

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL
COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR
CUARTA REUNIÓN

La Jolla, California (EE.UU.)
29 de abril - 3 de mayo de 2013

DOCUMENTO SAC-04-07c

**CONDICIÓN DEL PEZ VELA EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL
EN 2011 Y PERSPECTIVAS PARA EL FUTURO**

Michael G. Hinton y Mark N. Maunder

1. Resumen	1
2. Datos.....	2
3. Supuestos y parámetros.....	6
4. Evaluación de la población	9
5. Condición de la población y recomendaciones	12
Referencias	Error! Bookmark not defined.

1. RESUMEN

El presente informe describe la condición y las tendencias del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Océano Pacífico oriental (OPO). La evaluación fue realizada con un modelo de producción excedente, tras determinar que los datos disponibles son insuficientes para permitir una evaluación con *Stock Synthesis*. Los datos usados fueron actualizados al 14 de marzo de 2013.

La abundancia máxima del pez vela ocurre en aguas relativamente cercanas a los continentes y las masas terrestres indopacíficas que lindan con el Océano Pacífico, y tan sólo infrecuentemente en las aguas de alta mar que los separan. Esta separación por su propia naturaleza sugiere que las regiones de abundancia en el OPO y en el Pacífico occidental deberían ser gestionadas por separado, y en este caso la separación ha resultado a lo largo del tiempo en poblaciones genéticamente distintas.

Los centros de la distribución del pez vela a lo largo del litoral del continente americano cambian en reacción a cambios estacionales de la temperatura del agua en la superficie y en la capa de mezcla. Se encuentra la especie con mayor frecuencia en aguas de más de unos 28°C, y está presente en aguas tropicales más cercanas a la línea ecuatorial en todos los meses del año. El desove tiene lugar frente al litoral mexicano durante el verano y otoño, y frente a Costa Rica durante el invierno, y tal vez durante todo el año en áreas con condiciones adecuadas. La proporción de sexos es altamente asimétrica hacia los machos durante el desove. Los cambios conocidos en la proporción de sexos entre las áreas de desove, y las distribuciones espaciotemporales de los índices de gónadas y las distribuciones de frecuencia de talla, que señalan peces más pequeños en alta mar, sugieren que podrían existir patrones dependientes de la madurez en la distribución de la especie en el OPO. El pez vela puede alcanzar una edad de unos 11 años en el OPO.

Las pesquerías principales que capturan pez vela en el OPO incluyen las pesquerías palangreras dirigidas hacia los atunes por buques grandes de Taipei Chino, Costa Rica, Japón, y Corea, las pesquerías palangreras dirigidas a los atunes y otras especies por buques de menor tamaño, particularmente aquellas que operan en aguas frente a Centroamérica, y las pesquerías artesanales y recreacionales de América Central y del Sur. Es también a veces capturado en las pesquerías de cerco dirigidas a los atunes tropicales.

Resultados clave

1. No es posible determinar la condición de la población de pez vela stock en el OPO con respecto a parámetros específicos de ordenación, tal como el rendimiento máximo sostenible (RMS), porque las estimaciones de los parámetros usados para hacer estas determinaciones no pueden ser derivadas de los resultados del modelo. Esto se debe a que los resultados no brindan información fiable sobre la productividad de la población y el nivel de biomasa correspondiente al RMS.
2. La tendencia de la abundancia del pez vela fue descendente durante 1994-2009, tras lo cual entró en un periodo de abundancia entre relativamente constante y ligeramente ascendente.
3. Los niveles recientes de captura anual son de alrededor de 500 t, nivel significativamente menor que el promedio de unas 2.100 t durante 1993-2007.
4. Los resultados del modelo sugieren que existen niveles importantes de captura no reportada. Las capturas reales antes de 1993 fueron probablemente alrededor o mayores de aquellas reportadas para 1993-2007. Suponiendo que haya existido este nivel de captura durante muchos años, se espera que la condición de la población no disminuirá si las capturas no aumentan por encima de los niveles actuales.
5. Se recomienda un enfoque precautorio que no incremente el esfuerzo de pesca dirigido al pez vela y que de un seguimiento estrecho a la captura hasta que se disponga de suficientes datos para realizar una nueva evaluación.
6. Es poco probable que se pueda realizar una evaluación fiable del pez vela en el OPO sin estimaciones fiables de la captura.
7. Se recomienda:
 - a. obtener en todo caso posible datos históricos de captura de pez vela;
 - b. animar a las pesquerías que actualmente reportan sus capturas de pez vela combinadas con otras especies a reportar capturas por especie;
 - c. compilar los datos existentes de las pesquerías a pequeña escala, tales como las flotas palangreras locales y las pesquerías artesanales, y que en casos necesarios se desarrollen programas de seguimiento de capturas que las identifiquen por especie.

2. DATOS

Los datos usados en la evaluación fueron preparados inicialmente para uso en *Stock Synthesis* (Methot 2009), pero fueron entonces agrupados en observaciones anuales para todas las pesquerías combinadas para uso en el modelo de producción excedente usado en la evaluación. Los datos de frecuencia de talla no fueron incorporados en el modelo de producción, cuyos insumos de datos son captura e índices de abundancia.

2.1. Definiciones de las pesquerías

Para la presente evaluación se definieron 22 pesquerías y dos estudios. Se basaron en tipo de arte, pabellón, unidades de captura reportada (número o peso), y análisis de la distribución espacial de la captura de pez vela. El pez vela es generalmente más abundante a lo largo del litoral de América Central y del Sur entre aproximadamente 20°N y 20°S, con desplazamientos latitudinales asociados a temperaturas altas del agua (Joseph *et al.* 1974). No se encuentra la especie en gran abundancia en alta mar (Kume 1973; Joseph *et al.* 1974). Se aprovechó este hecho para desarrollar estimaciones de la captura de pez vela por pesquerías en las que es agrupado con otros peces picudos, particularmente el marlín trompa corta (*Tetrapturus angustirostris*), en la captura reportada.

Kume (1973) analizó la distribución espacial de la captura de pez vela, usando los datos del periodo temprano (1963-1970) subsiguiente a la plena expansión de la pesquería palangrera japonesa al OPO. Su

análisis de la captura y las tasas de captura en aguas cercanas al litoral de América Central y del Sur (Kume 1973: Área de investigación, Figura 2) señaló que la abundancia del pez vela disminuía de forma importante a medida que aumenta la distancia de la costa (Kume 1973: Tabla 2). Joseph *et al.* (1974) informaron que « el pez vela es extremadamente abundante a menos de 600 millas » de la costa y que la captura de la especie disminuye rápidamente a partir de las 1,000 millas del litoral.

En la tabla A se detallan las pesquerías definidas para la presente evaluación.

