actualizar las estimaciones de los parámetros de los modelos y el estado actual del stock, pues solo se puede estimar los parámetros e indicadores hasta 2014 y un mejor manejo requiere datos actualizados a la temporada de pesca actual. Los canales de comunicación que el gobierno mexicano ha establecido se podrían mejorar para obtener la información en páginas de internet de acceso abierto en donde se proveyeran los datos de captura, índices de abundancia y otros datos pesqueros sin tener que solicitarla vía la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental que dificulta y retrasa el acceso la información.

El presente trabajo se enfoca principalmente a los aspectos económicos de la pesquería; sin embargo, futuros trabajos podrían mejorar ciertos aspectos del análisis en su etapa de valoración del stock; por ejemplo, se tiene que mantener el programa de valoración anual de biomasa para el pulpo rojo para aumentar el contraste de los datos y asegurar una estimación óptima de los parámetros de los modelos de biomasa usados. La proyección de distintos escenarios para observar el comportamiento de la biomasa con un error de implementación y tasas constantes de extracción proporcionarían información de la capacidad reproductiva del stock a mediano plazo (Jurado-Molina 2010). El manejo del recurso se beneficiaría del establecimiento de puntos de referencia objetivo y límite que no solo ayudarían a mantener la sostenibilidad del recurso, sino también a la obtención de una posible certificación por parte del Marine Stewardship Council.

En lo que respecta a los aspectos económicos, entre las razones que generan el fracaso de las pesquerías es que las evaluaciones y medidas de manejo ignoran los principios económicos que motivan a los pescadores a explotar los recursos de una manera u otra (Rodríguez 2019). Actualmente existen pocos trabajos con enfoque bioeconómico para la pesquería del pulpo rojo, por ejemplo, el Programa Maestro del Pulpo por Consultores en Ecosistemas (2009), las tesis de Gómez (2016) y de Aburto (2018) y un artículo de investigación publicado recientemente por Jurado-Molina et al. (2021). Por lo cual el presente estudio contribuye en incrementar la información de tipo económico para proporcionar asesoramiento científico adicional para la gestión de esta pesquería basado en modelación fuera del equilibrio.

En el primer enfoque usado para los aspectos económicos se siguió una metodología muy común (modelo bioeconómico en equilibrio) enfocada a la estimación de tres indicadores ( $\pi$ ,  $\beta$  y  $\alpha$ ). En el primer paso de este proceso fue necesario estimar el costo total por embarcación el cual fue similar al determinado por Consultores en ecosistemas (2009) y por Jurado-Molina et al. (2021). Este tipo de datos juega un papel sumamente relevante, ya que cualquier cambio en el entorno económico que afecte el valor del producto o el costo de las operaciones pesqueras, modifica los puntos de referencia del modelo bioeconómico de Gordon-Schaefer; así como, también los subsidios o las consideraciones económicas externas, como los impuestos al combustible (Caddy y Mahon 1995).

En el 2015 un informe de la CONAPESCA asegura una derrama económica del cierre de temporada de más de mil millones de pesos, evidentemente supera el punto  $\pi$  estimado (ingreso neto sostenible) con un valor aproximado de \$913.3 millones de pesos. Asimismo,  $\beta$  está en el mismo orden de magnitud que los valores reportados por Jurado-Molina et al. (2021). Los resultados obtenidos por el modelo en equilibrio sugieren que se ha superado el número de embarcaciones necesarias para obtener ganancias, sobrepasando el punto de equilibrio  $\alpha$  que equivale a 4,681 embarcaciones, a diferencia de las embarcaciones reportadas por la Carta Nacional pesquera en 2017 que corresponde a 5,444 unidades de pesca. Actualmente se desconoce el esfuerzo pesquero para cada temporada. Es importante que las instituciones gubernamentales desarrollen mecanismos de comunicación para registrar y permitir el acceso a los datos de esfuerzo pesquero. Una posible mejora para la gestión en la pesquería de pulpo rojo requeriría estimar el esfuerzo pesquero en términos de viajes de pesca/alijos (Jurado-Molina et al. 2021) en lugar de embarcaciones como actualmente se hace. Los resultados de la valoración del stock y el modelo bioeconómico en equilibrio sugieren una reducción del esfuerzo pesquero. Esta opción presenta varias dificultades para su implementación; al ser pesca ribereña, uno de los objetivos es combatir las condiciones de marginación y pobreza, una reducción del esfuerzo podría aumentar el desempleo y por ende un aumento de pobreza. En México esta situación es el resultado del desconocimiento y subestimación de sus contribuciones económicas, sociales y culturales

(Inteligencia Pública y EDF de México 2019). Bajo un régimen de acceso abierto, no hay restricciones para la entrada y salida de la pesquería y el esfuerzo pesquero podría expandirse hasta el punto en que las rentas de los recursos naturales podrían reducirse a cero (Hardin 1968), lo que se conoce como tragedia de los comunes. Una nueva estrategia podría ser: aplicar cuotas individuales transferibles (CIT) que consiste en establecer un límite de captura para la especie, por área y por año. Generalmente se busca que esta cuota sea igual al nivel (o rendimiento) máximo de sustentabilidad. Ésta se fija para a través de modelos complejos que evalúan el ciclo de vida de la especie, su desarrollo y la población actual, además, se pueden transferir o vender entre los distintos pescadores si se desea, desde la teoría económica, este derecho de propiedad permite que los usuarios exploten racionalmente el recurso asegurando su sustentabilidad a largo plazo y la maximización de las rentas (Ibáñez et al. 2004). Grafton et al. (2000) argumentan que la asignación de privilegios de captura brinda a los pescadores la flexibilidad de ajustar la escala y el alcance de sus operaciones para aumentar las ganancias en lugar de maximizar los desembarques. Además, se cree que las CIT disminuyen los incentivos para la "carrera por pescar", lo que reduce el deterioro y el mal manejo del pescado, que son problemas comunes en las pesquerías con cuotas ajustadas y temporadas de pesca cortas.

La principal debilidad de los análisis bioeconomicos es el supuesto de equilibrio. Aunque este supuesto facilita el cálculo y el análisis, las poblaciones no están en equilibrio. Según Haddon (2001), las evaluaciones de la pesca deberían evitar los métodos de equilibrio. Cuando se utilizan modelos de producción excedente, si una población de peces está en declive, los métodos de equilibrio sobrestiman persistentemente el rendimiento sostenible. Adicionalmente, una deficiencia de este tipo de modelos bioeconómicos es asumir capturabilidad constante, porque puede subestimar la tasa de agotamiento del stock (Urías et al. 2019). Aunque no se puede tomar nuestros resultados como un escenario futurista, primero por la falta de datos, segundo por falta de incorporación de incertidumbre en los parámetros, precios y costos, y tercero el supuesto de equilibrio (Jurado-Molina et al. 2021), los resultados del modelo bioeconómico en equilibrio sirven para identificar, una tendencia general

y las consecuencias eventuales de una política en particular (Bertolotti et al. 1988), y así proponer acciones de manejo.

Por las razones mencionadas, en este trabajo de tesis se propuso el desarrollo de un modelo dinámico que desecha los supuestos del modelo bioeconómico en equilibrio, para explicar la evolución del stock y el beneficio en el tiempo, a diferentes tasas de explotación a través de métodos Bayesianos, lo cual brinda una forma sencilla de incorporar información adicional (*a priori*) para construir distribuciones *a posteriori* de los parámetros del modelo e indicadores de desempeño. Los frequentistas señalan al enfoque bayesiano como un método muy subjetivo y consideran que el uso de las probabilidades *a priori* es arbitrario; y dado el uso de prior no informativas en este estudio podría dudarse de su veracidad, sin embargo, en la estadística existe un principio denominado “Principio de verosimilitud” que dice: “Al efectuar inferencias o tomar decisiones acerca de los parámetros, después de que los datos han sido observados, toda la información relevante está contenida en la función de verosimilitud evaluada en el vector de datos observados...”, teniendo en cuenta la fórmula de Bayes (Ecuación 20) satisface este principio de la escuela frequentista donde:  $P(\text{datos} | H_i)$  se denomina “función de verosimilitud”, a diferencia de los frequentistas que usan valores “escalares” nosotros usamos “vectores”. Además, otros autores consideran que la experiencia previa y la opinión de expertos deberían ser incorporadas en el análisis (Hernández 2012), en el presente trabajo se tomó información previa de distintos trabajos (Jurado- Molina et al. 2021; Aburto 2018; Jurado-Molina 2010).

En cuanto a los resultados de las simulaciones originalmente se pretendía hacer la simulación hasta el año 2023 debido a que la biomasa alcanzaba el equilibrio en ese rango, así que se decidió realizar la simulación únicamente hasta el año 2018. De igual forma en futuros trabajos se podría usar el principio de máxima entropía, el cual es un procedimiento que permite obtener distribuciones *a priori*, incorporando en la misma solo la información disponible. O bien, un análisis de referencia para obtener una “distribución *a priori* de referencia” la cual tenga un efecto mínimo sobre la distribución *a posteriori*, para más conocimiento acerca de estos métodos se puede consultar a Hernández (2012).

Los resultados del modelo bioeconómico dinámico sugieren una disminución de la biomasa conforme se incrementa la tasa de explotación. Una tasa de explotación constante del 55% proporcionaría un máximo beneficio para el 2018 con valor de 450 millones de pesos (moda de distribución posterior), lo cual sugiere un incremento del 4% de capturas de 2015 a 2018 manteniendo una biomasa de 24,360 t que corresponde al 52% de K, cumpliéndose así el valor precautorio estipulado por las autoridades pesqueras. En caso contrario un ligero aumento en la tasa de explotación (60%) daría lugar a una disminución del beneficio con un valor de 56 millones de pesos del 2015 al 2018 que corresponde al 12.5% menos, mientras que la biomasa estaría ligeramente por debajo del valor precautorio con 22,580 t (48% de K). A diferencia de los resultados presentes Jurado-Molina (2010) sugiere que una explotación del 30% sería la estrategia que potencialmente tendría los beneficios más altos con niveles de riesgo aceptables y podría ser la mejor opción para recuperar la población de pulpo rojo; sin embargo, sugiere tomar en cuenta consideraciones de tipo económico porque ya que puede surgir una oposición a esta medida debido a la disminución de la cuota anual. Cabe mencionar que esta diferencia se debe a que la tasa de crecimiento estimada por Jurado-Molina (2010) es más baja que la estimada en la presente tesis debido a que no se separaron los datos de captura por especie. Por otra parte, Larios 2020 establece puntos de referencia límite para la almeja generosa (*P. globosa*) que involucran la biomasa inicial ( $B_0$ ) y las estimaciones previas a cada temporada de pesca ( $B_t$ ) para la toma de decisiones, así la relación de éstas indicaría el estado de la biomasa, con las simulaciones dadas en este estudio se podría hacer uso de estas estrategias para establecer los puntos de referencia límite para pesca del pulpo rojo.

Adicionalmente el desarrollo de un programa de seguimiento para proporcionar información de captura en tiempo real y permitir el cierre de la temporada de pesca cuando se alcance la cuota anual podría mejorar el manejo de la pesquería ya que no existe una regla de control de captura que active el cierre de la temporada de pesca cuando la pesquería alcanza la cuota o un punto de referencia límite (Jurado-Molina et al. 2021). Por otra parte, las fluctuaciones de precios de los productos pesqueros modifican sus puntos de referencia (beneficio) y los incentivos

relacionados con la operación de los pescadores en el corto y mediano plazo, por lo que se deben considerar explícitamente en los aspectos económicos del manejo pesquero (Ponce et al. 2021). Adicionalmente todas las medidas sugeridas en este estudio podrían servir para el cumplimiento del objetivo 14 para la agenda del desarrollo sostenible del 2030.

En cuanto a las mejoras del modelo podrían agregarse nuevas variables económicas a considerar como el valor presente neto (VPN) que sirve para evaluar proyectos de inversión (Gómez 2016), aunado a la actualización de datos biológicos, y un análisis de la tendencia de los precios para evaluar como el precio de venta afecta los puntos de referencia. Es necesario un trabajo integrado entre los pescadores, gobierno y personal científico, para explotar el recurso de una manera más eficiente y que conduzca a la sustentabilidad.

## 10. Conclusiones

- Los resultados de este estudio no muestran una tendencia actualizada debido a la falta de datos, pero sirven para dar una tendencia general de la pesquería, y sentar las bases para futuros análisis.
- La biomasa al 2013 permaneció en el 44% de K lo que sugeriría un nivel de biomasa por debajo de un potencial punto de referencia objetivo (50% de la biomasa virgen) y por lo tanto se sugiere establecer reglas de control para asegurar la sostenibilidad del recurso.
- Los resultados sugieren que la pesquería rebasa el punto de equilibrio económico lo que indica que los costos están superando los ingresos y por lo tanto no podría haber un beneficio económico.
- Una reducción del esfuerzo incrementaría el ingreso neto en el corto y mediano plazo.
- Con una tasa de explotación constante del 55% se obtendrían el mayor beneficio, asegurando la sostenibilidad del recurso.
- Una tasa de explotación del 60% por el contrario disminuiría drásticamente el beneficio y la biomasa, lo cual llevaría a la sobreexplotación del recurso.

- La pesca ilegal es un aspecto que debe ser incorporado en el manejo de este recurso; sin embargo, es necesario realizar estudios para conocer su magnitud, y así incorporar esta información en la valoración del stock para una mejor estimación de los parámetros poblacionales.

## 11. Referencias bibliográficas

Avendaño O, Roura A, Cedillo CE, González AF, Rodríguez R, Velázquez I, Guerra A. 2020. *Octopus americanus*: a cryptic species of the *O. vulgaris* species complex redescribed from the Caribbean. *Aquatic Ecology*. 54: 909–925. <https://doi.org/10.1007/s10452-020-09778-6>

Aburto L. 2018. Desarrollo de un modelo bioeconómico para mejorar el manejo de la pesquería del pulpo rojo (*Octopus maya*) de la Península de Yucatán en el periodo (1998-2014) [disertación]. [Ciudad de México, México]. Universidad Nacional Autónoma de México; 43 pp.

