

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

SÉPTIMA REUNIÓN

La Jolla, California (EE.UU.)

09-13 de mayo de 2016

DOCUMENTO SAC-07-05b

CONDICIÓN DEL ATÚN ALETA AMARILLA EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL EN
2015 Y PERSPECTIVAS PARA EL FUTURO

Carolina V. Minte-Vera, Alexandre Aires-Da-Silva, y Mark N. Maunder

ÍNDICE

Resumen Ejecutivo	1
1. Introducción	2
2. Datos	3
3. Configuraciones de la estructura del modelo.....	3
4. Resultados.....	5
4.1. Modelo de caso base.....	5
4.2. Análisis de sensibilidad.....	9
4.3. Cantidades de ordenación.....	10
5. Direcciones futuras	11
5.1. Investigaciones prioritarias	11
5.2. Recolección de información nueva y actualizada	11
5.3. Afinación del modelo y los métodos de evaluación	11
6. Reconocimientos.....	12
Referencias	12
Anexos	26

RESUMEN EJECUTIVO

1. La evaluación del atún aleta amarilla en el Océano Pacífico oriental en 2015 es similar a la evaluación previa, excepto que se dispone ahora de series separadas de datos de frecuencia de talla de buques palangreros japoneses comerciales y de aprendizaje, y se usaron ambos en la evaluación.
2. Existe incertidumbre acerca de los niveles recientes y futuros del reclutamiento y la biomasa. Han ocurrido dos, y posiblemente tres, distintos regímenes de productividad desde 1975, y los niveles de rendimiento máximo sostenible (RMS) y las biomásas correspondientes al RMS podrían ser diferentes entre los regímenes. La población podría haber cambiado en la última década de un régimen de productividad alto a uno intermedio. El cociente de biomasa reproductora (SBR) ha estado por debajo del promedio desde 2006, con la excepción de 2008-2010, que resultó de un reclutamiento elevado en 2006.
3. Las tasas recientes de mortalidad por pesca (F) son ligeramente inferiores al nivel de RMS ($F_{mult} = 1.02$), y se estima que los niveles recientes de biomasa reproductora (S) están por debajo de ese nivel ($S_{reciente}/S_{RMS} = 0.95$). Tal como se comenta en el [Informe de Evaluación de Stocks 16](#) de la CIAT y evaluaciones previas estas interpretaciones son inciertas, y altamente sensibles a los supuestos he-

chos acerca del parámetro de inclinación (h) de la relación población-reclutamiento, el tamaño medio de los peces más viejos (L_2), y los niveles supuestos de mortalidad natural (M). Los resultados más pesimistas ocurren si se supone una relación población-reclutamiento, un valor más alto para L_2 , y si se suponen tasas de M más bajas para el aleta amarilla adulto. Un perfil de verosimilitud del parámetro de reclutamiento virgen (R_0) mostró que los componentes de datos divergen en su información sobre los niveles de abundancia. Los análisis de sensibilidad indicaron que los resultados más pesimistas ocurren si se cambia la ponderación asignada a los datos de frecuencia de talla, usando métodos de ponderación de datos recomendados, y más optimistas si se ajustan el modelo estrechamente al índice de abundancia relativa basado en la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la pesquería cerquera asociada a delfines del norte en lugar de la pesquería palangrera del sur.

4. La mortalidad por pesca (F) más alta ocurrió en peces de entre 11 y 20 trimestres (2.75-5 años) de edad. La F anual media viene aumentando para todas las clases de edad desde 2009, pero en 2015 mostró una ligera disminución del grupo de edad de 11 a 20 trimestres.
5. Aumentar el peso medio del aleta amarilla capturado podría incrementar el RMS.
6. Los temas siguientes deberían ser prioritarios en investigaciones futuras para mejorar la evaluación de la población de aleta amarilla:
 - a. Implementación de un programa de marcado a gran escala para abordar las hipótesis acerca de la estructura de la población y diferencias regionales en los parámetros del ciclo de vida y la reducción.
 - b. Mejora de las estimaciones del crecimiento, particularmente para los peces más viejos.
 - c. Refinamiento de la ponderación de los distintos conjuntos de datos que se ajustan al modelo de evaluación.
 - d. Afinación de las definiciones de las pesquerías en el modelo de evaluación.
 - e. Implementación de selectividad que varía a lo largo del tiempo, principalmente para las pesquerías cerqueras sobre objetos flotantes.
 - f. Exploración de supuestos alternativos acerca de la estructura de la población en el modelo de evaluación.
 - g. Análisis de cambios en la distribución espacial del esfuerzo en la pesquería palangrera del sur, y si invalidan el uso de la CPUE de esta pesquería como índice principal de abundancia en el modelo de evaluación.

1. INTRODUCCIÓN

El atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) se encuentra distribuido en todo el Océano Pacífico, pero la mayor parte de la captura proviene de las regiones oriental y occidental. Las capturas cerqueras de aleta amarilla son relativamente bajas cerca del límite occidental del Océano Pacífico oriental (OPO) en 150°O. La mayoría de la captura en el OPO proviene de lances cerqueros sobre aletas amarillas asociados a delfines y en cardúmenes no asociados. Estudios de marcado de aleta amarilla en todas partes del Pacífico indican que los peces suelen permanecer a menos de 1 800 km de su posición de liberación. Esta fidelidad regional, junto con la variación geográfica en las características fenotípicas y genotípicas del aleta amarilla mostrada en algunos estudios, indica que podrían existir múltiples poblaciones de aleta amarilla en el OPO y en todo el Océano Pacífico. Esto es consistente con el hecho que las tendencias de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) palangrera son diferentes en distintas zonas en el OPO. No obstante, las tasas de desplazamiento entre esas poblaciones, así como a través del meridiano de

150°O, no pueden ser estimadas con los datos de mercado actualmente disponibles.

2. DATOS

La evaluación de la población exige cantidades sustanciales de información, incluyendo datos sobre capturas retenidas, descartes, índices de abundancia, y la composición por tamaño de las capturas de las distintas pesquerías. Se han hecho supuestos acerca de procesos tales como el crecimiento, reclutamiento, mortalidad natural (M), mortalidad por pesca (F), y estructura de la población. La evaluación de 2016 es similar a la de 2015, e incluye datos nuevos y actualizados. El cambio más importante fue en los datos de frecuencia de talla de la flota palangrera japonesa, que ahora están disponibles para los buques comerciales y buques de aprendizaje por separado y por tipo de medición (peso o talla) para 1975-2014 (Satoh *et al.* 2016). Se dispone también de datos de frecuencia de peso de la flota palangrera comercial, pero no se usan en la evaluación debido a incertidumbre en los factores de conversión. Minte-Vera *et al.* (2016) presentan una descripción detallada de estos datos nuevamente entregados y recomendaciones sobre la mejor forma de usarlos en las evaluaciones del patudo y aleta amarilla.

Los datos de captura de las pesquerías de superficie han sido actualizados y nuevos datos añadidos para 2015. Se dispone de datos de captura nuevos o actualizados para China (2014), Japón (2013-2014), Corea (2006, 2014), Taipei Chino (2012-2014), Estados Unidos (2013-2014), Polinesia Francesa (2013-2014), Vanuatu (2007-2014), y otras naciones (2013-2015). En el caso de las pesquerías palangreras sin datos de captura de 2013-2015, se supuso que las capturas fueron iguales que en el año más reciente con datos disponibles. Se actualizaron los datos de CPUE de la pesquería de superficie, y se añadieron datos nuevos de CPUE de 2015. Se dispone de datos de CPUE nuevos o actualizados de la flota palangrera japonesa para el período entero del modelo de evaluación (1975-2015). Japón entregó datos detallados de captura y esfuerzo (incluyendo información de anzuelos por canasta) de los buques comerciales solamente, excluyendo los datos de los buques de aprendizaje. Se añadieron datos nuevos de composición por tamaño de la pesquería de superficie para 2015, y se actualizaron los datos de años previos. Se dispone de datos nuevos o actualizados de frecuencia de talla de la flota palangrera comercial japonesa (1986-2014). Se dispone también de datos de frecuencia de peso de la flota palangrera comercial japonesa, pero no se usan en la evaluación debido a incertidumbre en la relación talla-peso. Se dispone por primera vez de datos de frecuencia de tamaño de buques palangreros japoneses de aprendizaje (1975-2014) por separado.

3. CONFIGURACIONES DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO

Se usó en la evaluación un modelo estadístico integrado de evaluación de poblaciones con estructura por edad (*Stock Synthesis* Version 3.23b; SS), que se basa en el supuesto que existe una sola población de aleta amarilla en el OPO. Este modelo es similar a aquel usado en la evaluación previa en 2015 ([Informe de Evaluación de Stocks 16](#)), excepto que ahora incluye « estudios¹ » de palangre. Los datos de composición por talla de los buques japoneses de aprendizaje y los datos de composición por peso de los buques comerciales japoneses (no usados en el ajuste del modelo pero incluidos con fines comparativos) están incluidos en el modelo como « estudios », no como pesquerías (Minte-Vera *et al.* 2016). Se definen ahora en el modelo 16 pesquerías y dos estudios (Tabla 1, Figura 1). Una descripción completa del modelo puede ser encontrada en Aires-da-Silva y Maunder (2012a).

Existe incertidumbre en los resultados de la evaluación actual de la población, porque los datos observados no representan perfectamente la población de aleta amarilla en el OPO. Además, el modelo de evaluación no representa perfectamente la dinámica de la población de aleta amarilla, ni tampoco de las

¹ Terminología de *Stock Synthesis*; no representa verdaderos estudios, sino que permite flexibilidad en la forma de modelar los datos

pesquerías que operan en el OPO. Se expresa la incertidumbre como intervalos aproximados de confianza y coeficientes de variación (CV). Se estimaron los intervalos de confianza y CV bajo el supuesto que el modelo de evaluación representa perfectamente la dinámica del sistema. Ya que es poco probable que este supuesto sea satisfecho, estos valores podrían subestimar la cantidad de incertidumbre en los resultados de la evaluación. Se investigaron fuentes adicionales de incertidumbre estructural en análisis de sensibilidad a la función población-reclutamiento y al crecimiento. .

Se usó una serie de métodos como diagnósticos para determinar si el modelo se ajusta de los datos y esta correctamente especificado: (a) comparación de los datos observados con las predicciones del modelo; (b) perfil de verosimilitud del parámetro global de escala; y (c) modelo de producción con estructura por edad. Se realiza la comparación de los datos predichos y observados mediante análisis de residuales y la computación del raíz del error cuadrado medio (R_{ECM}) para los índices de CPUE. El perfil de verosimilitud en el parámetro global de escala (reclutamiento virgen, el parámetro R_0 ; Lee *et al.* 2014, Wang *et al.* 2014) indica la influencia de cada componente de datos sobre la estimación de la productividad de la población de aleta amarilla. La información aparentemente contradictoria entre diferentes componentes de datos (o sea, que favorecen valores diferentes de R_0) señala una especificación errónea potencial del modelo. El diagnóstico de modelo de producción con estructura por edad (ASPM) fue propuesto por Maunder y Piner (2015) como forma de: (i) evaluar más a fondo la especificación errónea del modelo, (ii) determinar la influencia de los datos de composición sobre las estimaciones de abundancia absoluta y las tendencias de la abundancia, y (iii) verificar si la captura puede por sí sola explicar las tendencias de los índices de abundancia. El diagnóstico ASPM se calcula de la forma siguiente: (i) ejecutar el modelo de caso base; (ii) fijar los parámetros de selectividad en las estimaciones máximo-verosímiles (EMV) del modelo de caso base, (iii) desactivar la estimación de todos los parámetros excepto los de escala, y fijar los desvíos del reclutamiento en cero; (iv) ajustar el modelo a los índices de abundancia solamente; (v) comparar la trayectoria estimada a aquella obtenida en el caso base. Si el ASPM puede ajustar bien los índices de abundancia que tienen buen contraste (o sea, los que presenten tendencias decrecientes y/o crecientes), Maunder y Piner (2015) sugieren que esto es prueba de que existe una función de producción, y que los índices probablemente proporcionarán información sobre la abundancia absoluta. Se refieren a esta situación como « la captura explica los índices bien »; en el caso contrario, cuando no hay un ajuste bueno a los índices, « la captura no puede explicar los índices ». Esto puede tener varias causas: (i) la población es impulsada por el reclutamiento; (ii) la población todavía no ha disminuido al punto en el que la captura es un factor importante que afecta la abundancia, (iii) el modelo de caso base es incorrecto, o (iv) los índices de abundancia relativa no son proporcionales a la abundancia. Verificar si la población es impulsada por el reclutamiento implica ajustar el ASPM con los desvíos del reclutamiento fijos en los valores estimados en el caso base. Si esto todavía no puede capturar la trayectoria de la población estimada en el modelo integrado, se puede concluir que la información sobre escala en el modelo integrado proviene de los datos de composición. Amplios intervalos de confianza alrededor de la abundancia estimada por el ASPM indican también que el índice de abundancia contiene poca información sobre la abundancia absoluta.

Después de los diagnósticos, se realizaron tres análisis de sensibilidad para evaluar si los resultados cambian si (a) se supone que una CPUE diferente es el índice principal de abundancia; y (b) se cambia la ponderación asignada a los datos de composición por talla.

Los aspectos importantes de la evaluación de caso base (1) y los cuatro análisis de sensibilidad (2-5) pueden ser resumidos como sigue:

1. **Evaluación de caso base:** Inclinación (h) de la relación población-reclutamiento de Beverton-Holt = 1 (ninguna relación entre el tamaño de la población y reclutamiento); parámetros de crecimiento fijados en las estimaciones obtenidas en una evaluación previa (Maunder y Aires-da-Silva 2009); ajus-

tada a la serie de tiempo de CPUE para las pesquerías de cerco F5-F8 y la pesquería palangrera F12; refleja las curvas de selectividad de las pesquerías F9 y F12, que se suponen ser asintóticas; se supone que las curvas de selectividad de todas las otras pesquerías tienen forma de domo.