2.2. Captura¹

El historial de capturas de varias pesquerías en la evaluación es problemático. La captura de pez vela por las pesquerías palangreras japonesas descrita por Kume (1973) es conocida a nivel de especie, año, y área pequeña, pero en general, antes de aproximadamente 1994, las capturas de pez vela fueron agrupadas con aquellas de marlines la captura reportada por las pesquerías palangreras. Estos informes de especies mixtas siguen siendo la regla general en las pesquerías palangreras de Taipei Chino. Las pesquerías atuneras de cerco del OPO han operado durante muchas décadas, pero se ignora la magnitud de la captura de peces picudos antes de principios de la década de 1990, cuando los observadores científicos asignados inicialmente a los buques para dar seguimiento a las interacciones con mamíferos marinos comenzaron a recolectar estos datos. La situación es similar con respecto a los datos de captura de las pesquerías recreacionales de México, para las cuales Fleischer *et al.* (2009) reportaron datos de capturas anuales correspondientes al periodo de 1990-2008, y las otras pesquerías recreacionales de América Central y del Sur, para las cuales no se sabe de datos fiables sobre las capturas de pez vela. Por último, las estimaciones de capturas de las pesquerías artesanales del Golfo de Tehuantepec fueron elaboradas a partir de una serie de tasas de captura publicada y el esfuerzo asociado reportado como tamaño de la muestra. Estos datos abarcan un periodo corto, 2005-2008, durante el cual se realizó un estudio de la abundancia estacional relativa y la frecuencia de tallas. Se ignora la magnitud completa de las capturas realizadas por las flotas de buques palangreros pequeños que pescan atunes y otras especies, particularmente aquellos que operan frente a Centroamérica, y por las pesquerías artesanales en América Central y del Sur.

Las capturas de las pesquerías palangreras fueron compiladas a partir de las capturas mensuales reportadas. Esto no fue posible en el caso de la pesquería artesanal que opera en el Golfo de Tehuantepec o la pesquería recreacional de México, para las cuales se dispuso de datos de capturas anuales solamente. La captura trimestral de estas pesquerías fue estimada como sigue.

Las estimaciones de captura de la pesquería artesanal en el Golfo de Tehuantepec son consideradas mínimas. Se obtuvieron estimaciones mensuales como producto de la tasa de captura mensual (número de peces por viaje) y el número mensual de viajes (tamaño de muestra *n*) obtenidos de Cerdaneres-Ladrón *et al.* (2012; Figura 2), y fueron entonces sumadas por trimestre.

Las capturas anuales de pez vela reportadas por las pesquerías recreacionales de México (Fleischer *et al.* 2009) durante 1999-2008 fueron ajustadas, usando las tasas de liberación anuales muestreadas y una tasa estimada de mortalidad posterior a la liberación de 25% (Hinton y Maunder 2011). Las tasas de liberación antes de 1999 fueron más bajas que aquellas observadas en años posteriores.² Durante 1999-2008 la tasa de liberación media autoreportada de la flota de Los Cabos fue 79%, mientras que la tasa de liberación muestreada fue 68%. La tasa de liberación autoreportada de la flota de Los Barriles durante el mismo período fue aproximadamente 64%, 15% menos que aquella de la flota de Los Cabos. Suponiendo la misma tasa de error en los informes de Los Barriles que aquella observada para Los Cabos, se ajustó la tasa de notificación media de las flotas combinadas usando el cociente de las tasas observadas y autoreportadas de Los Cabos. Las capturas reportadas durante los años antes de 1999 fueron reducidas un 62%, usando esta tasa de liberación estimada. No obstante, no todos los peces liberados sobreviven.

¹ En la Tabla 4.1 se presentan las capturas usadas en el modelo final de evaluación.1

² L. Fleischer. 2010. Com. pers. Las tasas de liberación son más bajas en los años previos a 1999. 3 de septiembre de 2010. La Jolla, California.

TABLA A. . Pesquerías (F) y estudios (S) definidos para la presente evaluación. LL: palangre; PS: red de cerco; RG: arte recreacional; nSFA: número de peces vela; nBIL: número de peces vela y marlines mixtos; tSFA: toneladas de pez vela. Las pesquerías de cerco están asociadas a delfines (DEL), objetos flotantes (OBJ), y atunes no asociados (NOA).

Pesquería	Descripción y área	Período	Unidades de captura
F1	LL japonesa costera	1964-1970	nSFA
F2	LL japonesa costera	1971-1993	nBIL
F3	LL japonesa costera	1994-2011	nSFA
F4	LL japonesa de alta mar	1964-1993	nBIL * 0.1
F5	LL japonesa de alta mar	1994-2011	nSFA
F6	LL coreana costera	1975-2011	nSFA
F7	LL coreana de alta mar	1975-2011	nSFA
F8	LL coreana costera	1992-1994 & 2003-2004	tSFA
F9	LL coreana de alta mar	1992-1994 & 2003-2005	tSFA
F10	LL Taipéi Chino costera	1964-2011	nBIL
F11	LL Taipéi Chino de alta mar	1964-2011	nBIL * 0.1
F12	OPO PS costera, DEL	1993-2011	nSFA
F13	OPO PS costera, NOA	1993-2011	nSFA
F14	OPO PS costera, OBJ	1993-2011	nSFA
F15	OPO PS de alta mar, DEL	1993-2011	nSFA
F16	OPO PS de alta mar, NOA	1993-2011	nSFA
F17	OPO PS de alta mar, OBJ	1993-2011	nSFA
F18	LL mexicana costera	1980-1989	nSFA
F19	LL mexicana de alta mar	1980-1989	nSFA
F20	Mexicana recreacional	1990-2008	nSFA
F21	Mexicana artesanal Golfo de Tehuantepec	2005-2008	nSFA
F22	Otra LL industrial	1991-2011	tSFA
S1	LL japonesa N-ecuatorial	1994-2011	nSFA
S2	LL japonesa S-ecuatorial	1994-2011	nSFA

El estudio más extenso de la supervivencia de peces picudos posterior a su captura con artes recreacionales fue realizada con el marlín rayado (Domeier *et al.* 2003), y estimó una tasa general de supervivencia de aproximadamente 25%, pero la tasa de mortalidad de peces liberados en buena condición fue aproximadamente 10%. Kerstetter y Graves (2008) estimaron una tasa similar, 12%, para peces vela capturados con palangre; reportaron que el 69% (20 peces) sobrevivió la recuperación del palangre, y que de los 15 ejemplares que marcaron, 12 tuvieron una puntuación de ocho o más en una escala de 10. Estos resultados sugieren que las mortalidades de peces vela que podrían haber estado en mala condición como resultado de ser capturados no estuvieron disponibles para el estudio de supervivencia de marcado y liberación, ya que habían muerto antes de ser recuperado el palangre. En vista de las estimaciones similares de supervivencia de peces en buena condición reportadas en estos dos estudios, y la falta de peces vela en mala condición en el análisis de supervivencia de Kerstetter y Graves (2008), se usó la tasa de supervivencia posliberación de 25% en las estimaciones de la mortalidad total en las pesquerías recreacionales, lo cual es consistente con evaluaciones previas (Hinton y Maunder 2011).