Agricultura. 2019. *El sabor la carne de pulpo es muy apreciado en la gastronomía internacional, los platillos que más destacan son: pulpo a la brasa, ceviche de pulpo, pulpo a la gallega y sushi de pulpo*. Twitter. [https://twitter.com/Agricultura\\_mex/status/1157803332993507333/photo/1](https://twitter.com/Agricultura_mex/status/1157803332993507333/photo/1)

Albarrán N. 2010. Edad y crecimiento del pulpo rojo *Octopus maya* (Voss y Solís, 1966) por medio de la lectura de incrementos en el estilete [disertación]. [Campeche, México]: Colegio de la Frontera Sur; 7 p.

Arreguín F, Solís M, Gonzales M. 2000. Population Dynamics and stock assessment for *Octopus maya* (cephalopoda: octopodidae) fishery in the Campeche Bank, Gulf of México. *Biología Tropical*. 48(2-3): 323-31.

Akaike M. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. En: Petrov B, Csaki F (eds.), Proc. 2nd International Symposium of Information Theory. Akademiai Kiado, Budapest. 267–281.



- Aliaga B, Gómez U, Neira S. 2001. Análisis bioeconómico de la pesquería de sardina (*Sardinops sagax*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona norte de Chile. *Investigaciones Marinas*. 29 (2): 15-23.
- Barreto C, Borda C, Álvarez R. 2014. Análisis bioeconómico de las pesquerías de camarón blanco del pacífico colombiano. *Luna azul*, 39: 163-164.
- Blancas J, López J, Castilla M. 2012. Análisis de la Pesquería del Pulpo Rojo (*Octopus maya*) Frente a la Costa de Sisal, Yucatán. *Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 64: 501-507.
- Bertolotti M, Verazay A, Abal H. 1988. Desarrollo de un modelo bioeconómico para el manejo integral de un recurso pesquero. *Investigación y Desarrollo Pesquero*. 8: 5-9.
- Botello MA, Villaseñor R, Rodríguez F. 2010. Ordenamiento de Pesquerías por Recursos Estratégicos de México, Tomo 1. México: Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 4-28.
- Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL. 1993. *Distance sampling: Estimating abundance of biological population*. Chapman and Hall, USA.
- Caddy JF, Mahon R. 1995. *Reference points for fisheries management*. Roma: FAO. 109pp.
- Cisneros MA. 2016. Some guidelines for a reform in Mexican fisheries. *Ciencia Pesquera*. 24: 77-91
- Consultores en ecosistemas. 2009. Programa Maestro de Pulpo en el Estado de Yucatán. Programa de vinculación productiva 2008.- SAGARPA-CONAPESCA. Consultores en Ecosistemas, S.C. Calle 35 # 507-F x 72 y 62 Centro C.P. 97000 Mérida, Yucatán.

Cruz H. 2010. Caracterización estacional de la condición fisiológica de la población silvestre del pulpo rojo *Octopus maya* (Voss y Solís-Ramírez, 1966) en la localidad de Sisal, Yucatán, México [disertación]. [Guerrero, México]: Universidad Autónoma de Guerrero; 15-20.

[DOF] Diario Oficial de la Federación. 1994 Mar 04. NORMA Oficial Mexicana NOM-009-PESC-1993, que establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.

[DOF] Diario Oficial de la Federación. 2014 Feb 28. Plan de manejo pesquero del pulpo (*O. maya* y *O. vulgaris*) del Golfo de México y Mar Caribe. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.

[DOF] Diario Oficial de la Federación. 2016 Abril 13. Norma oficial mexicana NOM-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. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.

[DOF] Diario Oficial de la Federación. 2018 Nov 06. ACUERDO por el que se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera. Mexico: Secretaría de Gobernación.

[DOF] Diario Oficial de la Federación. 2019 Mar 08. Acuerdo por el que se establece la equivalencia en peso de la talla mínima de captura para las especies de pulpo rojo (*Octopus maya*) y pulpo patón (*Octopus vulgaris*) en aguas marinas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.

[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1995). Enfoque de precaución para la pesca Parte 1: Directrices sobre el enfoque de precaución para la pesca de captura y la introducción de especies Lysekil, Suecia: FAO. Reporte No. 350/1.

[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1997). Bioeconomía pesquera, Teoría, modelación y manejo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2018. Diagnóstico de los sectores de la Pesca y la Acuicultura en el Estado de Yucatán. Yucatán (México). UTF / MEX / 117 / MEX

Fournier D, Skaug H, Ancheta J, Lanelli J, Magnusson A, Maunder M, Nielsen A, Sibert J. 2012. AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. *Optimization Methods Software*. 27(2):233-249.

Fox W. 1970. An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. *Transactions of the American Fisheries Society*. 99(1): 80-88.

García S, Reste L. 1998. Evaluación de los recursos y definición de las condiciones óptimas de explotación. En: Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. Roma: FAO. 126 pp.

Gómez M. 2016. Análisis técnico y económico entre capturas del pulpo *Enteroctopus megalocyathus* (Chile) y pulpo *Octopus maya* (México) [disertación]. [Puerto Montt- Chile]: Universidad Austral de Chile; 87 pp.

Gordon SH. 1954. La economía de un recurso de propiedad común: la pesca. *Journal Political Economy*. 62: 124-142.

Grafton R, Squires D, Fox K. (2000). Private property and economic efficiency: a study of commun-pool resurce. *Journal of Law and Economics* 43: 679-713.

Haddon M. 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Boca Raton (FL): Chapman & Hall/CRC Press. 406 pp.

Hardin G. 1968. The tragedy of de commons. *Science*. 162(3859): 1243-1248.

- Hernández D. 2012. Análisis Bayesiano conceptos y fundamentos. Argentina (Mar de Plata): Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero; 84pp.
- Hernández A, De Jesús A. 2010. Parámetros de crecimiento, mortalidad y tasa de explotación del pulpo *Octopus maya* en Holbox, Quintana Roo, México. *Biología Marina*. 3(45): 415-421.
- Hilborn R, Mangel M. 1997. *The Ecological Detective: Confronting Models with Data*. New Jersey: Princeton Univ. Press; 315pp.
- Hilborn R, Walters C. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2(2), 177-178.
- Ibáñez M, Becerra M, Brachet G. 2004. Cuotas individuales transferibles: una alternativa para resolver la problemática de las pesquerías en México. *Gaceta Ecológica*, 70, 31-43.
- [INAPESCA] Instituto Nacional de Pesca. 2008. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán 2008. Documento interno: Mexico: INAPESCA.
- [INAPESCA] Instituto Nacional de Pesca. 2011. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán 2011. Mexico: INAPESCA.
- [INAPESCA] Instituto Nacional de Pesca. 2012. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán 2012. Documento interno: Mexico: INAPESCA.
- [INAPESCA] Instituto Nacional de Pesca. 2013. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán 2013. Documento interno: Mexico: INAPESCA.
- [INAPESCA] Instituto Nacional de Pesca. 2014. Dictamen Técnico de Establecimiento de cuota de captura de pulpo (*Octopus maya*) para la

temporada de pesca 2014. Documento interno [Internal document]. Mexico: INAPESCA.

[INP] Instituto Nacional de la Pesca. 2002. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán. Mexico: INAPESCA.

[INP] Instituto Nacional de la Pesca. 2003. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán. Mexico: INAPESCA.

[INP] Instituto Nacional de la Pesca. 2004. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán 2004. Mexico: INAPESCA.

[INP] Instituto Nacional de la Pesca. 2005. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán 2005. Mexico: INAPESCA.

[INP] Instituto Nacional de la Pesca. 2006. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán 2006. Mexico: INAPESCA.

[INP] Instituto Nacional de la Pesca. 2007. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán 2007. Mexico: INAPESCA.

Inteligencia Pública, EDF de México. 2019. Impacto Social de la Pesca Ribereña en México: Propuestas para impulsar el bienestar social en el sector pesquero. México (CDMX): EDF de México: 99pp.

Juárez O, Rosas C, Arena L. 2010. La historia del pulpo maya leída en su ADN. *Ciencias*. 97:42-44.

Juárez O. 2016. Evaluación a nivel fisiológico y transcriptómico del efecto de la temperatura sobre la regulación y el éxito reproductivo en hembras *Octopus maya* [disertación]. [Ensenada (Baja California, México)]: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California; 16pp.

- Jurado-Molina J. 2010. Enfoque bayesiano con error de implementación para mejorar el manejo de la pesquería de pulpo rojo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán. *Ciencias Marinas*. 36(1): 1-14.
- Jurado-Molina J, García JJ, Cortés M. 2021. Desarrollo de un modelo bioeconómico estocástico para la pesquería del pulpo rojo en la Península de Yucatán: Implicaciones para el manejo. *Ciencias Marinas*. 47(4): 255–268. <https://doi.org/10.7773/cm.v47i4.3206>
- Larios E. 2014. Escenarios de manejo pesquero de la almeja de sifón (*Panopea globosa*) en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México [disertación]. [La paz (Baja California Sur, México)]: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste; 93pp.
- McAllister M, Ianelli JI. 1997. Bayesian stock assessment using catch-age data and the sampling-importance-resampling algorithm. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 54:284-300.
- Pella J, Tomlinson K. 1969. A generalized stock-production model. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*. 13(1): 421–458.
- Ponce G, Vergara FJ, Aranceta F. 2021. Análisis bioeconómico de los objetivos de manejo pesquero ante cambios en los precios de venta. *Economía teoría y práctica*. 55: 149-170. <http://dx.doi.org/10.24275/ETYP/AM/NE/552021/Ponce>
- Punt E, Hilborn R. 1996. Biomass Dynamics Models. User's manual. *FAO Computerized Information Series (Fisheries)*. 10:62.
- Quinn TJ, Deriso RB. 1999. *Quantitative Fish Dynamics*. Nueva York (Nueva York): Oxford University Press; 560pp.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria [consultado en 2020 Ene 15]. <https://www.R-project.org/>.

- Rodríguez O. 2019. Análisis bioeconómico de la Totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el Golfo de California: una Visión hacia la pesca sostenible de una especie protegida. [disertación]. [La paz (Baja California, México)] Centro de Investigaciones Científicas del Noroeste; 138 pp.
- Salas S, Cabrera M, Palomo M, Torres E. 2008. Uso de Indicadores para Evaluar Medidas de Regulación en la Pesquería del Pulpo en Yucatán dada la Interacción de Flotas. Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute. 61: 111-121.
- Sauer W, Gleadall I, Downey N, Doubleday Z, Gillespie G, Haimovici M, Ibáñez C, Katugin O, Leporati S, Lipinski M, Markaida U, Ramos J, Rosa R, Villanueva R, Arguelles J, Briceño F, Carrasco S, Che L, Chen C, Cisneros R, Connors E, Crespi-Abril A, Kulik V, Drobyazin E, Emery T, Fernández F, Furuya H, González L, Gough C, Krishnan P, Kumar B, Leite T, Lu C, Mohamed K, Nabhitabhata J, Noro K, Petchkamnerd J, Putra D, Rocliffe S, Sajikumar K, Sakaguchi H, Samuel D, Sasikumar G, Wada T, Zheng X, Tian Y, Pang Y, Yamrungrueng A. 2019. World Octopus Fisheries, Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. 29(3): 279-429. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1680603>
- Schaefer B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin. 1(2): 23–56.
- Schwarz G. 1978. Estimación de la dimensión de un modelo. Annals of Statistics. 6: 461-464. <http://dx.doi.org/10.1214/aos/1176344136>
- SIAP. 2016. Pulpo (*Octopus maya*). [Consultado el 2020 Ene 2020]. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166555/pulpo\\_monograf\\_a.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166555/pulpo_monograf_a.pdf)

Solís MJ, Chávez EA. 1985. Evaluación y régimen óptimo de pesca de pulpo de la Península de Yucatán, México. Ann. Inst. Cienc. Mar Limnol. Universidad Nacional Autónoma de México. 13: 1–18.

Surís J. 1992. Un modelo bioeconómico pesquero. Revista de estudios Agro-Sociales. 160: 123-152.

Matos PA. 2018. La jornada Maya: El 70% del pulpo capturado en Yucatán se Exporta a Europa. [Consultado 2021 sep 24]. <https://www.lajornadamaya.mx/yucatan/96156/el-70-por-ciento-del-pulpo-capturado-en-yucatan-se-exporta-a-europa>.