2. **Sensibilidad a la inclinación de la relación población-reclutamiento:** La evaluación de caso base incluyó un supuesto que el reclutamiento es independiente del tamaño de la población ($h = 1$); para análisis de sensibilidad, se usó una relación población-reclutamiento de Beverton-Holt con una inclinación de $h = 0.75$.
3. **Sensibilidad al tamaño medio de los peces más viejos (parámetro L_2 de la función de crecimiento de Richards function).** En el modelo de caso base, se fija L_2 en 182.3 cm, estimación obtenida en una evaluación previa (Maunder y Aires-da-Silva 2009). Se consideraron dos valores fijos alternativos de L_2 para el análisis de sensibilidad, uno más bajo y el otro más alto, en 170 cm y 190 cm.
4. **Sensibilidad al ajuste de la CPUE de la pesquería asociada a delfines del norte (F7 DEL-N) como índice principal de abundancia,** en lugar de la CPUE de la pesquería palangrera del sur (F12 LL-S). Para este propósito, se fijó el CV de F7 en 0.2, y se estimaron los CV de las otras pesquerías.
5. **Sensibilidad del modelo a la ponderación asignada a los datos de composición por talla.** La ponderación asignada a esos datos en el modelo es una función de su varianza. Ya que se supone que los datos de composición por talla siguen una distribución multinomial en *Stock Synthesis*, su ponderación es una función del tamaño de las muestras. En el modelo de caso base, el tamaño de las muestras iniciales supuestos para las pesquerías de cerco son el número de bodegas muestreadas; y para las pesquerías palangreras el número de peces muestreados multiplicado por un factor de escala, para que el tamaño inicial medio de las muestras sea similar al tamaño medio de las muestras de la pesquería de cerco con el mayor número de bodegas muestreadas (F7 DEL-N). Los tamaños de las muestras de los datos de composición por talla fueron recalculados después de terminada la ejecución inicial de la evaluación de caso base. Los nuevos tamaños de muestra son iguales a los tamaños iniciales de las muestras multiplicados por un factor de ponderación (λ) para los datos de frecuencia de talla de cada pesquería y estudio. Se usaron dos métodos para calcular λ : El método de "Francis" (ecuación TA1.8 en Francis (2011)), y el método de « promedio armónico », la razón del promedio armónico del tamaño efectivo de muestra al promedio aritmético de los tamaños iniciales de las muestras (ecuación T3.8 en Francis (2011)).

4. RESULTADOS

4.1. Modelo de caso base

4.1.1. Reclutamiento y biomasa

En general, el reclutamiento del aleta amarilla a las pesquerías en el OPO es variable, con un componente estacional. Este análisis y análisis previos indican que la población de aleta amarilla ha pasado por dos, o posiblemente tres, regímenes distintos de productividad del reclutamiento (1975-1982, 1983-2002, and 2003-2014) ([Figura 2](#)). Se estimó que entre 2003 y 2014 el reclutamiento anual en todos los años excepto 2006 fue inferior al promedio, y solamente un 25% mayor que aquellos de 1975-1982. Se estima que el reclutamiento anual más reciente (2015) es superior al promedio. Los reclutamientos estimados en el último trimestre de 2014 y el primer trimestre de 2015 figuran entre los más grandes desde 2003, pero esas estimaciones son altamente inciertas. Los regímenes de productividad corresponden a regímenes de biomasa, con los regímenes de productividad más alta produciendo biomasa mayores. La existencia de una relación población-reclutamiento es asimismo apoyada por los datos de estos regímenes, pero las pruebas son tenues, y esto es probablemente un artefacto de los cambios de régimen aparentes.

El cociente de biomasa reproductora (SBR; la razón del índice actual de biomasa reproductora (S) al índice de biomasa reproductora virgen (S_0)) de aleta amarilla en el OPO fue menor que aquel correspondiente al RMS durante 1977-1983, coincidiendo con el régimen de productividad baja, pero mayor que dicho valor durante la mayor parte del periodo de 1984-2005 (Figura 5.2). El índice de biomasa reproductora estuvo por encima de S_{RMS} durante 2008-2010, después del reclutamiento superior al promedio de 2006, pero por debajo de S_{RMS} durante los otros años desde 2005. Se atribuye el incremento al cambio de régimen, y la disminución reciente podría ser una reversión a un régimen de productividad intermedia. Los distintos regímenes de productividad podrían sostener distintos niveles de RMS y los SBR asociados. Se estimó que el SBR al principio de 2016 era ligeramente inferior al nivel de RMS (0.27), al igual que en las estimaciones de 2015. De hecho, se estima que desde 2011 el SBR ha estado ligeramente por debajo del nivel de RMS, o en el mismo, después de la serie de reclutamientos bajos desde 2007, que coincidieron con una serie de eventos fuertes de La Niña.

Con la mortalidad por pesca actual (2013-2015) y reclutamiento medio, se predice que el SBR se estabilizará ligeramente por encima del RMS en el futuro (Figura 3). No obstante, los intervalos de confianza son anchos, y existe una probabilidad moderada que el SBR estará sustancialmente por encima o por debajo de este nivel. Si el esfuerzo de pesca continúa en niveles recientes, y suponiendo reclutamiento medio y ninguna relación población-reclutamiento, se predice que las capturas de las pesquerías de superficie (Figura 5.8) aumentarán y se estabilizarán, y que las capturas de las pesquerías palangreras seguirán aproximadamente iguales en el próximo año, entonces aumentarán y se estabilizarán.

4.1.2. Mortalidad por pesca

El peso promedio del aleta amarilla capturado en la pesquería ha sido bastante consistente a lo largo del tiempo, pero varía sustancialmente entre las distintas pesquerías. En general, las pesquerías sobre objetos flotantes, no asociada del norte, y de caña capturan aletas amarillas más jóvenes y más pequeños que las pesquerías no asociada del sur, asociadas a delfines, y palangreras. Las pesquerías palangreras y la pesquería asociada a delfines en la región del sur capturan aletas amarillas más viejos y más grandes que las pesquerías asociadas a delfines del norte y costera.

Se han estimado niveles sustanciales de mortalidad por pesca para la pesquería de aleta amarilla en el OPO (Figura 4). La mortalidad por pesca va en aumento desde 2009, y es máxima para el aleta amarilla de edad media (11-20 trimestres/2.75-5 años de edad). Para esta clase de edad, la estimación más reciente de la mortalidad por pesca mostró una disminución con respecto al año previo. Históricamente, las pesquerías cerqueras asociadas a delfines y no asociadas tienen el mayor impacto sobre la biomasa reproductora del aleta amarilla, seguidas por las pesquerías sobre objetos flotantes. En años más recientes, el impacto de las pesquerías sobre objetos flotantes ha sido mayor que aquel de las pesquerías no asociadas. Los impactos de las pesquerías palangreras y de cerco de descarte son mucho menores, y han disminuido en los últimos años (Figura 5).

4.1.3. Diagnósticos del modelo

4.1.3.a Ajustes del modelo

Stock Synthesis genera una extensa serie de diagnósticos del ajuste del modelo, disponible para el modelo de caso base en formatos [html](#) y [PDF](#). El modelo se ajusta moderadamente bien a las observaciones de CPUE de la pesquería palangrera del sur ($R_{ECM} = 0.38$ para F12 LL-S), y las pesquerías cerqueras asociadas a delfines ($R_{ECM} = 0.41$ para F7 DEL-N y F8 DEL-I) pero se predice el pico en 2001 demasiado temprano en el primero es demasiado tarde en el segundo. Además, el modelo no se ajusta tan bien a la parte temprana de la serie de CPUE de la pesquería palangrera del sur. Los ajustes a la serie de datos de CPUE de las pesquerías cerqueras no asociadas son generalmente menos satisfactorios ($R_{ECM} = 0.58$ para F5 NOA-N y $R_{ECM} = 0.62$ para F6 NOA-S).

4.1.3.b Perfil R_0

Un perfil de verosimilitud del parámetro de reclutamiento virgen (R_0) mostró que los componentes de datos divergen en su información acerca de los niveles de abundancia en cada tipo de dato (Figura A.1). Las CPUE de la pesquería palangrera del sur (F12 LL-S) tienen la log-verosimilitud negativa (LVN) más pequeños para valores mayores de R_0 , mientras que en las pesquerías cerqueras ocurre lo contrario. La situación se invierte en el caso de los datos de frecuencia de talla: las composiciones por talla de la pesquería palangrera del sur (F12 LL-S) tienen LVN más pequeños para valores bajos de R_0 , mientras que todas las otras composiciones por talla tienen LVN más pequeños para valores altos de R_0 . Los datos con la mayor influencia en el ajuste del modelo de caso base (o sea, aquellos con la pendiente de LVN más inclinada) son las composiciones por talla de la pesquería palangrera del sur (F12 LL-S). Se supone que esta pesquería tiene una selectividad asintótica, lo cual implica que los peces más viejos (y más grandes) serán observados en esta pesquería y, ya que el crecimiento y la mortalidad natural son fijos, se estimarán las tasas de mortalidad por pesca de tal forma que el tamaño predicho hasta el cual sobreviven los peces es igual que los tamaños más grandes observados.

Siguiendo la filosofía de modelado que los datos que entran en el modelo son verídicos, la información aparentemente contradictoria de los distintos componentes de datos implica que el modelo está mal especificado o que se exagera la precisión de los datos, creando la impresión de conflicto de datos (Maunder y Piner 2015). En el caso del aleta amarilla, podría ser una combinación de los dos. El modelo podría estar mal especificado de varias maneras, pero las más importantes son con respecto a la estructura de la población, al error de proceso en la selectividad y al crecimiento.

- 1. Estructura de la población:** Es muy probable que el supuesto de una sola población panmíctica sea incorrecto. Los datos de marcado del aleta amarilla sugieren que no ocurre mezcla completa de la población dentro del OPO ni tampoco un aislamiento real de ningún grupo. Estudios de marcado recientes han demostrado que aletas amarillas marcadas y liberados en el OPO ecuatorial alrededor de 25°O permanecen entre 5°S y 10°N y se desplazan al oeste hasta 120°O ([Informe Trimestral de la CIAT, Oct-Dic 2006](#)). Atunes aleta amarilla con marcas archivadoras frente a Baja California, México, permanecieron a menos de 1,358 km de su punto de liberación (Schaefer *et al.* 2011, 126 marcas recuperadas). Peces liberados en la Reserva de la Biosfera Archipiélago Revillagigedo, México, con marcas archivadoras mostraron desplazamientos limitados alrededor de las islas (Schaefer *et al.* 2014). Los desplazamientos limitados y la fidelidad regional de los peces marcados a la zona de liberación encontrados en el OPO (Schaefer *et al.* 2011, 2014) son similares a lo que se ha descubierto en el Océano Pacífico central y occidental (Sibert y Hampton 2003). Es probable que la población esté compuesta de unidades heterogéneas que están sujetas a las condiciones oceanográficas locales. La temperatura superficial del mar (TSM) en las áreas norte y sur de la distribución del aleta amarilla en el OPO muestran una fuerte estacionalidad. Se descubrió que los aletas amarillas están en reproducción en cualquier momento que la TSM esté por encima de 24°C (Schaefer 1998). Estas condiciones de TSM óptimas para la reproducción del aleta amarilla ocurren entre junio y septiembre en el norte (verano boreal) y entre enero y marzo en el sur (verano austral) (Hinton 2015). Esta estacionalidad podría conducir a temporadas de desove marcadas en los extremos de la distribución. En la zona central, donde las condiciones óptimas para el desove son más o menos constantes durante todo el año (Hinton 2015), es de esperar que el aleta amarilla se reproduciría durante todo el año. Por lo tanto, lo más probable es una población compuesta de unidades heterogéneas cuyas tasas de mezcla no pueden ser determinadas con la información de marcado actualmente disponible.
- 2. Error de proceso en la selectividad:** se supone que las selectividades en el modelo no cambian a lo largo del tiempo. Este es un supuesto fuerte, especialmente para las pesquerías sobre objetos flotantes. Aires-da-Silva y Maunder (2012b) modelaron selectividad con variación temporal en las pes-

querías cerqueras sobre objetos flotantes y descubrieron que suponer selectividad con variación temporal en los cinco últimos años de la modelo (20 trimestres) y selectividad fija para los demás años produjo resultados similares a aquellos de un modelo con plena variación temporal, con la ventaja de un número reducido de parámetros por estimar. Su método pareció mejorar la estimación de los reclutamientos y mortalidades por pesca recientes, y minimizar los patrones retrospectivos en las estimaciones de la biomasa.

- 3. Crecimiento:** El crecimiento de los atunes parece no estar adecuadamente descrito por la función del Richards. El crecimiento en talla los atunes tropicales, principalmente patudo y aleta amarilla, parece ser lineal hasta cierta edad, entonces desacelera abruptamente, y posiblemente cesa del todo (ver, por ejemplo, Aires-da-Silva *et al.* 2016, anexo D).

Los factores de ponderación para los datos de composición por talla computados después de ejecutar el modelo de caso base, usando el método de Francis o el método de promedio armónico, indicaron que la precisión supuesta de los datos de frecuencia de talla en el modelo de caso base podría estar exagerada para varias pesquerías y estudios. Para todas las pesquerías y estudios, excepto los palangreros (tanto comerciales como de aprendizaje) que operan en el norte, las ponderaciones de Francis son menos de 1, e indican un tamaño de muestra que es del 20 al 50% de lo que se supuso inicialmente. En el caso de la pesquería y estudio palangreros del norte, la ponderación de Francis indica que el tamaño de la muestra necesita ser incrementado entre 10 y 50%, respectivamente. El método de promedio armónico produce resultados diferentes: indica una reducción de la ponderación de las composiciones por talla de las pesquerías cerqueras sobre objetos flotantes y no asociadas, y un incremento de la ponderación de los datos de composición por talla de la pesquería cerquera asociada a delfines y las pesquerías palangreras, así como para el estudio palangrero y la pesquería de caña. Ambos métodos indican que la precisión de los datos de composición por talla de las pesquerías cerquera sobre objetos flotantes es exagerada. La variabilidad en los datos de las pesquerías cerqueras sobre objetos flotantes no se debe del todo al error de muestreo, sino que más probablemente a cambios interanuales de la disponibilidad. Por lo tanto, incluir error de proceso en la función de selectividad para estas pesquerías podría ayudar a reducir la especificación errónea del modelo y absorber parte de la variabilidad inherente de estos datos, sin necesidad de cambiar la escala de los tamaños de muestra multinomiales.

4.1.3.c Modelo de producción con estructura por edad

El diagnóstico de función de modelo de producción con estructura por edad (ASPM) señala una serie plana de biomasa (Figuras A.2-A.4). Esto indica que los cambios en los índices de abundancia no pueden ser explicados por las capturas por sí mismas. Por lo tanto, no hay una función determinística de producción que se pueda estimar. El tamaño de la población parece ser impulsado por el reclutamiento, ya que la tendencia en los índices coincide muy bien cuando se añaden al ASPM las estimaciones del reclutamiento del modelo de caso base, y razonablemente bien cuando se estiman los desvíos del reclutamiento dentro del ASPM (Figuras A.3 y A.4). Es probable que la captura esté afectando la abundancia, tal como se puede ver en la gráfica del impacto de la pesca (Figura 5), pero un modelo estadístico no puede ajustarse a los grandes incrementos de la abundancia causados por períodos de reclutamiento más alto. Además, hay poco contraste en la abundancia causado por la pesca porque la evaluación comenzó cuando la población ya estaba explotada en 1975 y la ordenación ha sido bastante consistente durante todo el periodo, tal como indican las tasas de mortalidad por pesca relativamente constantes (Figura 4) en todos los años excepto alrededor de 2005 (que podría ser un artefacto causado por una especificación errónea del modelo). Ya que las tendencias de la abundancia estimadas por el ASPM son muy diferentes de aquellas estimadas en el modelo de evaluación, podemos concluir que la escala absoluta en el modelo de caso base es impulsada por los datos de composición por talla. Cuando se fijan los desvíos de reclutamiento en los valores estimados en el caso base, las estimaciones son similares a aquellas del ca-

so base, o al menos en la misma orden de magnitud. Por lo tanto, con estimaciones de los desvíos del reclutamiento, el ASPM puede determinar la escala absoluta del modelo.

