



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

**ANÁLISIS DE LA PESQUERÍA PLURIESPECÍFICA DE  
LA SARDINA DEL GOLFO DE CALIFORNIA, MEXICO**

**T E S I S**

**Que para optar por el grado de  
Maestra en Ciencias  
(Biología Marina)**

**P r e s e n t a  
SARA NIDIA GARCIA SANDOVAL**

**Tutor Principal: Dr. Ernesto Aarón Chávez Ortiz**  
(Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas)

**Comité Tutor:**

**Dr. Jorge Alberto López Rocha**  
(Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación del SISAL, UNAM)

**Dr. Adolfo Gracia Gasca**  
(Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM)

**Dra. Elaine Espino Barr**  
((Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, CRIP Manzanillo)

**Dr. Luis Antonio Salcido Guevara**  
(Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa)

**CD. MX., JULIO, 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



**ANÁLISIS DE LA PESQUERÍA PLURIESPECÍFICA DE  
LA SARDINA DEL GOLFO DE CALIFORNIA, MEXICO**

**T E S I S**

**Que para obtener el grado académico de**

**Maestra en Ciencias  
(Biología Marina)**

**P r e s e n t a**

**SARA NIDIA GARCIA SANDOVAL**

**Director de Tesis: Dr. Ernesto Aarón Chávez Ortiz**  
(Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN)

**Comité Tutor:**

**Dr. Jorge Alberto López Rocha**  
(Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación del SISAL, UNAM)

**Dr. Adolfo Gracia Gasca**  
(Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM)

**Dra. Elaine Espino Barr**  
(Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, CRIP Manzanillo)

**Dr. Luis Antonio Salcido Guevara**  
(Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa)





---

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar el fruto de estos dos años de trabajo a las personas más importantes en mi vida y cuyo aliento, apoyo y ejemplo han sido mi guía en cada paso que doy, mis padres:

**ANDRÉS ISIDRO GARCÍA CÁRDENAS**

**Y**

**MA. DEL CONSUELO SANDOVAL RODRÍGUEZ**

Sin lugar a dudas este logro es también de ustedes, los amo y bendigo.

A mi esposo **JUAN FRANCISCO CRUZ ELÍAS**, quien con amor y paciencia ha estado a mi lado a cada paso de esta aventura.

Y quiero dedicar esta tesis en especial a mi tía **DELFINA SANDOVAL RODRIGUEZ**, cuyas palabras de amor y aliento han sido mi bandera de batalla todo este tiempo:

**“NO DESISTAS, TARDE LO QUE TARDE Y CUESTE LO QUE CUESTE”**

Gracias tía, descansa en paz!

---

## Agradecimientos

### Académicos.

Al Posgrado del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por acogerme y por darme la oportunidad de desarrollarme como estudiante y profesionalista.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca de manutención durante el desarrollo de este trabajo.

A mi Comité tutor

Al Dr. Ernesto Chávez por compartir su amplio conocimiento conmigo y por permitirme aprender cosas tan valiosas e importantes para mi formación, pero en especial por su amistad, cariño y sobre todo su paciencia.

Dr. Jorge López  
Dr. Antonio Salcido  
Dra. Elaine Espino  
Dr. Adolfo Gracia

Gracias por sumarse a este proyecto y por los comentarios, consejos y atenciones al mismo.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) por abrirme las puertas para hacer mi estancia de investigación y permitirme aprender de grandes profesores y hacer grandes amigos.

---

## Personales.

A mis padres por darme las herramientas necesarias para vencer los obstáculos que se presenten, por creer tanto en mí, por no dejarme renunciar jamás y por enseñarme que soy una guerrera y que no hay nada que me proponga que no pueda alcanzar con el esfuerzo y trabajo necesario.

A Paco por decidir sumarse a este sueño y acompañarme con amor en cada aventura y locura que se me ocurre, gracias amor te amo muchísimo, al frijolito por llegar en el momento indicado y obligarme a terminar a tiempo esta etapa.

A Teban, Jessi, Etian y Andrea que con su amor me impulsan a ser una mejor persona y profesionista.

A mis tíos Clara García e Israel Ramírez por darme más de lo que podían para que alcanzara la meta.

A mi familia Sandoval Rodriguez, que cuando vieron que no podía más me brindaron su apoyo para seguir adelante; Gracias Vicky por ser más que mi prima y estar a mi lado cuando más lo necesitaba.

A mis amigos y compañeros con los que tuve el placer de trabajar y convivir en esta etapa, siempre serán parte de mí.

Y a todas las personas que bien o mal han aportado algo a mi vida

## **Tabla de contenido**

<b><i>RESUMEN</i></b>	<b>4</b>
<b><i>ABSTRACT</i></b>	<b>5</b>
<b><i>INTRODUCCIÓN</i></b>	<b>6</b>
<b><i>LA PESQUERIA</i></b>	<b>8</b>
<b><i>ANTECEDENTES</i></b>	<b>11</b>
<b><i>JUSTIFICACION</i></b>	<b>14</b>
<b>Académica</b>	<b>14</b>
<b>Personal</b>	<b>14</b>
<b><i>OBJETIVOS</i></b>	<b>15</b>
<b><i>MATERIALES Y MÉTODOS</i></b>	<b>17</b>
<b><i>RESULTADOS</i></b>	<b>23</b>
<b>Sardina Monterrey</b>	<b>25</b>
<b>Sardina Crinuda</b>	<b>29</b>
<b>Sardina Bocona</b>	<b>32</b>
<b>Macarela</b>	<b>35</b>
<b>Anchoveta</b>	<b>39</b>
<b>Sardina Japonesa</b>	<b>43</b>
<b>Sardina Piña</b>	<b>46</b>
<b><i>DISCUSION</i></b>	<b>49</b>
<b><i>CONCLUSION y RECOMENDACIONES</i></b>	<b>52</b>
<b><i>REFERENCIAS</i></b>	<b>53</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona donde se desarrolla la pesquería de sardina en el Golfo de California (Chávez y Chávez Hidalgo, 2013) .....	8
Figura 2. Tendencias históricas de la captura desde los primeros años .....	9
Figura 3. Cambios temporales en la participación de las especies en las capturas de la pesquería de Sardina del Golfo de California A. 2000; B. 2007; C. 2014.....	24
Figura 4. Datos de captura de la pesquería incluyendo las siete especies (CONAPESCA, 2017) .....	25
Figura 5. Sardina Monterrey. ( <a href="http://www.fao.org">www.fao.org</a> ).....	25
Figura 6. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de sardina Monterrey. ....	26
Figura 7. Diagnóstico de la sardina Monterrey contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F.....	27
Figura 8. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de la sardina Monterrey. A. Edad de primera captura de 1 año; B. Edad de primera captura de 4 años.....	29
Figura 9. Sardina crinuda ( <a href="http://www.fao.org">www.fao.org</a> ) .....	29
Figura 10. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de sardina crinuda .....	30
Figura 11. Diagnóstico de la sardina crinuda contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F.....	31
Figura 12. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de sardina crinuda. A. Edad de primera captura de 1 año; B. Edad de primera captura de 3 años.....	32
Figura 13. Sardina bocona. ( <a href="http://www.fao.org">www.fao.org</a> ).....	32
Figura 14. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de sardina bocona. ....	33
Figura 15. Diagnóstico de la sardina bocona contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F.....	34
Figura 16. Rendimiento potencial de la Biomasa y la captura de la sardina bocona. A. Edad de captura de 1 año .....	35
Figura 17. Macarela. ( <a href="http://www.fao.org">www.fao.org</a> ) .....	35
Figura 18. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de macarela .....	37

Figura 19. Diagnóstico de macarela contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F .....	38
Figura 20. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de Macarela. A. Edad de captura de 1 año; B. Edad de captura de 6 años .....	39
Figura 21. Anchoveta. (www.fao.org) .....	39
Figura 22. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de anchoveta .....	40
Figura 23. Diagnóstico de anchoveta contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F .....	41
Figura 24. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de anchoveta. A. Edad de primera captura de 1 año; B. Edad de primera captura de 4 años. ....	42
Figura 25. Sardina japonesa. (www.fao.org) .....	43
Figura 26. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de sardina japonesa .....	43
Figura 27. Diagnóstico de sardina japonesa contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F .....	44
Figura 28. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de sardina japonesa. A. Edad de primera captura de 1 año; B. Edad de primera captura de 4 años.....	45
Figura 29. Sardina piña (www.fao.org) .....	46
Figura 30. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de sardina piña .....	46
Figura 31. Diagnóstico de sardina piña contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F .....	47
Figura 32. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de sardina piña. A. edad de primera captura 1 año; B. Edad de primera captura 3 años .....	48
Figura 33. Relaciones tróficas de las siete especies de la pesquería de sardina en el Golfo de California (Interpretación hecha a partir de la información obtenida de Fish Base). ....	51

## **RESUMEN**

La pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California tiene como principal objetivo la sardina monterrey, sin embargo en los años en los cuales las abundancias de sardina son pobres y sus capturas bajas, la pesquería se complementa con la de otras especies como la sardina crinuda y sardina bocona. A partir de los años 90, apareció en los registros de las capturas la anchoveta y posteriormente otras especies de menor importancia como la macarela, la sardina japonesa y la sardina piña. Al analizar esta pesquería por especie, se encontró que, aun cuando ésta genera grandes ganancias, se pone en evidencia una explotación carente de estrategias de manejo, lo cual tiene a la pesquería en riesgo de sobre explotación, pues el nivel de rendimiento máximo de la especie objetivo (sardina Monterrey), corresponde a niveles de la mortalidad por pesca en los que las otras especies del grupo se encuentran agotadas. En esta pesquería hay una sustitución de la especie dominante a través del tiempo, pues a principios del siglo la sardina Monterrey era la especie objetivo y en el 2014 fue la sardina crinuda. Por lo tanto, este trabajo se enfoca en el análisis de la pesquería por especie y así proponer medidas de explotación dentro del panorama de conservación.

## **ABSTRACT**

The main fishery for small pelagic fishes in the Gulf of California is the Monterrey sardine, however in the years in which sardine abundances are poor and their catches low, the fishery complements with other species such as the threaded sardine and mackerel. bocona sardine. Since the 90s, the anchoveta appeared in the catch records and later on other less important species such as the mackerel, the japanese sardine and the leatherjack pineapple sardine. When analyzing this fishery by species, it was found that, even though it generates high profits, it is evident that there is an exploitation without management strategies, which puts the fishery at risk of overexploitation, since the maximum yield level of the target species (Monterrey sardine), corresponds to levels of fishing mortality in which the other species of the group are depleted. In this fishery there is a substitution of the dominant species over time, because at the beginning of the century the Monterrey sardine was the target species and in 2014 it was the threaded sardine. Therefore, this work focuses on the analysis of the fishery by species and proposes management regulations within a conservation framework.

## INTRODUCCIÓN

La pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California que tiene como objetivo principal la sardina Monterrey (*Sardinops sagax*), inició a finales de los años 60. Es una actividad económica relevante en la región, que representa alrededor del 30% de las capturas totales de México, cuenta con la flota y planta industrial más importantes de su género en el país y su temporada de pesca comprende un ciclo anual completo (Nevárez-Martínez et al., 2006). Esta actividad pesquera ha mostrado grandes fluctuaciones en los desembarques, pasando por diferentes etapas (Lluch-Cota et al, 1999). Después de un rápido crecimiento, la pesquería fue sobre explotada entre 1989 y 1993, debido a la pesca excesiva coincidente con un período de condiciones ambientales adversas, por lo que se ha sugerido que los factores ambientales juegan un papel dominante en los procesos de cambio de la abundancia, así como en las grandes tendencias históricas de la captura de la sardina (Lluch-Belda et al, 1986; Nevárez-Martínez et al 2001). Durante los años en los cuales las abundancias de sardina son pobres y por lo tanto sus capturas son bajas, la pesquería se complementa en cierta medida con el aumento de otras especies como la sardina

crinuda, *Opisthonema libertate* (Lluch-Belda et al, 1989), y a partir de la década de los años 90 apareció en los registros de las capturas la anchoveta, *Engraulis mordax* (Cisneros-Mata et al., 1991) y posteriormente se han incorporado otras especies de menor importancia como: la macarela, *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1782), la sardina japonesa, *Etrumeus teres* (De Kay, 1842) y la sardina piña, *Oligoplites refulgens* (Gilbert & Starks, 1904). La situación de la pesquería de sardina Monterrey ha sido evaluada recientemente por Chávez (2013).

El objetivo del presente trabajo es evaluar la pesquería desde el puntos de vista biológico en un contexto pluriespecífico, mediante el uso del modelo FISMO (acrónimo de Fisheries Simulation Model; Chávez, 2005, 2014), el cual analiza el comportamiento de estas especies según la explotación desarrollada a lo largo de 15 años (2000-2014). Permite diagnosticar la pesquería con respecto a la especie objetivo y proponer medidas de administración de las especies que acompañan a la sardina Monterrey (sardina crinuda, anchoveta, macarela, sardina japonesa y sardina piña) en la pesquería de pelágicos menores del Golfo de California (Fig. 1).

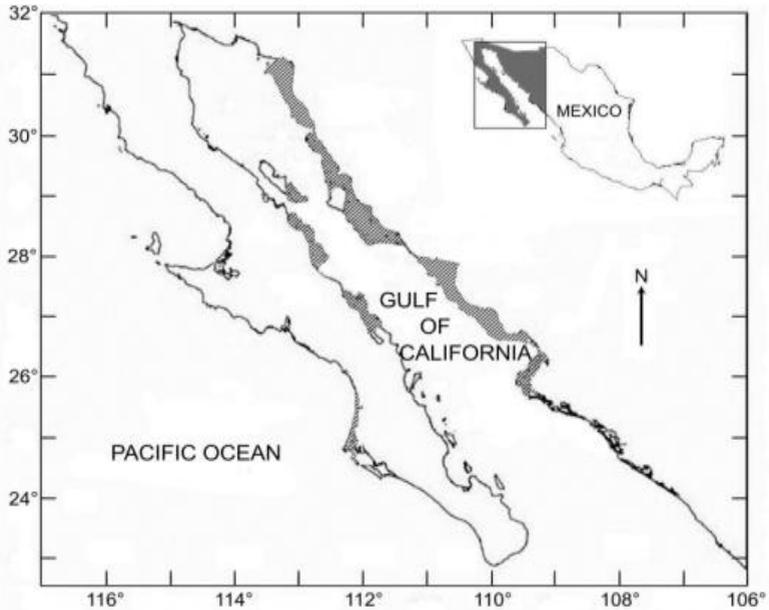


Figura 1. Zona donde se desarrolla la pesquería de sardina en el Golfo de California (Chávez y Chávez Hidalgo, 2013)

## LA PESQUERIA

La pesca en el Golfo de California comenzó en 1967 debido a que Ensenada se vio obligada a cerrar la pesquería que operaba, desplazando todas las embarcaciones al sur. En ese periodo las embarcaciones tenían una capacidad de carga de entre 40 y 60 toneladas y el periodo estaba restringido a los meses de invierno (Lluch-Belda et al., 1986; Cisneros-Mata et al., 1995). Al periodo siguiente se le define como el periodo de la explotación plena. Autores como Cisneros-Mata et al., (1995) y Schwartzlose et al. (1999) mencionan que a principio

de los 80 se da la expansión plena de la zona de pesca y se construyen nuevas plantas procesadoras en Guaymas y Yavaros, Sonora. Además se extiende la pesca de manera anual y entran embarcaciones nuevas que cuentan con una mayor capacidad de bodega. Los volúmenes de captura alcanzan 270 mil toneladas en la temporada 1986-87, y 294 mil toneladas en la temporada 1988-89. Sin embargo, para 1991-92, la captura cae drásticamente (Bakun, 1996) a menos del 3% de la captura registrada en temporadas anteriores (Fig. 2). La flota más grande se encuentra actualmente en Sonora pero algunos barcos se desplazaban de una región a otra dependiendo de la disponibilidad del recurso o la estación del año, aunque en la actualidad esto es poco común.

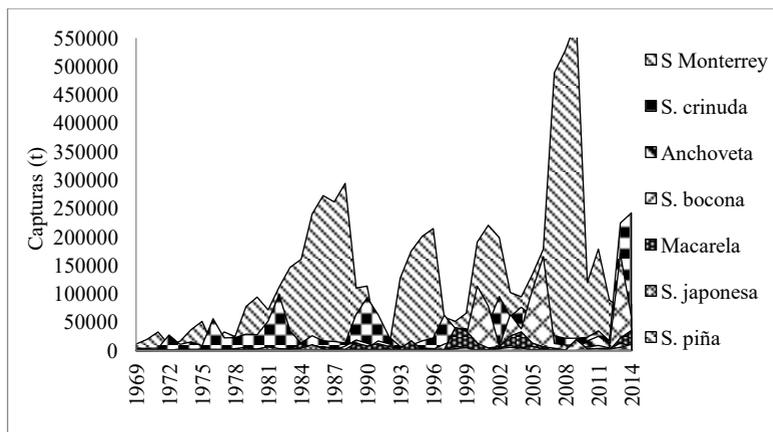


Figura 2. Tendencias históricas de la captura desde los primeros años

Actualmente, la flota registrada es de 69 embarcaciones y 100% pertenece al sector privado. Sin embargo, de estas, durante 2001-2003 solo operaron 51 barcos: 30 en Sonora, 11 en Ensenada, 5 en Bahía Magdalena y 5 en Mazatlán. La captura comercial de peces pelágicos menores se realiza por embarcaciones mayores (>10 t) equipadas con red de cerco con jareta y un máximo de nueve tripulantes. Los barcos más comunes tienen 25 m (o más) de eslora, 120 t de bodega (o más) y máquina principal de 520 HP (Lluch-Cota et al. 2008). En la pesca de sardina se usan dos tamaños de redes en relación con el tamaño de las unidades pesqueras. Las redes para embarcaciones de mayor tonelaje, principalmente aquellas mayores de 35 toneladas de registro neto (TRN), tienen 360 brazas (658.4 m) de longitud y 65 brazas (118.9 m) de altura; las embarcaciones de menor tonelaje, menores de 35 TRN, tienen redes de 220 brazas (402.3 m) de longitud y 35 brazas (64 m) de altura. Los tamaños de malla son, respectivamente: 25 ó 38 mm y 25 mm (French y Menz, 1983; OLDEPESCA, 1984).