Urías R, Rodríguez G, Castañeda N, Pérez R, Rivera G, Martínez F. 2019. Análisis bioeconómico de la pesquería de calamar gigante *Dosidicus gigas* en el noroeste de México. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional. 53(29): 1-21. <https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i53.645>

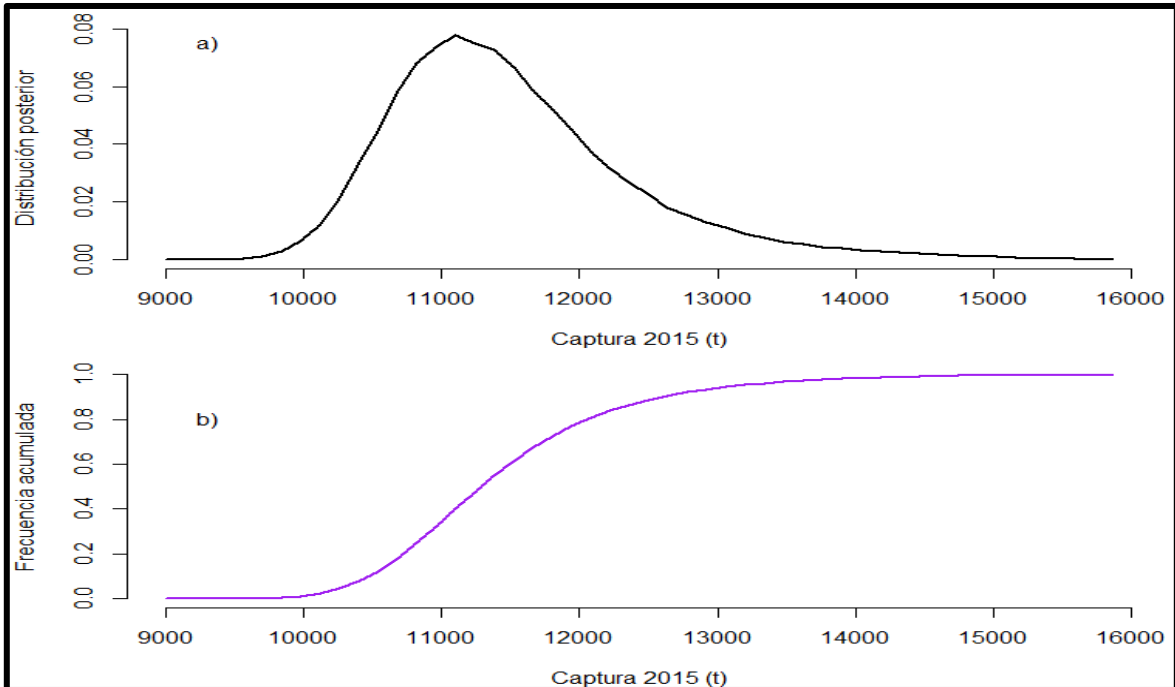


## 12. Anexos

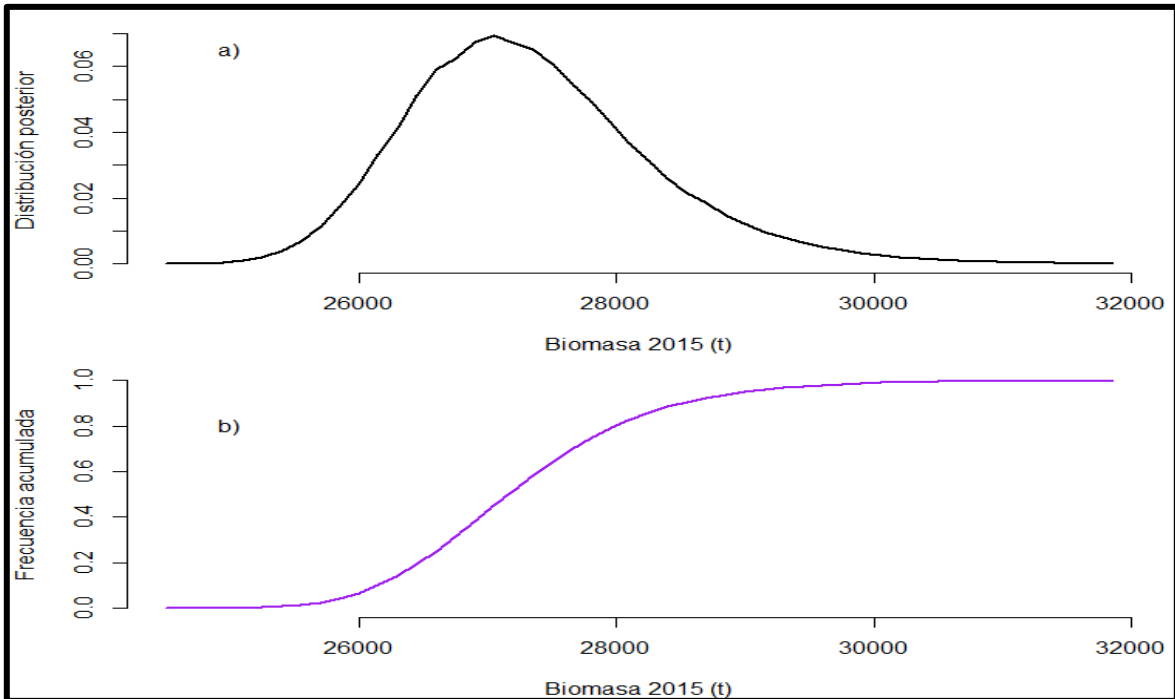
### 12.1 Anexo 1

- 1.- ¿Cuántas horas dedican por día para pescar?
- 2.- ¿cuántos días a la semana?
- 3.- ¿Cuántos Kg por pescador capturan a la semana?
- 4.- ¿Cuántos toneladas de pulpo por pescador pescó la temporada pasada?
- 5.- ¿Cuánto dinero por embarcación invirtió para la pesca del pulpo la temporada pasada?
- 6.- Tipo de embarcación  
 Mayor  
 Menor  
 Otra
- 7.- ¿Recibe algún apoyo del gobierno para esta actividad pesquera?
- 8.- Además del pulpo, ¿Qué otras especies pesca?
- 9.- ¿Cuál es el gasto semanal por pescador en los siguientes productos, Hielo?
- 10.- ¿Carnada?
- 11.- ¿Combustible por embarcación?
- 12.- ¿Aceite?
- 13.- ¿Cuánto gastó para la pesca de pulpo, la temporada pasada?
- 14.- ¿En cuánto le pagaron el kilo de pulo la temporada pasada?
- 15.- En caso de pagar por permisos de pesca, ¿Cuánto paga por ellos y cada cuánto tiempo?
- 16.- Anualmente ¿cuánto dinero invierte en el mantenimiento de la embarcación?
- 17.- ¿Cuenta con prestaciones de ley, seguro, caja de ahorro, etc.?
- 18.- ¿Es suficiente la pesca para poder solventar los gastos familiares?
- 19.- ¿Cuál es su último grado de estudios?
- 20.- ¿Conoce las normas por las que está regulada la pesquería del pulpo rojo?

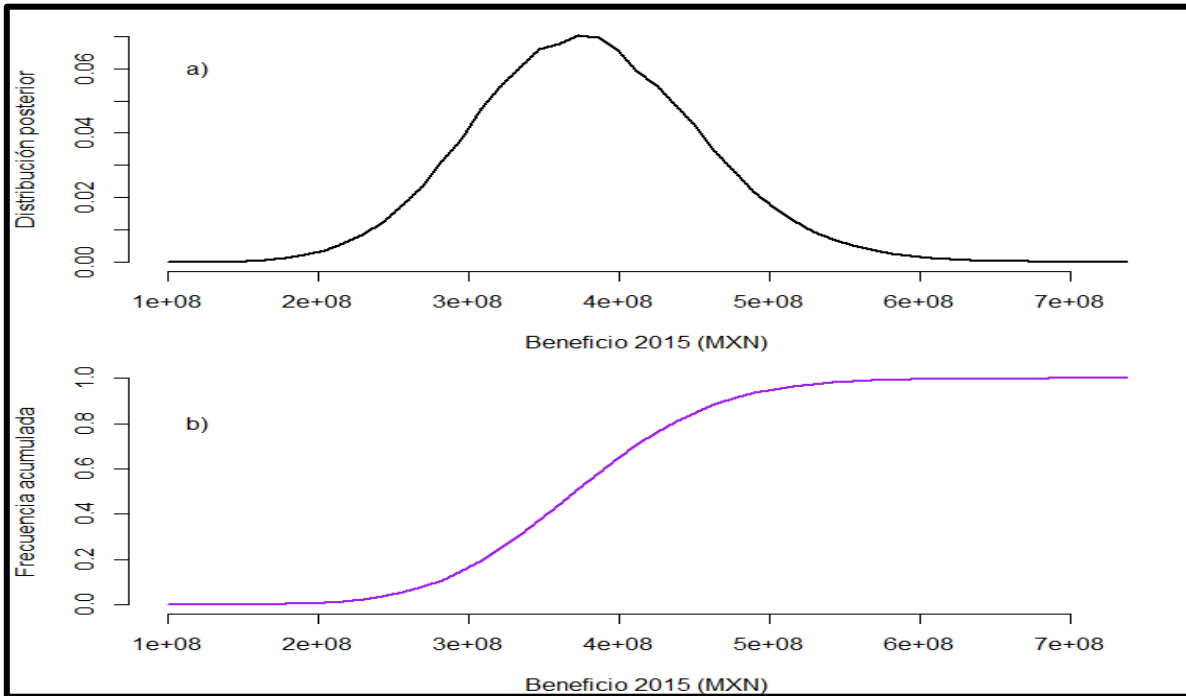
## 12.2 Anexo 2



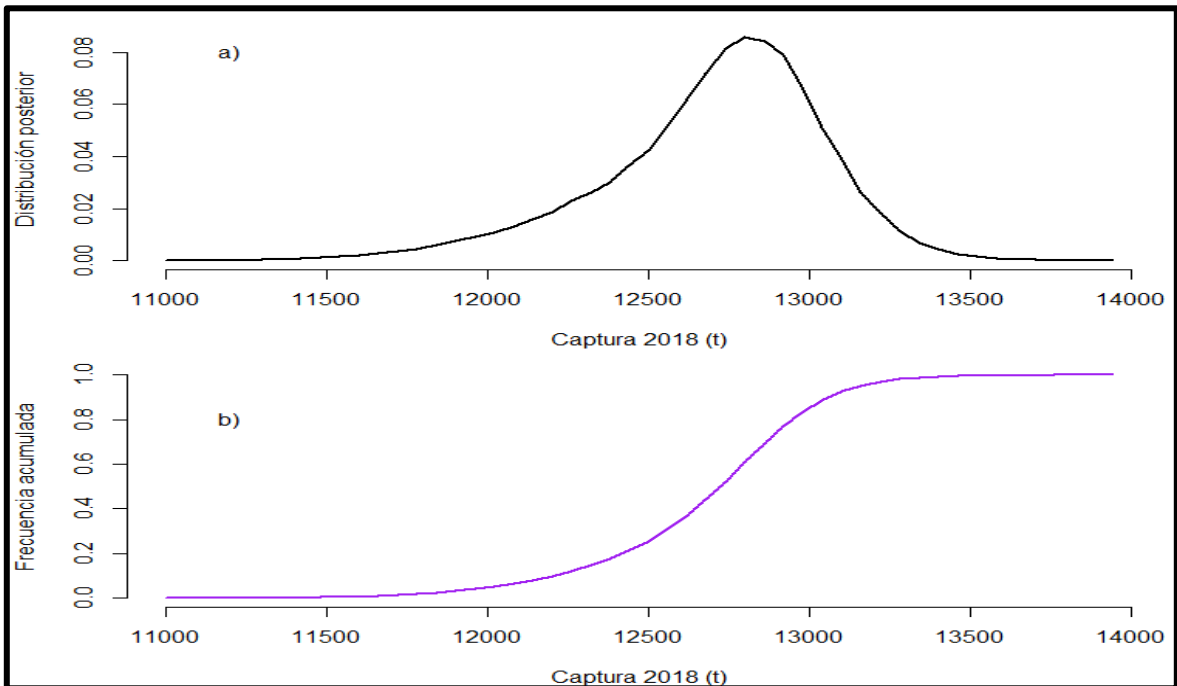
**Figura 20.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2015, b) Frecuencia acumulada de la captura en 2015; con una tasa de explotación del 45% por el método SIR.



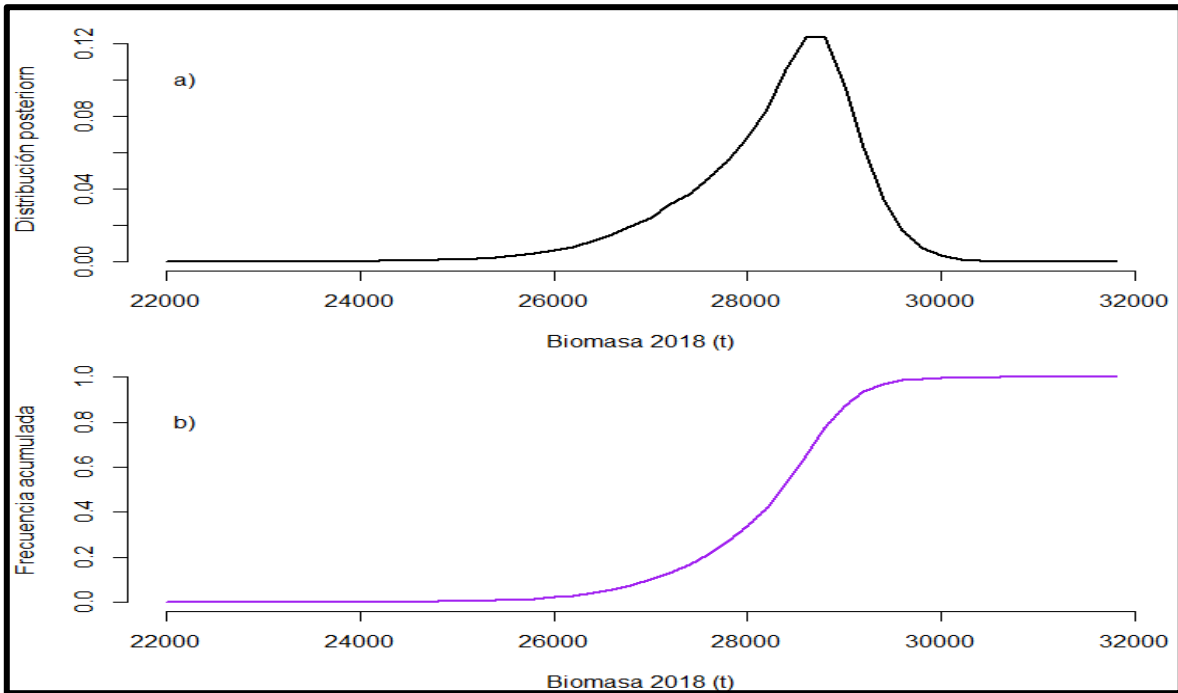
**Figura 21.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2015, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2015; con una tasa de explotación del 45% por el método SIR.