Estos resultados indican que la información de abundancia, tanto absoluta como relativa, contenida en los índices de abundancia relativa basados en CPUE no pueden ser interpretados sin explicar las fluctuaciones del reclutamiento. Los índices de abundancia relativa contienen información sobre la abundancia absoluta solamente si se conocen los valores relativos del reclutamiento trimestral. Es asimismo aparente que los datos de composición ejercen una influencia importante sobre las estimaciones del caso base de la abundancia absoluta, y cierta influencia sobre las tendencias de la abundancia, pero no queda claro si esto se debe a la información sobre el reclutamiento o al tipo de información sobre mortalidad por pesca encontrada en un análisis de curva de captura.

4.2. Análisis de sensibilidad

Investigaciones previas señalaron que la condición de la población es también sensible a los supuestos acerca de la mortalidad natural (Maunder y Aires-da-Silva 2012), y se obtienen resultados más optimistas cuando se suponen valores más altos para este parámetro.

Si se supone una relación población-reclutamiento con una inclinación de 0.75, las estimaciones del reclutamiento son iguales que en el modelo de caso base (Figura B.1). Las perspectivas para el futuro, en cambio, son más pesimistas: se estima que el esfuerzo actual está por encima del nivel de RMS (Tabla 2), y se predice que la biomasa reproductora permanecerá por debajo de dicho nivel (Figura 3, abajo, Figura B.2). Si el esfuerzo de pesca continúa en los niveles recientes, se predice que tanto la biomasa reproductora (Figura 3) como las capturas se estabilizarán en valores ligeramente más bajos que aquellos predichos para el caso base si existe una relación población-reclutamiento con una inclinación de 0.75 (Figura 9).

Fijar el tamaño medio de la clase de edad más vieja (L_2) en un valor más bajo que aquel supuesto en el caso base (por ejemplo, 170 cm, Figura C.1) produce estimaciones más variables del reclutamiento (Figura C.2) y resultados más optimistas (Tabla 2), con la biomasa reproductora un 30% superior al nivel correspondiente al RMS (Figura C.3) y el esfuerzo actual sustancialmente inferior a dicho nivel. El RMS que se puede obtener es mayor que en el caso base. Por contraste, fijar L_2 en un valor más alto que aquel supuesto en el caso base (por ejemplo, 190 cm) produce resultados más pesimistas, con la biomasa reproductora debajo del nivel de RMS y el esfuerzo actual por encima de dicho nivel, pero el RMS que se puede obtener cambia tan sólo ligeramente.

Los análisis de sensibilidad señalaron que la ponderación de los datos ejerce un impacto fuerte sobre los resultados. Ajustar más estrechamente a los datos de CPUE de la pesquería asociada a delfines del norte ($CV = 0.2$ para F7 DEL-N), en lugar de usar la CPUE de la pesquería palangrera del sur (F12 LL-S) como índice principal de abundancia, produce una percepción más optimista de la condición de la población y estima que las capturas actuales están exactamente en el nivel de RMS (Tabla 2). En este escenario, las estimaciones del reclutamiento son similares a aquellas del caso base, con la excepción del último año (Figura D.1), y se estima que el esfuerzo de pesca reciente es muy inferior a aquel correspondiente al RMS; sin embargo, se estima que la biomasa reproductora reciente está en aproximadamente el valor correspondiente al RMS, al igual que en el modelo de caso base (Figura D.2). Cambiar la ponderación de los datos de composición por talla usando el método de Francis mejora el ajuste del índice de F12 LL-S ($R_{ECM} = 0.33$) con respecto al caso base ($R_{ECM} = 0.38$), a diferencia del método de promedio armónico ($R_{ECM} = 0.40$). Con cualquiera de los dos métodos, los ajustes a las otras CPUE siguen iguales o empeoran (ver la Figura E.3 para el método de Francis). En ambos escenarios, se estima que la biomasa está por debajo de los valores correspondientes al RMS, y que el esfuerzo de pesca está por encima de los mismos (Tabla 2, Figura E.2). Las estimaciones del RMS son más altas cuando se usa el método de Francis que si se usa el método de promedio armónico.

4.3. Cantidades de ordenación

4.3.1. Modelo de caso base

Con base en la distribución actual del esfuerzo entre las distintas pesquerías, se estima que el esfuerzo está ligeramente por debajo del nivel que soportaría la RMS ([Figura 6](#)), y que las capturas recientes están por debajo de dicho nivel ([Tabla 2](#)). Tanto el tamaño de la población como la mortalidad por pesca está muy lejos de los puntos de referencia límite provisionales de $0.28 * S_{RMS}$ y $2.42 * F_{RMS}$, que corresponden a una reducción de 50% del reclutamiento de su nivel medio sin explotación con base en un valor precautorio de la inclinación ($h = 0.75$) para la relación población-reclutamiento de Beverton-Holt (Maunder y Deriso 2014).

La curva que relaciona el rendimiento sostenible promedio con la mortalidad por pesca a largo plazo es plana alrededor del nivel de RMS ([Figura 7](#)). Por lo tanto, cambios moderados en el esfuerzo a largo plazo cambiarán las capturas a largo plazo de forma tan sólo marginal, pero al mismo tiempo cambiarán la biomasa considerablemente. Mantener la mortalidad por pesca por debajo del nivel de RMS resultaría en una reducción tan sólo marginal en el rendimiento medio a largo plazo, con el beneficio de un incremento relativamente grande de la biomasa reproductora. Los cálculos de RMS indican que, en teoría al menos, las capturas podrían ser incrementadas si se dirigiera el esfuerzo hacia la pesca con palangre y lances cerqueros sobre aletas amarillas asociados a delfines. Esto incrementaría también los SBR.

El RMS ha sido estable durante el periodo de la evaluación (1975-2015) ([Figura 8](#)), lo que sugiere que el patrón general de selectividad no ha variado mucho a lo largo del tiempo. Sin embargo, el nivel total del esfuerzo de pesca ha variado con respecto al nivel de RMS. Si el esfuerzo de pesca continúa en niveles recientes, se predice que las capturas de las pesquerías de superficie y palangreras se estabilizarán alrededor del nivel de RMS ([Figura 9](#)).

4.3.2. Sensibilidad a configuraciones alternativas del modelo

Las estimaciones de la condición de la población dependen fuertemente de los supuestos hechos con respecto al parámetro de inclinación (h) de la relación población-reclutamiento, la ponderación asignada a los datos de composición por tamaño, la curva de crecimiento, y los niveles supuestos de mortalidad natural (M) juvenil y adulta.

El análisis de sensibilidad que incluyó una relación población-reclutamiento con $h = 0.75$ estimó que el SBR necesario para mantener el RMS es 0.35, comparado con 0.27 para la evaluación de caso base ([Tabla 2](#)). El análisis de sensibilidad con $h = 0.75$ estimó un multiplicador de F de 0.65, considerablemente más bajo que aquel de la evaluación de caso base los resultados del modelo de caso base indican que la biomasa reproductora reciente es ligeramente inferior a aquella correspondiente al RMS ($S_{reciente}/S_{RMS} = 0.95$); se estima que este valor de reducción relacionado con el RMS es mucho más bajo (0.56) para el análisis de sensibilidad con $h = 0.75$. Además, si la ordenación se basa en la evaluación de caso base, que supone que no existe una relación población-reclutamiento, cuando en realidad sí existe esa relación, la pérdida de rendimiento sería mayor que si la ordenación se basara en suponer una relación población-reclutamiento cuando en realidad no existe ([Figura 7, recuadro inferior](#)).

Fijar el tamaño medio de la clase de edad más vieja (L_2) en un valor más bajo (170 cm, [Figura C.1](#)) que aquel supuesto en el caso base (182 cm) produce resultados más optimistas ([Tabla 2](#)), con un multiplicador de F de 1.48. Por contraste, fijar L_2 en un valor más alto (190 cm) que aquel supuesto del caso base produce resultados más pesimistas, con un multiplicador de F de 0.88.

Las cantidades de ordenación supuestas en la evaluación de la población son altamente sensibles a la ponderación de los datos. Si se cambia el peso relativo entre las CPUE de tal forma que se trata la CPUE de F7 DEL-N como el índice principal de abundancia, el modelo produce un multiplicador de F demasia-

do optimista (1.21), pero con $S_{\text{reciente}}/S_{\text{RMS}}$ alrededor de 1 (Tabla 2). Si se cambia la ponderación de los datos de composición por talla, usando el método de Francis o de promedio armónico, el modelo produce cantidades de ordenación más pesimistas (multiplicador de $F = 0.88$; $S_{\text{reciente}}/S_{\text{RMS}} < 1$). Esto se debe a la dominancia de los datos de composición del tamaño de la pesquería F12 LL-S (que se supone tener una selectividad logística) en la determinación de la escala absoluta (el parámetro R_0) en el modelo (ver sección 4.1.5). Esto es indicativo de una sobreponderación de los datos de composición y/o alguna forma de especificación errónea del modelo, que tendrá que ser tratada en el futuro a fin de asignar la ponderación correcta a los conjuntos de datos.

5. DIRECCIONES FUTURAS

5.1. Investigaciones prioritarias

Los temas siguientes deberían ser prioritarios en investigaciones futuras para mejorar la evaluación de la población de aleta amarilla:

- a. Implementación de un programa de marcado a gran escala para abordar las hipótesis acerca de la estructura de la población y diferencias regionales en los parámetros del ciclo de vida y la reducción.
- b. Mejora de las estimaciones del crecimiento, particularmente para los peces más viejos.
- c. Refinamiento de la ponderación de los distintos conjuntos de datos que se ajustan al modelo de evaluación.
- d. Afinación de las definiciones de las pesquerías en el modelo de evaluación.
- e. Implementación de selectividad que varía a lo largo del tiempo, principalmente para las pesquerías cerqueras sobre objetos flotantes.
- f. Exploración de supuestos alternativos acerca de la estructura de la población en el modelo de evaluación.
- a. Análisis de cambios en la distribución espacial del esfuerzo en la pesquería palangrera del sur, y si invalidan el uso de la CPUE de esta pesquería como índice principal de abundancia en el modelo de evaluación.

5.2. Recolección de información nueva y actualizada

El personal de la CIAT pretende continuar su recolección de datos de captura, esfuerzo, composición de tallas de las pesquerías que capturan aleta amarilla en el OPO. Los datos nuevos y actualizados se incorporarán en la próxima evaluación de la población. Encuentrase en marcha muestreos biológicos para recopilación de datos para los estudios de edad-crecimiento y reproducción. Se espera que esta información podría ser utilizada en evaluaciones futuras del aleta amarilla.

5.3. Afinación del modelo y los métodos de evaluación

El personal de la CIAT continuará desarrollando el modelo de evaluación *Stock Synthesis* para el aleta amarilla en el OPO. Los avances dependerán en gran parte de cómo se modifica el software en el futuro. En evaluaciones futuras se explorarán las mejoras siguientes:

1. Determinar la ponderación apropiada para los distintos conjuntos de datos;
2. Afinar las definiciones de las pesquerías;
3. Explorar supuestos alternativos sobre la estructura de la población (análisis espacial);
4. Implementar selectividad que varía a lo largo del tiempo para las pesquerías cerqueras sobre objetos flotantes.

6. RECONOCIMIENTOS

Muchos miembros del personal de la CIAT y de países miembros contribuyeron datos para la evaluación. Richard Deriso, miembros del personal de la CIAT, y científicos de países miembros brindaron asesoramiento sobre la evaluación de la población, las pesquerías, y la biología del atún aleta amarilla. Christine Patnode y Hue Hua Lee ayudaron con las figuras.

REFERENCIAS

- Aires-da-Silva, A., and M.N. Maunder. 2012a. [Status of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean in 2010 and outlook for the future](#). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Stock Asses. Rep. 12:3:110.
- Aires-da-Silva, A., and M.N. Maunder. 2012b. An exploration of alternative methods to deal with time-varying selectivity in the stock assessment of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean. External Review of IATTC Yellowfin Tuna Assessment. Document YFT-01-06.
- Aires-da-Silva, A., C.V. Minte-Vera, and M.N. Maunder. 2016. Status of bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean in 2015 and outlook for the future. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., 7th Scient. Adv. Com. Meeting. SAC-07-05a.
- Francis, R.I.C.C. 2011. Data weighting in statistical stock assessment models. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 68:1124-1138.
- Hinton, M. 2015. Oceanographic conditions in the EPO and their effect on tuna fisheries. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. 6th Scient. Adv. Com. Meeting. SAC-06 INF-C.
- Lee, H.H., K.R. Piner, R.D. Methot, and M.N. Maunder. . 2014. Use of likelihood profiling over a global scaling parameter to structure the population dynamics model: an example using blue marlin in the Pacific Ocean. Fish. Res. 158: 138-146.
- Maunder, M.N., and R.B. Deriso. 2014. Proposal for biomass and fishing mortality limit reference points based on reduction in recruitment. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. 5th Scient. Adv. Com. Meeting. SAC-05-14.
- Maunder, M.N., and A. Aires-da-Silva. 2009. [Status of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean in 2007 and outlook for the future](#). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Stock Asses. Rep.9: 3-94.
- Maunder, M.N., and A. Aires-da-Silva. 2012. A review and evaluation of natural mortality for the assessment and management of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Document YFT-01-07.
- Maunder, M.N., and K.R. Piner. 2015. Contemporary fisheries stock assessment: many issues still remain. ICES Journal of Marine Science, 72: 7–18. doi:10.1093/icesjms/fsu015
- Minte-Vera, C.V., A. Aires-da-Silva, K. Satoh, and M.N. Maunder. 2016. Changes in longline size-frequency data and their effects on the stock assessment models for yellowfin and bigeye tunas. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. 7th Scient. Adv. Com. Meeting SAC-07-04a.
- Minte-Vera, C.V., A. Aires-da-Silva, and M.N. Maunder. 2015. [Status of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean and outlook for the future](#). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Stock Asses. Rep. 16:18-31
- Satoh, K., C.V. Minte-Vera, N.W. Vogel, A. Aires-da-Silva, C.E. Lennert-Cody, M.N. Maunder, H. Okamoto, K. Uosaki, T. Matsumoto, Y. Semba, T. Ito. 2016. An exploration into Japanese size data of tropical tuna species because of a prominent size-frequency residual pattern in the stock assessment model. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., 7th Scient. Adv. Com. Meeting. SAC-07-03d
- Schaefer, K.M. 1998. Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 21: 203-272.
- Schaefer, K.M., D.W. Fuller, and B.A. Block. 2011. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 22: 203-272.

- lowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Pacific Ocean off Baja California, Mexico, determined from archival tag data analyses, including Kalman filtering. *Fish. Res.* 112, 22-37.
- Schaefer, K.M., D.W. Fuller, and G. Aldana. 2014. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in waters surrounding the Revillagigedo Islands Archipelago Biosphere Reserve, Mexico. *Fish. Ocean.* 23: 65-82.
- Sibert, J., and J. Hampton. 2003. Mobility of tropical tunas and the implications for fisheries management. *Mar. Pol.* 27: 87-95.
- Wang, S. P., M.N. Maunder, K.R. Piner, A. Aires-da-Silva, and H.H. Lee. 2014. Evaluation of virgin recruitment profiling as a diagnostic for selectivity curve structure in integrated stock assessment models. *Fish. Res.*, 158: 158-164.