## ANTECEDENTES

Si bien pareciera ser que es la primera vez que se utiliza FISMO para conocer el comportamiento de la pesca de *Sardinops sagax*, el modelo ha sido probado con anterioridad en otras pesquerías (Chávez, 2014). Así, Ley-Cooper y Chávez (2009) evaluaron aspectos bioeconómicos sobre la langosta espinosa en el Caribe noroccidental, en cuyas principales conclusiones destacan que esta especie ha sido sobreexplotada durante los 15 años que soporta el modelo, sobrepasando el Máximo Rendimiento Sostenible (MRS) aceptado para esta pesquería. Aún así, se calculó que su pesca llegó a implicar, en 2007 una relación costo/beneficio mayor a 15 (se supera por 15 veces el valor de lo invertido para su explotación) volviéndola sumamente rentable. Más adelante, Chávez y Almendárez-Hernández (2008) tomaron como especie de estudio al camarón blanco en la zona del sur de Sinaloa. Se concluyó que, al contrario del primer caso, su pesca no ha sido rentable y si persiste su extracción, ésta sólo puede explicarse al momento de relacionarla con otras especies de camarón. Por último, Velázquez-Abunader y Chávez (2008) aplican el mismo modelo para la pesquería del calamar gigante, concluyendo que

se trata de una pesca altamente sobreexplotada, sugiriendo que la pesca debería disminuirse en un 93%.

Por otro lado, el trabajo de Cisneros-Mata et al (1995), presenta un análisis de la pesquería de la sardina Monterrey en el Golfo de California, en el cual, únicamente se analiza la serie de captura y esfuerzo de los años 1969 a 1990, y junto con estimaciones derivadas de un análisis de población virtual –APV-, se obtienen las tendencias de la pesquería del periodo trabajado. Entre sus resultados con mayor relevancia, se encuentra que los últimos años (1988-1990) existe un decremento en la biomasa y el número de reclutas, así como de stock parental y proponen que esto aunado a un incremento en la eficiencia de captura de la flota, y a la interacción con variables ambientales llevó a un decremento tanto de la parentela como de la progenie en esos años, que tuvo repercusión en la caída de 1991-92.

De Anda-Montañez y Seijo en 1999, realizaron un análisis bioeconómico de la sardina Monterrey en el Golfo de California, en el que utilizó un modelo que integra aspectos biológicos y económicos, así como diferentes factores que son necesarios para la pesquería de sardina. Otros autores como Lluch-Cota et al. (1999), García-Franco et al. (2001), Cota-Villavicencio et al. (2010), Nevárez-Martínez et al. (2010),

entre otros, han dedicado sus esfuerzos al análisis de la pesquería de sardina Monterrey, las características fisiológicas y el impacto del ambiente en esta única especie; sin embargo, han dejado a un lado al resto de las especies que también forman parte de la pesquería de sardina en el Golfo de California y que son de gran importancia para la misma. Por ello es que en este trabajo no sólo se toma en cuenta la sardina Monterrey (aunque se sigue considerando como la especie objetivo de la pesquería), sino que también se analiza a cada una de las especies que forman parte de la misma para brindar así un panorama más amplio y general de su situación actual y las posibles estrategias de manejo para explotar el recurso sustentablemente.

## JUSTIFICACION

- **Académica**

La pesca de la sardina Monterrey así como de las especies que la acompañan representa 30% de la captura pesquera del país en volumen; sin embargo, se ha notado una disminución gradual de las mismas especies lo cual ha tenido una repercusión biológica, económica y social. Por lo cual, a través de esta investigación se evaluó el estado de la pesquería, así como el tamaño de las poblaciones por especie, para proponer medidas de administración, no sólo para la sardina Monterrey sino también para las especies que la acompañan, a fin de garantizar su explotación óptima en el marco de la conservación.

- **Personal**

La sardina Monterrey es una de las especies ecológica y económicamente más importantes en el Golfo de California, su sobreexplotación podría ser gravemente nociva para el ecosistema al igual que para las especies que la acompañan, las cuales representan un complemento significativo durante los años en que las abundancias de sardina son pobres y por lo tanto sus capturas son bajas, por lo cual se consideró de relevante importancia proponer medidas de conservación y manejo de estas especies para una administración sustentable.

## OBJETIVOS

- Evaluar la pesquería en un contexto pluriespecífico, y proponer medidas de administración de las especies que acompañan a la sardina Monterrey (sardina crinuda, anchoveta, macarela, sardina japonesa y sardina piña) en la pesquería de pelágicos menores del Golfo de California
- Analizar la composición específica de la pesquería
- Evaluar el tamaño de cada población.
- Hacer un análisis comparativo entre las capturas y la biomasa con relación a la mortalidad por pesca ( $F$ ) de las especies que sean examinadas, con referencia a la sardina Monterrey (especie objetivo de la pesquería).
- Hacer una comparación entre los volúmenes de la captura de la especie objetivo y los de las especies secundarias.
- Diagnosticar el estado de la pesquería respecto al rendimiento máximo sostenible.
- Con el uso del modelo FISMO, hacer un examen de los posibles escenarios de explotación bajo diferentes niveles de intensidad de la pesca, así como diferentes edades de primera captura (dependientes de la apertura

de la luz de la malla), para identificar aquellas opciones que resulten más convenientes de aplicar desde el punto de vista práctico, y que permitan evaluar los valores óptimos con los que se puedan lograr los volúmenes más altos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la realización de esta investigación se emplearon diferentes métodos, los cuales se describen a continuación:

- **FISMO**

El modelo de simulación FISMO trabaja con datos de la captura y con ayuda de las ecuaciones de uso común en la evaluación de las pesquerías, los convierte y transforma en número de individuos por grupo de edad; analiza la estructura por edades a través del tiempo y evalúa cada población. A dicho modelo se le introducen los datos de captura y parámetros biológicos. Con sus resultados se hace un diagnóstico del estado de cada población que es explotada, como efecto de la mortalidad por pesca sobre el reclutamiento, la biomasa y las capturas. Después de obtener estos resultados, se hizo una comparación entre las capturas y biomásas de cada especie objetivo de este trabajo y con la sardina Monterrey, que es la especie objetivo de la pesquería.

- **ECUACION DE CRECIMIENTO DE VON BERTALANFFY**

Para el análisis de las poblaciones conviene expresar el crecimiento de los peces en forma de una expresión matemática. El requisito básico es tener una expresión que dé el tamaño (en longitud y en peso) de un pez a una edad determinada cualquiera. Esa expresión debe estar de acuerdo

con los datos observados sobre tamaños o pesos a ciertas edades, y debe tener una forma matemática que pueda ser incorporada con suficiente facilidad en las expresiones que den el rendimiento. Para estimar el crecimiento individual de los peces aplicando el modelo de von Bertalanffy es necesario conocer los parámetros biológicos cuyos valores a continuación se presentan en la Tabla 1.

**Otras variables.** Para la evaluación de cada población fue necesario transformar los pesos de los individuos por cada edad a sus correspondientes números, se aplicó la relación peso-longitud; esto permitió aplicar las ecuaciones que describen la mortalidad natural ( $N$ ) y la mortalidad por pesca ( $F$ ). La ecuación de rendimiento se aplicó a los datos de cada edad expresados en peso. La correspondencia entre el número de individuos de un año de edad y el de reproductores del año anterior fue basada en la estimación del reclutamiento aplicado para cada año de la serie de datos de captura, donde el ajuste entre los valores de la captura registrada y la calculada resultaban coincidentes. Las ecuaciones aplicadas y sus descripciones se presentan en el Apéndice.

**Datos Biológicos:** Para la realización del presente trabajo, los parámetros biológicos  $L_{\infty}$ ,  $K$ ,  $t_0$ ,  $b$ ,  $a$  y  $W_{\infty}$  se obtuvieron de la

página de internet de FishBase (Froese y Pauly, 2014) para las especies objetivo del presente trabajo (Tabla 1).

**Tabla 1. Datos biológicos de las siete especies objetivo del presente proyecto, componentes de la pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California (Froese y Pauly, 2014).** Donde  $t_m$  representa la edad de primera madurez y  $t_c$  representa la edad de primera captura

Nombre Común	Nombre científico	Parámetros del modelo von Bertalanffy						Relación peso-longitud	
		K	$L_\infty$	W	$t_0$	$t_m$	$t_c$	a	b
Sardina Monterrey	<i>Sardinops sagax</i> <sup>1</sup>	0.45	31.0	206	-0.17	1	1	0.0049	3.100
Sardina Crinuda	<i>Opistonema libertate</i> <sup>2</sup>	0.57	30.0	250	-0.29	2	1	0.009	2.99
Sardina Bocona	<i>Cetengraulis mysticetus</i> <sup>3</sup>	1.35	18.0	66	0.10	1	1	0.0035	3.404
Anchoveta	<i>Engraulis mordax</i> <sup>4</sup>	0.44	18.7	661	-0.5	2	2	0.117	2.95
Macarela	<i>Scomber japonicus</i> <sup>5</sup>	0.22	51.7	1493	-0.66	3.1	2	0.007	3.11
Sardina Japonesa	<i>Etrumeus teres</i> <sup>6</sup>	0.85	27.8	417	-0.9	0.9	1	0.0065	3.329
Sardina Piña	<i>Oligoplites refulgens</i> <sup>7</sup>	0.7	26.3	344	-0.24	1.1	1	0.0189	3

**Datos de captura:** Se obtuvieron de la página de CONAPESCA, en la cual se encuentra la información estadística por especie y entidad de los años que abarca este trabajo. Estos datos se muestran en la Tabla 2.

<sup>1</sup> Froese 2013,

<sup>2</sup> Froese, 2013; Jiménez Prado, 2004

<sup>3</sup> Froese, 2013; Love, 2005; Bayliff, 1969

<sup>4</sup> Froese, 2013; Lamb, 1986;

<sup>5</sup> Froese, 2013; Castro-Hernandez, 2000

<sup>6</sup> Froese, 2013; Novikov, 2002

<sup>7</sup> Froese, 2013; Smith-Vaniz, 1995

**Tabla 2. Datos de captura (t) por especie y por año reportados en los puertos de Topolobampo, Guaymas y Mazatlán (CONAPESCA 2016)**

Año	Monterrey	Crinuda	Bocona	Ancho- veta	Macarela	Japonesa	Piña
2000	190,862	13,003	25,229	4,493	34,240	345	4,741
2001	220,360	4,493	112,954	78	13,003	270	277
2002	198,757	6,992	78,261	2,853	4,493	4,889	890
2003	102,034	25,507	7,682	1,100	6,992	8,858	3,309
2004	94,559	32,943	63,253	5,717	25,507	4,683	5,494
2005	133,567	13,191	38,031	7,354	32,943	7,178	4,233
2006	143,805	123,939	110,327	40,035	12,660	5,723	2,290
2007	249,856	182,456	23,007	2,731	6,911	3,055	1,084
2008	525,637	103,504	31,978	8,093	6,428	958	-
2009	496,572	133,574	13,277	2,413	893	422	243
2010	225,722	172,728	11,540	5,655	12,873	8,475	641
2011	136,242	169,583	98,211	83,330	33,409	843	2,213
2012	84,790	114,115	256,299	64,118	39,980	1,658	562
2013	74,875	224,293	170,032	116,857	22,040	13,193	5,263
2014	81,832	242,031	58,327	38,389	35,436	7,158	10,866

**Diagnóstico.** La pesquería de sardina Monterrey ha sido la que participa en mayor porcentaje en las capturas, aunque durante el último año ha reducido su participación, del 70 % en el año 2000, al 14% en 2014. Ha habido una significativa reducción en los volúmenes de descarga, los que durante los tres últimos años se encuentran por debajo de las 100,000 t. La tendencia de

la captura en el período de estudio, se basó en la comparación de valores de la tasa de explotación ( $E$ ) y en la mortalidad por pesca ( $F$ ) con respecto a los valores de estas dos variables a nivel del rendimiento máximo ( $E_{MSY}$  y  $F_{MSY}$ ) respectivamente, también conocidos como puntos de referencia límites. De acuerdo con esta idea, en cada año del análisis, el valor estimado de cada variable con respecto a  $E$  y  $F$ , es una referencia para saber si el recurso se encuentra subexplotado o sobreexplotado. En las poblaciones subexplotadas, los valores de estas dos variables que oscilan paralelamente, deben ser inferiores a los puntos de referencia límites y vice versa.

**Rendimiento potencial.** El modelo Fismo contiene una aplicación que con los datos de los parámetros de la población en estudio, más los datos de la captura, permite determinar los niveles de rendimiento potencial para cada edad de primera captura. Los valores resultantes describen curvas de tipo parabólico de la captura, en función de la escala de valores de la  $F$ , que convencionalmente se distribuyen entre 0.1 y 1. En la generalidad de los casos, estas curvas alcanzan un valor máximo, que corresponde al nivel de Rendimiento Máximo Sostenible ( $F_{MSY}$ ). Este es reconocido como un punto de referencia límite y en muchos países suele ser adoptado como

objetivo de manejo de sus pesquerías, aunque tiene el inconveniente de ser el umbral de la sobrepesca y por lo mismo es poco recomendable; por tal motivo se recomienda en su lugar, adoptar algún valor más bajo de la  $F$  (v.gr.  $F = 0.9F$ ) como objetivo de manejo. (Chávez, com. Pers.)

## RESULTADOS

A pesar de que la sardina Monterrey es la especie objetivo de la pesquería (Fig. 4), a lo largo de los años se han encontrado periodos en los que ésta es remplazada en las capturas por la sardina crinuda, tal como se observa en la figura 3, que muestra que en el año 2000 la sardina Monterrey representaba 70% del total de las capturas, dejando 30% al resto de las especies; en ese año la sardina crinuda representaba únicamente 5% de las capturas siendo superada por la macarela que representaba 12%; En cambio, en 2014 se observa claramente este reemplazamiento de especies observando que 51% de las capturas es de sardina crinuda, seguida por la sardina Monterrey y la sardina bocona con 17% y 12% respectivamente. Este mismo fenómeno puede observarse en las capturas de 1973, 1977, 1992,1993 y 1998, años anteriores al de este estudio. Sin embargo y a pesar de este fenómeno, del total de las capturas que comprenden del 2000 al 2014 la sardina Monterrey representa 42%, seguida por la sardina crinuda y la sardina bocona con 30% y 16% respectivamente

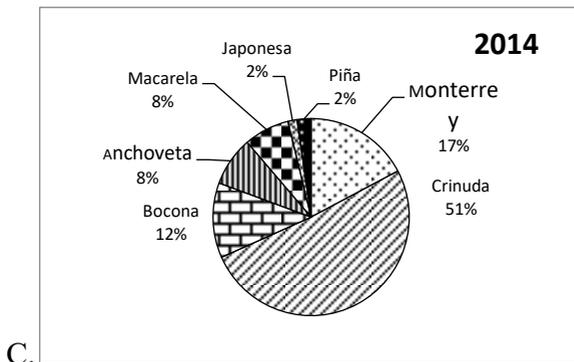
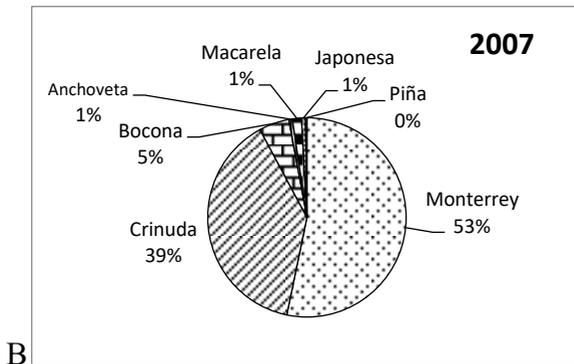
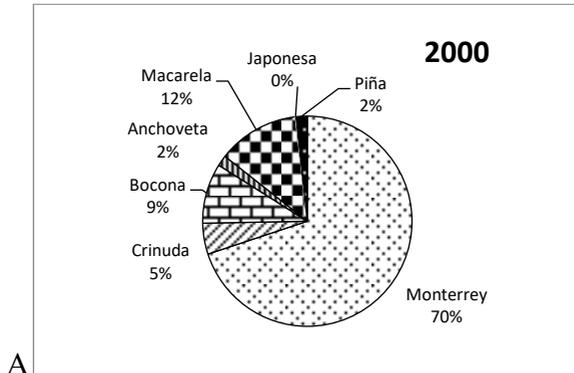


Figura 3. Cambios temporales en la participación de las especies en las capturas de la pesquería de Sardina del Golfo de California A. 2000; B. 2007; C. 2014

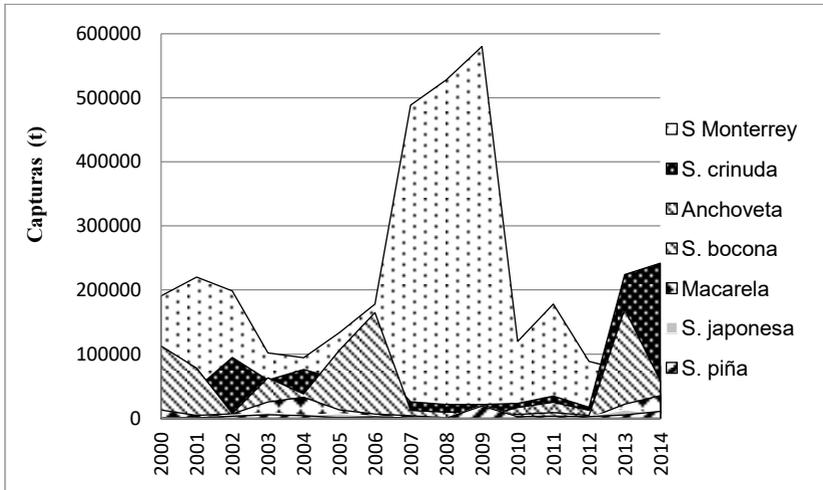


Figura 4. Datos de captura de la pesquería incluyendo las siete especies (CONAPESCA, 2017)

### Sardina Monterrey (Fig. 5)

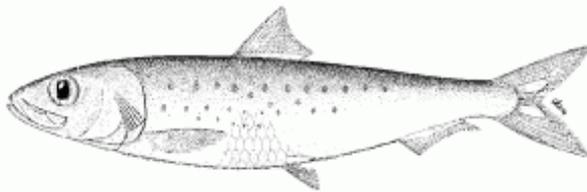


Figura 5. Sardina Monterrey. ([www.fao.org](http://www.fao.org))

Después de revisar la información disponible en las cartas pesqueras de los estados de Sonora y Sinaloa, así como los reportes estadísticos por especie y entidad de la CONAPESCA (2017), se delimitó el área de estudio a lo que arrojaron los registros de captura de los puertos de Guaymas y

Huatabampo en Sonora, debido a que los datos reportados para otros puertos no están disponibles o no son significativos.