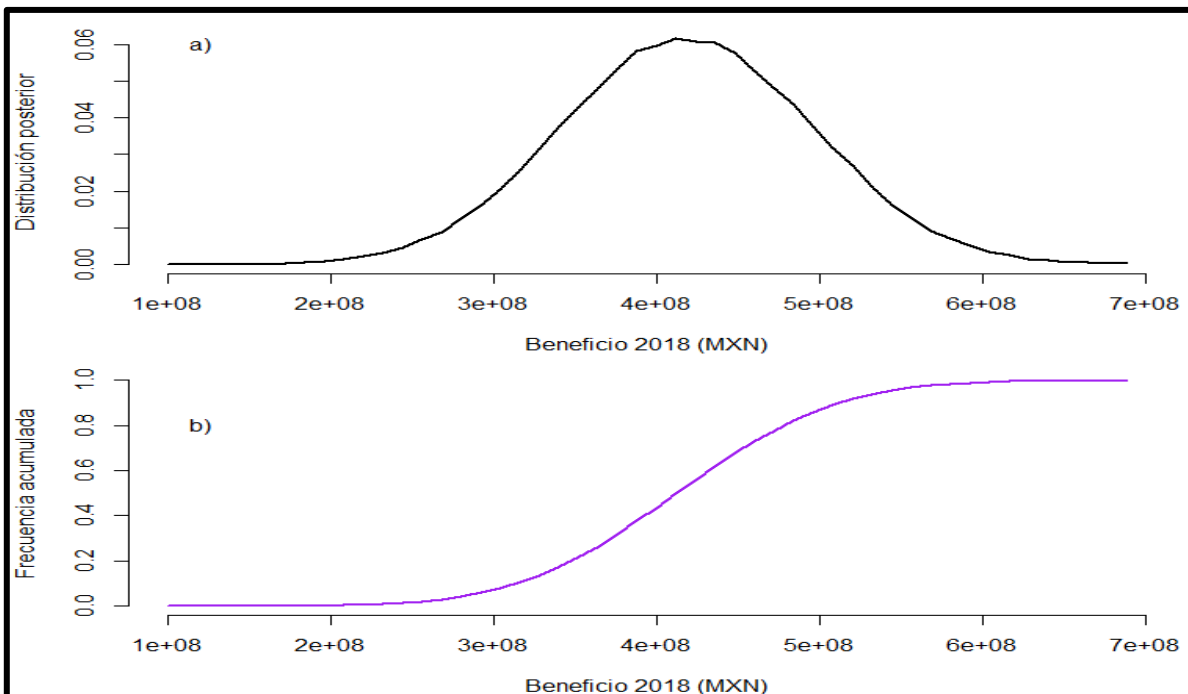
**Figura 22.** a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2015, b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2015; con una tasa de explotación del 45% por el método SIR.



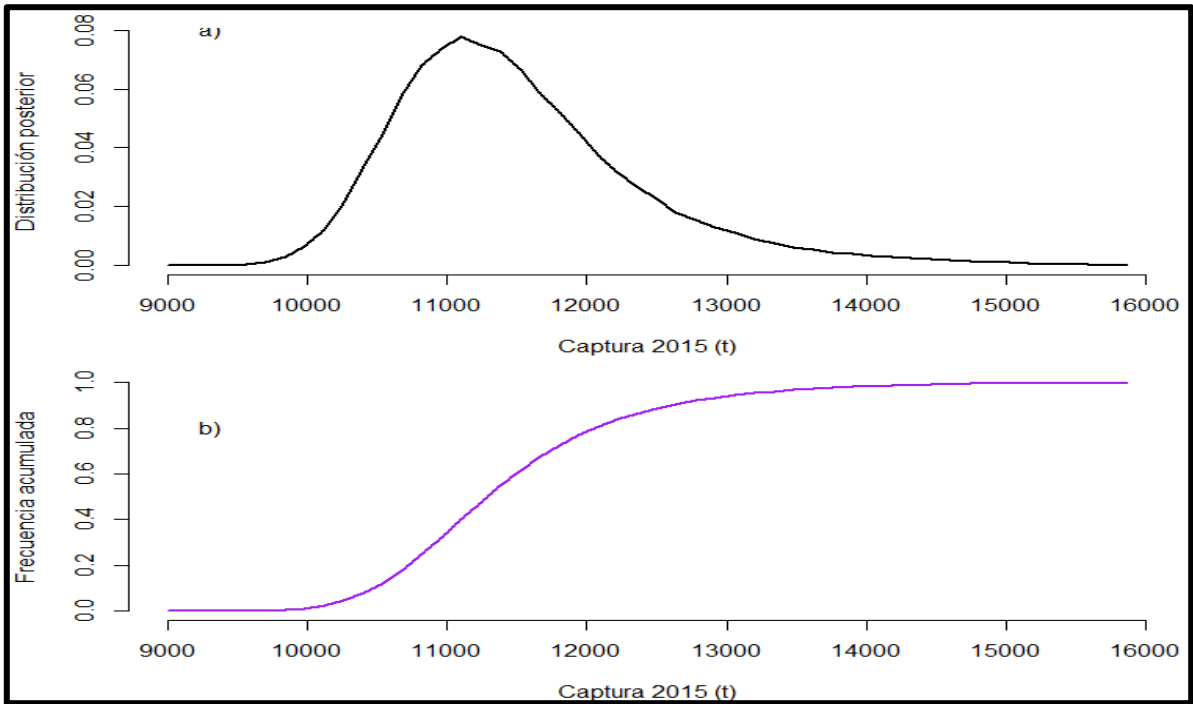
**Figura 23.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2018, b) Frecuencia acumulada de la captura en 2018; con una tasa de explotación del 45% por el método SIR.



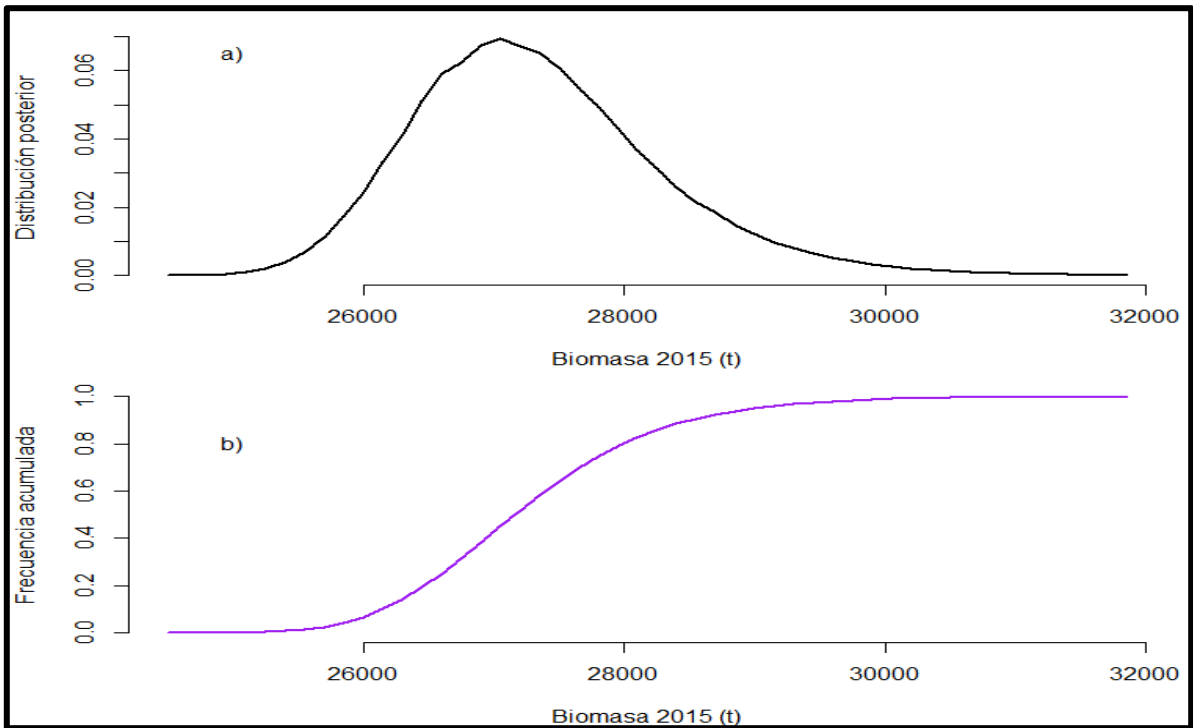
**Figura 24.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2018, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2018; con una tasa de explotación del 45% por el método SIR.



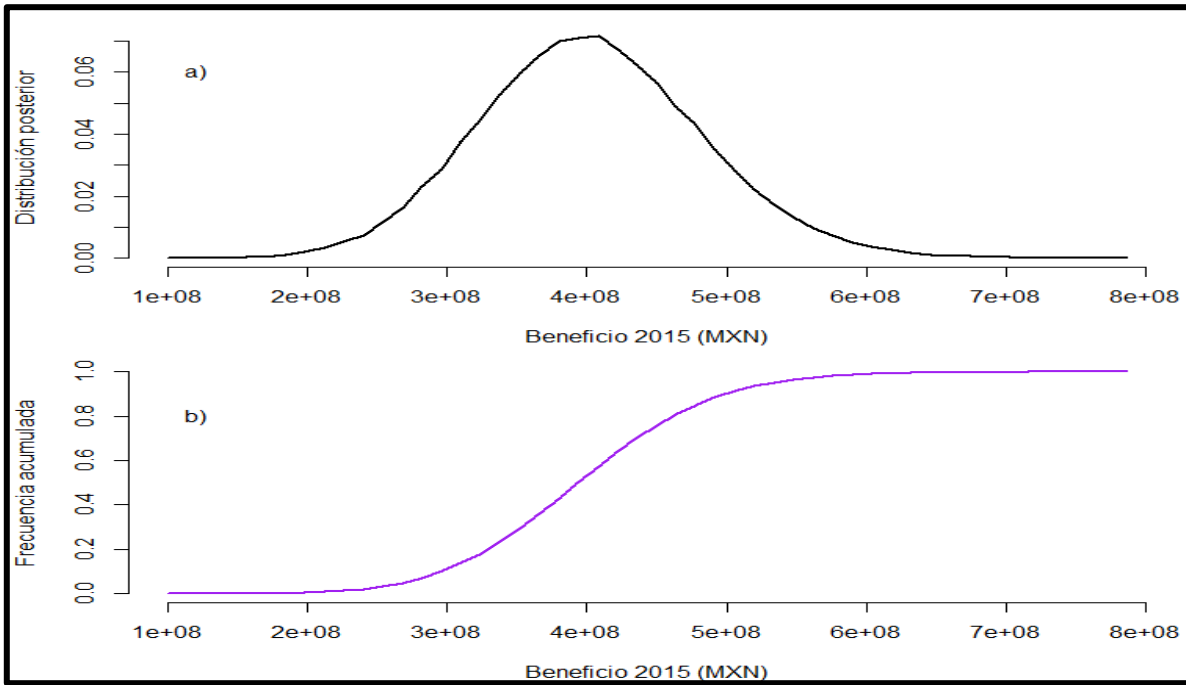
**Figura 25.** a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2018, b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2018; con una tasa de explotación del 45% por el método SIR.



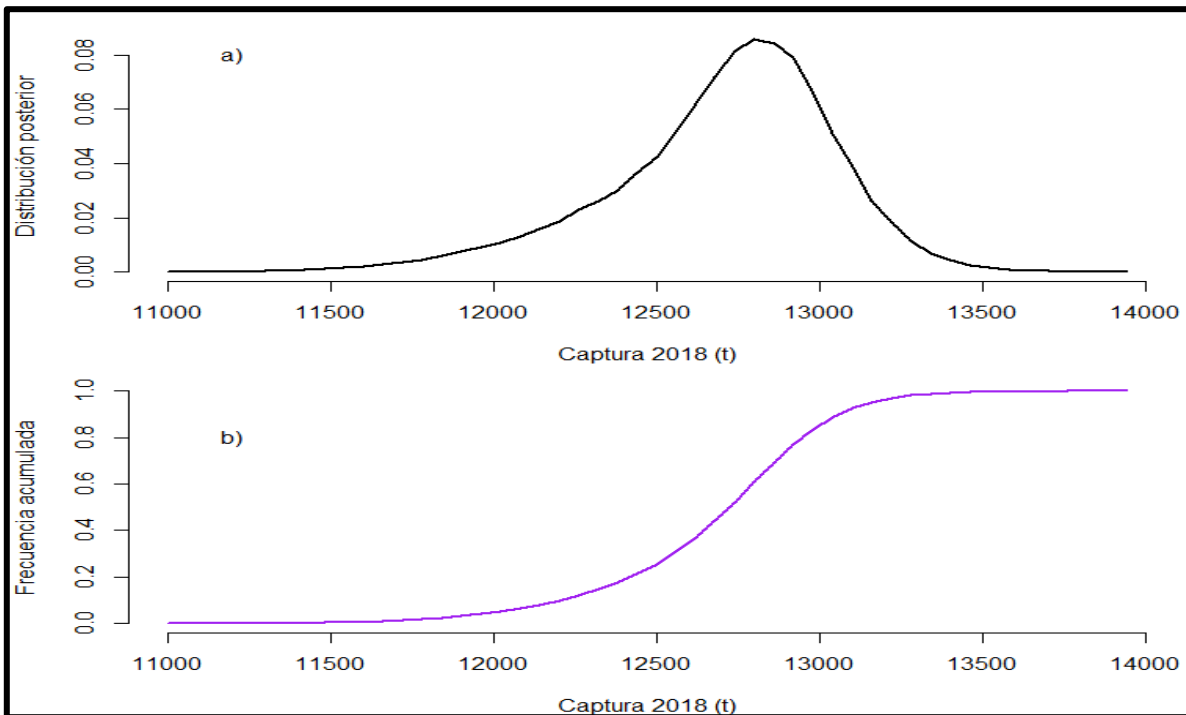
**Figura 26.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2015, b) Frecuencia acumulada del beneficio la biomasa en 2015; con una tasa de explotación del 50% y por el método SIR



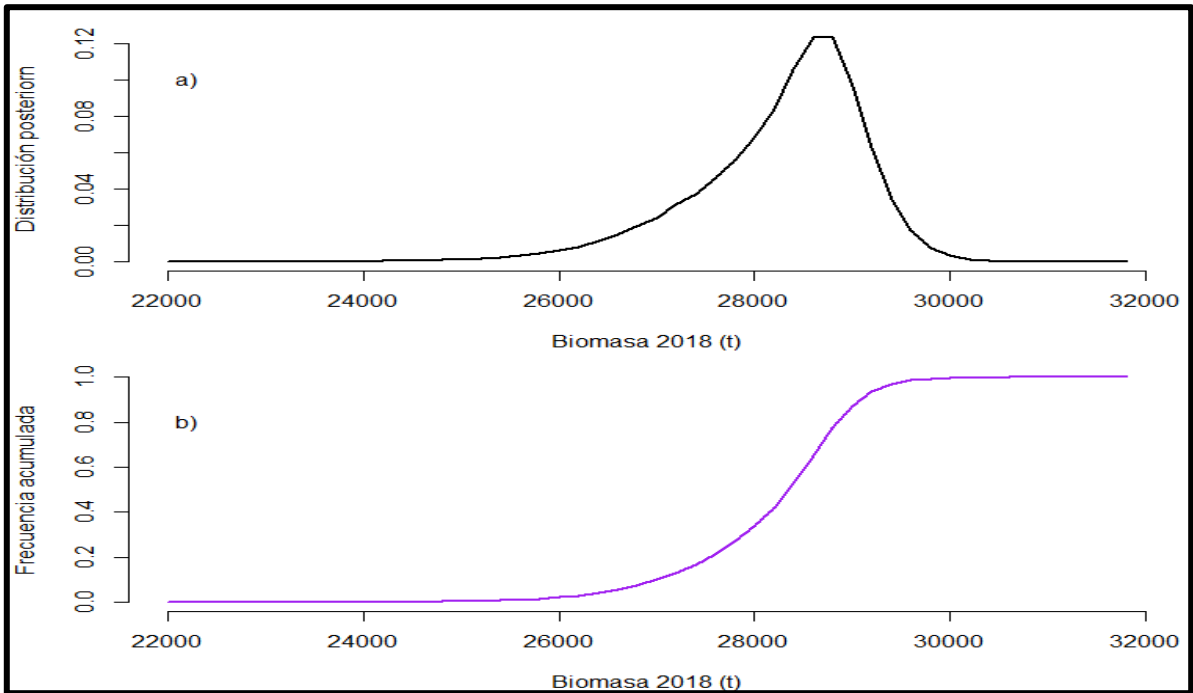
**Figura 27.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2015, b) Frecuencia acumulada del beneficio la biomasa en 2015; con una tasa de explotación del 50% por el método SIR.