TABLE 1. Fisheries defined for the stock assessment of yellowfin tuna in the EPO. PS = purse seine; LP = pole and line; LL = longline; LL-T: longline training vessels; LL-C: commercial longline vessels; OBJ = sets on floating objects; NOA = sets on unassociated fish; DEL = sets on dolphin-associated schools. The sampling areas are shown in Figure 1, and the discards are described in Section 2.2.1 of Aires-da-Silva and Maunder (2012).

TABLA 1. Pesquerías definidas para la evaluación de la población de atún aleta amarilla en el OPO. PS = red de cerco; LP = caña; LL = palangre; OBJ = lances sobre objetos flotantes; NOA = lances sobre atunes no asociados; DEL = lances sobre atunes asociados con delfines. En la Figura 1 se ilustran las zonas de muestreo, y en la Sección 2.2.1 de Aires-da-Silva y Maunder (2012) se describen los descartes.

Fishery	Gear type	Set type	Years	Sampling areas	Catch data
Pesquería	Tipo de arte	Tipo de lance	Años	Zonas de muestreo	Datos de captura
1	PS	OBJ	1975-present	11-12	retained catch + discards from inefficiencies in fishing process—captura retenida + descartes por ineficacias en el proceso de pesca
2	PS	OBJ	1975-present	7, 9	
3	PS	OBJ	1975-present	5-6, 13	
4	PS	OBJ	1975-present	1-4, 8, 10	
5	PS	NOA	1975-present	1-4, 8, 10	
6	PS	NOA	1975-present	5-7, 9, 11-13	
7	PS	DEL	1975-present	2-3, 10	
8	PS	DEL	1975-present	1, 4-6, 8, 13	
9	PS	DEL	1975-present	7, 9, 11-12	
10	LP		1975-present	1-13	
11	LL		1975-present	N of-de 15°N	
12	LL		1975-present	S of-de 15°N	
13	PS	OBJ	1993-present	11-12	discards of small fish from size-sorting the catch by Fishery 1—descartes de peces pequeños de clasificación por tamaño en la Pesquería 1
14	PS	OBJ	1993-present	7, 9	discards of small fish from size-sorting the catch by Fishery 2—descartes de peces pequeños de clasificación por tamaño en la Pesquería 2
15	PS	OBJ	1993-present	5-6, 13	discards of small fish from size-sorting the catch by Fishery 3—descartes de peces pequeños de clasificación por tamaño en la Pesquería 3
16	PS	OBJ	1993-present	1-4, 8, 10	discards of small fish from size-sorting the catch by Fishery 4—descartes de peces pequeños de clasificación por tamaño en la Pesquería 4

TABLE 1. (cont.)

TABLA 1. (continuación)

Survey	Gear type	Set type	Years	Sampling areas	Catch data
Estudio	Tipo de arte	Tipo de lance	Años	Zonas de muestreo	Datos de captura
S1	LL-C	-	1975-1994	N of-de 15°N	No catches, only weight-composition data (not used to fit the model) – Sin capturas, datos de composición por tallas solamente (no usados para ajustar el modelo)
S2	LL-C	-	1975-1994	S of-de 15°N	No catches, only weight-composition data (not used) – Sin capturas, datos de composición por tallas solamente (no usados para ajustar el modelo)
17 S3	LL-T	-	1975-present	N of-de 15°N	No catches, only length-composition data – Sin capturas, datos de composición por tallas solamente
18 S4	LL-T	-	1975-present	S of-de 15°N	No catches, only length-composition data – sin capturas, datos de composición por tallas solamente

TABLE 2. MSY and related quantities for the base case and the sensitivity analyses, based on average fishing mortality (F) for 2013-2015. B_{recent} and B_{MSY} are defined as the biomass, in metric tons, of fish 3+ quarters old at the start of the first quarter of 2016 and at MSY, respectively, and S_{recent} and S_{MSY} are defined as indices of spawning biomass (therefore, they are not in metric tons). C_{recent} is the estimated total catch for 2015.

TABLA 2. RMS y cantidades relacionadas para el caso base y los análisis de sensibilidad, basados en la mortalidad por pesca (F) media de 2013-2015. Se definen B_{recent} y B_{RMS} como la biomasa, en toneladas, de peces de 3+ trimestres de edad al principio del primer trimestre de 2016 y en RMS, respectivamente, y S_{recent} y S_{RMS} como índices de biomasa reproductora (por lo tanto, no se expresan en toneladas). C_{recent} es la captura total estimada de 2015.

YFT	Base case Caso base	$h = 0.75$	$L_2 = 170$	$L_2 = 190$	DEL-N	Francis	Harmonic Mean
MSY-RMS	272,841	287,476	288,672	272,782	258,468	291,982	272,782
$B_{\text{MSY}} - B_{\text{RMS}}$	372,010	547,238	395,744	374,461	359,854	396,185	374,461
$S_{\text{MSY}} - S_{\text{RMS}}$	3,528	5,897	4,152	3,627	3,429	3,809	3,627
$B_{\text{MSY}}/B_0 - B_{\text{RMS}}/B_0$	0.32	0.37	0.32	0.33	0.31	0.33	0.33
$S_{\text{MSY}}/S_0 - S_{\text{RMS}}/S_0$	0.27	0.35	0.26	0.28	0.26	0.28	0.28
$C_{\text{recent}}/MSY - C_{\text{recent}}/RMS$	0.94	0.89	0.89	0.94	1.00	0.88	0.94
$B_{\text{recent}}/B_{\text{MSY}} - B_{\text{recent}}/B_{\text{RMS}}$	0.96	0.64	1.18	0.82	0.88	0.98	0.82
$S_{\text{recent}}/S_{\text{MSY}} - S_{\text{recent}}/S_{\text{RMS}}$	0.95	0.56	1.3	0.74	1.02	0.88	0.74
F multiplier- Multiplicador de F	1.02	0.65	1.48	0.88	1.21	0.88	0.88

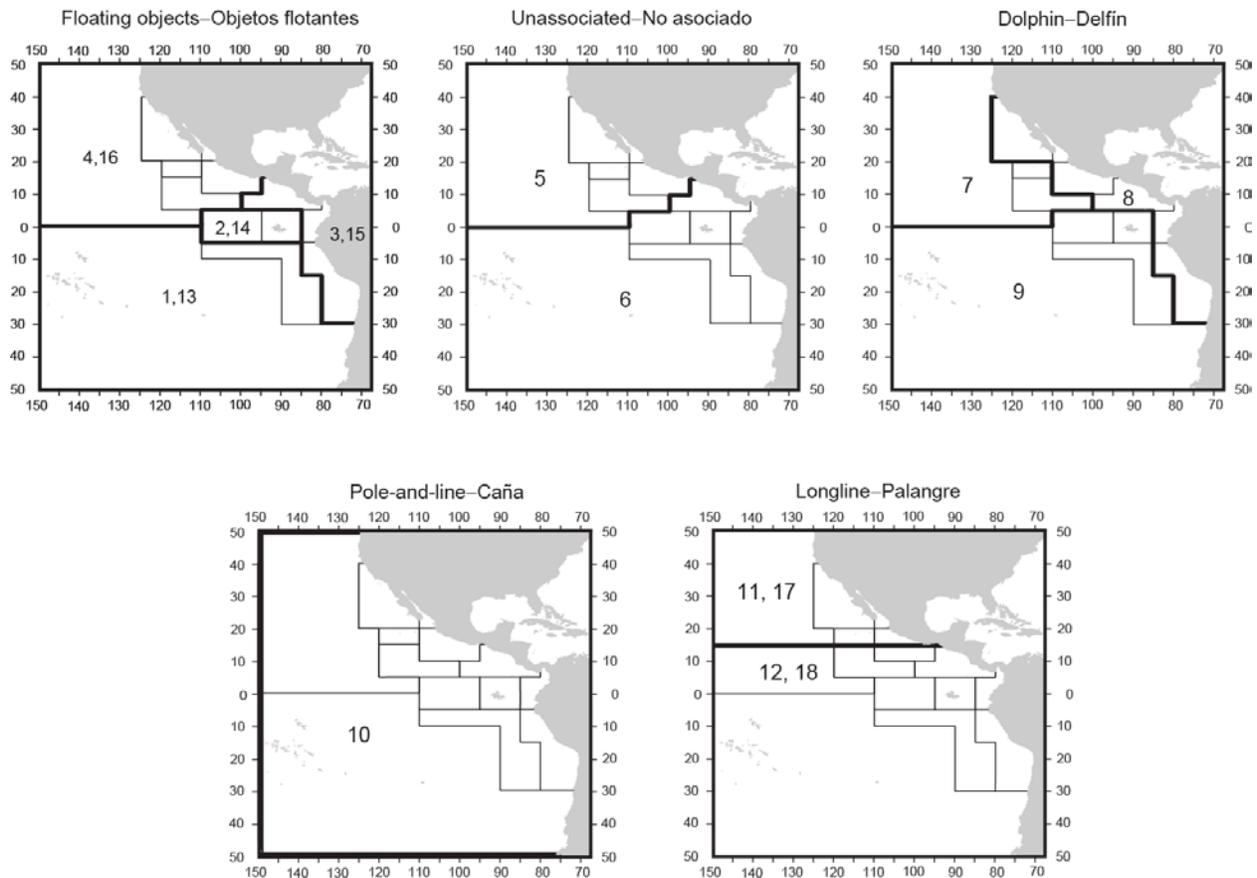


FIGURE 1. Spatial extents of the fisheries defined by the IATTC staff for the stock assessment of yellowfin tuna in the EPO. The thin lines indicate the boundaries of 13 length-frequency sampling areas, the bold lines the boundaries of each fishery defined for the stock assessment, and the numbers the fisheries to which the latter boundaries apply. The fisheries are described in Table 1.

FIGURA 1. Extensión espacial de las pesquerías definidas por el personal de la CIAT para la evaluación del atún aleta amarilla en el OPO. Las líneas delgadas indican los límites de 13 zonas de muestreo de frecuencia de tallas, las líneas gruesas los límites de cada pesquería definida para la evaluación de la población, y los números las pesquerías correspondientes a estos últimos límites. En la Tabla 1 se describen las pesquerías.

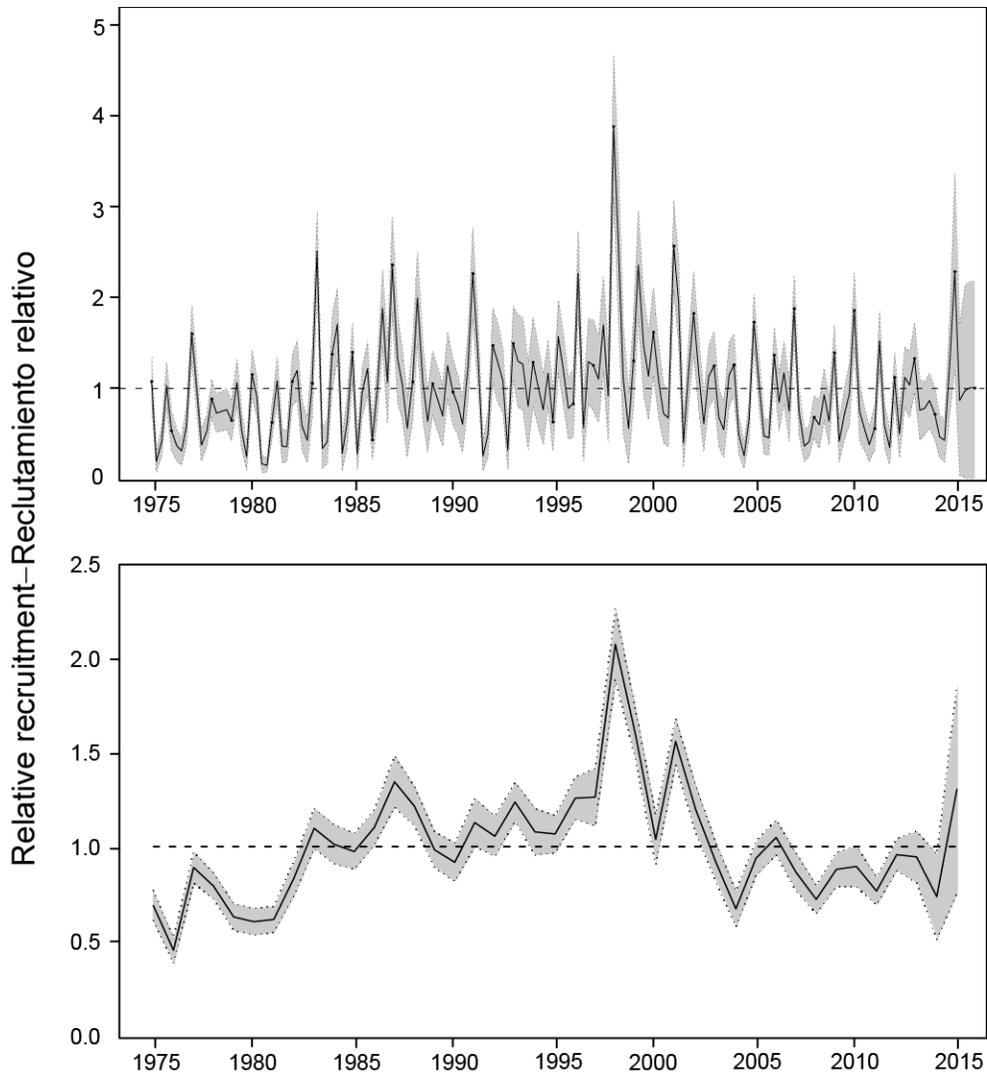


FIGURE 2. Estimated quarterly (top panel) and annual (bottom panel) recruitment of yellowfin tuna to the fisheries of the EPO. The estimates are scaled so that the average recruitment is equal to 1.0 (dashed horizontal line). The bold line illustrates the maximum likelihood estimates (MLE) of recruitment, and the shaded area indicates the approximate 95% confidence intervals around those estimates.

FIGURA 2. Reclutamiento trimestral (recuadro superior) y anual (recuadro inferior) estimado de atún aleta amarilla a las pesquerías del OPO. Se fija la escala de las estimaciones para que el reclutamiento medio equivalga a 1,0 (línea de trazos horizontal). La línea gruesa ilustra las estimaciones de verosimilitud máxima (EVM) del reclutamiento, y el área sombreada los intervalos de confianza de 95% aproximados de esas estimaciones.