A fin de tomar en cuenta la presencia de los desplazamientos estacionales del pez vela a lo largo del litoral del continente americano (Kume y Joseph, 1969), se asignó la captura anual reportada por la pesquería recreacional de México y por la pesquería palangrera japonesa (1964-1970) a trimestres con base en los promedios de las tasas de captura trimestrales (Cerdenares-Ladrón *et al.* 2012) de la pesquería artesanal.

Las proporciones usadas fueron 0,15 para el primer trimestre 1; 0,28 para el segundo; 0,38 para el tercero; y 0,19 para el cuarto.

Las capturas de pez vela y marlines fueron combinadas en las capturas reportadas de Japón hasta 1993, cuando se instituyó un sistema de cuadernos de bitácora e informes en el cual las capturas de pez vela y los marlines fueron reportados a nivel de especie. La implementación del sistema fue completado alrededor de 1994, debido a que muchos buques palangreros japoneses vuelven a su puerto base solamente una vez o menos al año. El análisis de la captura de esas especies después de 1993 en el Área de Investigación de Kume (1973) señaló que 1.080 peces vela y 52 marlines (4.6% de la captura combinada) fueron capturados en la región. El bajo número total de capturas de pez vela en la zona resultó de un desplazamiento hacia el oeste en la distribución espacial de las pesquerías después de la adopción de Zonas Económicas Exclusivas, pero persisten los patrones de distribución descritos por Kume (1973). Con base en este análisis, se usaron las capturas reportadas mixtas de pez vela y marlines como estimación de la captura de peces vela del Área de Investigación en las capturas reportadas de Taipei Chino y Japón.

Durante 1993-2011, el pez vela formó aproximadamente el 5% (14.250 de unos 265.750 peces) de las capturas reportadas por buques palangreros japoneses de marlines y pez vela combinados de las aguas al oeste del Área de Investigación. Sin embargo, la proporción ha disminuido constantemente, de un 13% en 1994 a menos de 2% en los últimos años. Por lo tanto, para los años y las pesquerías en los que la captura no fue reportada por especie, se supuso que el pez vela formó el 10% de la captura reportada de pez vela y marlines mixtos en el área de alta mar.

2.3. Descartes

Se dispuso de datos de descartes, tomados por observadores a bordo, para la pesquería atunera de cerco del OPO solamente. No hubo datos de descartes disponibles de otras pesquerías.

2.4. Índices de abundancia

Se prefiere contar con una serie de tiempo de tasas de captura que abarca la extensión temporal y espacial de las pesquerías que explotan un recurso. En la presente evaluación, debido a la práctica común en las pesquerías palangreras de reportar el pez vela y los marlines en una sola categoría, y a los cambios significativos en la distribución espacial de las pesquerías palangreras japonesas en el OPO (Hinton 2009), no existe una sola serie de tiempo de tasas de captura que abarque el área y periodo de tiempo de las pesquerías que capturan el pez vela en el OPO.

Se consideraron para uso en la evaluación los índices de abundancia de varias pesquerías (F1, F5, F12, F12/13, F15/16, F18/19, F20 y F21). La mayoría estuvo plagada por escasez de observaciones, cobertura temporal corta, y falta de los datos detallados necesarios para el modelado. Se seleccionaron para la evaluación dos índices que mostraron consistencia, cubrieron gran parte del mismo periodo de tiempo (incluidos los años más recientes), y que provinieron de zonas geográficamente separadas en el OPO.

El primer índice corresponde a la pesquería recreativa de México durante 1990-2008. Fue estimado usando la serie de captura y esfuerzo presentada por Fleischer *et al.* (2009). El segundo corresponde a la pesquería palangrera japonesa de alta mar en la región entre la línea ecuatorial y 10°N desde 92°O hasta 150°O. Este segundo índice fue desarrollado con un modelo delta-logarítmico normal (Pennington 1983) ajustado en TIBCO Spotfire S+ 8.2. Se efectuó la identificación inicial de los parámetros del modelo usando las funciones “step.glm” y “stepAIC”, y la selección final de los parámetros mediante una comparación de la disminución del Criterio de Información de Akaike (AIC) que resultó de la suma de los parámetros individuales sugeridos por el ajuste inicial, incluyendo solamente aquellos que resultaron en una disminución del AIC de O(100) (Burnham y Anderson 1998). El alcance inicial del modelo incluyó parámetros de posición, en latitud y longitud y en distancia del punto más cercano del continente americano, y de condiciones oceanográficas que se esperaba estarían correlacionadas con la presencia y vulnerabilidad del pez vela. Los modelos seleccionados, con sus parámetros en orden de selección, fueron:

CPUE = intercepto + mes + año + latitud

P(captura de pez vela registrada | esfuerzo de pesca) = intercepto + año + latitud + mes

2.5. Datos de composición por talla

Los pocos datos de frecuencia de talla disponibles para la pesquerías principales fueron mediciones de talla ojo-furca caudal (EFL). Las mediciones fueron agrupadas en intervalos de talla de 2 cm por trimestre para las pesquerías de palangre japonesas (F4 y F5) y de cerco (F12 y F13). El número de muestras de las pesquerías palangreras fue extremadamente bajo, abarcando solamente 44 trimestres, con tamaños de muestra de entre 1 y 45 mediciones por trimestre. La cobertura de muestreo de la pesquería de cerco fue alta, con 87 observaciones trimestrales en la pesquería costera (F12) y 79 en la pesquería de alta mar (F13). El número de peces vela medidos por trimestre fue en promedio unos 125 en la pesquería costera y unos 15 en la pesquería de alta mar, donde el pez vela ocurre menos frecuentemente en la captura.

Las distribuciones anuales de la frecuencia de talla de la pesquería artesanal en el Golfo de Tehuantepec, tomadas de Cerdaneres-Ladrón *et al.* (2012: Figura 3), fueron digitadas como número de peces en intervalos de 5 cm.

2.6. Datos de composición por edad

No se dispuso de datos de composición por edad.

3. SUPUESTOS Y PARÁMETROS

3.1. Información biológica y demográfica

3.1.1. Crecimiento

El pez vela crece rápidamente, y se puede esperar que, al alcanzar la edad de dos años, mida más de 100 cm de talla ojo-furca caudal (EFL) (Cerdaneres-Ladrón *et al.* 2011; Ramírez-Pérez *et al.* 2011).