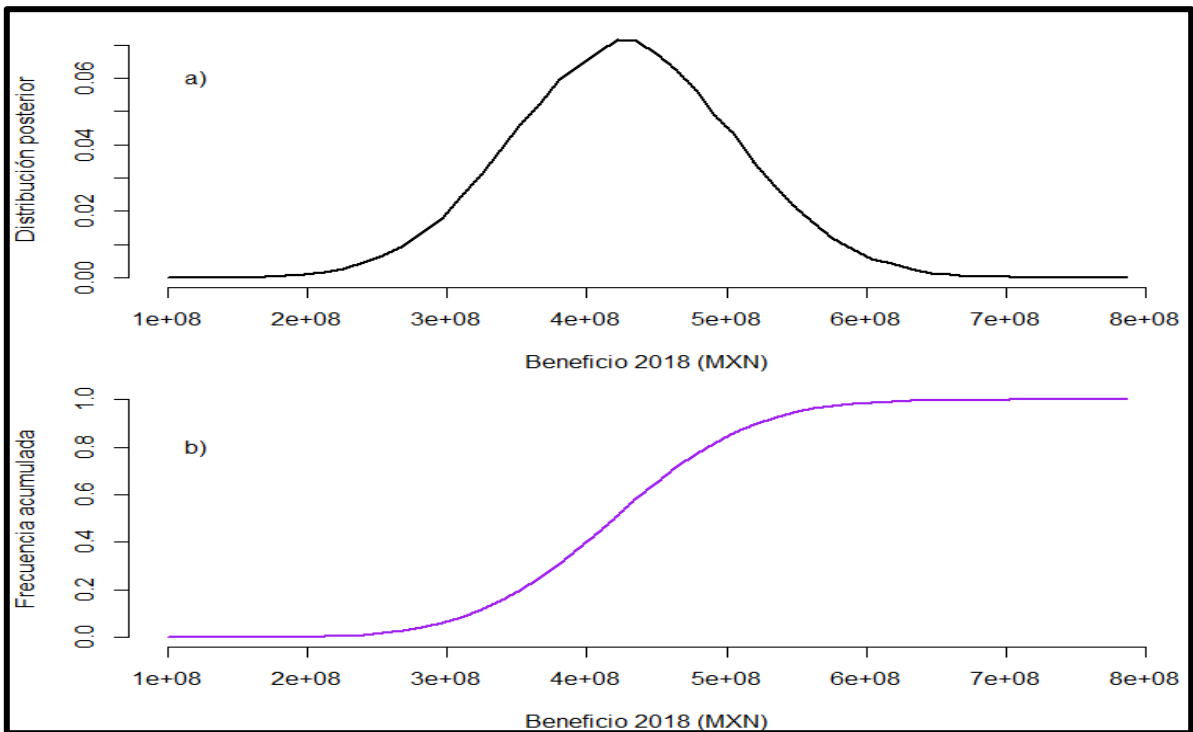
**Figura 28.** a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2015, b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2015; con una tasa de explotación del 50% por el método SIR.



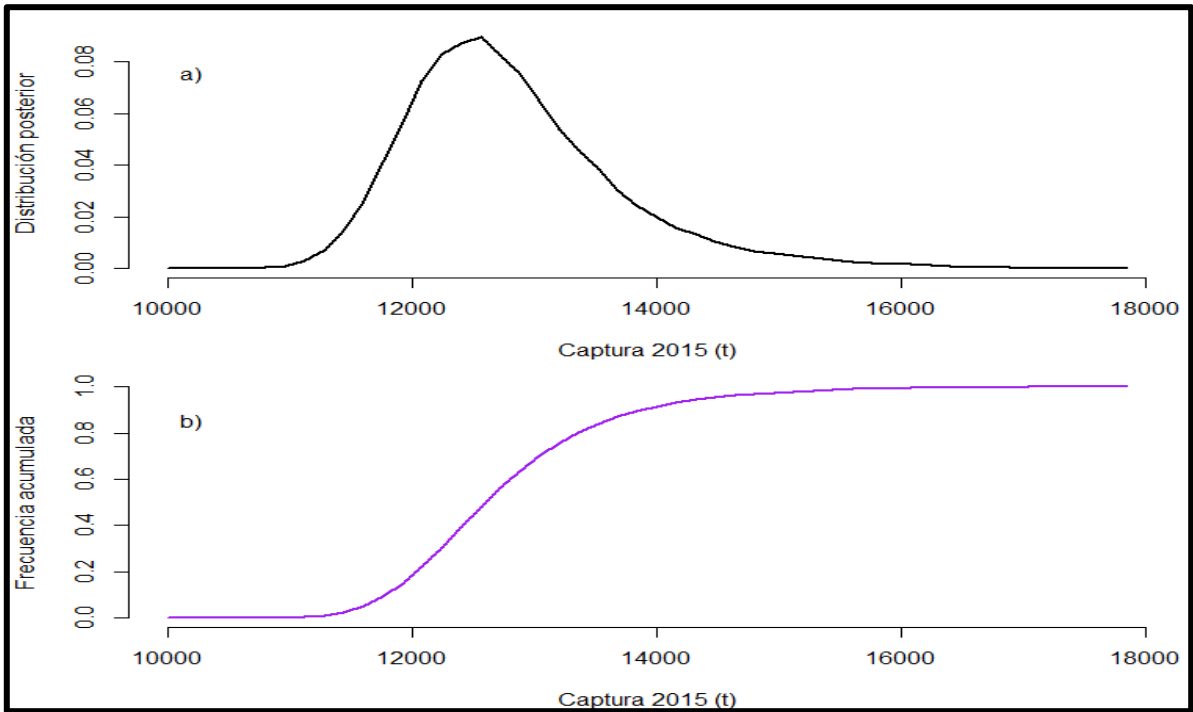
**Figura 29.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2018, b) Frecuencia acumulada de la captura en 2018; con una tasa de explotación del 50% y por el método SIR.



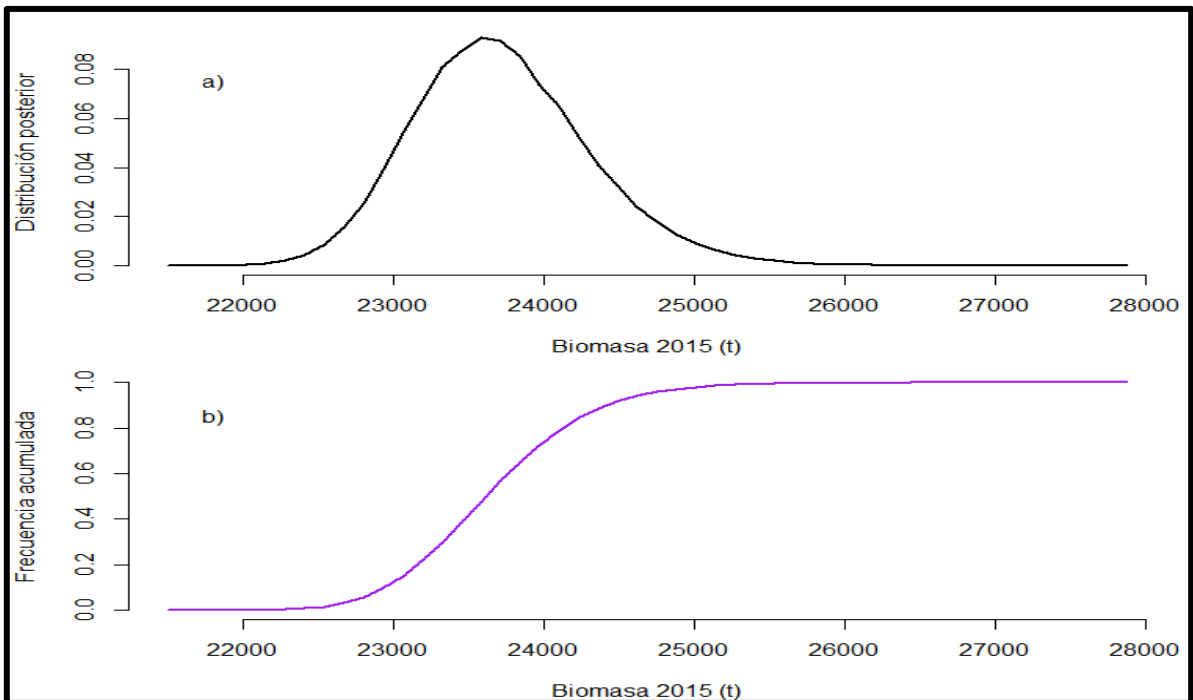
**Figura 30.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2018, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2018; con una tasa de explotación del 50% por el método SIR.



**Figura 31.** a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2018, b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2018; con una tasa de explotación del 50% por el método SIR.

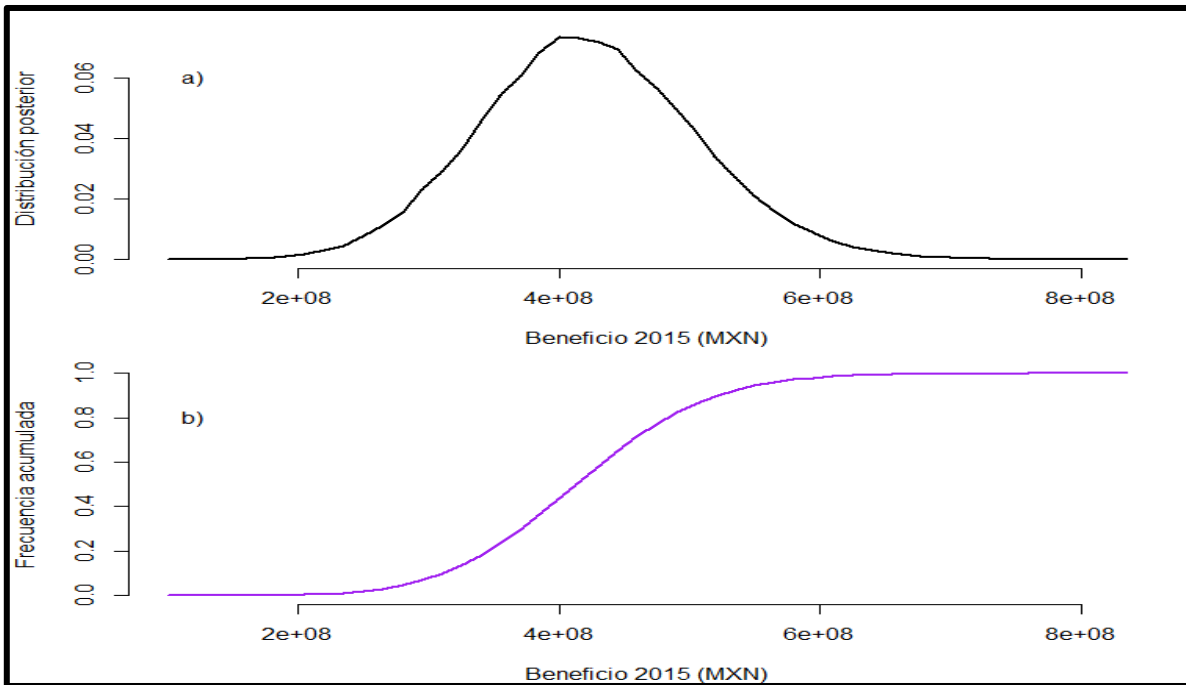


**Figura 32.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2015, b) Frecuencia acumulada de la captura en 2015; con una tasa de explotación del 55% por el método SIR.