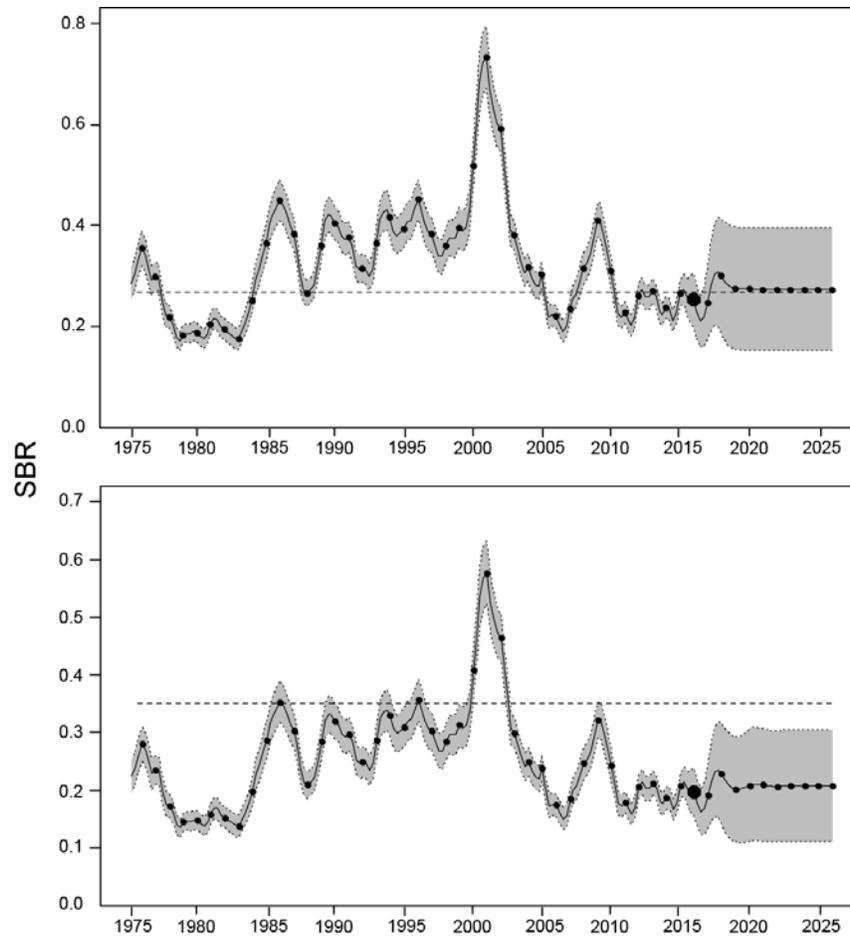


FIGURE 3. Spawning biomass ratios (SBRs) for yellowfin tuna in the EPO, including projections for 2016-2026 based on average fishing mortality rates during 2013-2015, from the base case (top) and the sensitivity analysis that assumes a stock-recruitment relationship ($h = 0.75$, bottom). The dashed horizontal line (at 0.27 and 0.35, respectively) identifies the SBR at MSY. The solid curve illustrates the maximum likelihood estimates, and the estimates after 2016 (the large dot) indicate the SBR predicted to occur if fishing mortality rates continue at the average of that observed during 2013-2015, and average recruitment occur during the next 10 years. The shaded area indicates the approximate 95% confidence intervals around those estimates.

FIGURA 3. Cocientes de biomasa reproductora (SBR) de atún aleta amarilla en el OPO, con proyecciones para 2016-2026 basadas en las tasas de mortalidad por pesca medias durante 2013-2015, del caso base (recuadro superior) y el análisis de sensibilidad que supone una relación población-reclutamiento ($h = 0.75$, recuadro inferior). La línea de trazos horizontal (en 0.27 y 0.35, respectivamente) identifica el SBR correspondiente al RMS. La curva sólida ilustra las estimaciones de verosimilitud máxima, y las estimaciones a partir de 2016 (punto grande) indican el SBR que se predice ocurrirá con tasas de mortalidad por pesca en el promedio de aquellas observadas durante 2013-2015, y con reclutamiento medio durante los 10 años próximos. El área sombreada indica los intervalos de confianza de 95% aproximados alrededor de esas estimaciones.

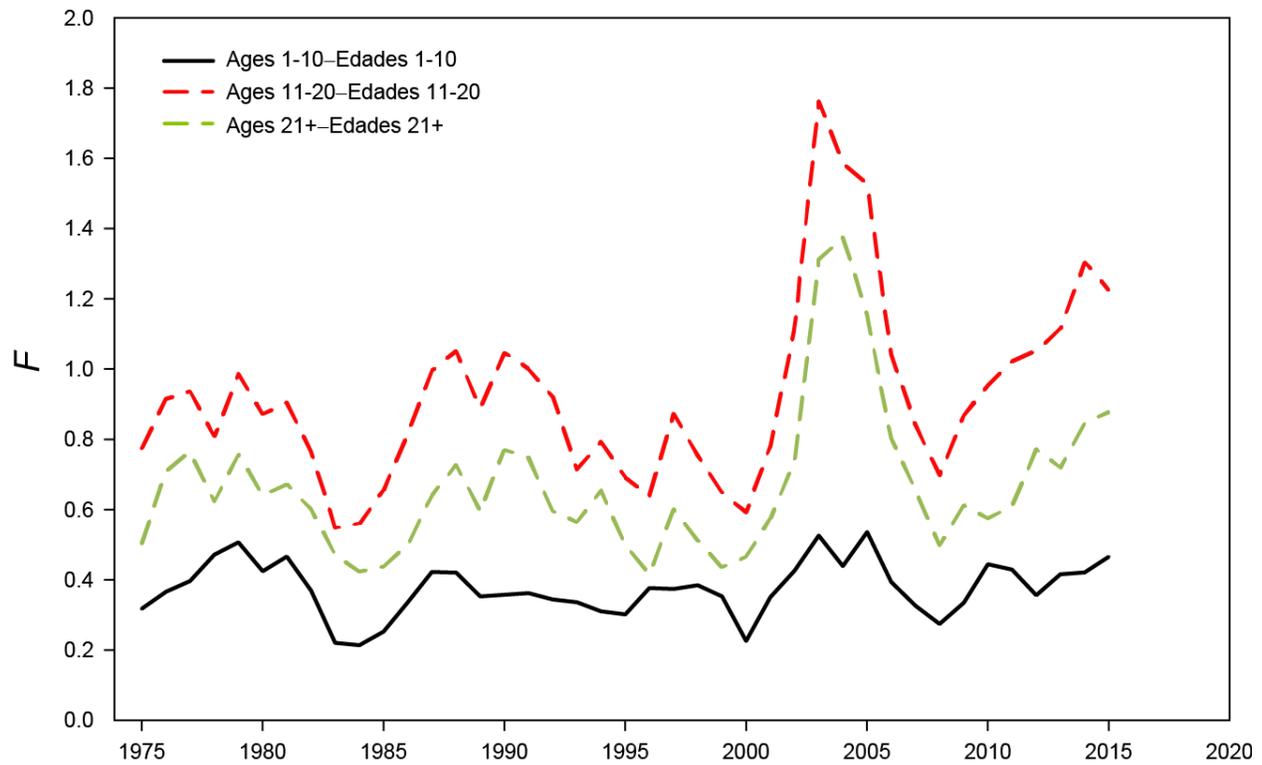


FIGURE 4. Average annual fishing mortality (F) by age groups, by all gears, of yellowfin tuna recruited to the fisheries of the EPO. The age groups are defined by age in quarters.

FIGURA 4. Mortalidad por pesca (F) anual media, por grupo de edad, por todas las artes, de atún aleta amarilla reclutado a las pesquerías del OPO. Se definen los grupos de edad por edad en trimestres.

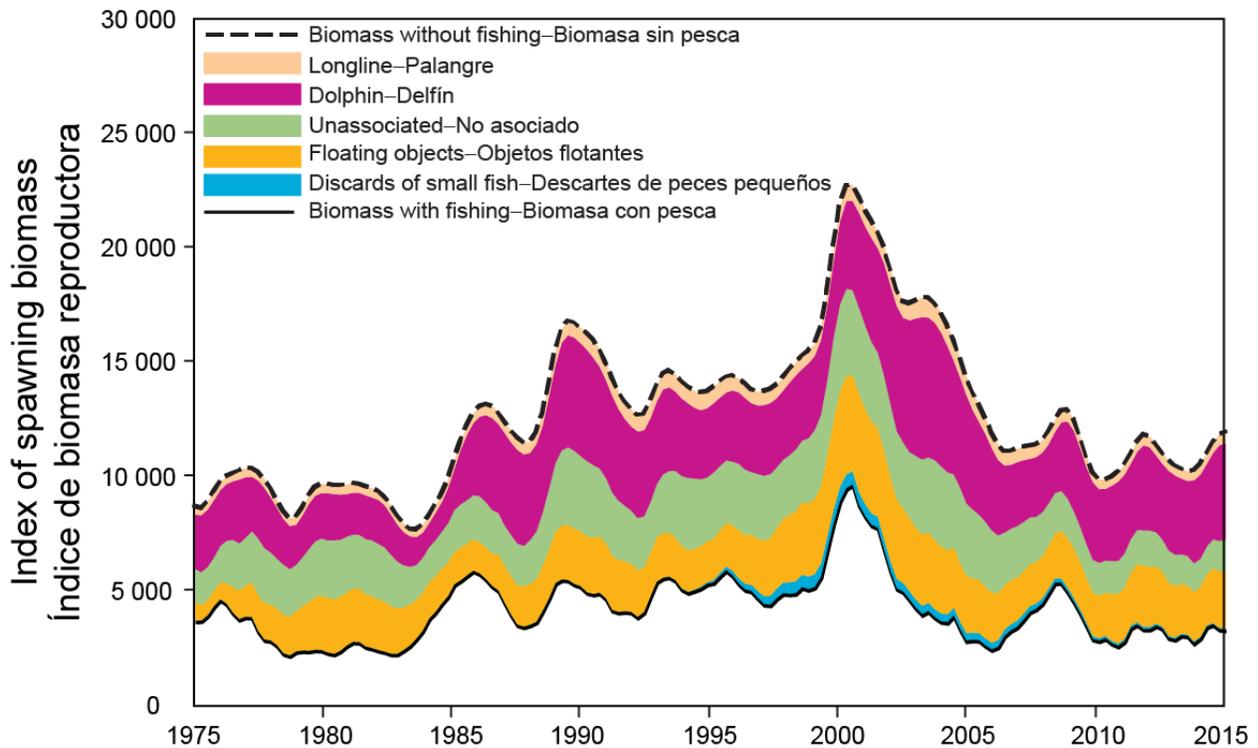


FIGURE 5. Trajectory of the spawning biomass of a simulated population of yellowfin tuna that was never exploited (top dashed line) and that predicted by the stock assessment model (bottom solid line). The shaded areas between the two lines show the portions of the impact attributed to each fishing method. t = metric tons.

FIGURA 5. Trayectoria de la biomasa reproductora de una población simulada de atún aleta amarilla nunca explotada (línea de trazos superior) y la que predice el modelo de evaluación (línea sólida inferior). Las áreas sombreadas entre las dos líneas señalan la porción del efecto atribuida a cada método de pesca. t = toneladas.

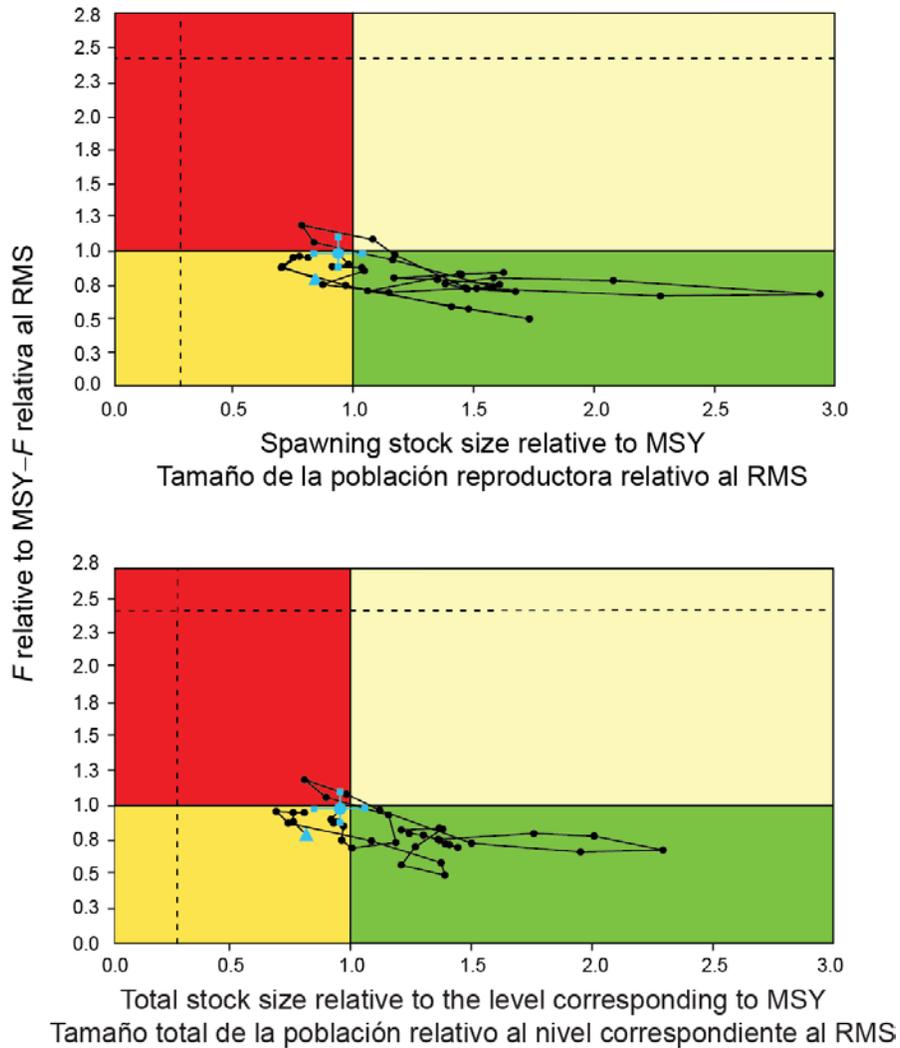


FIGURE 6. Kobe (phase) plot of the time series of estimates of stock size (top panel: spawning biomass; bottom panel: total biomass of fish aged 3+ quarters) and fishing mortality relative to their MSY reference points. The panels represent interim target reference points (S_{MSY} and F_{MSY}). The dashed lines represent the interim limit reference points of $0.28 * S_{MSY}$ and $2.42 * F_{MSY}$, which correspond to a 50% reduction in recruitment from its average unexploited level based on a conservative steepness value ($h = 0.75$) for the Beverton-Holt stock-recruitment relationship. Each dot is based on the average exploitation rate over three years; the large blue dot indicates the most recent estimate. The squares around the most recent estimate represent its approximate 95% confidence interval. The triangle represents the first estimate (1975).

FIGURA 6. Gráfica de Kobe (fase) de la serie de tiempo de las estimaciones del tamaño de la población (panel superior: biomasa reproductora; panel inferior: biomasa total de peces de 3+ trimestres de edad) y la mortalidad por pesca en relación con sus puntos de referencia de RMS. Las líneas de trazos representan los puntos de referencia límite provisionales de $0.28 * S_{RMS}$ y $2.42 * F_{RMS}$, que corresponden a una reducción de 50% del reclutamiento de su nivel medio no explotado basada en un valor cauteloso de la inclinación de la relación población-reclutamiento de Beverton-Holt ($h = 0.75$). Cada punto se basa en la tasa de explotación media por trienio; el punto azul grande indica la estimación más reciente. Los cuadrados alrededor de la estimación más reciente representan su intervalo de confianza de 95% aproximado. El triángulo representa la primera estimación (1975).