Cerdaneres-Ladrón *et al.* (2011) examinaron 477 peces vela capturados en las pesquerías artesanales del Golfo de Tehuantepec e identificaron individuos de entre 1 y 11 años de edad y de entre 80 y 220 cm de EFL, aunque solamente el 7% de los mismos eran de más de 180 cm EFL. Las tasas de crecimiento estimadas en su estudio fueron consistentes con las altas tasas de crecimiento reportadas por otros (ver resumen de estudios y estimaciones de parámetros en la tabla III de Cerdaneres-Ladrón *et al.* 2011).

Ramírez-Pérez *et al.* (2011) examinaron 572 peces vela capturados en la pesquería recreacional en y cerca de el Golfo de California. Identificaron peces vela de entre 1 y 9 años de edad y de EFL de entre 96 y 198 cm. Estimaron que el pez vela alcanza tallas de unos 71 cm a la edad de 1 año, 104 a edad 2, 127 a edad 3, y 160 a edad 4. A partir de edad 4 estimaron que crecen unos 13 cm por año. Estos resultados fueron consistentes con aquellos de Cerdaneres-Ladrón *et al.* (2011) y los estudios que citan.

Ramírez *et al.* (2011) reportaron una diferencia estadísticamente significativa entre las curvas de crecimiento de machos y hembras. El valor absoluto medio de la diferencia entre la talla por edad estimada para los machos y las hembras de edades de 1 a 9 fue menos de 3 cm, lo cual, en el contexto del modelo de evaluación en el cual los datos de frecuencia de talla han sido compilados en intervalos de talla entre 2 y 5 cm, es una diferencia insignificante. Considerando que los datos de frecuencia de talla usados en la evaluación no están clasificados por sexo, y que Cerdaneres-Ladrón *et al.* (2011) incluyeron peces de hasta 11 años de edad y tallas hasta 22 cm mayores que aquellas de Ramírez *et al.* (2011), el modelo de crecimiento de von Bertalanffy con sexos combinados usado por Cerdaneres-Ladrón *et al.* (2011) fue seleccionado para usar en la evaluación. Los parámetros e intervalos de confianza de Cerdaneres-Ladrón *et al.* (2011) fueron $L_{inf} = 180,6$ cm (176-186 cm); el coeficiente de crecimiento de Brody (k) = 0,36 (0,34-0,39); y edad en talla cero (t_0) = -0,24 (-0,30 a -0,18). Se estima la talla a edad t como:

$$L(t) = 180.6(1 - e^{-0.36(t+0.24)})$$

El parámetro L_{inf} puede ser estimado o especificado en *Stock Synthesis*, y en la evaluación fue fijado para machos y hembras en 188 cm. La ecuación de von Bertalanffy en *Stock Synthesis* no usa la parametrización estándar de t_0 y por ende fue parametrizada con la talla a edad 1 igual a 65 cm para hembras y machos.

El promedio (μ), la desviación estándar (σ), y el coeficiente de variación (CV) de la talla por edad correspondientes a edades de 2 a 11 años fueron estimados a partir de los datos de Cerdaneres-Ladrón *et al.* (2011; pág. 493, Tabla 1). Debido al bajo tamaño de muestra de ciertas edades, se usó un CV constante de 9% en la evaluación.

En *Stock Synthesis* se usa una relación peso-talla para calcular la biomasa y para permitir convertir los datos, que pueden ser en unidades de peso o talla, en una unidad común para análisis. En la presente evaluación se estimó el peso entero [RW(kg)] a partir de EFL (cm), usando la relación peso-talla de Cerdaneres-Ladrón *et al.* (2011):

$$RW = 5.0 \times 10^{-5} (EFL)^{2.6}$$

Esta elección fue consistente con la elección del modelo de crecimiento en la evaluación (Cerdaneres-Ladrón *et al.* 2011).

3.1.2. Mortalidad natural

Se ignora la tasa instantánea de mortalidad natural (M) del pez vela. En vista de que la mayoría de los peces vela aparentemente no viven más de unos 11 años, en la presente evaluación se usó una M anual constante de 0,5, lo cual es consistente con las tasas usadas en la evaluación de otros peces picudos con ciclo vital similar (por ejemplo, Hinton y Maunder 2007; Hinton y Maunder 2011).

3.1.3. Reclutamiento y reproducción

Hernández y Ramírez (1998), usando análisis histológicos de los ovarios del pez vela y valores de índices de gónadas, descubrieron que la talla de primera madurez de las hembras es alrededor de 150 cm y que la talla de 50% de madurez es aproximadamente 175 cm. Descubrieron que estos valores fueron consistentes con aquellos de estudios previos realizados en el OPO. La proporción de hembras maduras por EFL (cm) (Hernández y Ramírez, 1998: Figura 5) es calculada mediante:

$$P(\text{hembras maduras}) = (1 + e^{(34.3719 - 0.1962435 \times EFL)})^{-1}$$

Se fijó el calendario de madurez en la evaluación a partir de una evaluación de la función de proporción de hembras que son maduras en la EFL media estimada por edad (Cerdaneres-Ladrón *et al.* 2011; p. 494, Tabla II). El vector de la proporción de hembras maduras por edad de 0 a 11 =

[0.0, 0.0, 0.0, 0.0001, 0.0016, 0.0101, 0.0619, 0.1160, 0.2200, 0.3867, 0.4342, 0.9186].

Edad	n	μ	σ	CV
2	5	104.0	17.46	16.8
3	16	146.6	12.74	8.7
4	67	160.0	12.49	7.8
5	154	160.4	9.80	6.1
6	115	166.4	12.42	7.5
7	58	167.4	11.13	6.6
8	26	171.9	12.58	7.3
9	21	176.4	15.66	8.9
10	6	168.3	15.06	8.9
11	7	188.6	15.74	8.3

Es posible que en el Océano Atlántico el pez vela desove múltiples veces durante una temporada (deSylva y Bredner 1997), pero esto parece no ser el caso en el OPO (McDowell 2002). En el OPO al desove ocurre durante todo el año en lugares con condiciones adecuadas (Kume y Joseph 1969; Hernández y Ramírez 1998; Ramírez *et al.* 2011), lo cual resulta en una secuencia de lugares de desove que se extienden desde la región ecuatorial hacia el norte durante el transcurso de un año (McDowell 2002). Los lugares y períodos de desove identifica-

dos se extienden desde Costa Rica [diciembre-marzo] hasta Guatemala [enero-abril], y desde el sur hasta el norte de México durante un periodo de unos siete meses [mayo-noviembre]. Se supone que ocurre reclutamiento en todas las temporadas del año, y que varía entre temporadas.