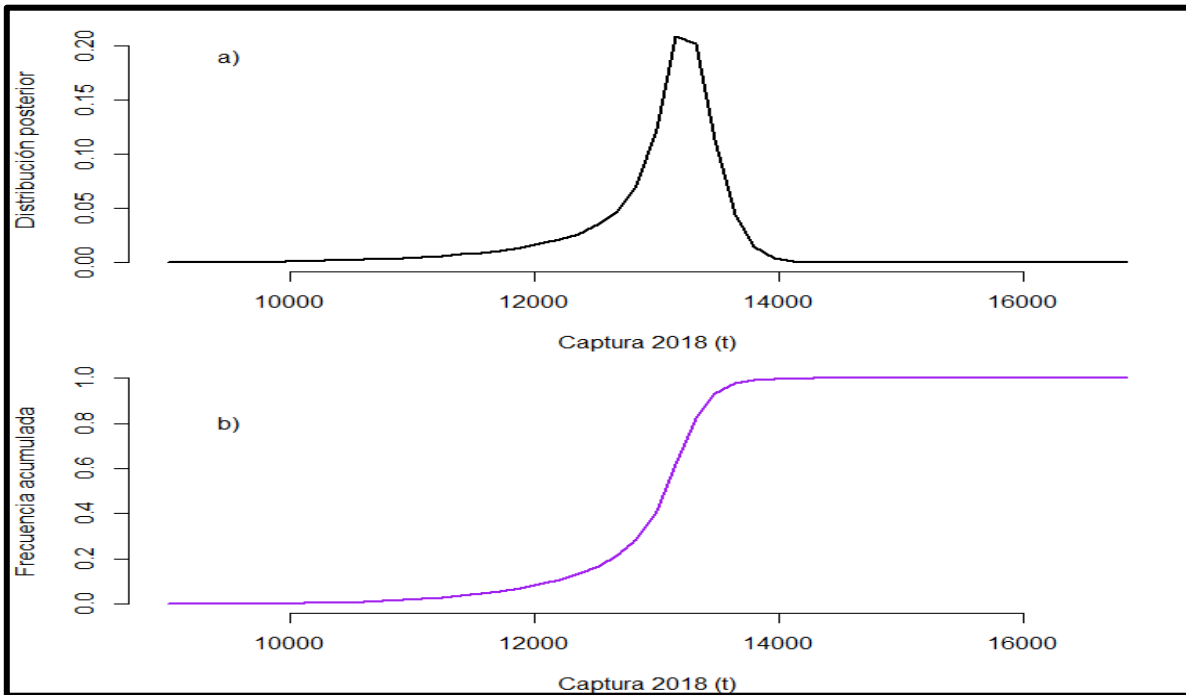


**Figura 33.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2015, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2015; con una tasa de explotación del 55% por el método SIR

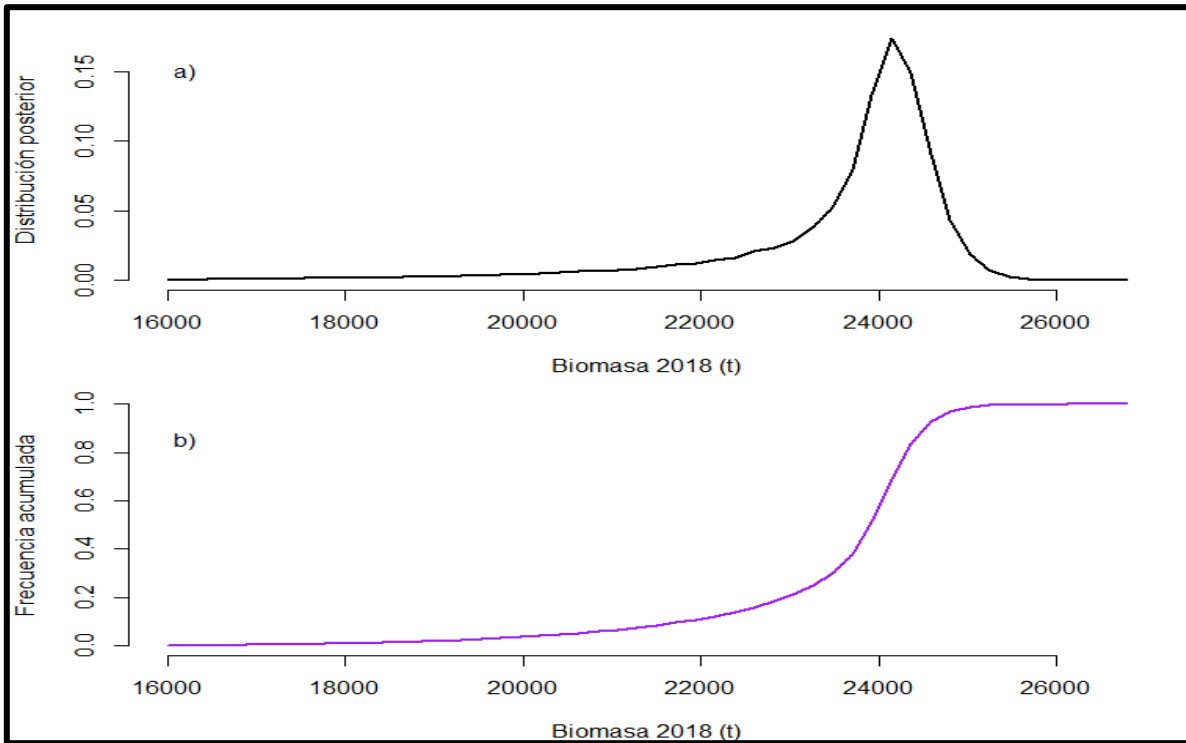




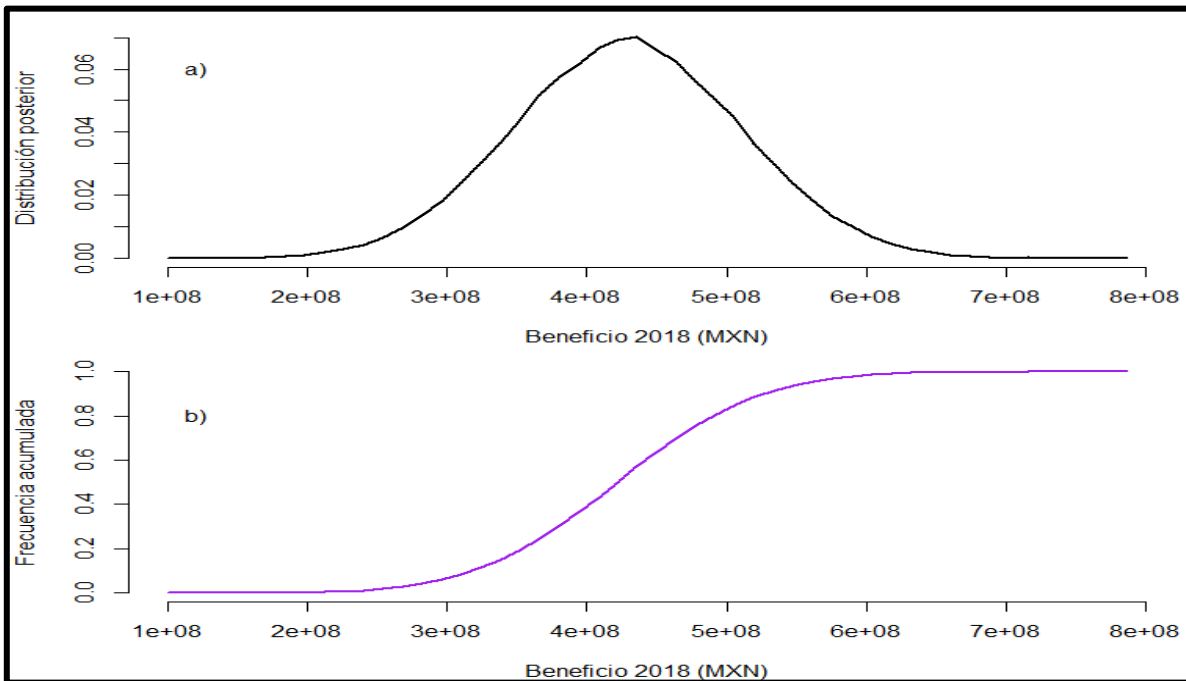
**Figura 34.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2015, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2015; con una tasa de explotación del 55% por el método SIR.



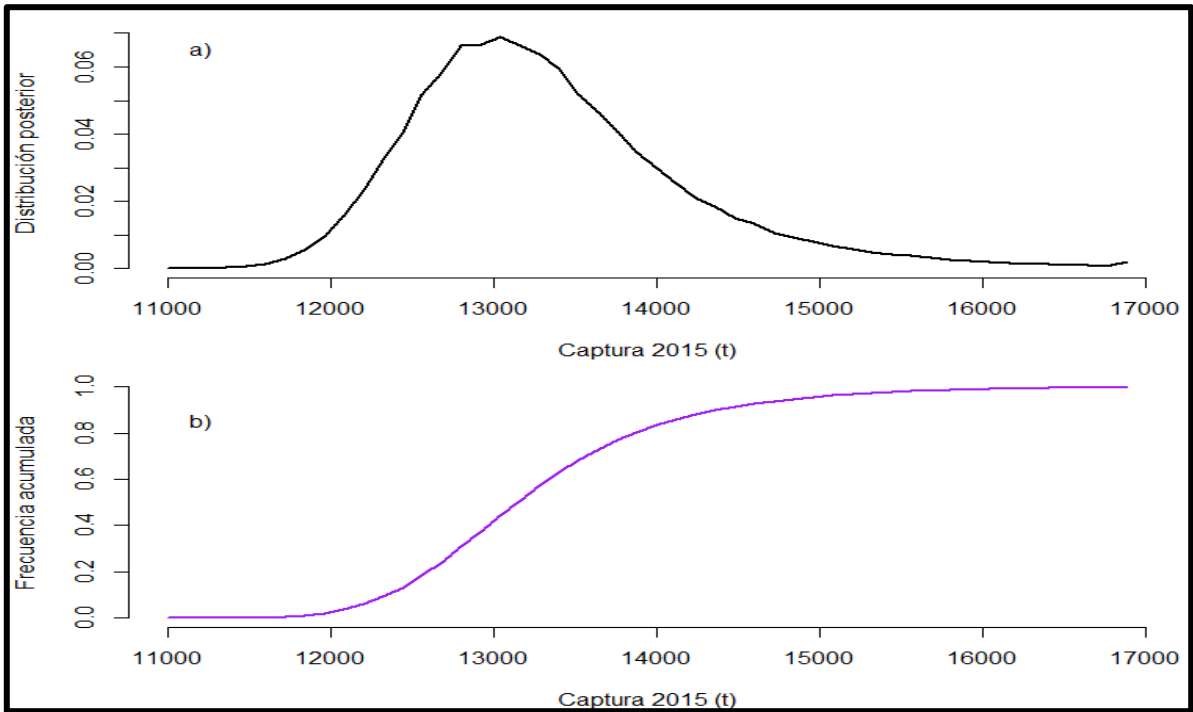
**Figura 35.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2018, b) Frecuencia acumulada de la captura en 2018; con una tasa de explotación del 55% por el método SIR.



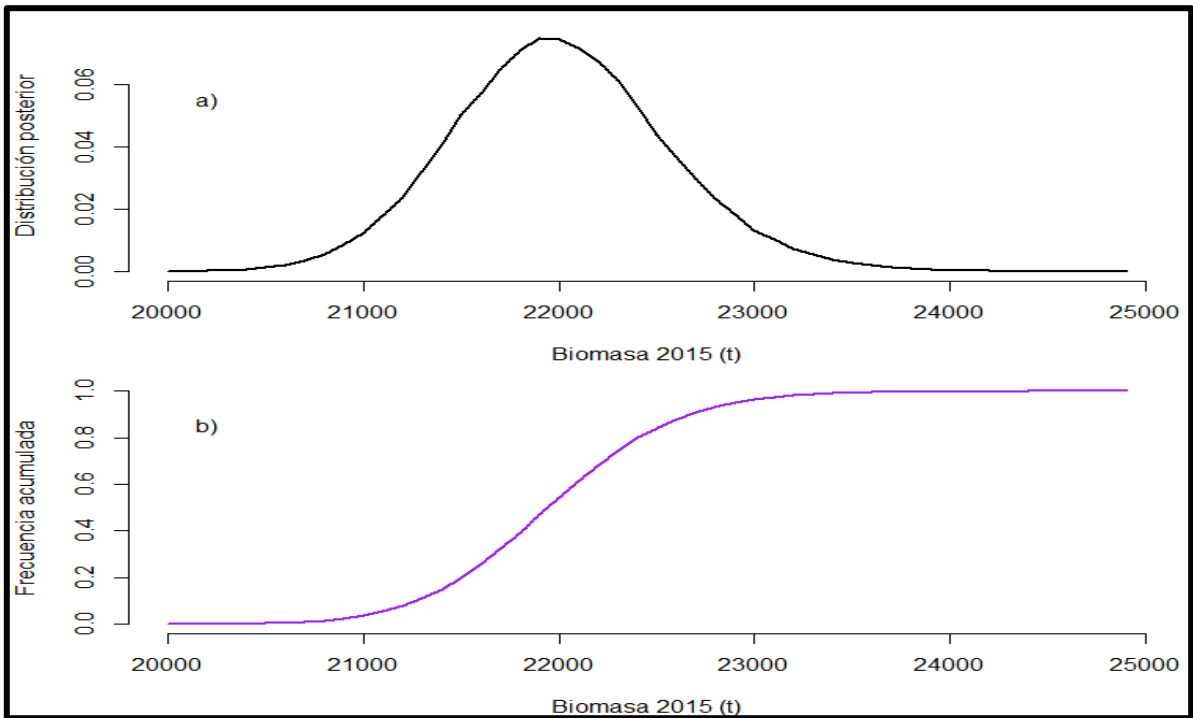
**Figura 36.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2018, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2018; con una tasa de explotación del 55% por el método SIR.