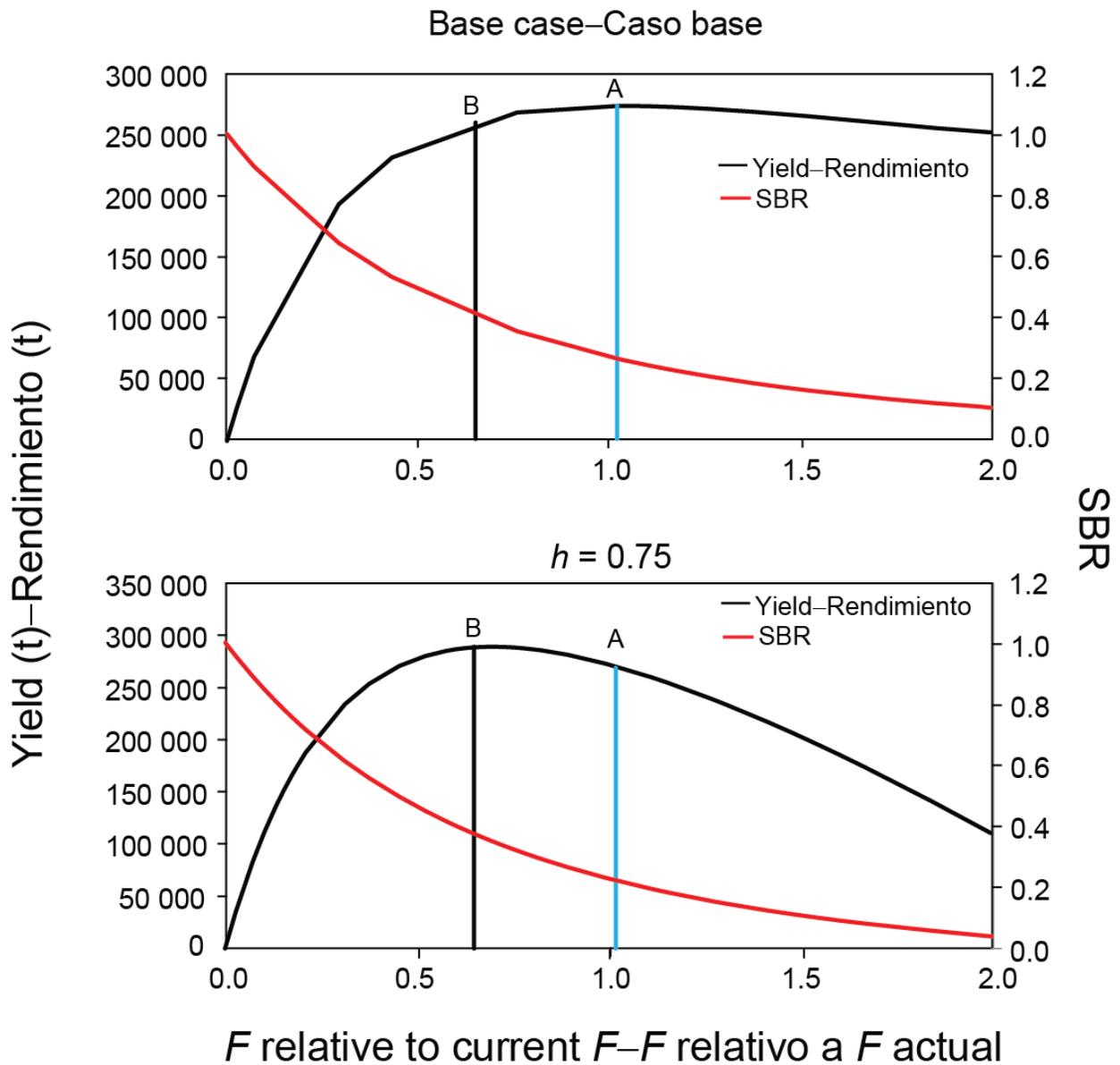


FIGURE 7. Yield and spawning biomass ratio (SBR) as a function of fishing mortality relative to the current fishing mortality. The vertical lines A and B represent the fishing mortality corresponding to MSY for the base case and the sensitivity analysis that assumes a stock-recruitment relationship ($h = 0.75$), respectively.

FIGURA 7. Rendimiento y cociente de biomasa reproductora (SBR) como función de la mortalidad por pesca relativa a la mortalidad por pesca actual. Las líneas verticales A y B representan la mortalidad por pesca correspondiente al RMS del caso base y del análisis de sensibilidad que supone una relación población-reclutamiento ($h = 0.75$), respectivamente.

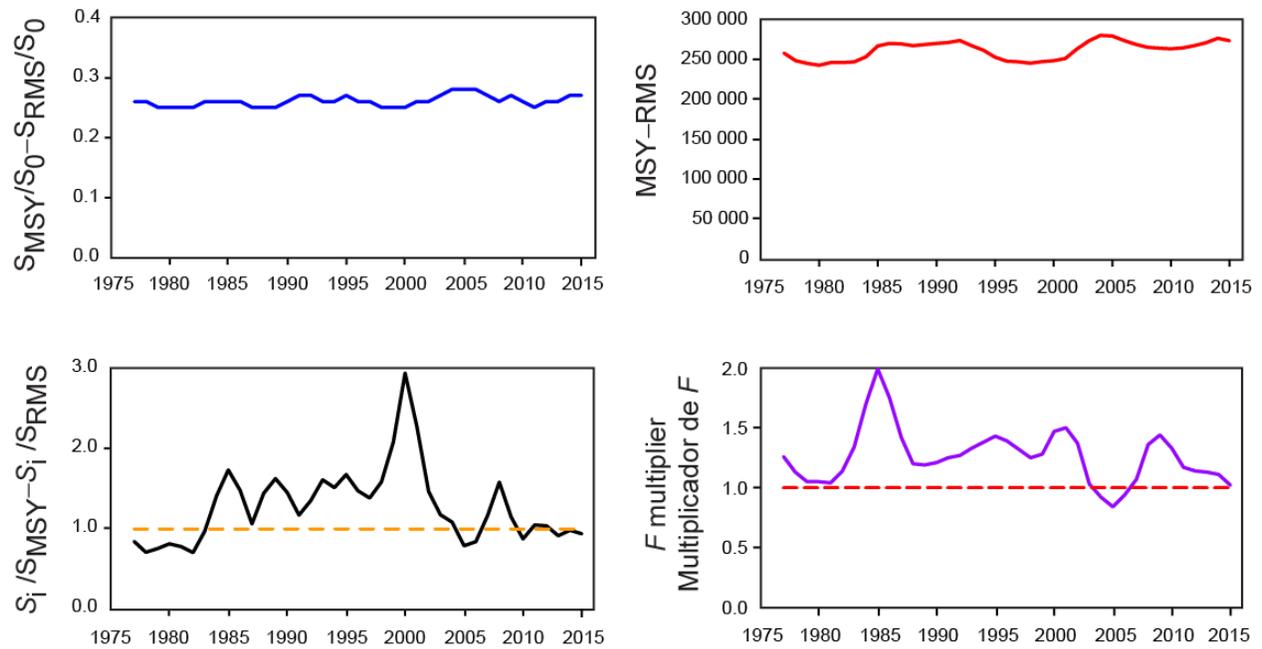


FIGURE 8. Estimates of MSY-related quantities calculated using the average age-specific fishing mortality for each year (S_i is the index of spawning biomass).

FIGURA 8. Estimaciones de cantidades relacionadas con el RMS calculadas a partir de la mortalidad por pesca media por edad para cada año. (S_i es el índice de biomasa reproductora).

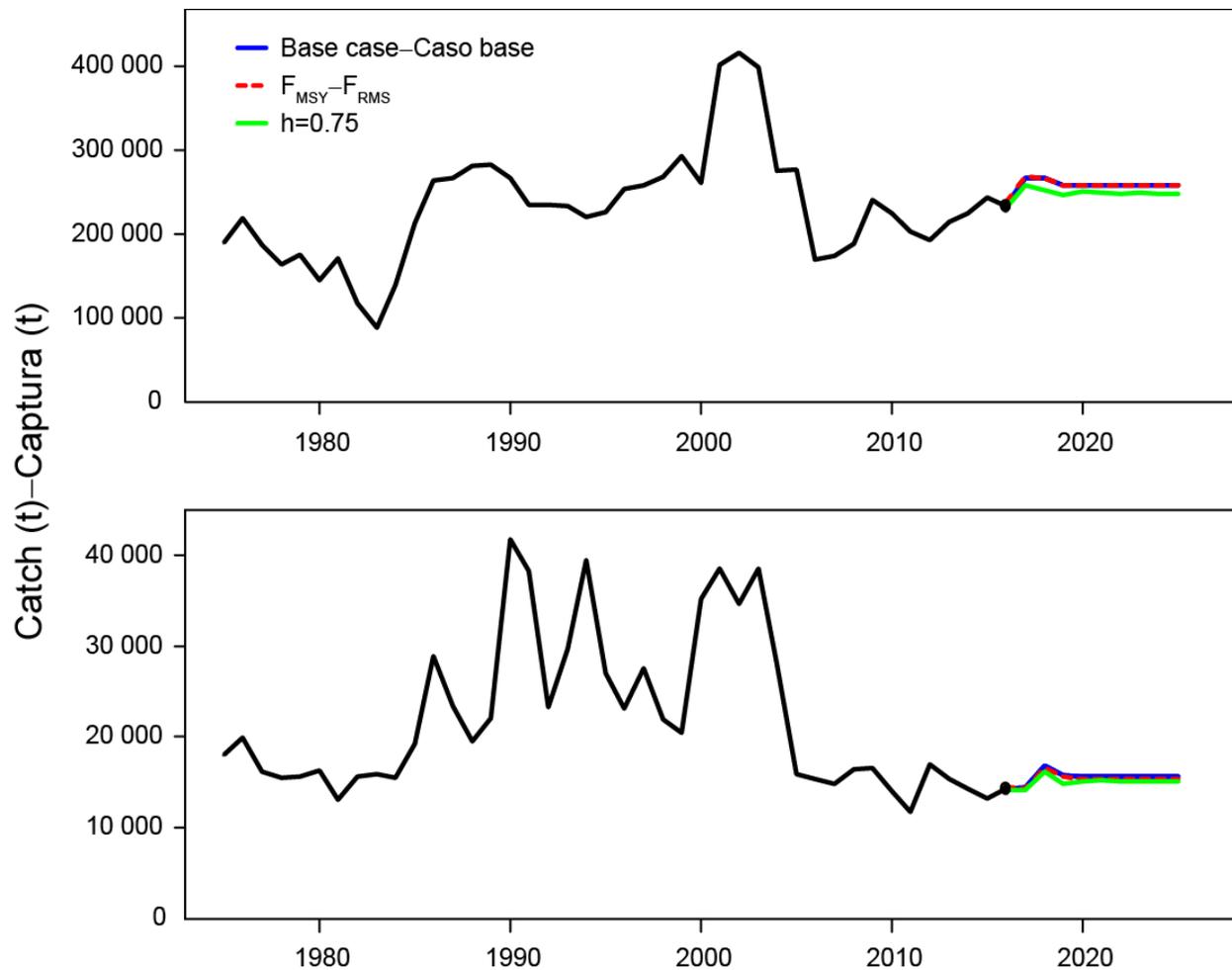


FIGURE 9. Historic and projected annual catches of yellowfin tuna by surface (top panel) and longline (bottom panel) fisheries from the base case while fishing with the current effort, the base case while fishing at the fishing mortality corresponding to MSY (F_{MSY}), and the analysis of sensitivity to steepness ($h = 0.75$) of the stock-recruitment relationship while fishing with the current effort. The large dot indicates the most recent catch (2015).

FIGURA 9. Capturas históricas y proyectadas de atún aleta amarilla por las pesquerías de superficie (recuadro superior) y palangre (recuadro inferior) del caso base con la pesca en el nivel actual de esfuerzo, del caso base con la pesca en la mortalidad por pesca correspondiente al RMS (F_{RMS}), y el análisis de sensibilidad a la inclinación ($h = 0.75$) de la relación población-reclutamiento al pescar con el esfuerzo actual. El punto grande indica la captura más reciente (2015).

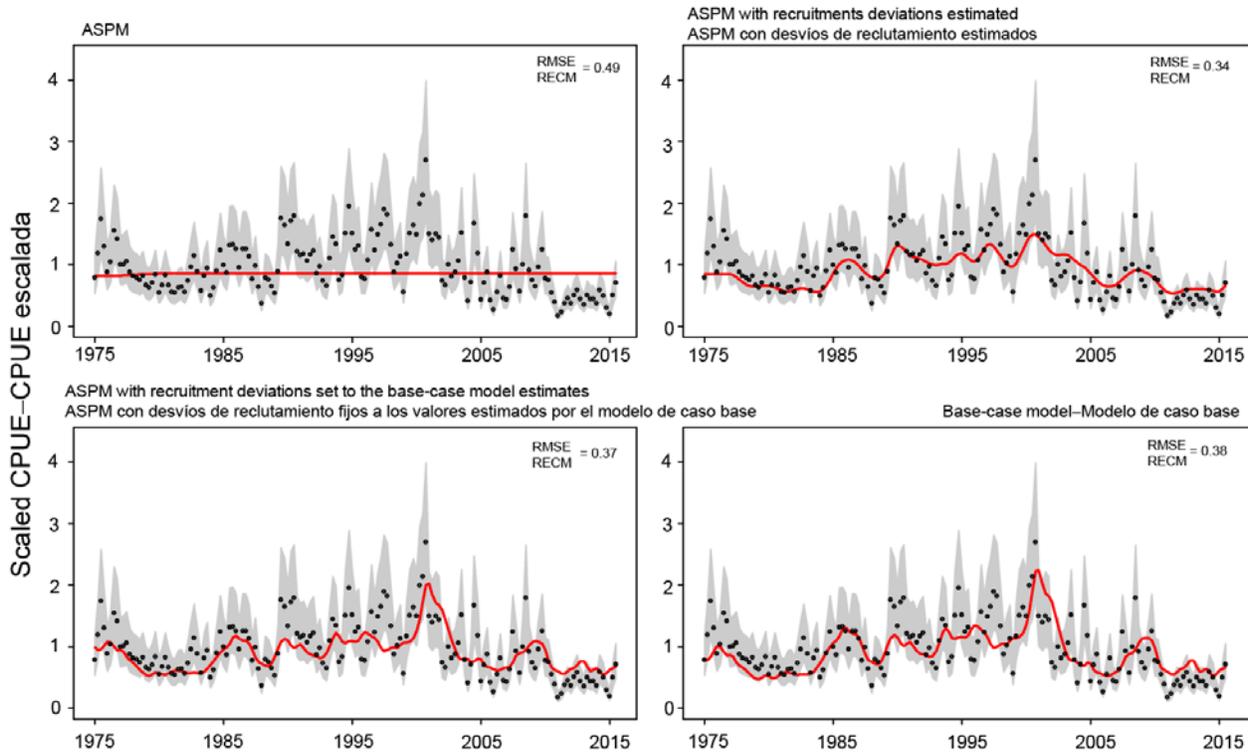


FIGURE A.2. Age-structured production model (ASPM) diagnostic: model fit (red line) to the CPUE of the Southern longline fishery (F12-LL_S). The shaded area represented the fixed confidence interval (± 2 standard deviations) around the CPUE values.