Se considera generalmente que las condiciones ambientales constituyen la influencia principal sobre los niveles de reclutamiento de los atunes y especies afines pelágicos, incluido el pez vela, y que el reclutamiento no es reducido sustancialmente en reacción a cambios en el nivel de la biomasa reproductora. Por lo tanto, se usó en la evaluación una relación población-reclutamiento de Beverton-Holt (Beverton y Holt 1957). En el modelo *Stock Synthesis*, esta relación ha sido parametrizada para incluir la inclinación (h) (Francis 1992, Anexo 1). La inclinación es aquella fracción del reclutamiento a una población no explotada (R_0) que sería producida por una biomasa reproductora que ha sido reducida al 20% de la biomasa reproductora no explotada (S_0), o sea, $hR_0 = F(0.2 S_0)$, donde Ψ es la relación población-reclutamiento de Beverton-Holt. La inclinación puede variar entre 0,2 (en cual caso el reclutamiento es una función lineal de la biomasa reproductora) y 1,0 (en cual caso el reclutamiento es independiente de la biomasa reproductora). En la práctica es a menudo difícil estimar la inclinación, debido a una falta de contraste en las observaciones de biomasa reproductora, y porque otros factores (por ejemplo, ambientales) pueden causar una variabilidad extrema en los reclutamientos de una biomasa reproductora dada. Los análisis de simulación han señalado que la estimación de la inclinación es problemática, con una gran incertidumbre y estimaciones frecuentes iguales a 1, aun cuando la inclinación real es moderadamente menos que 1 (Conn *et al.* 2010, Lee *et al.* 2012).

No se contó con información sobre las relaciones del reclutamiento y el tamaño de la población reproductora para el pez vela en el OPO, por lo que se usó $h = 0,90$ en la evaluación. Se realizaron análisis de sensibilidad con $h = [0,75, 1,0]$ para investigar el efecto de la fuerza de varias relaciones población-reclutamiento, y de ninguna.

3.1.4. Desplazamientos

La evaluación no incluyó parámetros explícitos para desplazamientos dentro del OPO. Existe muy poca información sobre los desplazamientos independiente de cambios en las tasas de captura que han sido asociadas a cambios en la distribución de la temperatura superficial del mar. Se supuso que la población está mezclada al azar al principio de cada año y, aunque no se modeló explícitamente, algunos aspectos del desplazamiento dentro del OPO, tales como aquellos que se sugiere conducen a variaciones en la distribución espacial de la frecuencia de talla, fueron acomodados por diferencias en selectividad y capturabilidad, usando una definición espacial de las pesquerías.

3.1.5. Estructura de la población

La estructura de la población del pez vela es relativamente bien conocida en el Pacífico. Comparado con otras especies de peces picudos, el pez vela abunda al máximo en aguas relativamente cercanas a los continentes y las masas de tierra indopacíficas que lindan con el Océano Pacífico (Howard y Ueyanagi 1965) y tan sólo infrecuentemente en las aguas de alta mar que los separan. Esta separación llevó a Kume y Joseph (1969) a sugerir que, pese a los distintivos genéticos en los centros poblacionales, las regiones de abundancia en el OPO y en el Pacífico occidental deberían ser gescionadas por separado.

Análisis genéticos subsiguientes (McDowell 2002) descubrieron que los centros poblacionales aparentes en el Océano Pacífico son centros de poblaciones genéticamente diferenciadas que resultan de su separación por distancia. McDowell confirmó que el pez vela en el OPO consiste en una sola población genética separada de la población (o poblaciones) de la especie en el Océano Pacífico índico-occidental.

Se considera por lo tanto que son apropiados estudios de mermas locales y evaluaciones del pez vela en el OPO sin incluir parámetros en el modelo para desplazamientos transzonales de individuos.

3.2. Influencias ambientales

Se usaron datos ambientales en la estandarización de las tasas de captura (sección 2.4).

4. EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN

La evaluación fue realizada usando un modelo de producción excedente, tras determinar que los datos disponibles eran insuficientes para apoyar una evaluación usando *Stock Synthesis* (Methot 2009), modelo estadístico integrado (ajustado a muchos tipos de datos distintos) de evaluación de poblaciones con estructura por edad. Los datos incluidos en la evaluación fueron aquellos disponibles el 14 de marzo de 2013, y determinaron, en gran grado, la estructura del modelo de evaluación.

La preparación para el análisis usando *Stock Synthesis* implicó la compilación de estimaciones de varias características poblacionales, tales como la tasa de mortalidad natural, tasas de crecimiento, y talla de primera madurez, que fueron obtenidas de estudios e incluidos en la evaluación como parámetros supuestos o fijos. En los pasos iniciales de la evaluación, se ajustó *Stock Synthesis* a una serie de escenarios, en modelos estacionales y anuales, usando el método de verosimilitud máxima. El valor del negativo del logaritmo de la verosimilitud de cada uno de los escenarios fue usado para evaluar y comparar los resultados.

Se hizo aparente, a partir de estimaciones de la productividad de la población, los niveles de biomasa, y las tasas de mortalidad por pesca, que esta población poseía una productividad atípicamente baja (mortalidad natural baja o inclinación baja de la relación población-reclutamiento) y una alta biomasa permanente o, más probablemente, que faltaba una gran cantidad de captura en los datos compilados para la evaluación. Se hicieron intentos para estimar la captura de las pesquerías que no han reportado capturas de pez vela por especie (por ejemplo, Taipei Chino y Japón en el período antes de 1994) debido a la práctica de los buques palangreros de reportar el pez vela y los peces picudos juntos en las estadísticas de descargas. Además, existen pesquerías palangreras de pequeña y mediana escala y pesquerías artesanales que operan en Centroamérica que se sabe capturan peces vela y para los cuales no se dispone de datos. No fue posible identificar una forma de estimar esta captura satisfactoriamente a fin de obtener estimaciones fiables de la condición de la población y sus tendencias usando *Stock Synthesis*.

Los resultados obtenidos de la evaluación con el modelo de producción excedente padecen de las mismas limitaciones de datos, y muestran resultados consistentes con aquellos obtenidos en análisis realizados usando *Stock Synthesis*. Se usó el modelo de producción excedente para simplificar la ilustración de los problemas en la evaluación de la población.

4.1. Estructura del modelo de evaluación

Los datos incluidos en la evaluación fueron la captura reportada para el período de 1990-2011 y dos índices de abundancia, el primero de las pesquerías recreacionales de México (1990-2008) y el segundo de la pesquería palangrera japonesa (1994-2011) en la región demarcada por la línea ecuatorial y 10°N desde 92°O hasta 150°O. La captura fue convertida de número a peso en el modelo *Stock Synthesis* para tomar en cuenta la selectividad de la pesquería. En la Tabla 4.1 se presentan los datos usados en la evaluación.