**La captura.** Describe una tendencia oscilatoria, en la que las capturas se encuentran entre cien mil y doscientos mil t, con un incremento notable que supera las 500,000 t durante los años 2007 – 2009, volviendo a descender durante los cinco últimos años (Fig. 6). La biomasa también describe una tendencia oscilatoria, que aparentemente muestra el efecto de la intensidad de la captura, pues varía en sentido opuesto con dos máximos, el primero en 2006 y 2007 y el último en 2014, cuando la biomasa asciende a 1.8 millones de t en ambos casos.

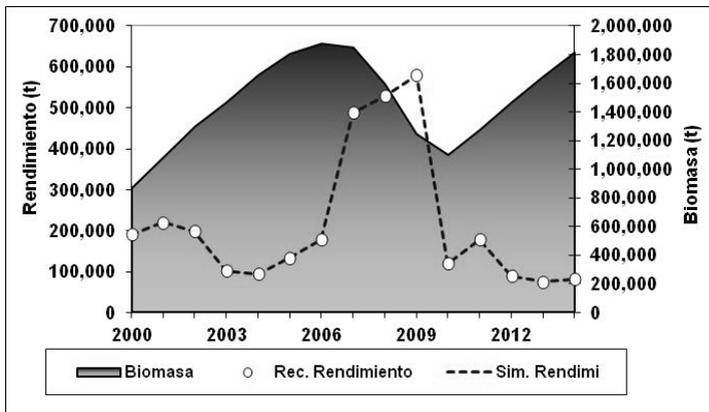


Figura 6. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de sardina Monterrey.

**Diagnóstico.** La población de sardina Monterrey estuvo subexplotada durante todo el período de análisis, excepto en el año 2009 (Fig. 7), cuando excedió en casi 60 % los valores de  $E_{MSY}$  y  $F_{MSY}$ . Es de llamar la atención el hecho de que durante los años 2009 a 2012, la captura por día de pesca estuvo por arriba de 20 t (Chávez & Chávez-Hidalgo 2013), lo cual es consistente con la tendencia que indica la figura 6 en el sentido de que la población estuvo subexplotada en esos años. Entonces, será necesario buscar la causa más probable que explique el descenso en las capturas de los años más recientes con respecto a los años anteriores.

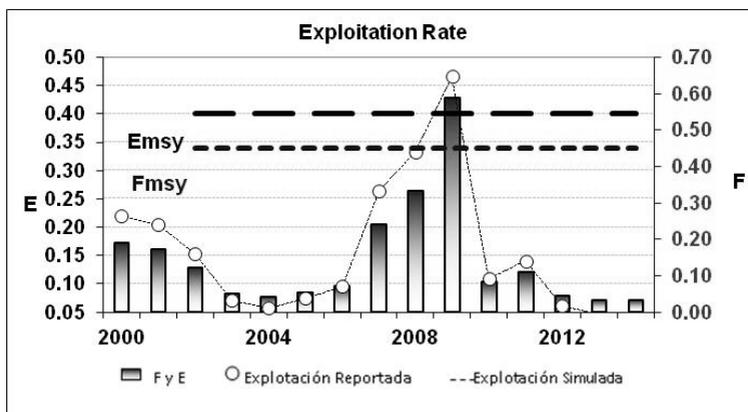
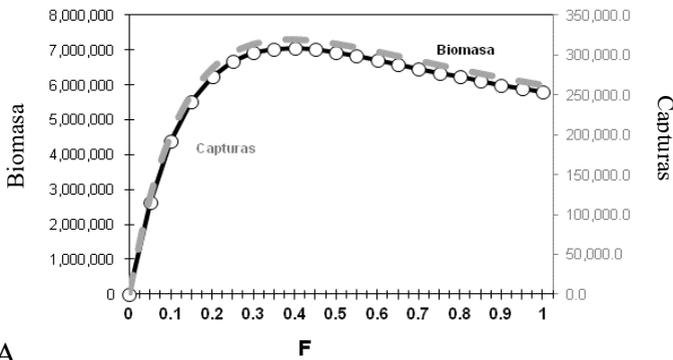


Figura 7. Diagnóstico de la sardina Monterrey contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F.

**Rendimiento potencial.** De acuerdo con lo antes expuesto, el rendimiento potencial de la sardina Monterrey

alcanza su máximo con el valor de  $F = 0.35$ , que con una edad de primera captura de  $t_c = 1$ , se obtiene una captura potencial de 318 mil t, que corresponden a una biomasa de 7 millones de t (Fig. 8A). Al incrementar los valores de  $t_c$  de 1 año, que es el actual a 4 años y aumentar la  $F=0.45$  (Fig. 8B), el rendimiento potencial aumenta a 636,125 t. Dado que la longevidad estimada por el modelo, estimado como  $3/k$  es de siete años, no se considera prudente hacer más pruebas con mayores edades de  $t_c$ , por el riesgo de incurrir en algún error de cálculo que pueda sobrestimar la biomasa y la captura.



A.

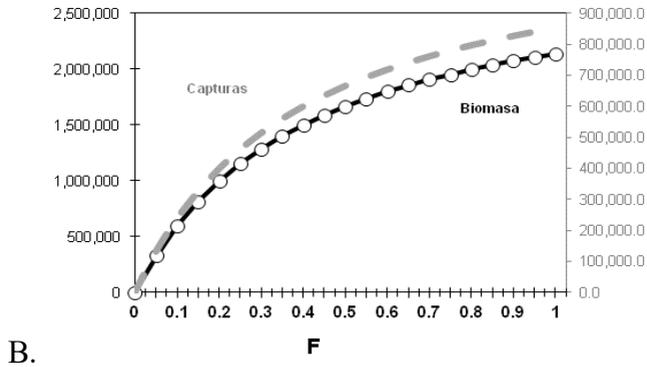


Figura 8. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de la sardina Monterrey.  
 A. Edad de primera captura de 1 año; B. Edad de primera captura de 4 años

### Sardina Crinuda (Fig.9)

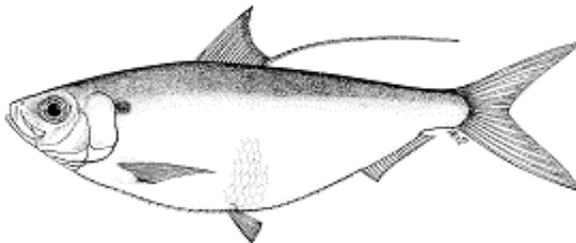


Figura 9. Sardina crinuda (www.fao.org)

La sardina crinuda representa la segunda especie más importante de la pesquería y cabe mencionar que la mayor parte de las capturas que se reportan de esta especie se dan en el estado de Sinaloa, específicamente en el puerto de Mazatlán.

**La captura.** Describe una tendencia oscilatoria en la que las capturas se encuentran entre cinco mil y quince mil t,

con dos incrementos notables, el primero en 2003-2004 de veinticinco mil a casi treinta y tres mil t y el segundo de 2011 a 2014 que va de veinte mil a cuarenta mil t (Fig. 10). La biomasa también muestra una tendencia oscilatoria que aparentemente reacciona inversamente a los puntos máximos y mínimos de la captura, al aumentar en 2009 a más de 120 mil t, cuando se reportó el mínimo de capturas y disminuyendo primero en 2005 y posteriormente en 2012.

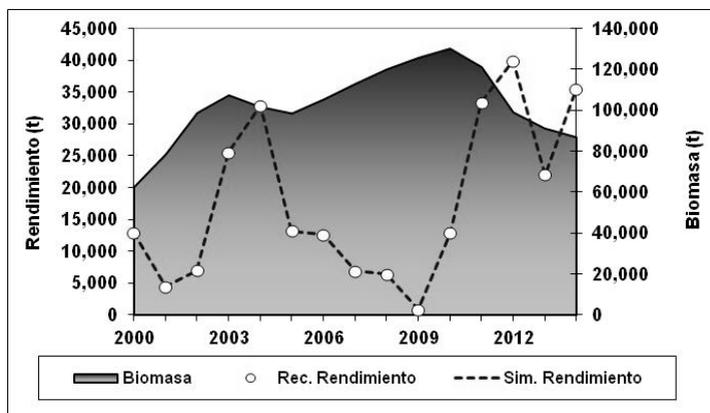


Figura 10. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de sardina crinuda

**Diagnóstico.** La población de sardina crinuda muestra una tendencia oscilatoria entre sobreexplotada y subexplotada (Fig. 11), ya que, en 2000, 2003, 2004, 2011, 2012, 2013 y 2014 se encontró sobreexplotada, debido a que la tasa de explotación en muchos de los casos fue desde 10% hasta 50% por encima de los puntos de referencia límite los cuales se

alcanzan con 16% para el  $E_{MSY}$  y una  $F=0.19$ ; mientras que del 2001 al 2002 y del 2005 al 2010, la población de sardina crinuda estuvo subexplotada.

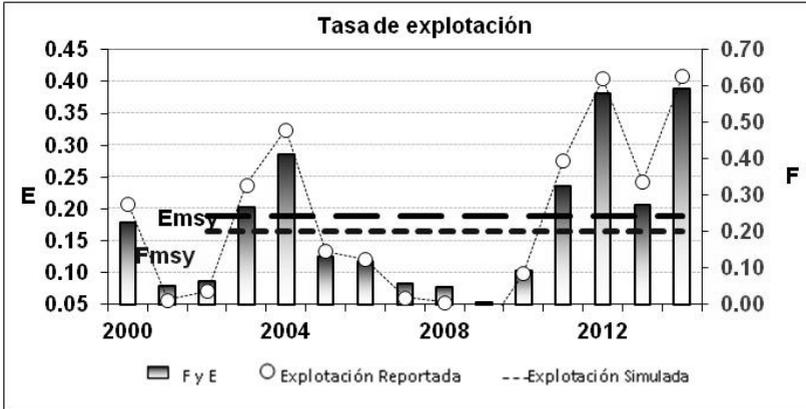
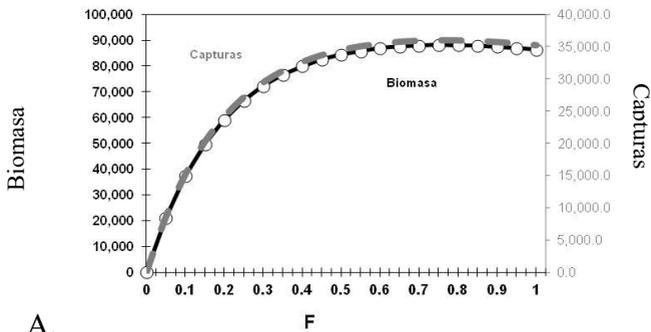
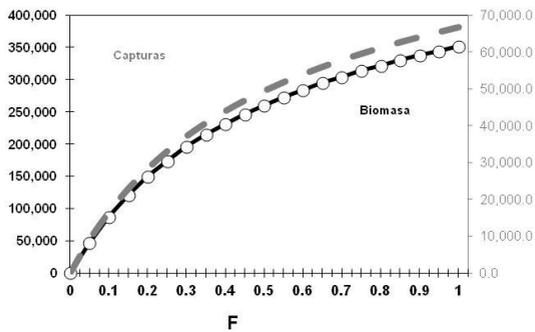


Figura 11. Diagnóstico de la sardina crinuda contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F

**Rendimiento potencial.** La sardina crinuda alcanza su máximo con el valor de  $F=0.75$ , que con una edad de primera captura de  $t_c = 1$ , se obtiene una captura potencial de 35,998 t, que corresponden a una biomasa de 77,990 t (Fig. 12A). Al incrementar los valores de  $t_c$  de 1 que es el actual a 3, que permiten aumentar la  $F$  de 0.2 a 0.9, el rendimiento potencial aumenta de 35,436 t a 64,000 t, que corresponde una biomasa de 124,824 (Fig. 12B). Dado que la longevidad estimada por el modelo como  $3/k$  es de cinco años, no se considera prudente hacer más pruebas con mayores edades de  $t_c$ .



A.



B.

Figura 12. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de sardina crinuda. A. Edad de primera captura de 1 año; B. Edad de primera captura de 3 años

### Sardina Bocona (Fig. 13)

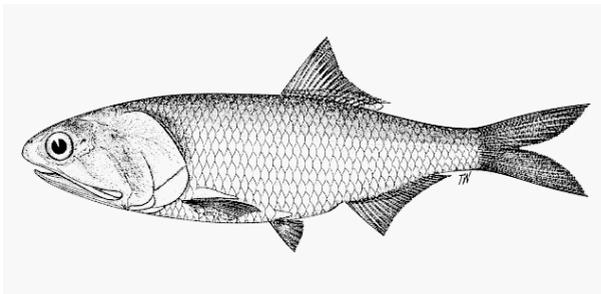


Figura 13. Sardina bocona. (www.fao.org)

La sardina bocona al igual que la sardina crinuda, son los principales objetivos de la pesquería en los puertos de Sinaloa, específicamente el de Mazatlán, sin embargo, se reportan capturas poco significativas en los puertos de Sonora.

**La captura.** Evidencia una tendencia oscilatoria, en la que las capturas se encuentran desde 7,680 t en 2003, hasta 256,300 t en 2012, siendo éste el máximo punto de captura reportado para la especie y descendiendo hasta 58,327 t en 2014. La biomasa describe un comportamiento de estabilidad el cual no refleja cambios ni alteraciones debido a la extracción de la especie (Fig. 14).

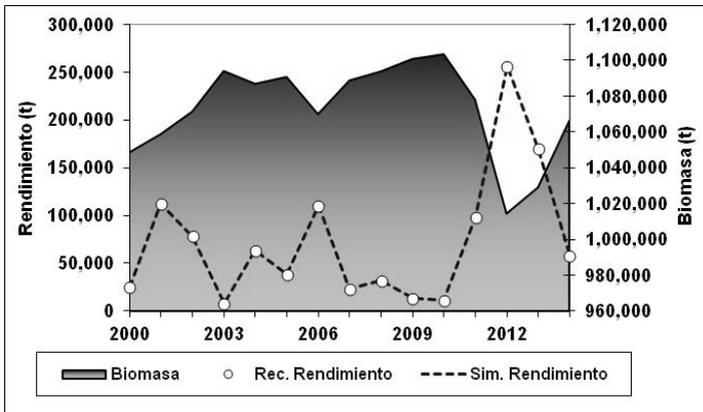


Figura 14. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de sardina bocona.

**Diagnóstico.** Debido al ciclo de vida tan corto de la especie, la población puede regenerarse de manera acelerada, por lo cual se observa que el  $E_{MSY}$  y  $F_{MSY}$  se ubican con esfuerzos pesqueros muy altos, lo cual no siempre significa que la especie soporte mayor esfuerzo para su captura, sino que es probable que el acceso a este recurso sea simplemente incosteable. De acuerdo con lo anterior, la población de sardina bocona estuvo subexplotada durante todo el periodo de análisis (Fig. 15)

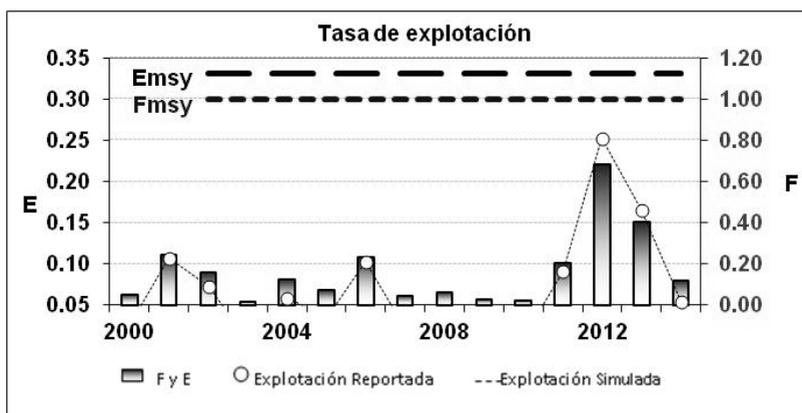
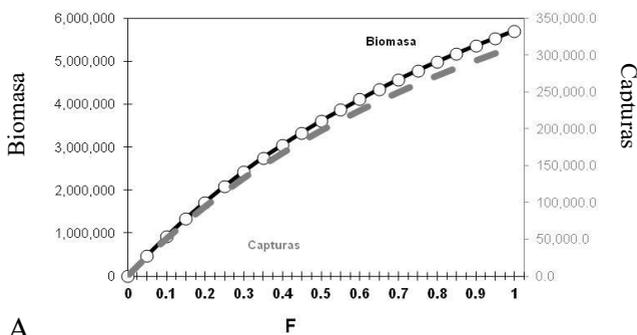


Figura 15. Diagnóstico de la sardina bocona contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F

**Rendimiento potencial.** La sardina bocona alcanza su máximo con el valor de  $F > 1$ , que con una edad de primera captura de  $t_c = 1$ , se obtiene una captura potencial de 58,327 t,

que corresponden a una biomasa de 1,067,833 t. y se alcanza con una  $F=0.117$  (Fig. 16) Dado que la longevidad estimada por el modelo como  $3/k$  es de dos años, no se considera prudente hacer más pruebas con mayores edades de  $t_c$ , por lo cual el rendimiento máximo potencial es de 312,031t y se alcanza con una  $F=1$



A.

F

Figura 16. Rendimiento potencial de la Biomasa y la captura de la sardina bocona.  
A. Edad de captura de 1 año

### Macarela (Fig. 17)

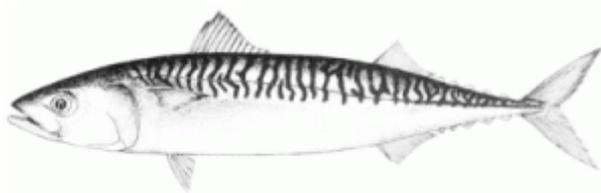


Figura 17. Macarela. (www.fao.org)

La macarela es una de las especies de las que se reportan muy bajas capturas y al igual que la sardina Monterrey se tienen reportes de captura en los puertos de Sonora exclusivamente.