FIGURA A.2. Diagnóstico de modelo de producción por edad (ASPM): ajuste del modelo (línea roja) a la CPUE de la pesquería palangrera del sur (F12-LL_S). El área sombreada representa el intervalo de confianza fijo (± 2 desviaciones estándar) alrededor de los valores de CPUE.

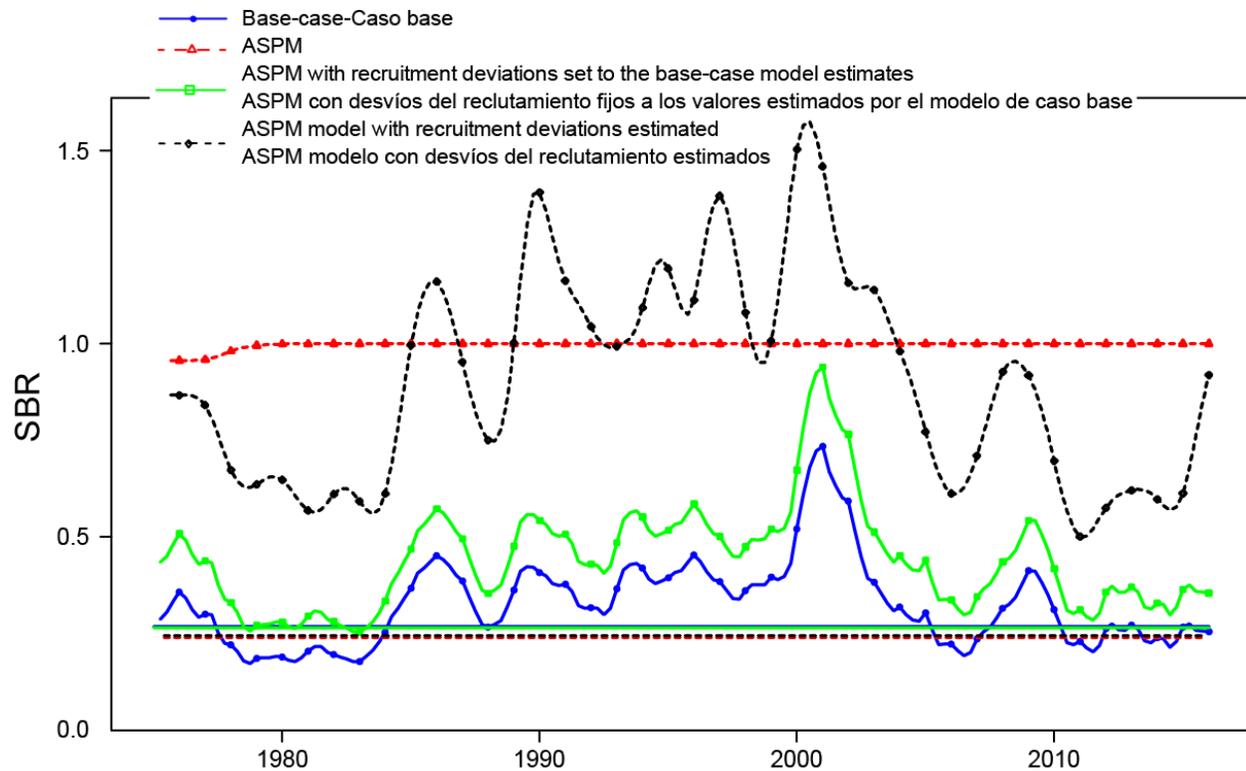


FIGURE A.3. Comparison of estimates of the spawning biomass ratio (SBR) of yellowfin tuna from the age-structured production model (ASPM) diagnostic. SBR trends are shown for the a) base case, b) ASPM with no recruitment deviations estimated, c) ASPM with recruitment deviations estimated, and d) ASPM with recruitment deviations fixed at the estimates from the base-case model. The horizontal lines represent the SBRs associated with MSY for each scenario.

FIGURA A.3. Comparación de las estimaciones del cociente de biomasa reproductora (SBR) de atún aleta amarilla del diagnóstico del modelo de producción por edad (ASPM). Se señalan las tendencias del SBR correspondientes al caso base, ASPM sin desvíos del reclutamiento estimados, ASPM con desvíos del reclutamiento estimados, y ASPM con los desvíos del reclutamiento fijos en las estimaciones del modelo de caso base. Las líneas horizontales representan los SBR asociados al RMS para cada escenario.

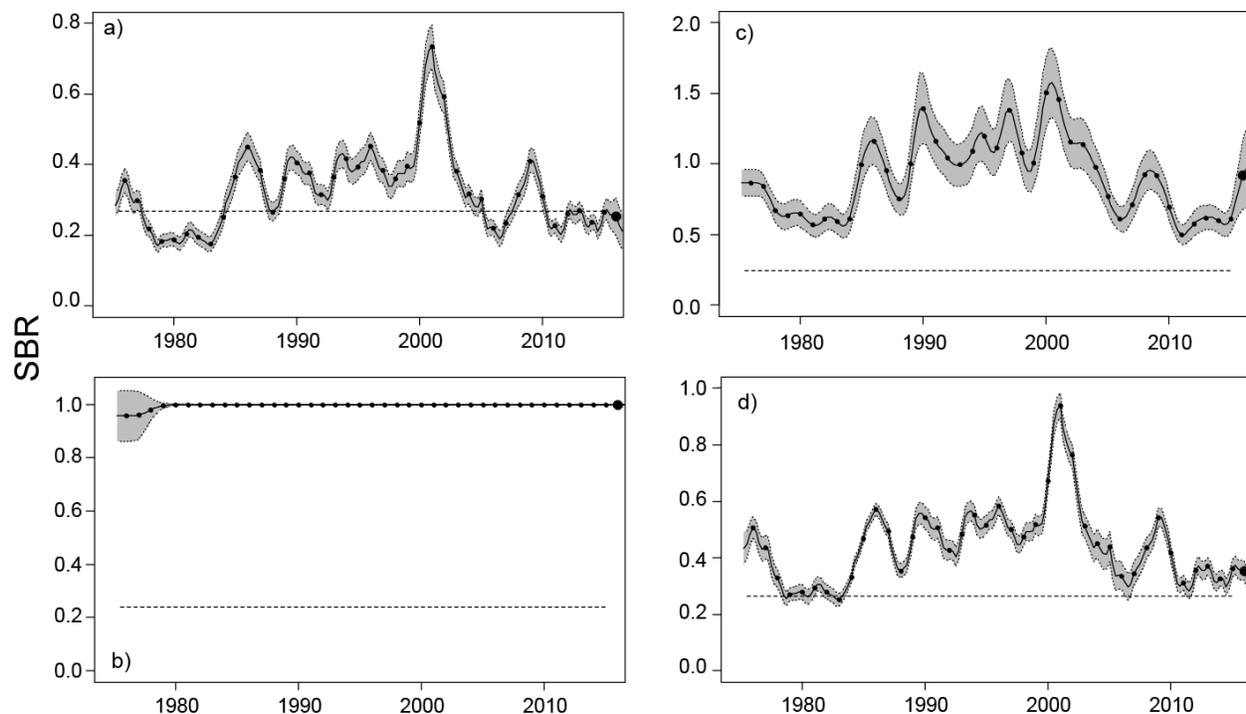


FIGURE A.4. Comparison of estimates of the spawning biomass ratio (SBR) of yellowfin tuna from the age-structured production model (ASPM) diagnostic. SBR trends are shown for: a) base case, b) ASPM with no recruitment deviations estimated, c) ASPM with recruitment deviations estimated, and d) ASPM with recruitment deviations fixed at the estimates from the base case model. The solid line illustrates the maximum likelihood estimates. The shaded area indicates the approximate 95-percent confidence intervals around those estimates. The horizontal lines represent the SBRs associated with MSY for each scenario.

FIGURA A.4. Comparación de las estimaciones del cociente de biomasa reproductora (SBR) de atún aleta amarilla del diagnóstico del modelo de producción por edad (ASPM). Se señalan las tendencias del SBR correspondientes al a) caso base, b) ASPM sin desvíos del reclutamiento estimados, c) ASPM con desvíos del reclutamiento estimados, y d) ASPM con los desvíos del reclutamiento fijos en las estimaciones del modelo de caso base. El área sombreada indica los intervalos de confianza de 95% aproximados alrededor de esas estimaciones. Las líneas horizontales representan los SBR asociados al RMS para cada escenario.

APPENDIX B: SENSITIVITY ANALYSIS FOR THE STOCK-RECRUITMENT RELATIONSHIP
ANEXO B: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA RELACIÓN POBLACIÓN-RECLUTAMIENTO

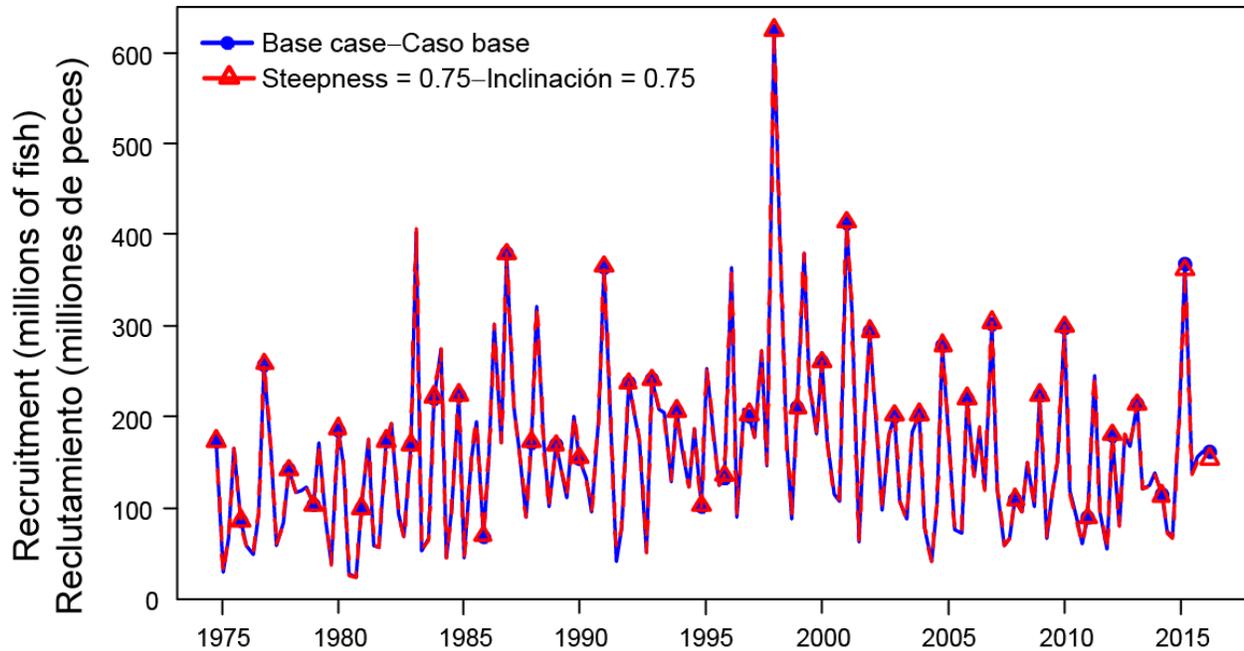


FIGURE B.1. Comparison of estimates of recruitment of yellowfin tuna from the analysis without a stock-recruitment relationship (base case) and with a stock-recruitment relationship (steepness = 0.75).

FIGURA B.1. Comparación de las estimaciones de reclutamiento de atún aleta amarilla del análisis sin (caso base) y con (inclinación = 0,75) relación población-reclutamiento.

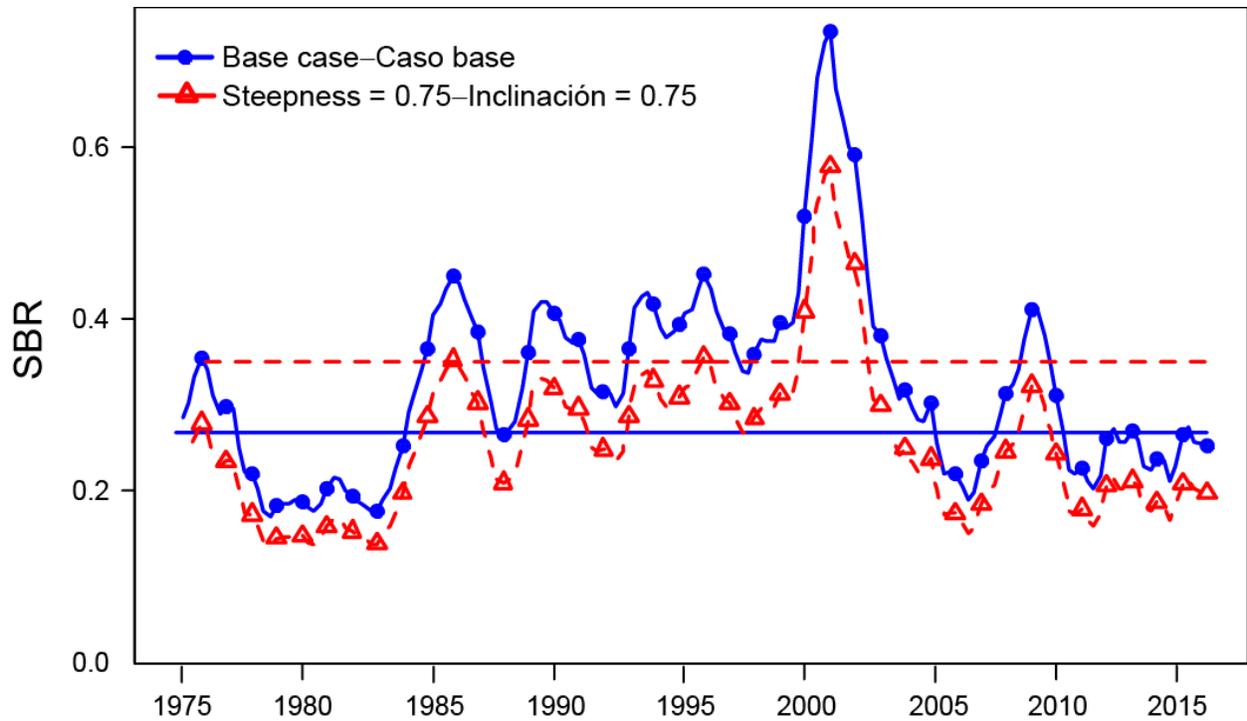


FIGURE B.2. Comparison of estimates of the spawning biomass ratio (SBR) of yellowfin tuna from the analysis without a stock-recruitment relationship (base case) and with a stock-recruitment relationship (steepness = 0.75). The horizontal lines represent the SBR associated with MSY for each scenario.