Se usó la versión de Gilbert (1992) del modelo de Pella-Tomlinson (ver anexo de Maunder 2001):

$$B_{t+1} + \frac{r}{\left[\frac{1}{m} - 1\right]} \left[\frac{B_t^m}{B_0^{m-1}} - B_t \right] - C_t \quad (1)$$

$$\frac{B_{RMS}}{B_0} = \frac{1}{\left[\frac{1}{m^{m-1}}\right]} \quad (2)$$

$$r = \frac{RMS}{B_{RMS}} \quad (3)$$

donde $RMS =$ rendimiento máximo sostenible, $B =$ biomasa, y $m =$ el parámetro de forma que determina el nivel de biomasa correspondiente al RMS . Se ajustó el modelo a los índices de abundancia usando el método de estimación de verosimilitud máxima (MLE).

Se supuso que el ciclo vital de esta especie es similar a aquel de especies relacionadas. Por lo tanto, se supuso que el parámetro de forma (m) es 0,5, correspondiente a un $B_{RMS}/B_0 = 0,25$, nivel consistente con aquel de especies similares.

Se examinó la dinámica del modelo mediante ajustes a una gama de valores de productividad de la población $r = [0.05, 0.1, 0.2, \dots, 0.5]$ y de niveles de merma de la población en el año inicial del modelo (1990) $B_{1990}/B_0 = [0.25, 0.50, 0.75, 1.00]$. Además, la estimación de MLE de la productividad de la población, r , fue obtenida en los niveles de merma de la población antes señalados.

4.2. Resultados de la evaluación

En la Figura 4.2.1 y la Tabla 4.2 se presentan los resultados del ajuste del modelo de producción excedente a la gama de valores antes descritos. En todos los niveles de merma inicial de la población, se obtuvo el mejor ajuste del modelo en niveles bajos y poco realistas de productividad de la población ($r \approx 0.1$ a 0.2). Se esperaba este resultado si se tomara captura de la población, particularmente en la parte temprana del periodo de tiempo modelado, lo cual no fue incluido en el modelo. Es consecuente que las estimaciones de los parámetros de ordenación que se obtendrían del modelo, tales como el RMS o el nivel actual de

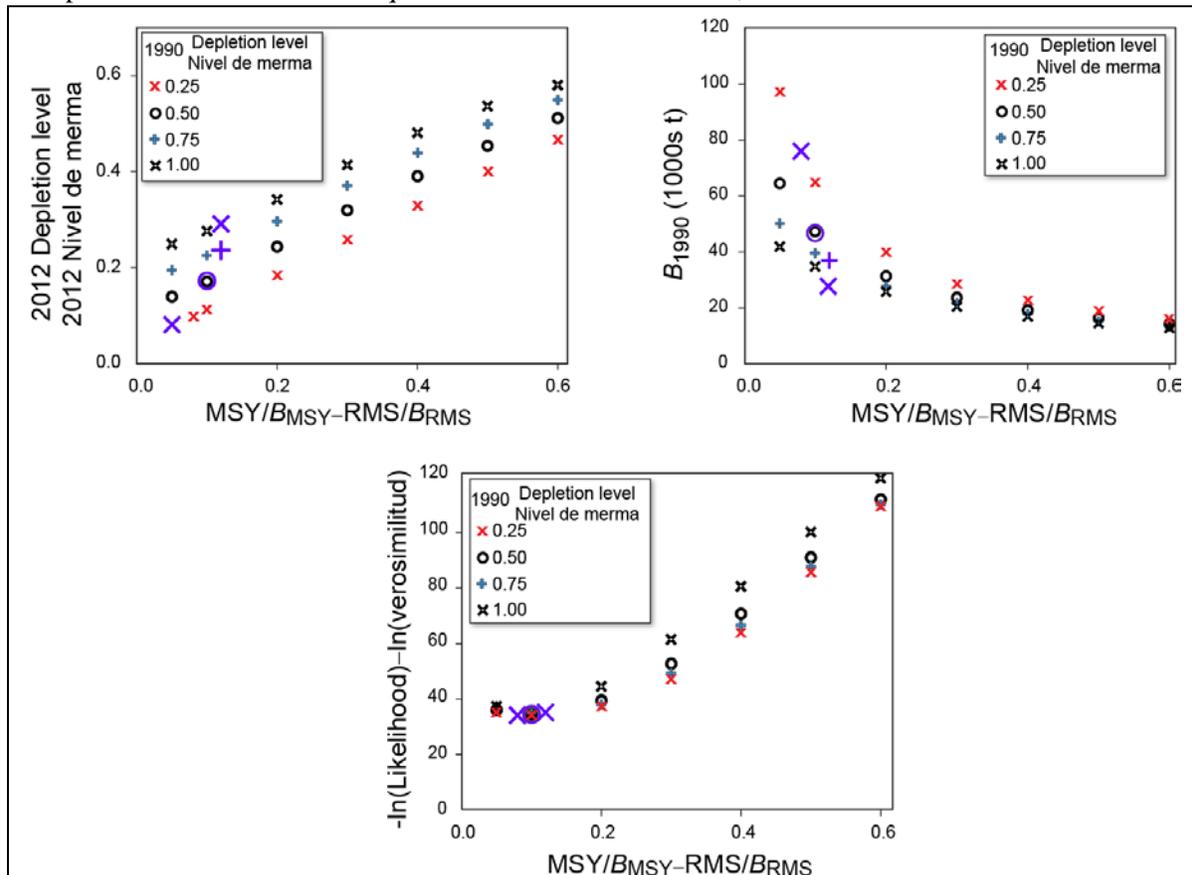


FIGURA 4.2.1. Estimaciones de la biomasa del pez vela en el OPO en 1990 (B_{1990} ; el primer año en el modelo de producción) y del nivel de merma de la biomasa en 2012; y el $-\ln(\text{verosimilitud})$ del ajuste del modelo en valores fijos de merma de la población en 1990 y RMS/B_{RMS} . Se muestran en lila las estimaciones de verosimilitud máxima de la merma de la población en 1990, B_{1990} , y RMS/B_{RMS} .

esfuerzo de pesca relativo al nivel correspondiente al RMS, dependerían del nivel de productividad supuesto o, en el contexto del modelo *Stock Synthesis*, la inclinación o mortalidad natural supuestas, es decir, basadas en información ajena al modelo.