**La captura.** Presenta un patrón de captura cíclico (Fig. 18), en el cual después de un año de capturas significativas, le siguen algunos años en los que las capturas que se reportan son muy bajas, para dar paso de nuevo a uno o dos años con capturas abundantes; sin embargo, el máximo tonelaje de capturas que se ha reportado fue en 2012 con 39,980, lo cual es muy poco significativo en comparación con las capturas reportadas de la sardina Monterrey. Debido a que ésta es una especie muy longeva tarda varios años en recuperar su biomasa, por lo cual es altamente sensible a la presión de pesca.

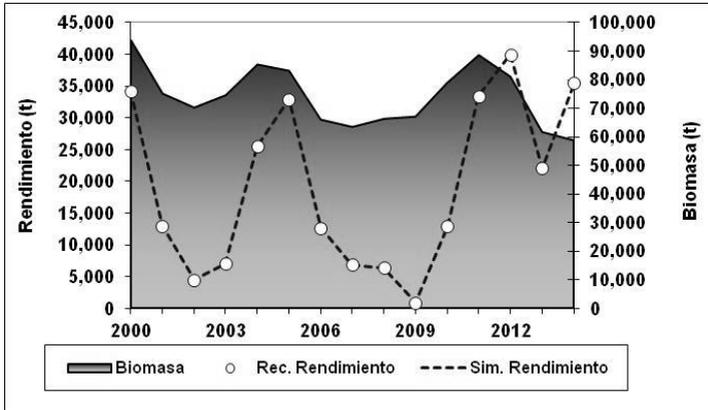


Figura 18. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de macarela

**Diagnóstico.** Se observa que con una tasa de explotación de 15% y una mortalidad por pesca de  $F=0.1$ , se alcanza el máximo rendimiento biológico (Fig. 19), por lo cual para los años 2000, 2004, 2005, 2011, 2012, 2013 y 2014 la especie se encontró sobreexplotada, especialmente en el 2014, año en el cual se reporta una mortalidad por pesca de 0.5 y una tasa de explotación de 55% de la biomasa, mientras que para el resto de los años estuvo subexplotada.

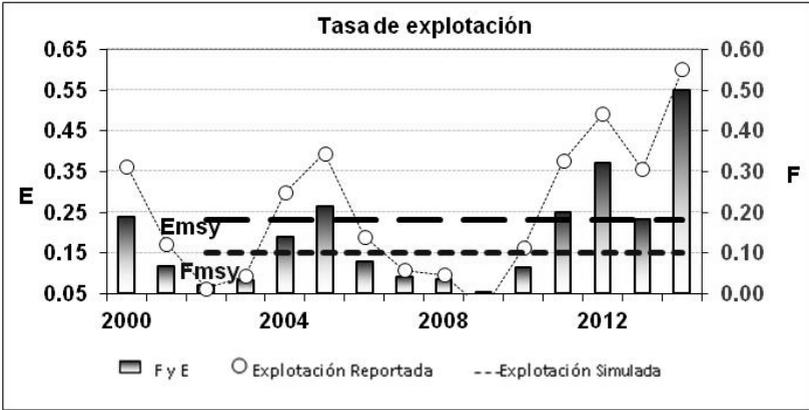
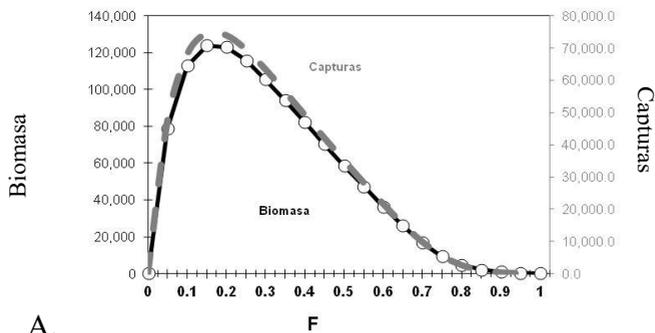
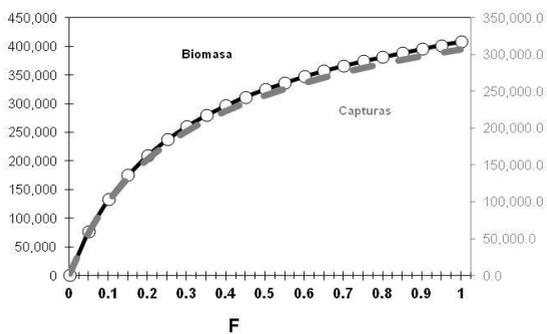


Figura 19. Diagnóstico de macarela contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F

**Rendimiento potencial.** La macarela alcanza su máximo con el valor de  $F=0.15$ , que con una edad de primera captura de  $tc = 1$ , se obtiene una captura potencial de 75 mil t, que corresponde a una biomasa de 239 mil t (Fig. 20A). Dado que la longevidad estimada por el modelo como  $3/k$  es de catorce años, se hicieron pruebas con edades de  $tc=6$  años, el rendimiento potencial aumenta de 35,400t a 306,558t, que corresponden a una biomasa de 408 mil t, con una  $F=1$  (Fig. 20B)



A.



B.

Figura 20. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de Macarela. A. Edad de captura de 1 año; B. Edad de captura de 6 años

## Anchoveta (Fig. 21)

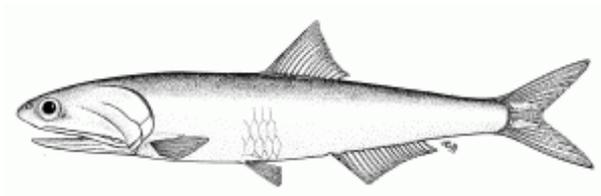


Figura 21. Anchoveta. ([www.fao.org](http://www.fao.org))

**Capturas.** Lo que se ha reportado a lo largo de la historia de esta especie ha sido poco significativa en comparación con la sardina Monterrey aunque a partir del 2011 y hasta el 2013 repuntó. Sin embargo, tal y como se observa en la figura 22, la anchoveta es directamente sensible a la fuerte extracción, pues en los años en que repuntó su captura la biomasa disminuyó dando como resultado que para el último año del estudio se reporta una captura de 38,389 toneladas a diferencia del año anterior que fue de 116,857 toneladas.

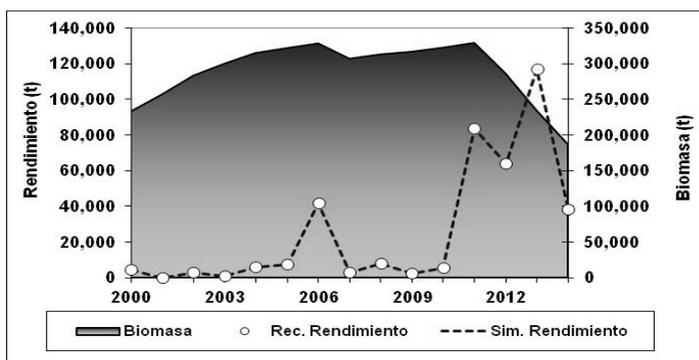


Figura 22. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de anchoveta

**Diagnóstico.** Esta especie ha estado subexplotada (Fig. 23), ya que en casi todos los años de estudio se mantuvo la tasa de explotación por debajo del  $E_{msy}$  y  $F_{msy}$ , los cuales están alrededor de 30% y 23% y con mortalidades por pesca de

$F=0.33$  y  $0.25$  respectivamente, con excepción del 2013 en el cual se rebasaron los límites antes mencionados con una tasa de explotación de 50% y una mortalidad por pesca de  $F=0.61$ , dando por consecuencia la baja captura del siguiente año.

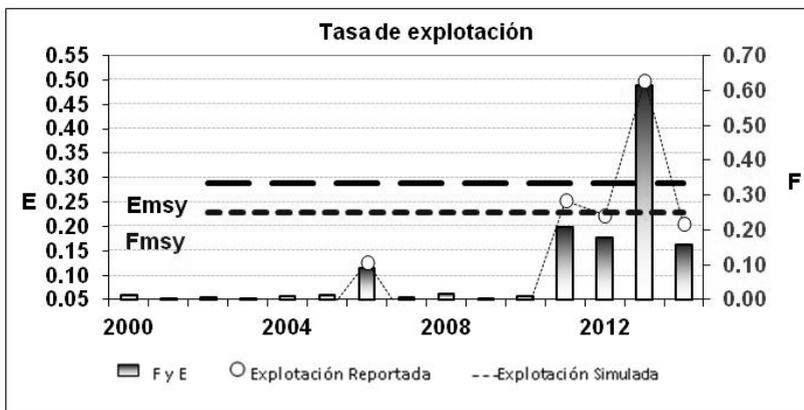
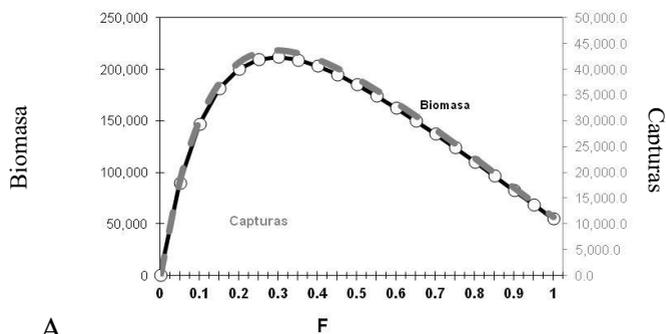


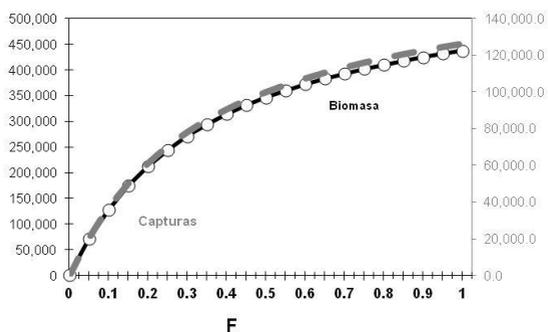
Figura 23. Diagnóstico de anchoveta contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F.

**Rendimiento potencial.** La anchoveta alcanza su máximo con el valor de  $F=0.3$ , que con una edad de primera captura de  $tc = 2$ , con las que se obtiene una captura potencial de 43,700 t, que corresponden a una biomasa de 133 mil t (Fig. 24A). Al incrementar los valores de  $tc= 2$  que es el valor actual a  $tc=4$ , el rendimiento potencial aumenta de 38,400 t a 70,483t con una  $F=0.25$  que corresponde a una biomasa de 243,870t (Fig.24B). Dado que la longevidad estimada por el modelo

como  $3/k$  es de siete años, no se considera prudente hacer más pruebas con edades de  $t_c$  mayores a cuatro.



A.



B.

Figura 24. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de anchoveta. A. Edad de primera captura de 1 año; B. Edad de primera captura de 4 años.

## Sardina Japonesa (Fig.25)

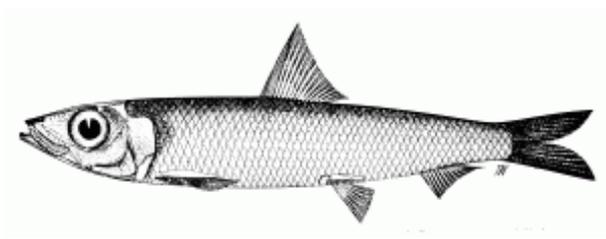


Figura 25. Sardina japonesa. (www.fao.org)

**Capturas.** Describe una tendencia oscilatoria, entre 270 t y 8,000 t, con un incremento notable que alcanza 13,193 t durante el 2013, volviendo a descender para el siguiente año (Fig. 26). La biomasa describe una tendencia constante, que aparentemente no muestra el efecto de la intensidad de la captura.

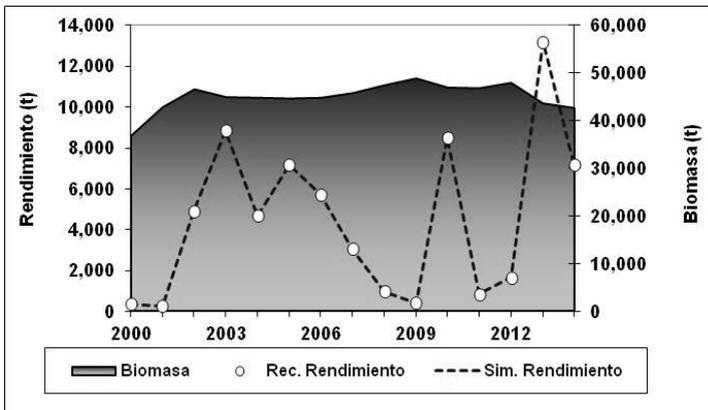


Figura 26. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de sardina japonesa

**Diagnóstico.** Como se observa en la figura 27, la tasa de explotación está muy por debajo del máximo rendimiento sostenible, el cual se alcanza con tasas de explotación por arriba de 53%, y una mortalidad por pesca por arriba de  $F=1$ , por lo cual se diagnosticó que esta especie está subexplotada; la máxima tasa de explotación reportada es de aproximadamente 17%.

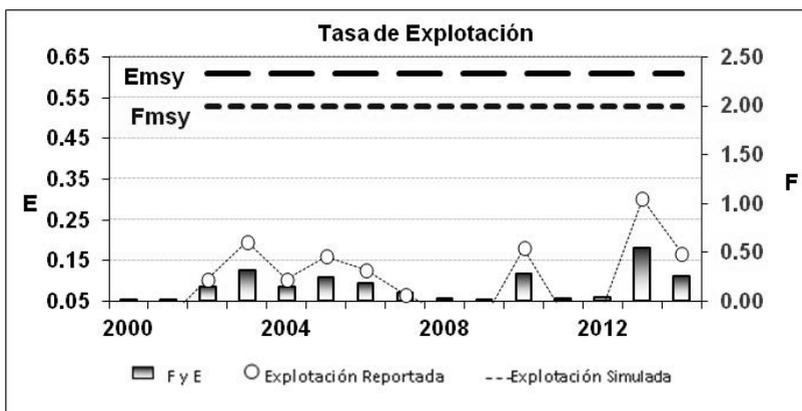
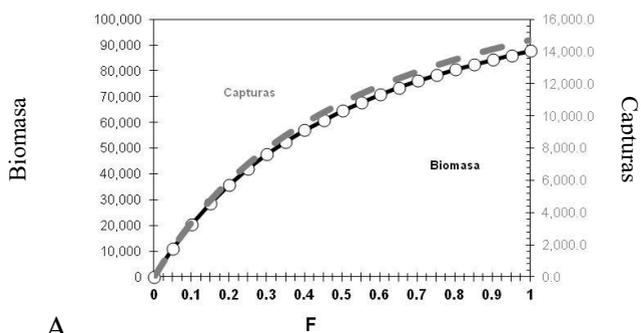


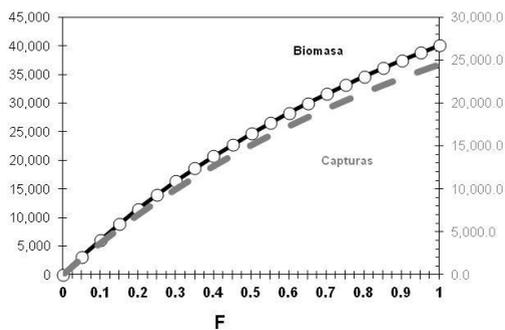
Figura 27. Diagnóstico de sardina japonesa contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F

**Rendimiento potencial.** La sardina japonesa alcanza su máximo con el valor de  $F > 1$ , que con una edad de primera captura de  $tc = 1$ , se obtiene una captura potencial de 14,700 t, que corresponden a una biomasa de 33,400 t (Fig.28A). Al incrementar los valores de  $tc$  de 1 que es el actual a 4 años, el

rendimiento potencial aumenta a 35,252 t con una  $F=2$  que corresponde una biomasa de 57,726t (Fig. 28B). Dado que la longevidad estimada por el modelo como  $3/k$  es de cuatro años, al hacer más pruebas con mayores edades de  $t_c$ , se corre el riesgo de incurrir en algún error de cálculo que pueda sobrestimar la biomasa y la captura.



A



B.

Figura 28. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de sardina japonesa. A. Edad de primera captura de 1 año; B. Edad de primera captura de 4 años.

## Sardina Piña (Fig. 29)

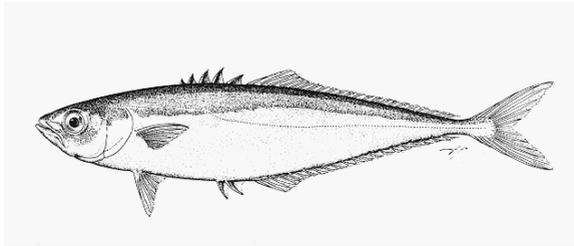


Figura 29. Sardina piña (www.fao.org)

**Capturas.** Esta es la especie con la menor cantidad de capturas reportadas en la pesquería de sardinas, pues en su año más productivo se obtuvieron únicamente 10,866 t evidenciando su poca significancia en esta pesquería. A pesar de que se calcula una biomasa de cuarenta y cinco mil t (Fig. 30), las capturas fluctúan cada año desde 277 t a poco más de 5,000 t, a excepción del 2014 que fue el año más productivo.

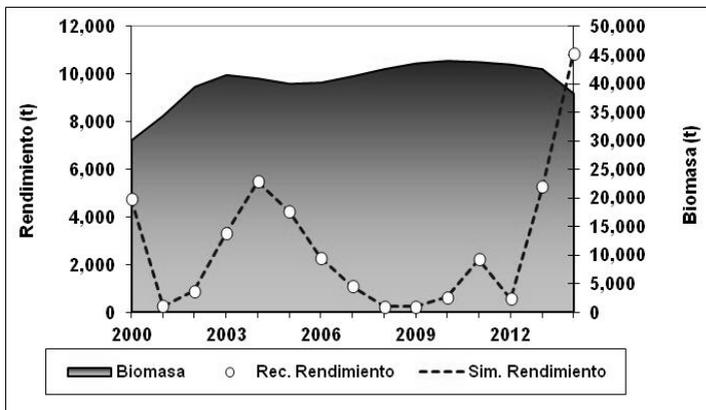


Figura 30. Fluctuación de la biomasa y las capturas (reportadas y calculadas) de la pesquería de sardina piña

**Diagnóstico.** Como se observa en la figura 31, la tasa de explotación para el año más productivo esta alrededor del 30% con una mortalidad de pesca de  $F=0.65$ , sin embargo el  $E_{msy}$  y el  $F_{msy}$  se alcanzan con niveles de  $F$  muy altos, los cuales están por encima del 1 y una tasa de explotación por arriba del 50% y debido a que es una especie de longevidad corta (4 años) es que puede regenerarse rápidamente.