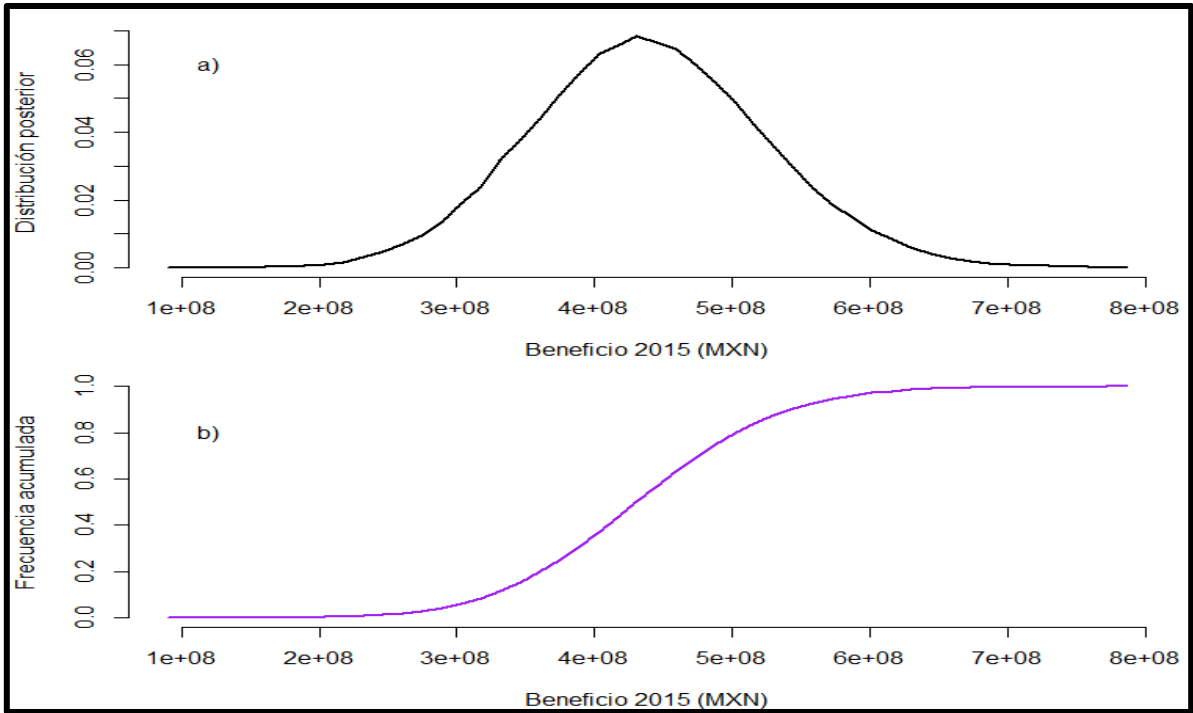
**Figura 37.** a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2018, b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2018; con una tasa de explotación del 55% por el método SIR.



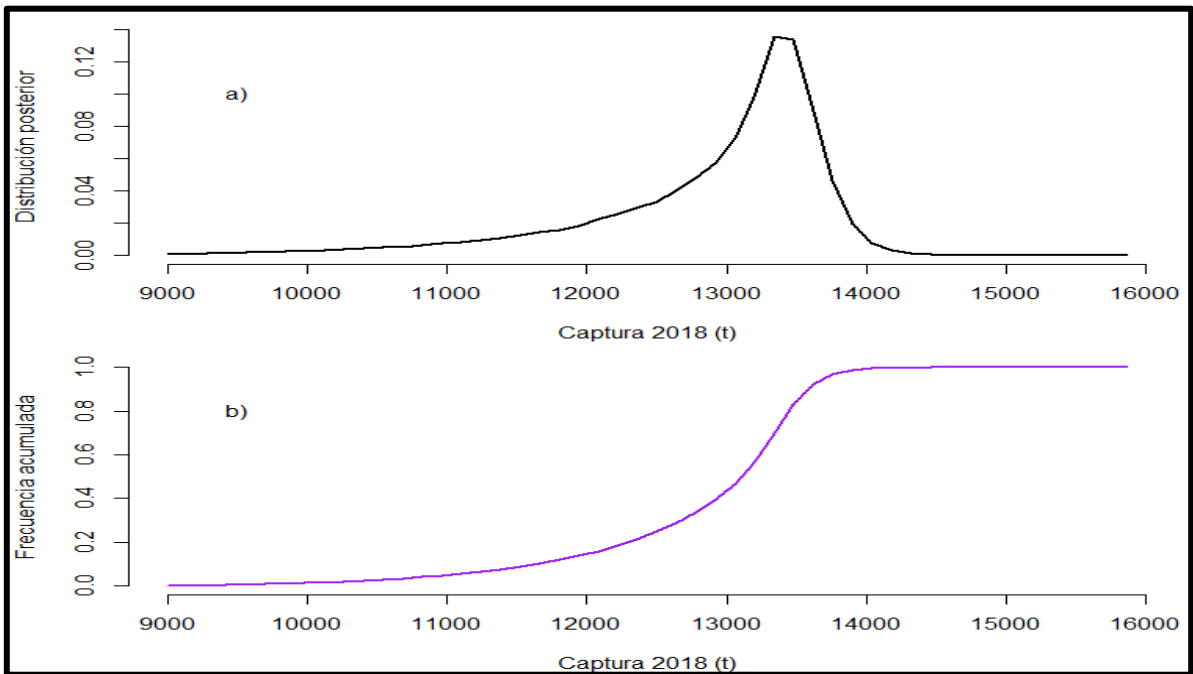
**Figura 38.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2015, b) Frecuencia acumulada de la captura en 2015; con una tasa de explotación del 60% por el método SIR.



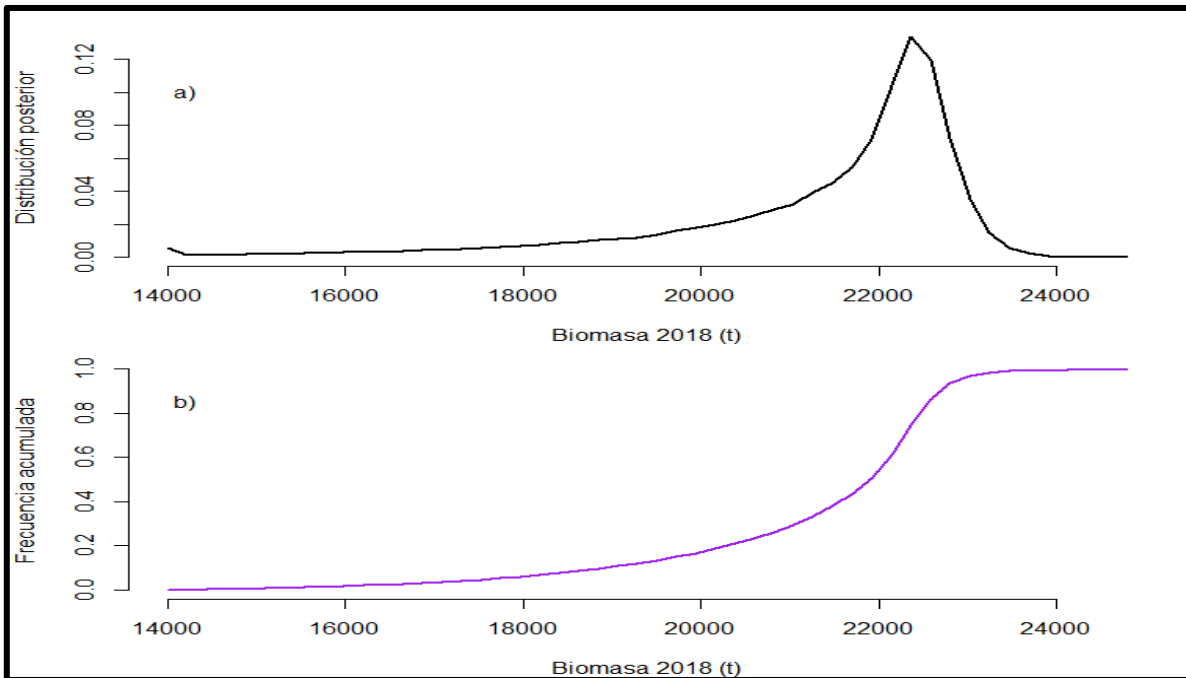
**Figura 39.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2015, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2015; con una tasa de explotación del 60% por el método SIR.



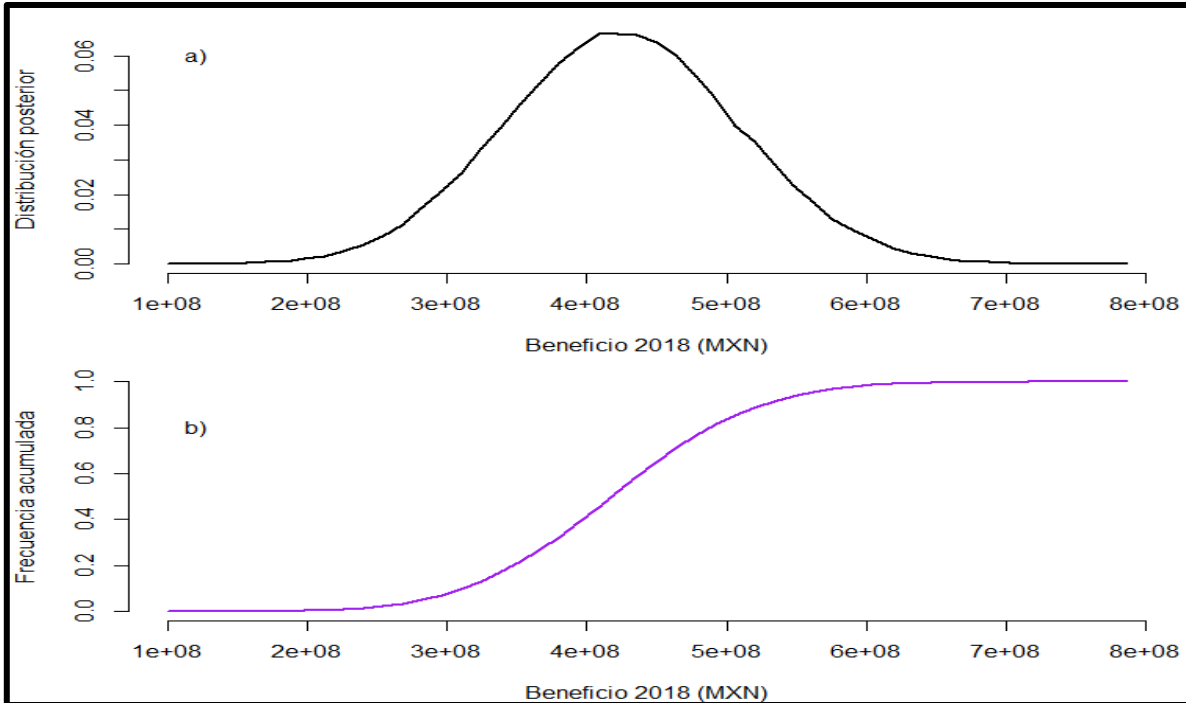
**Figura 40.** a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2015, b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2015; con una tasa de explotación del 60% por el método SIR.



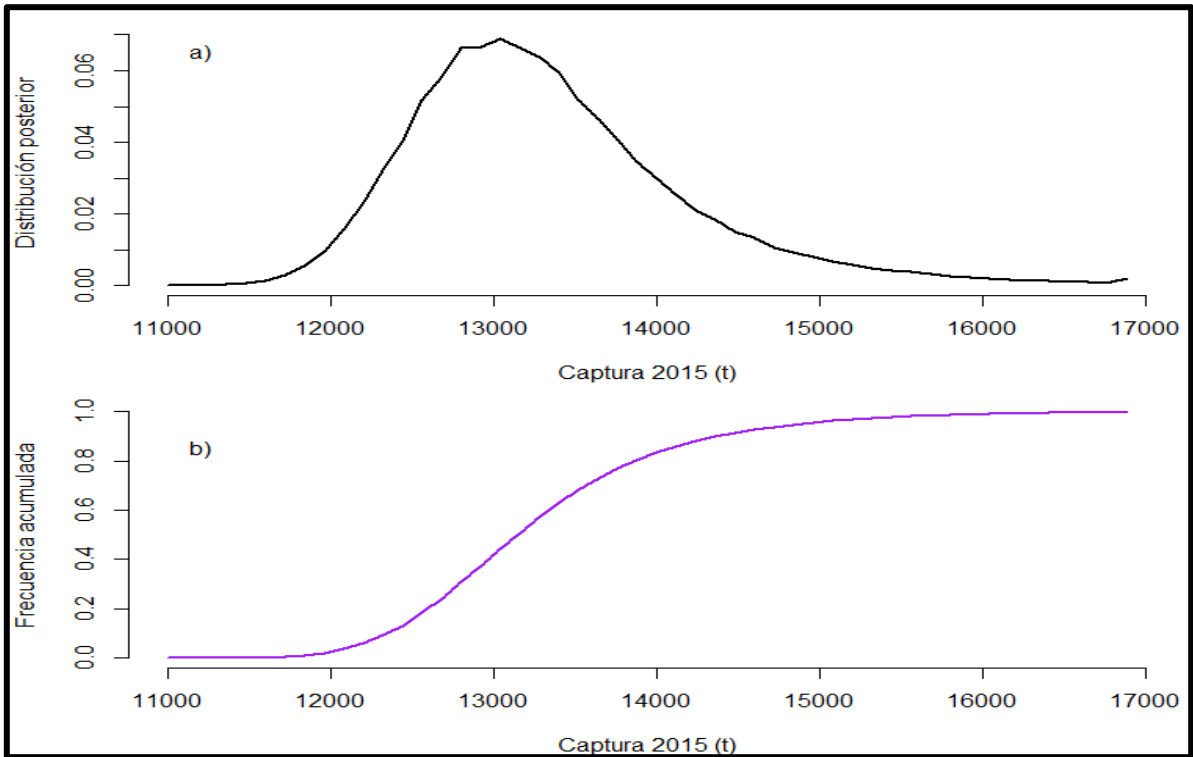
**Figura 41.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2018, b) Frecuencia acumulada de la captura en 2018; con una tasa de explotación del 60% por el método SIR.