TABLA 4.2. Parámetros estimados y medidas de verosimilitud del ajuste del modelo de producción excedente a una gama de productividades (r) y niveles de merma en RMS (B_{RMS}/B_0).

r	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	MLE
$B_{1990}/B_0 = 0.25$								
$-\ln(\text{Like})$	34.95	34.62	44.63	61.53	80.68	100.25	119.70	$r_{MLE} = 0.08$ 34.18
B_{2012}/B_0	0.08	0.11	0.18	0.26	0.33	0.40	0.46	0.10
B_0	97,382	64,781	39,465	28,665	22,636	18,787	16,119	75,964
$B_{1990}/B_0 = 0.50$								
$-\ln(\text{Like})$	36.13	34.46	39.49	52.76	70.85	91.09	111.95	$r_{MLE} = 0.10$ 34.46
B_{2012}/B_0	0.14	0.17	0.24	0.32	0.39	0.45	0.51	0.17
B_0	64,496	47,312	31,326	23,717	19,260	16,332	14,262	46,707
$B_{1990}/B_0 = 0.75$								
$-\ln(\text{Like})$	36.86	34.94	37.98	49.22	66.64	87.75	110.25	$r_{MLE} = 0.12$ 34.82
B_{2012}/B_0	0.20	0.23	0.30	0.37	0.44	0.50	0.55	0.24
B_0	50,216	39,507	27,782	21,563	17,751	15,202	13,388	36,935
$B_{1990}/B_0 = 1.00$								
$-\ln(\text{Like})$	37.36	35.44	37.46	47.33	64.07	85.80	109.95	$r_{MLE} = 0.12$ 35.19
B_{2012}/B_0	0.25	0.28	0.34	0.41	0.48	0.54	0.58	0.29
B_0	41,855	34,860	25,815	20,421	16,933	14,554	12,864	32,103

Se supone que las tendencias de los índices de la tasa de captura son proporcionales a la biomasa anual de la población. En la Figura 4.2.2 se presentan las estimaciones observadas y ajustadas de los índices de la tasa de captura anual usadas en la evaluación. Ambos índices señalan una disminución de la abundancia durante aproximadamente 1990-2005, tras lo cual las tasas de captura estimada se estabilizaron. No se dispuso de datos de la pesquería recreacional mexicana (MEX RG) para los años posteriores a 2009, durante los cuales existen indicaciones de estabilidad o una ligera tendencia creciente en el índice de abundancia palangrero japonés (JPN LL).

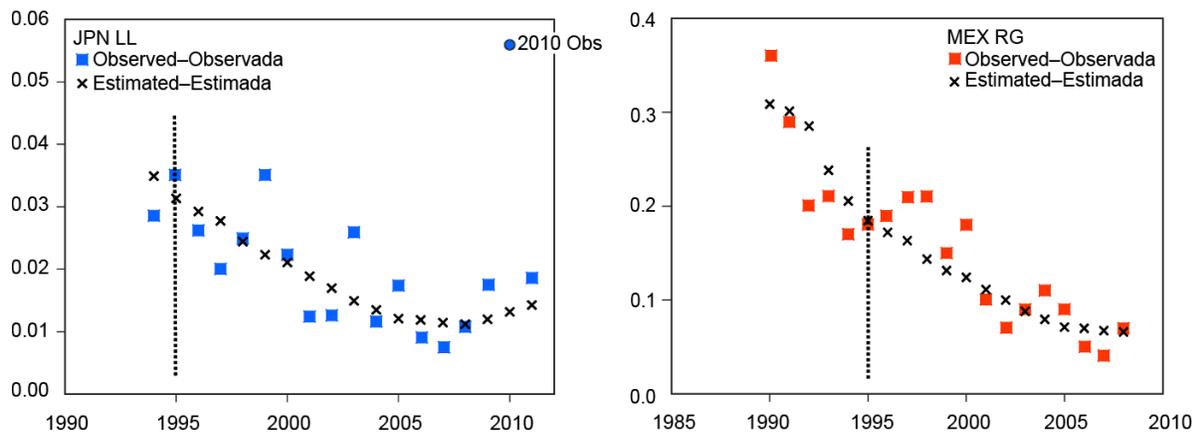


FIGURA 4.2.2. Tasas de captura observada y predicha de las pesquerías palangrera japonesa (JPN LL) y recreacional mexicana (MEX RG). No se incluyó en los análisis la observación de 2010 en la serie JPN LL.

Los índices de abundancia nominal basados en peces vela y tomados en faenas de pesca de cerco asociadas a delfines (DEL) y no asociadas (NOA) fueron estimados como el múltiple de la probabilidad de que un pez vela sea observado en un lance (lance positivo) y la captura media por lance en los lances positivos. En la Figura 4.2.3 se presentan estos índices correspondientes a lances realizados en aguas con temperatura superficial del mar de más de 28°C, junto con los índices DEL y NOA estimados del modelo ajustado. En contraste con los índices JPN LL y MEX RG, las tendencias estimadas no siguen los índices de abundancia cerqueros durante 1993-2011.

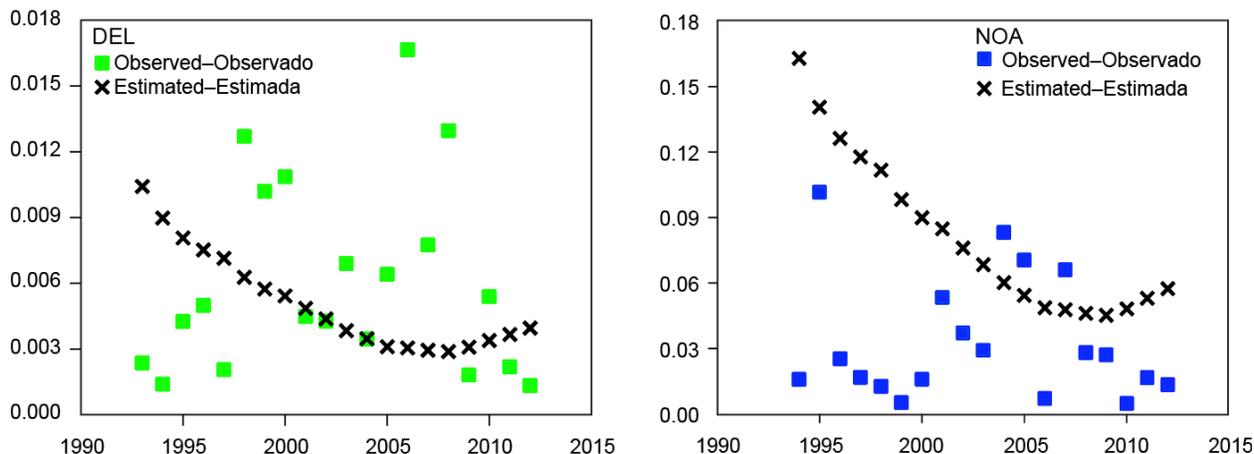


FIGURA 4.2.3. Índices de abundancia nominal de lances asociados a delfines (DEL) y no asociados (NOA) realizados en aguas con TSM > 28°C, y las tendencias estimadas del modelo ajustado.

4.3. Comparaciones con fuentes externas de datos

No se realizaron en la presente evaluación comparaciones con datos externos.

4.4. Comparación con la evaluación previa

No existen evaluaciones previas del pez vela en el OPO.