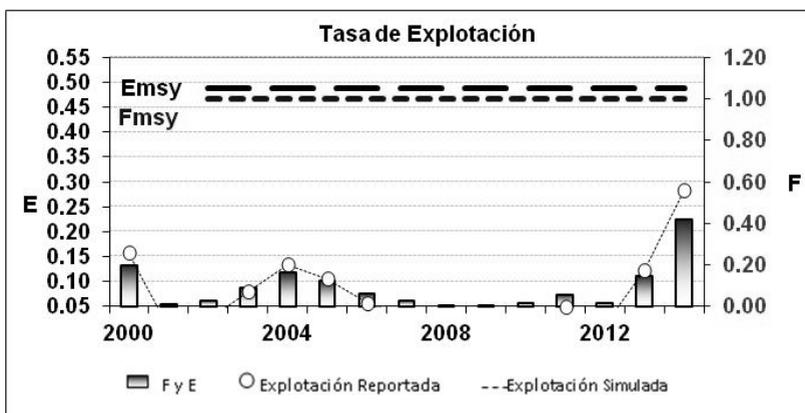
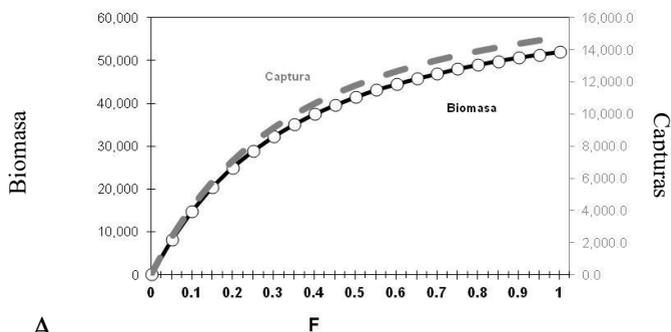


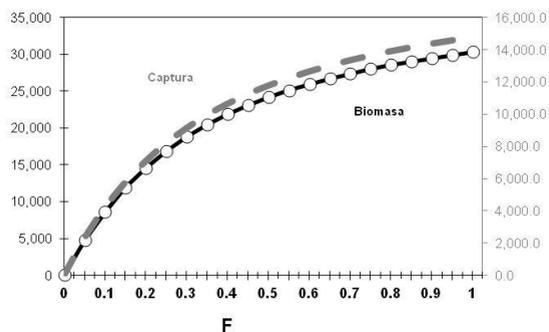
Figura 31. Diagnóstico de sardina piña contrastando la tasa de explotación E con la mortalidad por pesca F

**Rendimiento potencial.** La sardina piña alcanza su máximo con el valor de  $F > 1$ , que con una edad de primera captura de  $tc = 1$ , se obtiene una captura potencial de 10,800 t, que corresponden a una biomasa de 38,300 t con una  $F=0.41$  (Fig. 32A). Al incrementar los valores de  $tc$  de 1 que es el

actual a 3 y con una  $F=1$ , el rendimiento potencial aumenta a 23, 138t y la biomasa a 47,500t (Fig. 32B).



A.



B.

Figura 32. Rendimiento potencial de la biomasa y la captura de sardina piña. A. edad de primera captura 1 año; B. Edad de primera captura 3 años

## DISCUSION

Las consecuencias de continuar explotando la pesquería como se lleva hasta el día de hoy pueden llegar a ser muy serias, causando daños irreversibles. Las más evidentes serían: posible agotamiento del recurso con sus efectos sobre la desaparición de otras especies y sobre el empleo; la perturbación de la trama trófica con sus consecuencias negativas, y el uso de una proteína de buena calidad y de bajo costo para el consumo animal a pesar de las carencias alimenticias de un vasto sector de la población tal como lo mencionan autores como Heintz (1979), Félix (1986), Cisneros-Mata (1988), Doode (1999).

Se han dado varias explicaciones del comportamiento de la sardina por parte de los estudiosos de este fenómeno:

a) una de ellas plantea que la sardina tiene un ciclo de aproximadamente 80 años, al cabo de los cuales se desplaza a otra zona. Este “fenómeno de distribución cíclica fue demostrado por Soutar e Isaacs en 1969 al examinar núcleos de sedimentos del canal de Santa Bárbara, California, al encontrar que la sardina Monterrey ha tenido 12 ciclos de ocurrencia en 1850 años, o sea ciclos de aproximadamente 80 años” (Heintz-Holtschmit, 1979).

b) Otra de las explicaciones, que de acuerdo al Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Guaymas es la más factible, atribuye el desplazamiento de la sardina a las condiciones hidrográficas. Es decir, se atribuye dicho movimiento a parámetros hidrológicos, principalmente la temperatura del agua. Tal sería el caso del fenómeno de “El Niño”, que trae consigo un aumento considerable de la temperatura del agua y como consecuencia de ello una disminución de su salinidad y de las concentraciones de plancton de las cuales se alimentan estos peces. Otros autores atribuyeron el “desplazamiento hacia el sur de la sardina a las bajas temperaturas [del agua] que retrasaron el desove en uno o dos meses, imposibilitó a las larvas de sardina para competir con las de anchoveta, que está adaptada a temperaturas menores” (Hela, 1961)

c) Algunos otros plantean que la sobreexplotación del recurso es la causa principal de la desaparición de la sardina en una determinada zona. Sin embargo, este planteamiento no puede ser confirmado con seguridad, pues se carece de datos básicos que permitan sustentarlo. La información en la que se fundamenta es la aparición de tallas juveniles de la especie en cantidades significativas, en las muestras de captura que se

toman de las embarcaciones. (Félix-Uraga, 1986; Cisneros-Mata et al, 1995; Félix-Uraga, 1996)

d) Otra de las posibles explicaciones respecto a las fluctuaciones en las capturas posiblemente tiene que ver con las relaciones tróficas de la especie objetivo y las especies complementarias, como se puede observar en la figura 33. Las especies están relacionadas pues comparten su alimentación y esa es una posible explicación del porqué se encuentran juntas

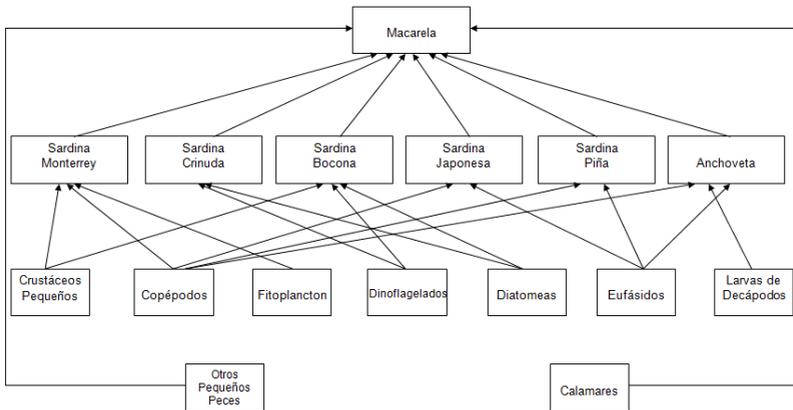


Figura 33. Relaciones tróficas de las siete especies de la pesquería de sardina en el Golfo de California (Interpretación hecha a partir de la información obtenida de Fish Base).

## CONCLUSION y RECOMENDACIONES

Debido a que la sardina Monterrey es la especie objetivo de la pesquería de pelágicos menores, es importante adoptar nuevos criterios de manejo para los recursos de los cuales se sustenta la pesquería, por lo cual después de analizar los datos obtenidos se llega a la conclusión de que al modificar las edades de captura de 1 año a 3 años y aumentando el esfuerzo pesquero casi al doble, la biomasa podría soportar una mortalidad por pesca incrementada de  $F=0.03$  que se tiene actualmente a una  $F=0.1$  sin ser afectada y obteniendo el triple de las ganancias que actualmente muestra esta pesquería; sin embargo para el resto de las especies, lo más recomendable para obtener las mayores ganancias sería disminuir el esfuerzo pesquero, aunque esto en la práctica impone restricciones importantes ya que este no puede ser selectivo y mientras es adecuado para alguna especie, puede ser muy alto para las demás que componen la pesquería y aunque el modelo nos sugiere que podemos incrementar el esfuerzo de pesca para la especie objetivo, no es el mejor escenario para el resto de las especies, debido a que es el esfuerzo de pesca de la sardina Monterrey el mismo en que son explotadas todas.

El mejor escenario para todas las especies de la pesquería es incrementar las edades de primera captura de 1 año, que es el

tamaño de captura actual, a 4 años, de esta manera se permite que los juveniles logren reproducirse y por lo tanto aumentar el stock de la biomasa, teniendo como consecuencia el poder incrementar la mortalidad por pesca así como el esfuerzo de pesca para todas las especies y lograr así mayores ganancias sin poner en riesgo el recurso para futuras generaciones.

## REFERENCIAS

- Bakun, A.** 1996. Patterns in the Ocean. La Paz, BCS, California Sea Grant College System/Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, S.C.
- Bayliff, W.H.,** 1969. Synopsis of biological data on the anchoveta *Cetengraulis mysticetus* Günther, 1866. FAO Fish. Synop. 43:pag. var.
- Castro Hernández, J.J. and A.T. Santana Ortega,** 2000. Synopsis of biological data on the chub mackerel (*Scomber japonicus* Houttuyn, 1782). FAO Fish. Synop. 157. 77 p. FAO, Rome.
- Chávez, E. A.** 2005. FISMO: a generalized fisheries simulation model. Fisheries assessment and management in data-limited situations. University of Alaska, Fairbanks, pp 659-681.

- Chávez, E.A.** 2014. Un modelo numérico para la administración sustentable de las pesquerías. *CICIMAR Océánides* 29(2):45-56.
- Chávez, E.A. y L. Almendárez-Hernández,** 2008. Evaluación bioeconómica de la pesquería de camarón blanco en el sur de Sinaloa. Memoria del IV Foro Científico de Pesca Ribereña. Pp. 85-86
- Chávez, E. y A., A. Chávez-Hidalgo.** 2013. The sardine fishery of the Gulf of California. *Calcofi Reports*: Vol. 54: 205-214.
- Cisneros-Mata, M.A., J.A. De Anda-Montañez, J.J. Estrada-García, F. Páez-Barrera y A. Quiroz-Solís.** 1988. Pesquería de sardina del Golfo de California y costa de Sinaloa: Informe 1986/87 y diagnóstico. SEPESCA, Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigaciones Pesqueras-Guaymas. 68 pp.
- Cisneros-Mata M.A., M.O. Nevárez-Martínez, Montemayor G., Santos-Molina J.P. y R. Morales** 1991. Pesquería de la sardina en el Golfo de California 1988/1989, 1989/1990. Boletín del Centro Regional de Investigación Pesquera de Guaymas. Guaymas, Sonora: Instituto Nacional de Pesca, Secretaria de Pesca.

- Cisneros-Mata M.A., M.O. Nevárez-Martínez y M.G. Hammann.** 1995. The rise and fall of the Pacific Sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, Mexico. CALCOFI Rep. 36:136-143.
- Cota-Villavicencio, R. Troncoso-Gaytán, M. Romero-Martínez y M. O. Nevárez-Martínez.** 2010. Situación de la pesquería de pelágicos menores en la costa noroccidental de Baja California durante las temporadas de pesca 2007 y 2008. Ciencia Pesquera. 18(2) 19-32
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca.** 2014. Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2010. 1ª. Edición (versión en PDF)
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca.** 2016. Información estadística por especie y entidad
- De Anda-Montañez, J.A, J.C., Seijo** 1999. Bioeconomics Of Pacific Sardine In Gulf Of California CalCOFI Reports. Vol. 40. pp
- Doode-Matsumoto, O. S.** 1999. Los Claro Oscuros De La Pesquería De La Sardina En Sonora. Colegio de Michoacán. México. Cap 2 47-69
- Félix-Uraga, R.** 1986. Edad, crecimiento y estructura poblacional de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena, de 1981

a 1984. Tesis de maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN, México, 103 pp.

**Félix-Uraga, R., Alvarado-Castillo, R.M., R. Carmona-Piña.** 1996. The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. CalCOFI Rep., 37: 188–192.

**French, S. y A. Menz.** 1983. La Pesquería para peces pelágicos en el Ecuador y la distribución de las capturas en relación con factores ambientales. Rev.Com.Perm.Pacifi.Sur. (13):65-82

**Froese, R., D. Pauly,** 2014. FishBase. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org) (accessed 13 Jan 2014).

**Froese, R., J. Thorson and R.B. Reyes Jr.,** 2013. A Bayesian approach for estimating length-weight relationships in fishes. J. Appl. Ichthyol. (2013):1-7.

**García-Franco, W.; A. Cota-Villavicencio, F. J. Sánchez-Ruiz.** 2001. Diagnóstico de la pesquería de peces pelágicos menores en la costa occidental de Baja California, México. INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera No. 15.

**Heintz Holtschmit, K.** 1979. La pesca de la sardina en Guaymas. Ponencia presentada en la Reunión estatal sobre pesca, CEPES/IEPES. Guaymas, Son., p. 219.

- Hela y Laevastu, 1961.** Citado en Heintz Holtschmit, Karl, Pesca de la sardina en Guaymas, Sonora (México) y su relación con actores ambientales. Tesis para obtener el grado académico de Maestro en Ciencias, ITESM, Guaymas, Son., 1977, p. 3.
- Jiménez Prado, P. y P. Béarez, 2004.** Peces Marinos del Ecuador continental. Tomo 2: Guía de Especies / Marine fishes of continental Ecuador. Volume 2: Species Guide. SImBIOE /NAZCA /IFEA.
- Lamb, A. y P. Edgell, 1986.** Coastal fishes of the Pacific northwest. Madeira Park, (BC, Canada): Harbour Publishing Co. Ltd., 224 p.
- Ley-Cooper, K. Chávez, E. 2009.** Evaluación Bioeconómica de una pesquería de Langosta del Caribe Noroccidental. Proceedings of the 62nd Gulf and Caribbean Fisheries Institute.
- Lluch-Belda, D., F.J. Magallón, R.A. Schwartzlose. 1986.** Large fluctuation in the sardine fishery in the Gulf of California: possible causes. CALCOFI Rep. 27: 136-140.
- Lluch-Belda D., R.J.M. Crawford, T. Kawasaki, A.D. MacCall, R.H. Parrish, R.A. Schwartzlose, P.E. Smith. 1989.** Worldwide fluctuations of sardine and

anchovy stocks: the regime problem. *S Afr J Mar Sci* 8:195–205.

**Lluch-Cota, S.E., D. Lluch-Cota, M.O. Nevárez-Martínez, D. Lluch-Belda, A. Parés-Sierra, S. Hernández-Vázquez.** 1999. Variability of sardine catch as related to enrichment, concentration, and retention process in the central Gulf of California. *CALCOFI Rep.* 40: 184-190.

**Lluch-Cota, D.B, C.A. Salinas-Zavala, H. Villarreal-Colmenares, L. Mercier.** 2008. Programa Rector Nacional de Pesca y Acuicultura. SAGARPA, CIBNOR, Baja California Sur, México.

**Love, M.S., C.W. Mecklenburg, T.A. Mecklenburg and L.K. Thorsteinson,** 2005. Resource inventory of marine and estuarine fishes of the West Coast and Alaska: A checklist of North Pacific and Arctic Ocean species from Baja California to the Alaska-Yukon border. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Seattle, Washington, 98104.

**Martínez-Zavala M. A., M. O. Nevárez-Martínez, M. L. Anguiano-Carrasco, J. P. Santos-Molina y A. R. Godínez-Cota.** 2006. Diagnósis de la Pesquería de Pelágicos menores en el Golfo de California, temporadas

de pesca 1998/99 y 2002/03. SAGARPA, Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera Guaymas, Guaymas, Sonora México. 94p.

**Nevárez-Martínez, M.O, D. Lluch-Belda, M.A. Cisneros-Mata, J.P. Santos-Molina, M.A. Martínez-Zavala y S.E. Lluch-Cota.** 2001. Distribution and abundance of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California and their relation with the environment. Progress in Oceanography, 49: 465-580.

**Nevárez-Martínez, M. O., Ma. de los A. Martínez-Zavala, C.E. Coterro-Altamirano, M.C. Jacob-Cervantes, Y.A. Green-Ruiz, G. Gluyas-Millán, A. Cota-Villavicencio y P. Santos-Molina.** 2006. Peces Pelágicos Menores. In: Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo. INP-SAGARPA. Pp: 264-301.

**Nevárez-Martínez, M. O., Ma. de los A. Martínez-Zavala, J.P. Santos-Molina, A.R. Godinez-Cota.** 2010. Capturas, Esfuerzo de Pesca y Flota en la Pesquería de Pelágicos Menores del Golfo de California. INAPESCA. Guaymas, Sonora, México

**Novikov, N.P., A.S. Sokolovsky, T.G. Sokolovskaya and Y.M. Yakovlev,** 2002. The fishes of Primorye. Vladivostok, Far Eastern State Tech. Fish. Univ., 552 p.