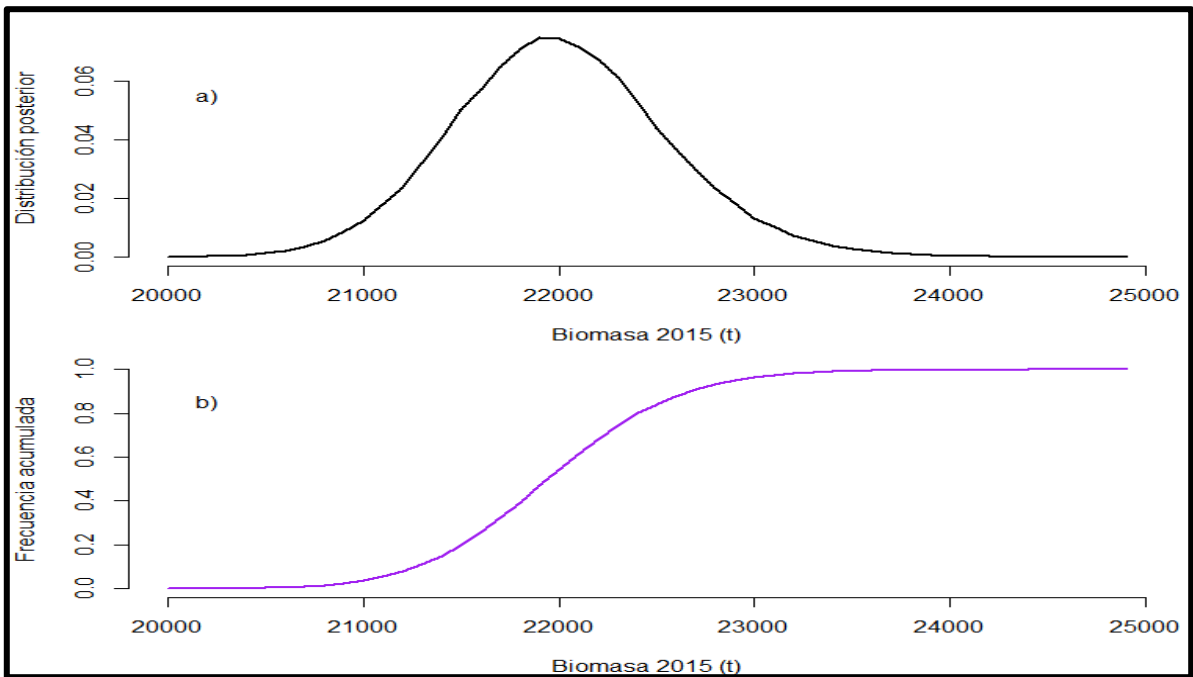
**Figura 42.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2018, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2018; con una tasa de explotación del 60% por el método SIR.



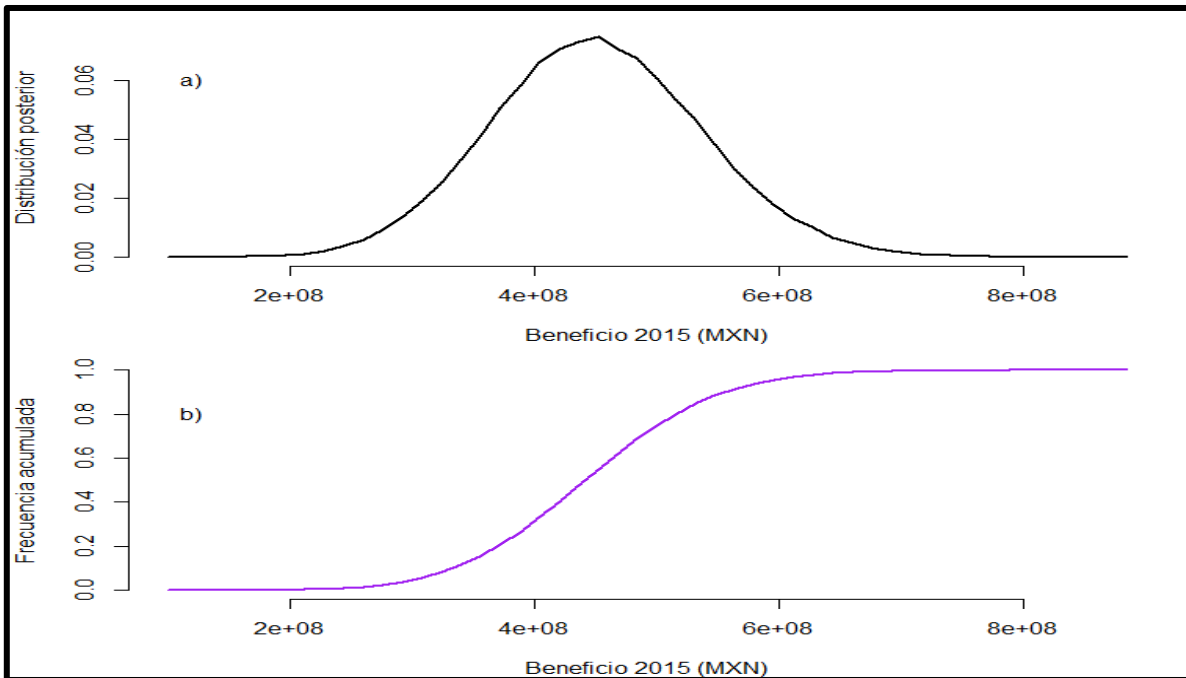
**Figura 43.** a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2018, b) Frecuencia acumulada de beneficio en 2018; con una tasa de explotación del 60% por el método SIR.



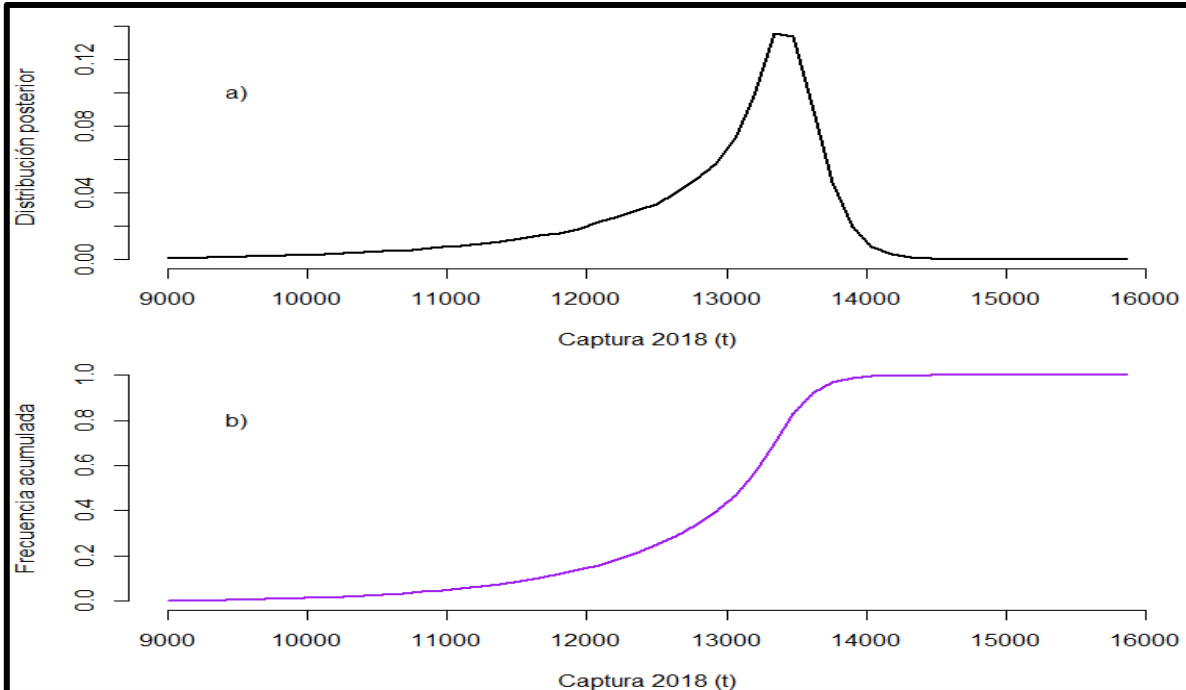
**Figura 44.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2015, b) Frecuencia acumulada de la captura en 2015; con una tasa de explotación del 65% por el método SIR.



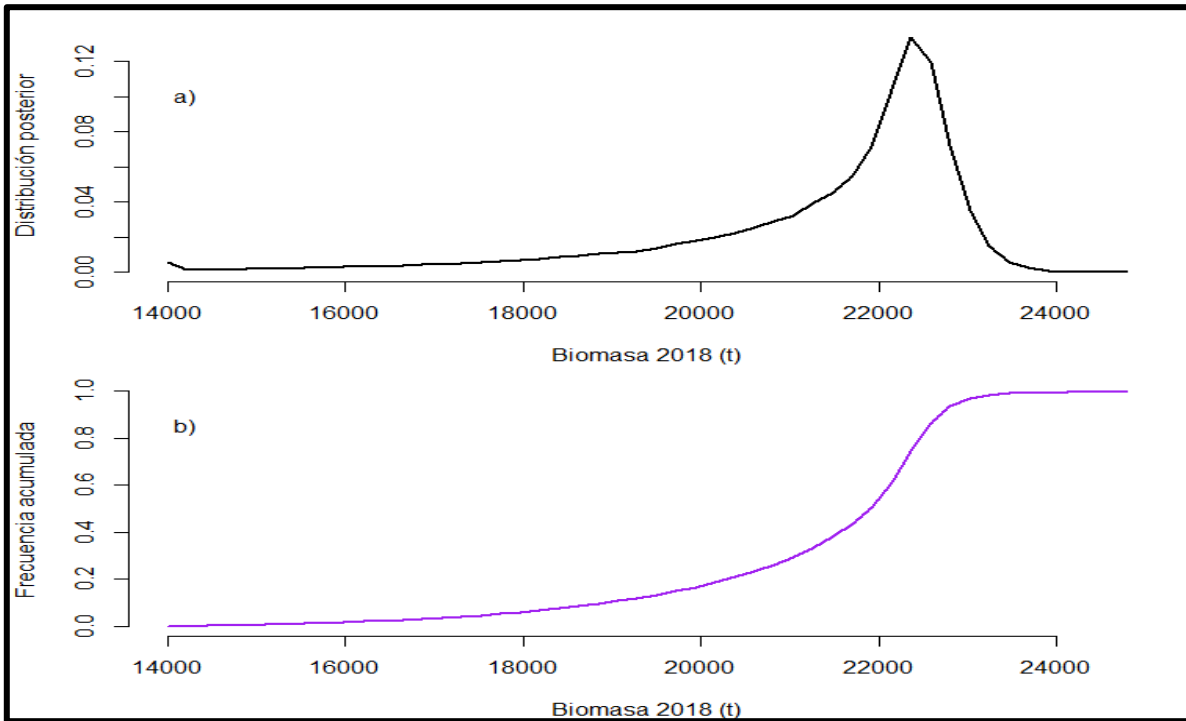
**Figura 45.** a) Distribución marginal posterior de la biomasa en 2015, b) Frecuencia acumulada de la biomasa en 2015; con una tasa de explotación del 65% por el método SIR.



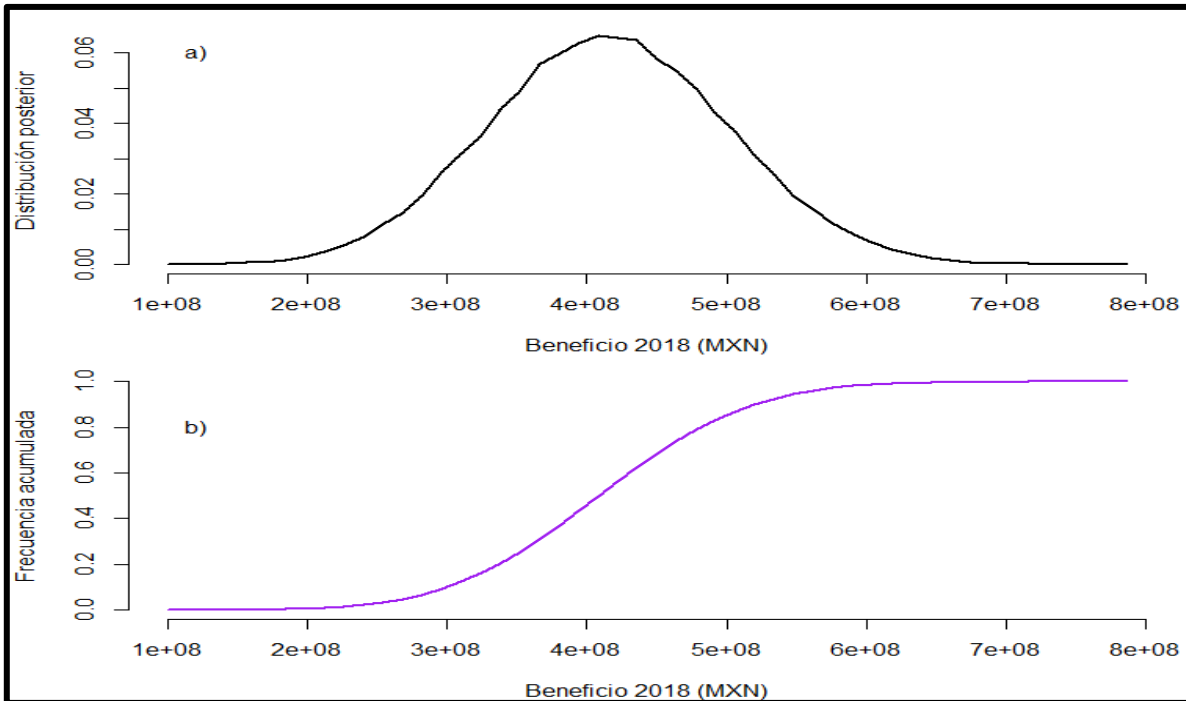
**Figura 46.** a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2015, b) Frecuencia acumulada de beneficio en 2015; con una tasa de explotación del 65% por el método SIR.



**Figura 47.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2018, b) Frecuencia acumulada de la captura en 2018; con una tasa de explotación del 65% por el método SIR.



**Figura 48.** a) Distribución marginal posterior de la captura en 2018, b) Frecuencia acumulada de la captura en 2018; con una tasa de explotación del 65% por el método SIR.



**Figura 49.** a) Distribución marginal posterior del beneficio en 2018, b) Frecuencia acumulada del beneficio en 2018; con una tasa de explotación del 65% por el método SIR.