5. CONDICIÓN DE LA POBLACIÓN Y RECOMENDACIONES

El objetivo de la Convención de Antigua es « ...asegurar la conservación y el uso sostenible a largo plazo de las poblaciones de peces abarcadas por [la] Convención, de conformidad con las normas pertinentes del derecho internacional, ... » y se encarga a los Miembros de la Comisión « ... determinar si, de acuerdo con la mejor información científica disponible, una población de peces específica ... está plenamente explotada o sobre explotada y, sobre esta base, si un incremento en la capacidad de pesca y/o el nivel de esfuerzo de pesca pondría en peligro la conservación de esa población. ... »

No es posible determinar la condición de la población del pez vela en el OPO a partir de los resultados de la presente evaluación, porque los valores de los parámetros de ordenación usados comúnmente, tal como el RMS, que se usan para hacer estas determinaciones no pueden en este caso ser derivados de los resultados del modelo porque los resultados no brindan información fiable sobre la productividad de la población y el nivel de biomasa correspondiente al RMS.

A partir de los índices usados en el modelo, la tendencia de la abundancia del pez vela fue descendente durante 1994-2009, tras lo cual permaneció relativamente constante, o aumentó ligeramente, según indica el único índice de abundancia disponible después de 2009.

El nivel reportado de captura reciente se cifra en unas 500 t, nivel significativamente inferior a la captura anual media de unas 2.100 t reportada durante 1993-2007. Considerando las pesquerías del OPO, es probable que la captura real antes de 1993 fue al menos parecida a la captura reciente. Ya que el nivel actual de captura ha continuado durante un largo periodo de tiempo, se espera que la condición de la población

no deteriorará si no se incrementa la captura a niveles superiores al actual.

Se recomienda un enfoque precautorio que no incremente el esfuerzo de pesca dirigido al pez vela y que de un seguimiento estrecho a la captura. No es posible una evaluación fiable de la condición de la población del pez vela, y de sus tendencias, sin estimaciones fiables de la captura.

Se recomienda que se obtengan en todo caso posible datos históricos de captura de pez vela, y que se identifiquen datos existentes de las pesquerías actuales, incluyendo las operaciones de palangeros pequeños y la pesca recreacional y artesanal, para uso en las evaluaciones.

REFERENCIAS

- Beverton, R. J. H., and S. J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fishery Investigations, Ministry of Agriculture and Fisheries, London, Series II XIX: 533.
- Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 1998. Model Selection and Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. New York, Springer-Verlag. 349 p.
- Cerdenares-Ladrón de Guevara, G. 2011. Biología del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw and Notter, 1972) en el Golfo de Tehuantepec. Ph.D. thesis, INP-CICIMAR México, 142 pp..
- Cerdenares-Ladrón de Guevara, G., E. Morales-Bojórquez, S. Ramos-Carrillo, & G. González-Medina. 2012. Variation in relative abundance and mean size of sailfish in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Ciencias Marinas* 38(3): 551-562.
- Conn, P. B., E. H. Williams and K. W. Shertzer. (2010). When can we reliably estimate the productivity of fish stocks? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67(3): 511-523.
- de Sylva, D. P., and P. R. Breder. 1997. Reproduction, gonad histology, and spawning cycles of north Atlantic billfishes (Istiophoridae). *Bull. Mar. Sci.* 60: 668-697.
- Domeier, M.L., H. Dewar, and N. Nasby-Lucas. 2003. Mortality rate of striped marlin (*Tetrapturus audax*) caught with recreational tackle. *Marine and Freshwater Research* 54: 435-445.
- Fleischer, L., A., K. Traulsen, and P. A. Ulloa Ramírez. 2009. Mexican progress report on the marlin and swordfish fishery. ISC Billfish Working Group. Honolulu, Hawaii, USA, International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean. ISC/09/BILLWG-1/14, 46 p.
- Francis, R. I. C. 1992. Use of risk analysis to assess fishery management strategies - A case-study using orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) on the Chatham Rise, New Zealand. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49(5): 922-930.
- Gilbert, D.J. 1992. A stock production modeling technique for fitting catch histories to stock index data. New Zealand Fisheries Assessment Res. Doc. 92/15. [Available from National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA), Greta Point, P.O. Box 297, Wellington, N.Z.)
- Hernández-Herrera, A. and M. Ramírez-Rodríguez. 1998. Spawning seasonality and length at maturity of sailfish *Istiophorus platypterus* off the pacific coast of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 63(3): 459-467.
- Hinton, M.G. 2009. Assessment of striped marlin in the eastern Pacific Ocean in 2008 and outlook for the future. Stock Assessment Report, Inter-American Tropical Tuna Commission. 10: 229-252.
- Hinton, M.G. and M.N. Maunder. 2007. Status of the swordfish stock in the southeastern Pacific. Stock Assessment Report, Inter-American Tropical Tuna Commission. 7: 249-282.
- Hinton, M.G. and M.N. Maunder. 2011. Status and trends of striped marlin in the northeast Pacific Ocean in 2009. Stock Assessment Report. Inter-American Tropical Tuna Commission. 11: 163-218.
- Howard, J.K. and S. Ueyanagi. 1965. Distribution and relative abundance of billfishes (Istiophoridae). *Studies in Tropical Oceanography* 2: 134 p.
- Joseph, J., W.L. Klawe and C.J. Orange. 1974. A review of the longline fishery for billfishes in the eastern Pacific Ocean. NOAA Tech. Rep. NMFS/SSRF-675: 309-331.

- Kerstetter, D.W. and J.E. Graves. 2008. Postrelease Survival of Sailfish Caught by Commercial Pelagic Longline Gear in the Southern Gulf of Mexico. *North American Journal of Fisheries Management* 28(5): 1578-1586.
- Kume, S. 1973. Catch variation of the sailfish caught by the longline fishery in the eastern Pacific Ocean, 1963-1970. *Bulletin of the Far Seas Fisheries Research Laboratory (Shimizu, Japan)* 8: 25-33.
- Lee, H-H., Maunder, M.N., Piner, K.R., and Methot, R.D. (2012) Can steepness of the stock-recruitment relationship be estimated in fishery stock assessment models? *Fisheries Research* 125-126: 254-261.
- Maunder M.N. (2001) A general framework for integrating the standardization of catch-per-unit-of-effort into stock assessment models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58: 795-803.
- Maunder, M.N. 2011. Review and evaluation of likelihood functions for composition data in stock-assessment models: Estimating the effective sample size. *Fisheries Research* 109: 311–319.
- McDowell, J. R. 2002. Genetic stock structure of the sailfish, *Istiophorus platypterus*, based on nuclear and mitochondrial DNA. Ph.D. thesis, School of Marine Science. Gloucester Point, Virginia, College of William and Mary: xii, 229, [222] leaves : ill. (some col.), maps ; 229 cm.
- Pennington, M. 1983. Efficient estimators of abundance, for fish and plankton surveys. *Biometrics* 39(1): 281-286.