- ODEPESCA**, 1984. Informe regional final. Proyecto evaluación de los sardina, jurel y caballa en el Pacifico Suroriental. Cooperación técnica No.ATN/SF -2001-Re, SI Grupo Técnico Científico, Callao, Peru, OLDEPESCA, 183 p. mas anexos
- Serra, R., I. Tsukayama**, 1988 Sinopsis de datos biológicos 1988 y pesqueros de la sardina, *Sardinops sagax* en el Pacífico suroriental. FAO Sinop. Pesca, (13) Rev,1:60 p.
- Smith-Vaniz, W.F.**, 1995. Carangidae. Jureles, pámpanos, cojinúas, zapateros, cocineros, casabes, macarelas, chicharros, jorobados, medregales, pez pilota. p. 940-986. In W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter and V. Niem (eds.) Guia FAO para Identification de Especies para lo Fines de la Pesca. Pacifico Centro-Oriental. 3 Vols. FAO, Rome.
- Soutar, A. And J. D. Isaacs** 1969 - History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. Rep. Calif coop. oceanic Fish. Invest. 13: 63-70.
- Schwartzlose RA, Alheit J, Bakun A and 18 others** 1999 Worldwide large scale fluctuations of sardine and anchovy populations. S Afr J Mar Sci 21:289–347

**Velázquez-Abunader, J. Chávez, E.** (2008). Evaluación bio-económica de la pesquería de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California.

## UN MODELO NUMÉRICO PARA LA ADMINISTRACIÓN SUSTENTABLE DE LAS PESQUERÍAS

**Chávez Ortiz, E. A.**

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. Av. IPN s/n, Col. Sta Rita, Playa El Conchalito; La Paz, B.C.S., 23096 México. email: echavez@ipn.mx

**RESUMEN.** La evaluación de las pesquerías es a menudo problemática debido a que los parámetros de las poblaciones explotadas son poco conocidos o desconocidos. La mayoría de las evaluaciones se limitan al aspecto biológico, ignorando en la mayoría de los casos los aspectos económicos y sociales de la pesca. Los resultados de las evaluaciones tienen en cuenta los datos facilitados por el usuario, lo que debería ser una imagen precisa del aspecto socio-económico del caso de estudio. Así, en la actualidad se utiliza esta información para producir resultados que describen las consecuencias más probables después de cualquier cambio en la estrategia de manejo que se proponga. La evaluación de las poblaciones mediante el modelo FISMO (Fisheries Simulation MOdel) se basa en los principios generales de la evaluación de recursos pesqueros y se realiza con datos históricos de la captura en toneladas de peso fresco. Así, con el propósito de formular mejores opciones de administración, se realizó un meta-análisis de datos para evaluar el desempeño de las pesquerías con base en este modelo de simulación. En cada una de dichas opciones se utilizan datos históricos de la captura y los valores de los parámetros de población. Los costos asociados y los beneficios económicos de cada pesquería son tomados como referencia para el análisis bio-económico. El modelo propuesto permite la prueba de tantas posibilidades de explotación como la pesca y los datos lo permitan, en un ejercicio de programación dinámica que puede proporcionar respuestas a preguntas lógicas como ¿Qué pasará con la biomasa del stock y del rendimiento económico si la talla de primera captura se incrementa? ¿Cuáles serán las consecuencias biológicas y económicas si se duplica el esfuerzo de pesca? ¿Cuál es el esfuerzo máximo que puede soportar la pesquería y dejar de ofrecer beneficios de por lo menos el 10 por ciento por encima de los costos? y ¿Cuáles son las expectativas económicas de la próxima temporada si aumenta el costo de los combustibles en una proporción determinada?

**Palabras clave:** Simulación de pesquerías, estrategias óptimas de pesca, dinámica de poblaciones, pesquerías sustentables

### A numeric model for the sustainable management of fisheries

**ABSTRACT.** Usual management targets of many fisheries worldwide are addressed to maintain exploitation at fishing intensities required for the maximum sustainable yield ( $F_{MSY}$ ). However, variability induced by climate variability and economic forces, often lead to over exploitation. Traditional assessment procedures are limited to the assessment of the biological aspect of fisheries and the socio-economic and social aspects of fishing activities are generally ignored; however, this is an economic activity and in contrast, stakeholders ignore the stock dynamics pursuing economic benefits only. This imposes a gap in the knowledge required for a complete management process. The FISMO is an assessment and management tool that allows forecasting the most likely outcome after the application of any feasible management decision by changing  $F$  and the age of first catch ( $tc$ ). It uses as input historic records of catch data, parameters of the von Bertalanffy growth model, and of the length-weight. Also, socio-economic variables of the last fishing season, such as the number of boats, length (days) of the fishing season, and number of fishers per boat. The model outputs of any target are catch, stock biomass, fishing effort, economic returns, benefit/cost ratio, number of boats, number of fishers and number of fishing days.  $F_{MSY}$ ,  $F_{MEY}$ , and  $B/C$  at the economic equilibrium level are found combining  $F$  and  $tc$  and many management options, useful for planning and co-management, with very reasonable accuracy, can be chosen without compromising the sustainability of the fishery. The software is user-friendly and can be adapted to practically any fishery.

**Keywords:** Fisheries simulation, optimum harvesting strategies, population dynamics, sustainable fisheries

Chávez Ortiz, E. A. 2014. Un modelo numérico para la administración sustentable de las pesquerías. *CICIMAR Océánides*, 29(2): 45-56.

### INTRODUCCIÓN

Las pesquerías están sujetas a prácticas de explotación heterogéneas con recurrentes crisis socioeconómicas en muchas de ellas. La evaluación de las pesquerías es a menudo problemática, debido al hecho de que los parámetros de las poblaciones naturales son poco conocidos o desconocidos. La mayoría de las evaluaciones se limitan al aspecto biológico, ignorando en la mayoría de los casos los aspectos económicos y sociales de la pesca. En cuanto a la escasez

de los datos socio-económicos, este limitante se irá corrigiendo a través del tiempo; así, este vacío se llenará y la tendencia histórica que se utiliza actualmente para el diagnóstico de la pesquería será más precisa.

Las evaluaciones tienen en cuenta los datos suministrados por el usuario, lo que debería ser una imagen precisa del aspecto socio-económico del caso de estudio; por esta razón, en la actualidad se utiliza esta información para producir resultados que describen las consecuencias más probables después de cualquier

cambio en la estrategia de manejo que se proponga, es decir cambios en el esfuerzo de pesca, que se mide como la mortalidad por pesca ( $F$ ) que es, en cierto sentido, equivalente a las mediciones directas de esa variable, y la edad de primera captura ( $t_c$ ), misma que está ligada directamente a la luz de la malla o al tamaño de los anzuelos que se utilizan, lo que en las regulaciones de la actividad se expresa como talla mínima legal.

Por lo tanto, con el propósito de formular mejores opciones de administración, se realizó un meta-análisis de datos para así evaluar el desempeño de las pesquerías basado en el uso de un modelo de simulación (Chávez, 2005). En cada una de dichas opciones se utilizan datos históricos de la captura y los valores de los parámetros de población. Los costos asociados y los beneficios económicos de cada pesquería son tomados como referencia para el análisis bio-económico.

### MÉTODO

El modelo FISMO (Fisheries Simulation MOdel) se basa en los principios generales de la evaluación de recursos pesqueros y en las ecuaciones tradicionales que usualmente se aplican en este procedimiento (Beverton & Holt, 1957; Cushing, 1968; Gulland, 1972; Hilborn & Walters, 1992; Sparre & Venema, 1997; Queen II & Deriso, 1999), con la diferencia de que en la simulación las ecuaciones y los resultados intermedios del proceso se encuentran vinculados entre sí. La evaluación de las poblaciones con el método que se propone se realiza con datos de captura en toneladas de peso fresco de los últimos quince años o, mejor aún, si se remontan hasta 1950, cuando se inician los registros estadísticos de la FAO. Los valores de los parámetros de la población pueden ser propios o tomados de FishBase (Froese & Pauly, 2011). El análisis permite examinar las tendencias en la mortalidad por pesca ( $F$ ) a través del tiempo y las estimaciones de la biomasa de la población total. Los criterios utilizados para la evaluación de escenarios de pesca se basan en la  $F$  y en la edad de primera captura ( $t_c$ ) en el nivel de rendimiento máximo sostenible ( $RMS$ ), un punto de referencia extremo. Otro punto de referencia examinado es el de rendimiento económico máximo ( $MEY$ ). Estos puntos de referencia se pueden determinar para cada uno de los valores de  $t_c$  examinados. Para calibrar el modelo, se hace una aproximación sucesiva de los valores de  $F$  aplicados a la captura estimada hasta que el valor de cada año coincida con el de la captura real.

Al examinar las tendencias en la mortalidad por pesca ( $F$ ) a través del tiempo se pueden

hacer estimaciones de la biomasa de la población. Los criterios utilizados para la evaluación de escenarios de pesca se basan en cambios que el usuario haga en la  $F$  y en  $t_c$ . Otro punto de referencia que permite examinar es el F-económico para determinar el rendimiento económico máximo ( $F_{MEY}$ ), es decir, el valor de la mortalidad por pesca o esfuerzo de pesca que genera las utilidades más altas.

Los valores de los parámetros de la población deben ser conocidos *a priori* y generalmente se toman de la literatura, o bien se determinan mediante la realización de muestreos dirigidos a ese propósito. Los datos de captura se obtienen de la FAO o bien de los registros estadísticos regionales mediante la aplicación de las ecuaciones derivadas de la relación peso-longitud y del modelo de crecimiento de von Bertalanffy, los datos de la captura, expresados en toneladas, son transformados a número de individuos por clase de edad en años, y a la biomasa por grupo de edad. La edad de primera captura se mantiene constante en el proceso de ajuste del modelo pero, para la evaluación de escenarios de explotación, se recurre a todos los valores de  $F$  y  $t_c$  factibles de aplicar y así, de la multitud de opciones que el modelo genera, se pueden definir las políticas de pesca más adecuadas. Para poder vincular la evolución de la población a través del tiempo es indispensable definir la cantidad de reclutas que habrá un año después, como resultado de la reproducción de los adultos en el año previo. Para estimar esa relación se aplica el modelo de reclutamiento de Beverton y Holt (1957) que define el número de reclutas de un año de edad en el tiempo  $t+1$  a partir del número de adultos en el tiempo  $t$ . El número de adultos que contribuyen a la población se determina como la suma de todos los individuos de ambos sexos contados a partir de los animales maduros que no han sido reclutados a la pesquería; por esta circunstancia, los valores de la captura que genera el modelo, además de ser una función de la  $F$ , depende de  $t_c$  y ambas variables pueden ser modificadas durante el proceso de evaluación de las estrategias de explotación. De esta manera, durante el proceso de optimización y después de encontrar la combinación adecuada de  $F$  y de  $t_c$ , el valor de la captura simulada resultante puede llegar a ser mucho mayor que la de los datos reales. Lo mismo puede decirse de las utilidades, cuyos valores no son directamente proporcionales a los volúmenes de la captura.

El valor social máximo se determina de dos maneras, la primera es el nivel máximo de empleo o número máximo de pescadores. La segunda forma del enfoque consiste en evaluar

el beneficio máximo por pescador. Los valores económicos y sociales que se requieren para calibrar el modelo son el valor por kilo desembarcado, el número de pescadores por embarcación, el número de barcos y el número de días de pesca, todos de la última temporada de pesca; y aunque también son estimados para cada año durante el proceso de planificación, los valores económicos de la reconstrucción histórica son poco confiables porque no son reales; la importancia de esta variable reside en las estimaciones de los valores actuales y los de la simulación a futuro. Los costos se obtienen sumando el número de barcos/día, multiplicado por el número total de los días de pesca de la flota durante una temporada de pesca. Las utilidades se obtienen restando los costos totales del valor total de las capturas. Los costos y el valor están vinculados a la captura en el modelo de simulación, lo que permite poner a prueba todos los posibles escenarios de explotación que afectan la economía de la actividad en el llamado efecto de la población (Hannesson, 2007).

Para conocer el número de individuos de cada grupo de edad, el modelo parte del de reclutas a partir de cada valor inicial, pues es uno distinto para cada año; así, se aplica la ecuación de decaimiento exponencial en la que el número de sobrevivientes un año después depende del número existente en el año anterior multiplicado por  $e^{-Zt}$ , en donde  $e$  es la base de los logaritmos naturales y  $Z$  es el coeficiente de mortalidad total; es decir,

$$N_{t+1} = N_t e^{-Zt} \tag{1}$$

donde  $N_{t+1}$  es el número de peces de edad  $t+1$  y  $N_t$  es el número de peces de edad  $t$  en cada uno de los grupos de edad reconstruidos. Con el uso de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy se determinan las longitudes promedio por cada grupo de edad. Estas longitudes se transforman a sus respectivos pesos mediante el uso de la ecuación que establece la relación peso-longitud:

$$W = aL^b,$$

donde,  $W$  = Peso total (g) y  $L$  = Longitud total (cm).

La estructura de edades de cada año se determina presuponiendo que el valor de la mortalidad natural ( $M$ ) es constante (Fig. 1).

Para el ajuste de las variables del estado inicial, se define la abundancia por clase de edad ( $N_{a,y}$ ) y la abundancia específica de esa edad  $N_{a,y}/\sum N_{a,y}$  se obtiene de la ecuación (1). En los años siguientes, la estructura por edades se define después de la estimación del número de reclutas de un año de edad. Estos valores

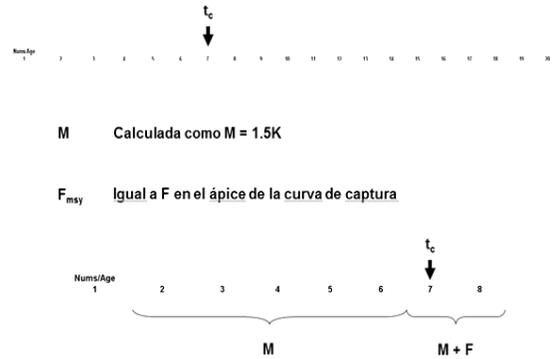


Figura 1. Etapas iniciales del cálculo según el modelo de simulación FISMO. Reconstrucción del vector inicial del número de individuos por grupo de edad.

se utilizan para calcular la captura por grupo de edad (Beverton & Holt, 1957) y se integran en el modelo de simulación FISMO.

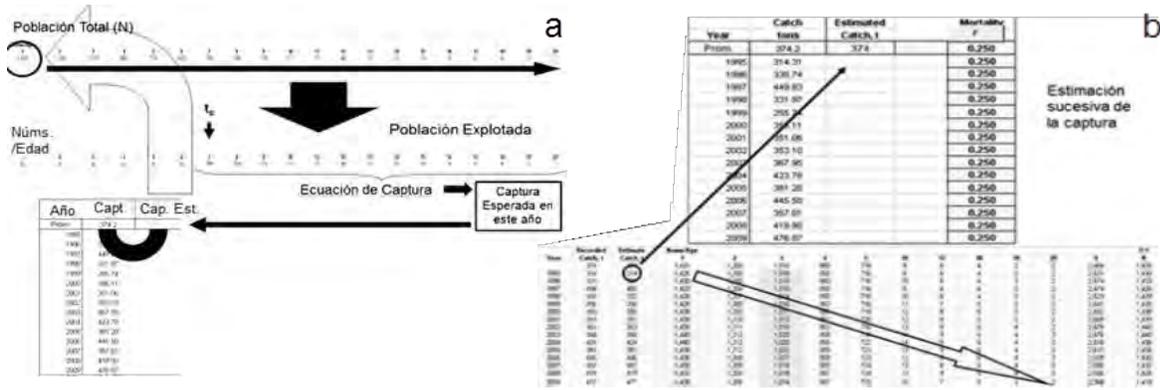
$$Y_{a,y} = N_{a,y} \bullet W_{a,y} \frac{F_t}{(F_t + M)} (1 - e^{-(F_t + M)}) \tag{2}$$

donde,  $Y_{a,y}$  es la captura por edad de cada año y  $N_{a,y}$  es el número de individuos a la edad  $a$  en el año  $y$ ,  $W_{a,y}$  es el peso equivalente a  $N_{a,y}$ ,  $F$  es la mortalidad por pesca y  $M$  la mortalidad natural. Dadas las condiciones iniciales establecidas, los valores de  $Y_{a,y}$  se ajustan mediante la variación del número inicial de reclutas y son vinculados a las ecuaciones descritas anteriormente hasta que la condición de la ecuación siguiente se cumple,

$$\sum_a^{\lambda} Y_{a,y} = Y_{y(REC)}$$

donde  $Y_{a,y}$  es el rendimiento registrado durante el año  $y$ , y  $Y_{y(REC)}$  es la captura en la población simulada,  $a$  es el primer año y  $\lambda$  es el último año que viven los individuos más viejos en la población explotada, determinada por la longevidad que se estima como  $t\lambda = 3/K$ , donde  $K$  es la constante de crecimiento de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy; su valor se encuentra suponiendo una esperanza de vida razonable ( $L_{\infty}$ ) que, al hacer algunas transformaciones de la ecuación de von Bertalanffy, se llega a la igualdad antes mencionada.

El uso de la ecuación de captura se aplica para cada año y grupo de edad en la serie temporal analizada (Fig. 2a, b). Para la estimación de la mortalidad natural ( $M$ ) es adoptado el criterio propuesto por Jensen, ahora conocido como una de las invariantes de Beverton (Jensen 1996, 1997), en donde  $M = 1.5 \cdot K$ . Las estimaciones de la biomasa de la población y



**Figura 2.** a) Determinación del número de individuos en los grupos de edad de donde se evalúa la porción de la población explotada, a partir de la edad de primera captura ( $t_c$ ). Con la aplicación sucesiva de la ecuación de captura se reconstruyen los grupos de edad en el modelo, para determinar los valores de la  $F$ ; b) Calibración del modelo con base en la captura de cada año y cálculo de la captura estimada ajustándola mediante la aplicación sucesiva de valores de  $F$ , hasta igualar los valores de la captura registrada y la estimada por el modelo.

**Figure 2.** a) Determination of the number of individuals in age groups where the portion of the exploited population is evaluated, from the age of first capture ( $t_c$ ). With the successive application of the equation, age groups are rebuilt in the model, to determine the values of  $F$ ; b) Calibration of the model based on each year capture and the calculation of the estimated capture adjusted with the successive application of the  $F$  values, until the values of the recorded and estimated capture are matched by the model.

la tasa de explotación  $E = [F/(M+F)]$  se deben hacer para cada clase de edad en cada año analizado. Estos valores se comparan con el valor de  $E$  en el nivel de  $F_{RMS}$ , que corresponde a la tasa de explotación máxima de que una pesquería alcanza antes de que el recurso esté sobreexplotado. Entonces, se hace un diagnóstico de en cuales años la captura ha estado por debajo o por encima del nivel de  $RMS$ , proporcionando una manera fácil de recomendar ya sea un nuevo aumento o disminución de la  $F$ , o bien de un aumento (o reducción) de la luz de las mallas.

La abundancia anual de cohortes ( $N_{a,y}$ ) debe provenir de edades mayores que la edad de madurez y se utiliza para estimar la abundancia anual de adultos ( $S_y$ ) a lo largo de los años, mientras que la abundancia del grupo de edad inicial ( $N_1$ ) se iguala con el número de reclutas ( $R_y$ ). La relación parentela-progenie se evalúa mediante el uso de una versión ligeramente modificada del modelo de Beverton y Holt (1957) de la forma:

$$R_{y+1} = \frac{a S_o S_y}{S_y + b S_o} \quad (3)$$

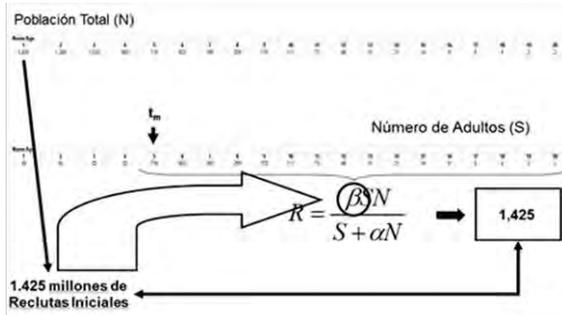
donde  $R_{y+1}$  es el número de reclutas de un año de edad en el año  $y+1$ ,  $S_y$  es el número de adultos en el año  $y$ , que también es el número máximo de adultos en la población;  $a'$  y  $b'$  son los parámetros modificados a partir del modelo original, donde  $a'$  es el número máximo de reclutas y  $b'$  es el valor de la pendiente inicial de la línea de reclutamiento que se mantiene constante a través de la simulación (Fig. 3). Al transformar los números de individuos por gru-

po de edad a sus pesos respectivos, se aplica la ecuación de captura para obtener los valores de la captura estimada.

Entre los resultados que se obtienen con el uso de este modelo, las evaluaciones realizadas indican que para una combinación de valores de  $t_c$  y de  $F$  el rendimiento estimado describe una superficie de respuesta en forma de cúpula; si se toma un solo valor de  $t_c$  y se observa la respuesta de la población, el rendimiento se muestra como una curva como en la Fig. 4a; la curva que describe el número de empleos en función de la  $F$  es una línea con la misma tendencia que la de la captura potencial; la razón beneficio/costo es una curva que declina conforme la  $F$  aumenta (Fig. 4b). En general, el nivel de  $RMS$  se alcanza con un valor de  $F$  más alto que en el caso del  $MEY$ . En las pesquerías de alto valor, como la langosta, este valor generalmente coincide con el de  $RMS$  en la misma  $F$ .

Para el análisis económico del recurso es necesario alimentar el modelo con datos como el número de días de pesca que dura cada temporada en promedio, el número de embarcaciones y el número de pescadores por embarcación. Los costos totales se obtienen multiplicando los costos/barco/día por el número total de barcos en operación. Idealmente, las estimaciones de los datos económicos son hechas después de examinar la bitácora de pesca de un viaje comercial 1997 (Mora, 1997).

El valor social máximo se puede determinar de dos maneras, la primera es el nivel de máximo empleo (el número máximo de pescadores). La segunda es el beneficio máximo por



**Figura 3.** Con el número total de adultos, a partir de la edad de primera captura ( $t_c$ ) de cada año se estima el de reclutas, con ayuda del modelo de reclutamiento de Beverton y Holt (1957). **Figure 3.** With the total number of adults, from the age of first capture ( $t_c$ ) for each year, the recruitment number is estimated aided with the recruitment model of Beverton and Holt (1957).

pescador. Los valores económicos y sociales como datos de entrada fueron el valor por kilo desembarcado y el número de pescadores durante la última temporada de captura. Es deseable utilizar una serie más larga de datos económicos, pero estas variables aún no se recopilan de manera sistemática como los de la captura y por lo pronto la estimación que se haga reconstruye aproximadamente la historia económica de la pesquería, con el riesgo de incurrir en errores importantes, los que dejan de serlo en el momento en el que se tiene un diagnóstico de la situación actual como base para la administración futura del recurso.

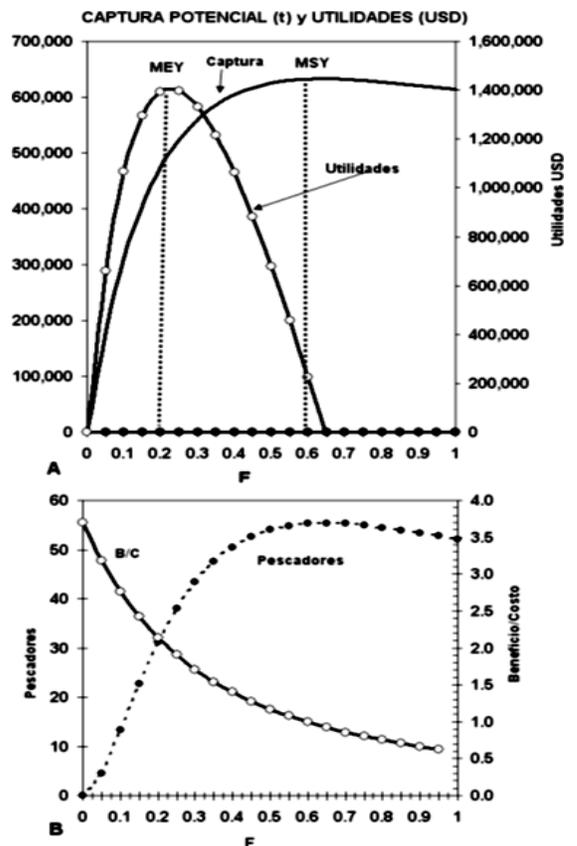
Los beneficios se determinan al restar los costos totales del valor total de la captura. Los costos y el valor se vinculan a la captura y a las demás variables del modelo. Las poblaciones se evalúan mediante la reconstrucción de la estructura de edades de cada una durante los 15 ó 50 años de los datos analizados, según la versión del modelo que se esté utilizando. La captura potencial, los beneficios, los empleos directos y las ganancias por pescador, se estiman bajo los escenarios que se buscan, cambiando la  $F$  y la  $t_c$ . De esta manera, es posible probar la respuesta de las variables socio-económicas de cada pesquería con referencia al  $RMS$  y al  $MEY$ .

En este contexto, los beneficios se obtienen al restar los costos totales del valor total de la captura; los costos y el valor se vinculan a la captura y a las demás variables del modelo. Las poblaciones se evalúan mediante la reconstrucción de la estructura de edades de cada uno de los años analizados. La captura potencial, los beneficios, los empleos directos y las ganancias por pescador, se pueden estimar en un sin número de escenarios cambiando la  $F$  y la  $t_c$ . De esta manera es posible probar la

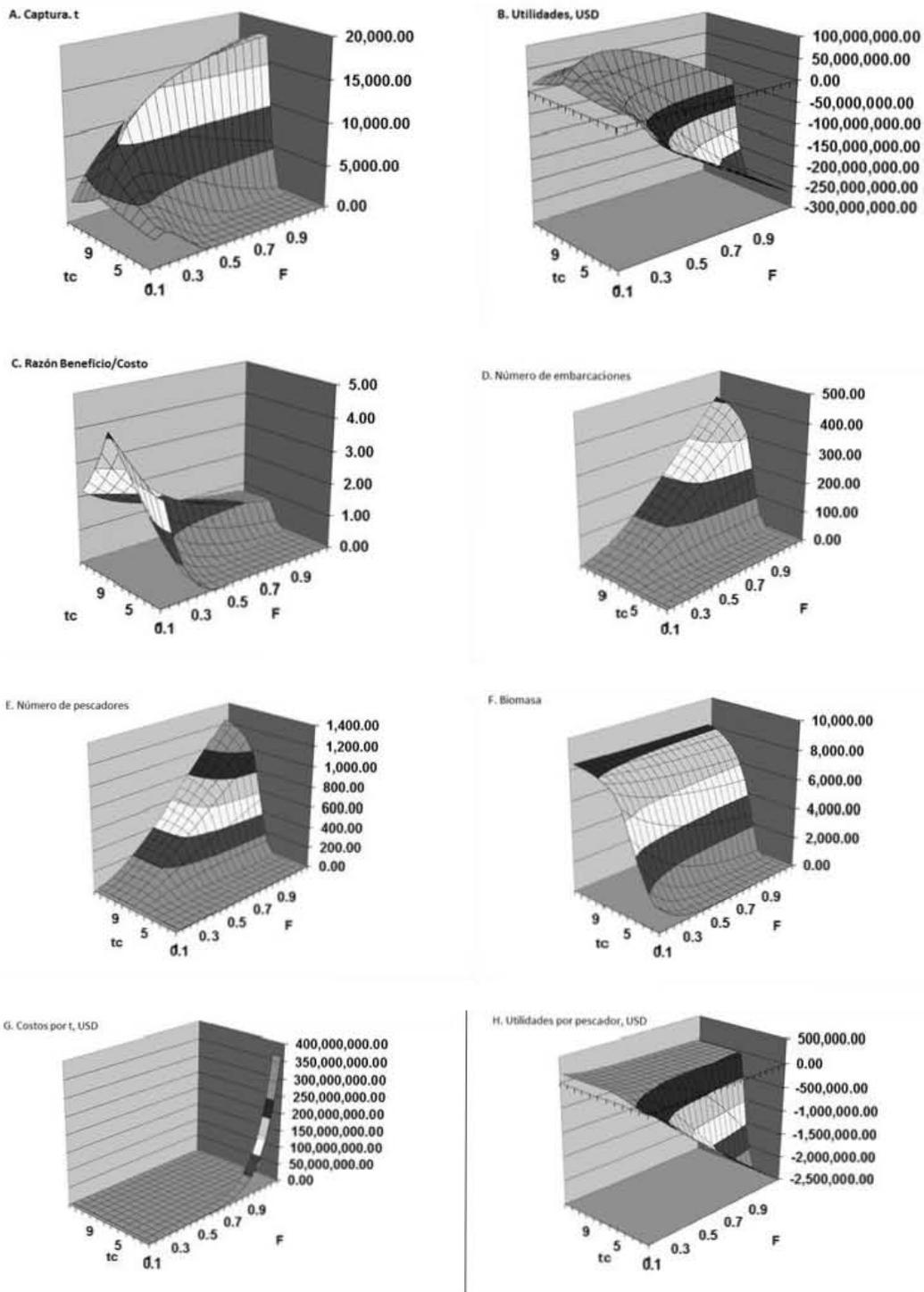
respuesta de las variables socio-económicas de cada pesquería con referencia al  $RMS$  y al  $MEY$ .

*Evaluación y diagnóstico del recurso.* Al comparar los volúmenes de pesca bajo los escenarios  $RMS$  y  $MEY$ , el rendimiento en el primero de ellos es igual o mayor, pero nunca inferior al que se puede obtener con el  $MEY$  (Fig. 4a).

En los resultados que genera el modelo tiene una opción gráfica en forma de superficie de respuesta, en la que las variables biológicas y socioeconómicas que genera se pueden visualizar de modo tridimensional, no solo en la forma de bidimensional como las que se presentan en la Fig. 4 A, B, con la única restricción de ser menos fáciles de interpretar; a vía de ejemplo, en la Fig. 5 se presentan seis de ellas, donde al aplicarlas a casos particulares, con frecuencia se puede observar que las pesquerías se explotan en condiciones alejadas de las óptimas.



**Figure 4.** A. Captura y utilidades potenciales. B. Razón Beneficio/Costo y empleos directos (número de pescadores). **Figure 4 A.** Capture and potential utilities. B. Benefits/cost ratio and direct employments (number of fishermen).

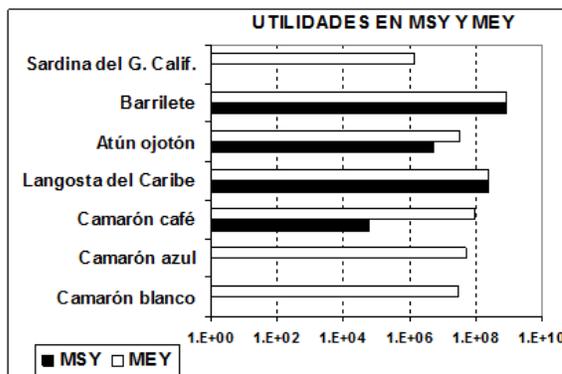


**Figura 5.** Superficies de respuesta de ocho variables socioeconómicas que proporciona el modelo FISMO en función de la edad de primera captura y de la mortalidad por pesca, como opciones múltiples para el manejo de las pesquerías. A, B, C: Camarón azul, Sinaloa. D, E, F, G, H: Abulón azul, Baja California.

**Figure 5.** Surface plot of response from eight social-economical variables that the FISMO model yields, in function of the age of first capture and of the mortality by fishing, as multiple options for the management of fisheries. A, B, C: Blue shrimp, Sinaloa. D, E, F, G, H: Blue abalone, Baja California.

**Las utilidades.** El rendimiento económico es una variable que depende de la disponibilidad del recurso, que determina una amplia variedad de situaciones directamente asociadas a las utilidades y con frecuencia se pone en evidencia la falta de utilidades cuando se evalúa el rendimiento en el escenario de *RMS*, lo cual hace notar la fragilidad de algunas pesquerías. Por ejemplo, en el caso de la sardina, los camarones azul y blanco del Golfo de California (Fig. 6), no hay utilidades cuando se encuentran bajo el escenario de *RMS*, pues aunque la captura sea elevada, los costos de la explotación imponen un límite a las faenas de pesca y las hacen incosteables. El escenario de *MEY* normalmente se encuentra en intensidades de pesca con valores de la *F* más bajos que en el escenario de *RMS*; esto es una clara ventaja desde el punto de vista de la conservación del recurso, pues si se adopta con objetivo de manejo, el riesgo de sobre explotar las pesquerías es aún menor.

En conclusión, los resultados sugieren que, con frecuencia el rendimiento máximo sostenible (*RMS*) se alcanza con niveles más altos de la mortalidad por pesca, con respecto al nivel de rendimiento económico máximo (*MEY*); este último permite obtener mejores utilidades que el beneficio económico a nivel de *RMS*. En consecuencia, elegir el nivel de *MEY* es más conveniente como estrategia de manejo, porque es frecuentemente más rentable y porque hace menos probable el riesgo de sobre explotar las pesquerías, pues se encuentra en niveles más bajos de la *F* que en el primer caso.



**Figura 6.** Utilidades (USD) de la explotación bajo los escenarios de *RMS* y de *MEY* de siete pesquerías elegidas del Pacífico mexicano. Es más probable obtener utilidades bajo el escenario *MEY* que en el de *RMS*. En este último caso, bajo ese nivel de *F* no hay utilidades, como se observa en el caso de la sardina y en dos especies de camarón. **Figure 6.** Utilities (USD) of the exploitation under the *RMS* and *MEY* scenarios of seven fisheries chosen from the Mexican Pacific. Its more likely to obtain utilities under the *MEY* than the *RMS* scenario. In the latter case, this *F* value shows no utilities, as observed in the cases of sardine and two shrimps species.

**DISCUSIÓN**

Una vez que se ajustan los datos de entrada, deberá ser factible,

A. Desarrollar una tabla de escenarios de pesca y discutir sus pros y sus contras, donde la mayoría de las posibles consecuencias de los puntos de vista biológicos, económicos y sociales esperados después de la aplicación de una estrategia de pesca dado (*F*) y una cierta *tc*, deberán en conjunto estar orientados a obtener la mayor captura, los beneficios máximos totales, o los beneficios máximos por pescador. El número máximo de pescadores depende del valor del *RMS* que se estime. Esta opción puede ser un procedimiento adecuado para planificar y aplicar las opciones de gestión dirigidas a la conservación y a la explotación sustentable de la pesca (Gulland & Boerema, 1973; Deriso, 1987; Sissenwine & Shepherd, 1987; Quinn et al., 1990; Hildden, 1993; Lea-man, 1993; Mace & Sissenwine, 1993; Thompson, 1993; Mace, 1994; Chen, 1997; Griffiths, 1997; Grafton et al., 2007).

B. Evaluar las estrategias óptimas de pesca en función del *RMS*, *MEY*, u otros escenarios de explotación elegidos como posibles objetivos de la pesquería. Esto permitirá determinar,,

Desde el punto de vista de la captura:

- El volumen máximo de captura que es factible obtener en una pesquería sostenible.
- El volumen de la captura máxima.

Desde el punto de vista social:

- El número máximo de pescadores que participen en una pesquería sustentable.
- El número máximo de pescadores a autorizar en la siguiente temporada de pesca.
- Las condiciones que permitan asegurar una actividad pesquera rentable y saludable.

Desde el punto de vista socioeconómico:

- La magnitud del esfuerzo pesquero requerido para maximizar las ganancias.
- El número óptimo de pescadores a corto y largo plazo.
- El esfuerzo pesquero máximo posible de lograr, antes de alcanzar el nivel de equilibrio económico (beneficio/costo = 1) y el de la crisis económica.

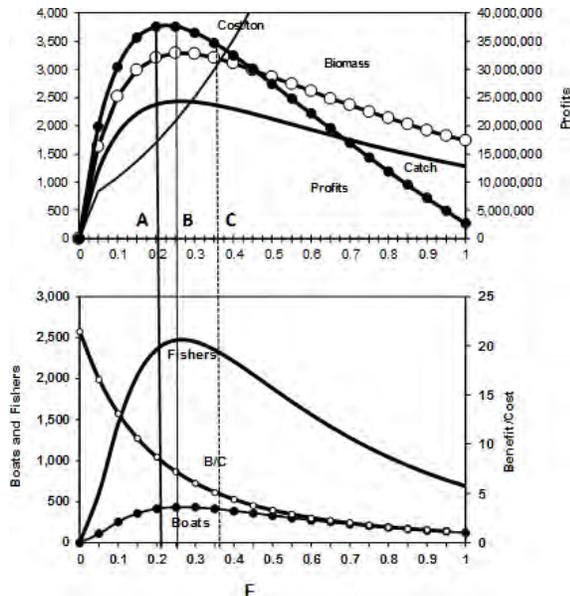
Desde el punto de vista biológico y de la conservación del recurso:

- La magnitud del esfuerzo pesquero máximo a autorizar para asegurar la conservación de la pesquería.
- La intensidad crítica de la pesca; o sea, el límite de la intensidad de pesca que no se debe sobrepasar.

- Los requisitos para proponer un plan de gestión basado en la identificación de objetivos de la pesca que generen las políticas de explotación más convenientes, en función de los máximos beneficios económicos y sociales.

Con el fin de ilustrar las tendencias de las capturas, la biomasa del stock, los beneficios, y el costo por tonelada, se preparó la Fig. 7. En el gráfico inferior de ella, se indican el número de pescadores, el de embarcaciones y la relación B/C. Para ilustrar el ejemplo teórico, se muestran tres opciones de gestión, que se indican con líneas verticales, identificadas en el gráfico superior con las letras A, B, y C. Aquí, cada variable muestra su valor en la intersección con la línea vertical; la letra C indica el “estado actual” de la pesquería, que en el ejemplo corresponde a una pesquería sobreexplotada (Grafton *et al.*, 2010, 2012); es evidente que el esfuerzo de pesca excesiva ha movido la acción más allá de su producción máxima (situada a nivel del ápice de la línea de captura) y ahora la captura se encuentra en un nivel más bajo.

La letra B indica el valor  $F$  y la producción en el nivel de  $RMS$ ; aquí, la biomasa de la población está en su nivel más alto y la pesquería produciría el rendimiento máximo; con el fin de mover la pesquería del nivel C al nivel de B, sería necesario reducir  $F$  de 0.36 a 0.25.



**Figura 7.** Ejemplo de programación dinámica que se produce con ayuda de un modelo de simulación, donde se muestran las variables bio-económicas útiles para la gestión de una pesquería.

**Figure 7.** Example of dynamic programming produced with the aid of a simulation model, where the useful bio-economical variables for the management of the fishery are shown.

La letra A corresponde al valor de  $F$  en el nivel de  $MEY$ , con una presión de pesca incluso inferior (de  $F = 0.21$ ); bajo este escenario se podrían obtener las máximas ganancias con una captura algo menor, pero la condición de una pesquería sostenible sería garantizada. Un inconveniente relativo de esta opción es que el número de pescadores tendría que reducirse. Por las razones explicadas, la selección del  $MEY$  como un objetivo de la pesca parece ser la mejor opción para garantizar una actividad pesquera sustentable.

*Consideraciones finales.* El uso de la información bio-económica, junto con la evaluación tradicional de la biomasa de la población utilizando los registros de captura y datos de muestreo biológico, tiene el atractivo de que puede ser capaz de ofrecer una variedad mucho más amplia de opciones de manejo a los administradores pesqueros, útil para la evaluación de la pesquería con un buen sustento para la toma de decisiones, no sólo desde el punto de vista biológico, sino también para garantizar la posibilidad de interactuar con los pescadores y para explicarles las razones de sus decisiones en un proceso real de gestión conjunta.

El modelo propuesto aquí permite la prueba de tantas posibilidades de explotación como la pesca y los datos lo permitan, en un ejercicio de programación dinámica que puede proporcionar respuestas a preguntas lógicas como ¿Qué pasará con la biomasa del stock y del rendimiento económico si la talla de primera captura se incrementa? ¿Cuáles serán las consecuencias biológicas y económicas si se duplica el esfuerzo de pesca? ¿Cuál es el esfuerzo máximo que puede soportar la pesquería y dejar de ofrecer beneficios de por lo menos el 10 por ciento por encima de los costos? y ¿Cuáles son las expectativas económicas de la próxima temporada si aumenta el costo de los combustibles en una proporción determinada? Estas y muchas otras preguntas se pueden contestar por el modelo.

Al margen de la reciente tendencia que propone orientar el manejo de las pesquerías en el contexto del ecosistema (Pikitch *et al.*, 2004), el enfoque analítico aquí enfatizado debe ser más preciso y depurado. Se considera que los procedimientos tradicionales de evaluación de poblaciones están lejos de ser capaces de responder a todas las preguntas mencionadas en el párrafo anterior, con excepción de la primera. Por esta razón, se considera que el uso de la información económica como parte de la evaluación de la población deberá convertirse en la evaluación bio-económica de las pesquerías que, en un futuro próximo, se espera sea un procedimiento de uso cotidiano para apoyar

la toma de decisiones en la gestión de la pesca y garantizar que las pesquerías se vuelvan realmente sustentables. Un apropiado régimen de captura reducirá la mortalidad de juveniles (Froese *et al.*, 2008) permitirá que la biomasa del recurso llegue al máximo nivel aceptable y contribuirá a estabilizar los volúmenes de captura (Shin *et al.*, 2005); asimismo, propiciará un balance apropiado en la trama trófica de la que forme parte la población con relativos beneficios para el ecosistema (Pikitch *et al.*, 2004).

**LITERATURA CITADA**

Beverton, R. J. H. & S. J. Holt. 1957. *On the dynamics of exploited fish populations. Fishery Investigations*, London, Series 2, 19, 533 p.

Chávez E. A. 2005. FISMO: A Generalized Fisheries Simulation Model. 659-681. *In*: Kruse, G.H., V.F. Gallucci, D.E. Hay, R.I. Perry, R.M. Peterman, T.C. Shirley, P.D. Spencer, B. Wilson & D. Woodby (eds.). *Fisheries assessment and management in data-limited situations*. Alaska Sea Grant College Program, University of Alaska Fairbanks.

Cushing DH. 1968. *Fisheries Biology, a Study in Population Dynamics*. The University of Wisconsin Press. 200 p.

Froese, R., A. Stern-Pirlot, H. Winker & D. Gascuel. 2008. Size matters: How single-species management can contribute to ecosystem-based fisheries management. *Fisheries Research*, 92: 231-241.

Froese, R. & D. Pauly (Ed.). 2011. FishBase. World Wide Web electronic publication.  
<http://www.fishbase.org>, version (08/2011).

Grafton, R.Q., T. Kompas & R. Hilborn. 2007. Economics of Overexploitation Revisited. *Science*, 7(318):1601-1635.

Grafton, R., T. Kompas, L. Chu & N. Che. 2010. Maximum economic yield. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 54: 273-280.

Grafton Q.R., T. Kompas, T.N. Che, L. Chu & R. Hilborn. 2012.  $B_{MEY}$  as a fisheries management target. *Fish and Fisheries*, 13: 303-312.

Gulland, J.A. 1972. The analysis of Data and Development of Models. 67-95. *In*: J.A. Gulland (Ed.) *Fish Population Dynamics*. Wiley-Interscience. 372 pp.

Hannesson, R. 2007. A Note on the “Stock Effect”. *Marine Resource Economics*, 22: 69-75.

Hilborn, R.J. & C.J. Walters. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment*. Chapman & Hall.

Jensen, A.L. 1996. Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade off of reproduction and survival. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 820-822.

Jensen, A.L. 1997. Origin of the relation between  $K$  and Linf and synthesis of relations among life history parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54: 987-989.

Pikitch, E.K., C. Santora, E.A. Babcock, A. Bakun, R. Bonfil, D.O. Conover, P. Dayton, P. Doukaskis, D. Fluharty, B. Heneman, E.D. Houde, J. Link, P.A. Livingston, M. Mangel, M.K. McAllister, J. Pope & K.J. Sainsbury. 2004. Ecosystem-based fishery management. *Science*, 305: 346-347.

Queen, T.J. & R.B. Deriso. 1999. *Quantitative Fish Dynamics*. Oxford University Press. 542 p.

Shin, Y.J., M.J. Rochet, S. Jennings, J.G. Field & H. Gislason. 2005. Using size-based indicators to evaluate the ecosystem effects of fishing. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 384-396.

Sparre, P. & S.C. Venema. 1992. *Introduction to tropical fish stock assessment*. Part 1. Manual FAO Fisheries Technical paper, 306 (1): 1-376.

APÉNDICE

Recursos evaluados con el modelo FISMO.

Como resultado de los estudios realizados se han publicado artículos científicos (copias de los mismos se pueden proporcionar a quien lo solicite) de las pesquerías mencionadas a continuación:

Especie	Región	Referencia*
Abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> )	Baja California	27
Atún patudo ( <i>Tunnus obesus</i> )	Océano Pacífico	14
Barrilete ( <i>Katsuwonus pelamis</i> )	Océano Pacífico	8
Calamar gigante ( <i>Dosidicus gigas</i> )	Golfo de California	31
Camarón blanco ( <i>Penaeus vannamei</i> )	Golfo de Nicoya, C. R.	29
Camarón blanco ( <i>Penaeus vannamei</i> )	Sinaloa	11
Camarón café ( <i>Penaeus californiensis</i> )	Bahía Magdalena, BCS	15, 20
Camarón de roca ( <i>Sicyonia penicillata</i> )	Sonora	24
Caracol rosado ( <i>Strombus gigas</i> )	Caribe	2, 3, 17
Huachinango del Pacífico ( <i>Lutjanus peru</i> )	Pacífico	19
Langosta del Caribe ( <i>Panulirus argus</i> )	Caribe	5, 10, 23
Langosta roja ( <i>Panulirus inflatus</i> )	Baja California	16
Mero ( <i>Epinephelus morio</i> )	Sonda de Campeche	12
Pepino de mar ( <i>Isostichopus fuscus</i> )	Golfo de California	21
Pepino de mar ( <i>Parastichopus parvimensis</i> )	Baja California N-O	18, 28
Peto ( <i>Scomberomorus cavalla</i> )	Veracruz	1, 7
Pulpo ( <i>Octopus maya</i> )	Sonda de Campeche	6
Rabirrubia ( <i>Lutjanus synagris</i> )	Sonda de Campeche	31
Sardina ( <i>Sardinops caeruleus</i> )	Golfo de California	13, 26
Sierra ( <i>Scomberomorus maculatus</i> )	Veracruz	1, 4
Totoaba ( <i>Totoaba macdonaldi</i> )	Alto Golfo de California	22

REFERENCIAS

\*Las referencias indicadas a continuación corresponden únicamente a este apéndice. Se incluye también la referencia correspondiente a la descripción del modelo de simulación (Chávez, 2005).

- Chávez, E. A. 1981 Toward a rational management of western Gulf of Mexico shore fisheries. 2018 – 2023, In: G. E. Lasker (Ed.) *Applied Systems and Cybernetics*, Pergamon Press, IV..
- Chávez, E. A. 1990. *An assessment of the queen conch (Strombus gigas) of Chinchorro Bank, México*. Gulf Caribb. Fish. Inst. 43th Ann. Meeting, Miami FL.
- Chávez, E. A. 1994. An assessment of the queen conch (*Strombus gigas*) stock of Chinchorro Bank, Mexico. 487-497, In: Goodwin, M.H. & G.T. Waugh (Eds.), Proc. 43 Ann. Sess. Gulf Caribbean Fisheries Institute.4.
- Chávez, E. A., 1994. Simulación de la pesquería de sierra (*Scomberomorus maculatus*) del Golfo de México. *Revista de Investigaciones Marinas*, 15(3): 209-217.
- Chávez, E. A. 2001. Policy design for the spiny lobster (*Panulirus argus*) management of the Meso American Barrier Reef System. *Crustaceana*, 74(10): 1119-1137.
- Chávez, E. A. 1998. Estrategias óptimas de explotación del pulpo de la Sonda de Campeche, México. *Hidrobiológica*, 8(2): 97-105.
- Chávez, E. A. & F. Arreguín-Sánchez, 1995. Optimizing yields of the king macker-

- el (*Scomberomorus cavalla*) fishery of the west and southern Gulf of Mexico. *Scientia Marina*. 59(3-4): 629-636.
8. Chávez, E. A. 2003. Assessing fishing capacity of the Eastern tropical Pacific fleet of skipjack tuna. 281-288. In: Pascoe and Gréboval (eds.), *Measuring Capacity in Fisheries*. FAO Technical Fisheries Paper No 445, 314 pp. FAO, Rome.
  9. Chávez, E. A. 2005. FISMO: A Generalized Fisheries Simulation Model. 659-681. In: Kruse, G.H., V.F. Gallucci, D.E. Hay, R.I. Perry, R.M. Peterman, T.C. Shirley, P.D. Spencer, B. Wilson, y D. Woodby (eds.), *Fisheries assessment and management in data-limited situations*. Alaska Sea Grant College Program, University of Alaska Fairbanks.
  10. Chávez, E. A. 2008. Socio-economic assessment for the management of the Caribbean spiny lobster. *Proc. 60th Gulf Caribbean Fisheries Institute*. 193-196.
  11. Chávez, E. A. & L. C. Almendárez-Hernández. 2008. Evaluación bioeconómica de la pesquería de camarón blanco en el sur de Sinaloa. 85-86, In: *IV Foro Científico de Pesca Ribereña*, Instituto Nacional de la Pesca. Acapulco, México. .
  12. Chávez, E.A. & A. Chávez-Hidalgo. 2008. Evaluación bioeconómica de la pesquería de mero del Caribe en la plataforma yucateca. 81-82, In: *IV Foro Científico de Pesca Ribereña*, pp.. INP, México.
  13. Chávez, E. A. & A. Chávez-Hidalgo. 2013. The sardine fishery of the Gulf of California. *Calcofi Reports*,54: 205-214.
  14. Chávez, E.A., F.D. Escobar-Toledo & S. Ortega-García. 2013. Optimum harvesting scenarios for the management of the big-eye tuna (*Thunnus obesus*) at the Eastern Pacific Ocean. *Rev. Mar. Biol.Oceanog.*, 48(2): 235-243.
  15. Chávez, E. A. & S. García-Martínez. 2006. Evaluación bioeconómica de la pesquería de camarón café de Bahía Magdalena, México. 97-98, In: *III Foro Científico de Pesca Ribereña*. Instituto Nacional de La Pesca, México.
  16. Chávez, E.A. & M. Gorostieta. 2010. Bioeconomic assessment of the spiny lobster fisheries of Baja California, Mexico. *CAL-COFI Rep.*, 51: 153-161.
  17. Chávez, E.A., & S.C. Mora. 2010. Conceptual Framework for Estimating Annual Quotas in Mexican Queen Conch (*Strombus gigas*) Fisheries. 376-382, In: *Proc. 62th Gulf Caribbean Fisheries Institute* Nov. 2009. .
  18. Chávez, E.A., M.L. Salgado-Rogel & J. Palheiro-Nayar. 2011. Stock assessment of the warty sea cucumber fishery (*Parastichopus parvimensis*) of NW Baja California. *CAL-COFI Rep.*, Vol. 52: 136-147.
  19. Díaz-Uribe, J. G., E. A., Chávez & J. Elorduy-Garay. 2004. Evaluación de la pesquería del huachinango (*Lutjanus peru*) en el suroeste del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 30(4): 561-574.
  20. García-Martínez, S. & E. A. Chávez. 2007. La Pesquería de camarón en Puerto San Carlos, Bahía Magdalena; una perspectiva socioeconómica. 277-287. In: *Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena*. CICIMAR La Paz, Baja California Sur.
  21. Herrero-Pérezrul, M. D. & E. A. Chávez. 2005. Optimum fishing strategies for *Isostichopus fuscus* (Echinodermata: Holothuroidea) in the Gulf of California, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* (Int. J. Trop. Biol. ISSN- 0034-7744) 53 (Suppl. 3): 357-366.
  22. Lercari, D. & E. A. Chávez. 2007. Possible causes related to historic stock depletion of the totoaba: *Totoaba macdonaldi* (Perciformes: Sciaenidae) endemic to the Gulf of California. *Fisheries Research*, 86(2007): 136-142.
  23. Ley-Cooper, K. & E.A. Chávez, 2010. Bioeconomic Modelling Applied to a Spiny Lobster Fishery of the Northwestern Caribbean. 148-159, In: *Proc. 62th Gulf Caribbean Fisheries Institute* Nov. 2009. .
  24. López Martínez, J., F. Arreguín-Sánchez, M. O. Nevárez-Martínez, R. Morales Aspeitia, E. A. Chávez & E. Alcántara-Razo. 2002. Aspectos biológicos y pesqueros del camarón de roca *Sicyonia penicillata* (Lockington) del Golfo de California. Vol. 1: 1-11. In: M. E.Hendrickx (ed.) *Contribuciones al Estudio de los Crustáceos del Pacífico Este*. ICML, UNAM, 250 p.
  25. López-Martínez, E. A. Chávez, S. Hernández-Vázquez & E. Alcántara-Razo. 2000. Potential yield of a rock shrimp stock, *Sicyonia penicillata* of the northern Gulf of California. *Crustaceana*, 72(6): 581-590.

26. Nevárez-Martínez M., E. A. Chávez, M. A. Cisneros-Mata & D. Lluch-Belda. 1999. Modeling of the Pacific sardine *Sardinops caeruleus* fishery of the Gulf of California, Mexico. *Fisheries Research*, 41(1999): 276-286.
27. Ponce-Díaz G., E. A. Chávez & M. Rama-de-Villanueva. 2000. Evaluación de la pesquería de abulón azul *Haliotis fulgens* en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 26(3): 393-412.
28. Salgado-Rogel, M.L., J.S. Palleiro-Nayar, E.A. Chávez, D. Aguilar-Montero, I. Ortega-Salgado & J. L. Rivera-Ulloa. 2013. La pesquería y el manejo del pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en la costa occidental de Baja California. 33-55, In: J.S. Palleiro-Nayar (compilador). *Recursos bentónicos de Baja California: erizo y pepino de mar*. Instituto Nacional de la Pesca, México.
29. Tabash, F. & E. A. Chávez. 2006. Optimizing harvesting strategies of the white shrimp fishery of the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Crustaceana*, 79(3): 327-343.
30. Torres, R. y E. A. Chávez. 1987. Evaluación y diagnóstico de la pesquería de rubia (*Lutjanus synagris* (L)) en el Estado de Yucatán. *Ciencias Marinas*, 13(1): 7-29.
31. Velázquez-Abunader, J. I. & E. A. Chávez. 2008. Evaluación bioeconómica de la pesquería de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California. 83-84, In: *IV Foro Científico de Pesca Ribereña, Instituto Nacional de la Pesca*. Acapulco, México.