FIGURA B.2. Comparación de las estimaciones del cociente de biomasa reproductora (SBR) de atún aleta amarilla del análisis sin (caso base) y con relación población-reclutamiento (inclinación = 0,75). Las líneas horizontales representan los SBR asociados al RMS en cada escenario.

APPENDIX C: SENSITIVITY ANALYSIS TO THE AVERAGE SIZE OF THE OLDEST FISH PARAMETER, L_2
ANEXO C: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AL PARÁMETRO DE LA TALLA MEDIA DE LOS PECES MÁS VIEJOS, L_2

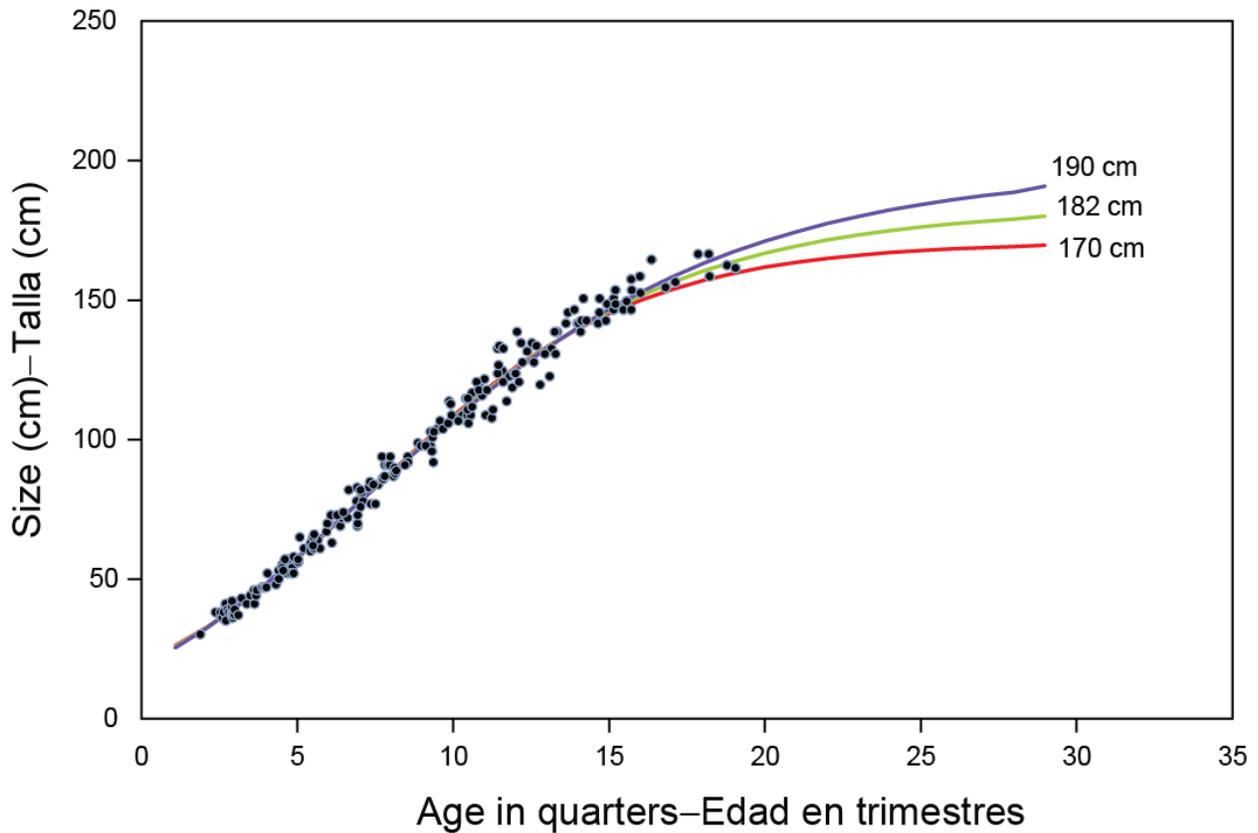


FIGURE C.1. Comparison of the Richards growth curves (sensitivity) for yellowfin tuna, assuming different fixed values for the average size of the oldest fish (L_2) parameter.

FIGURA C.1. Comparación de las curvas de crecimiento de Richards (sensibilidad) del atún aleta amarilla, con diferentes supuestos de valor fijo del parámetro de talla media de los peces más viejos (L_2).

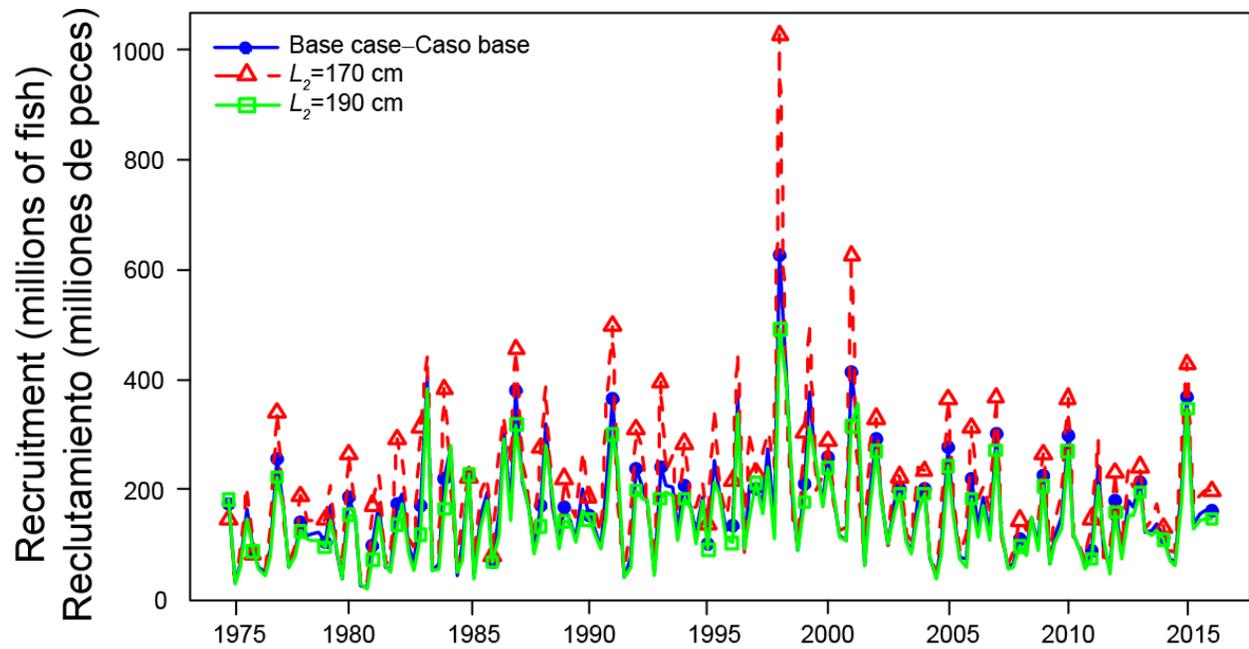


FIGURE C.2a. Comparison of estimates of absolute recruitment (in millions of fish) for yellowfin tuna from the base case analysis using a Richards growth curve with the average size of the oldest fish (L_2) fixed at 182 cm, and two alternative models with L_2 fixed at a lower (170 cm) and a higher value (190 cm).

FIGURA C.2a. Comparación de las estimaciones de reclutamiento absoluto (en millones de peces) de atún aleta amarilla del análisis del caso base que usa una curva de crecimiento de Richards con la talla promedio de los peces más viejos (L_2) fijada en 182 cm, y dos modelos alternativos con L_2 fijado en valores menor (170 cm) y mayor (190 cm).

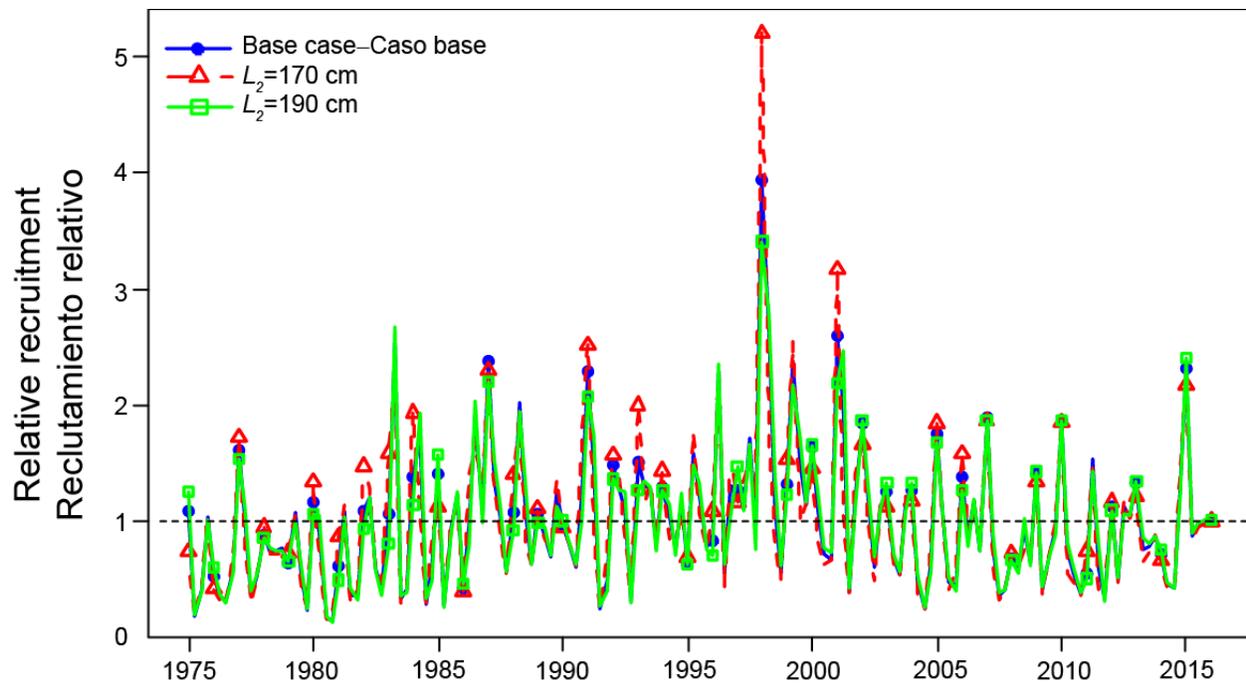


FIGURE C.2b. Comparison of estimates of relative recruitment for yellowfin tuna from the base case analysis using a Richards growth curve with the average size of the oldest fish (L_2) fixed at 182 cm, and two alternative models with L_2 fixed at a lower (170 cm) and a higher value (190 cm). The estimates are scaled so that the estimate of average recruitment is equal to 1.0 (dashed horizontal line).

FIGURA C.2b. Comparación de las estimaciones de reclutamiento relativo de atún aleta amarilla del análisis del caso base que usa una curva de crecimiento de Richards con el tamaño promedio de los peces más viejos (L_2) fijado en 182 cm, y dos modelos alternativos con L_2 fijado en valores menor (170 cm) y mayor (190 cm). Se fija la escala de las estimaciones para que la estimación de reclutamiento medio equivalga a 1,0 (línea de trazos horizontal).

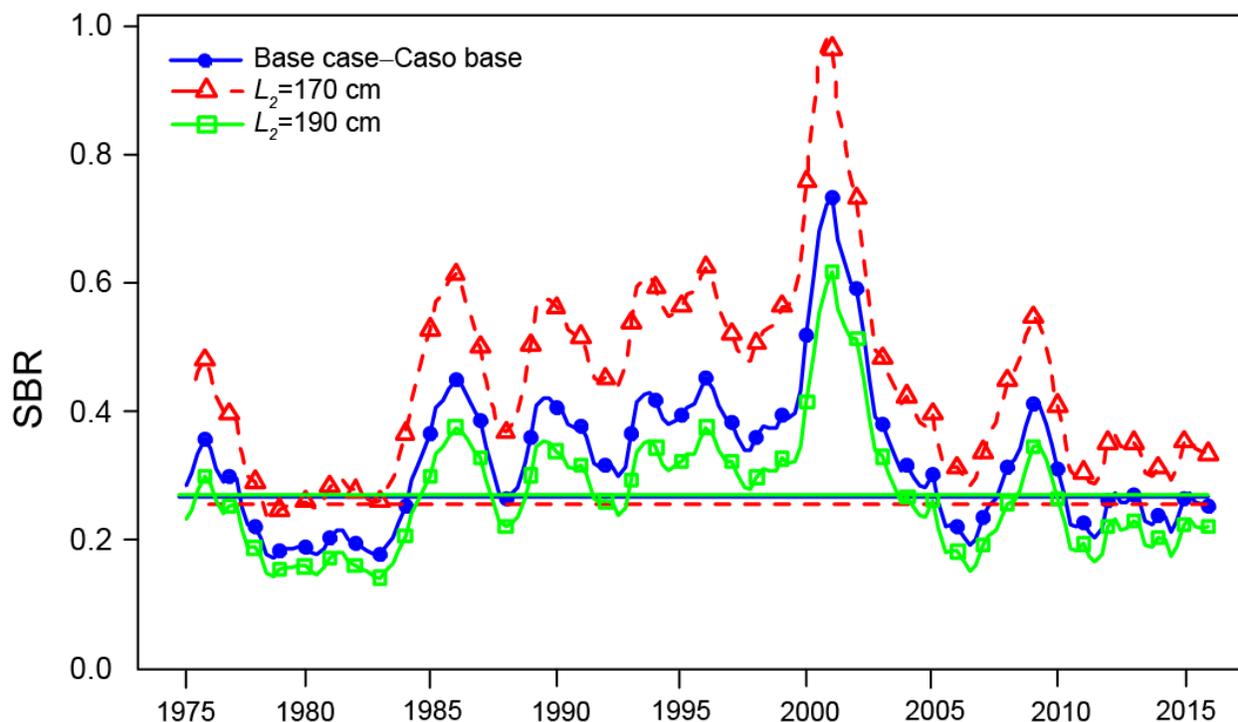


FIGURE C.3. Comparison of estimates of the spawning biomass ratio (SBR) of yellowfin tuna from the base case analysis using a Richards growth curve with the average size of oldest fish (L_2) fixed at 182 cm, and two alternative models with L_2 fixed at a lower (170 cm) and a higher (190 cm) value. The horizontal lines represent the SBR associated with MSY for each scenario.

FIGURA C.3. Comparación de las estimaciones del cociente de biomasa reproductora (SBR) de atún aleta amarilla del análisis del caso base que usa una curva de crecimiento de Richards con el tamaño promedio de los peces más viejos (L_2) fijado en 182 cm, y dos modelos alternativos con L_2 fijado en valores menor (170 cm) y mayor (190 cm). Las líneas horizontales representan los SBR asociados al RMS correspondiente a cada escenario.

APPENDIX D: SENSITIVITY ANALYSIS TO FITTING THE CPUE OF THE NORTHERN DOLPHIN-ASSOCIATED FISHERY AS THE MAIN INDEX OF ABUNDANCE

ANEXO D: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AL AJUSTE DE LA CPUE DE LA PESQUERÍA ASOCIADA A DELFINES DEL NORTE COMO ÍNDICE PRINCIPAL DE ABUNDANCIA

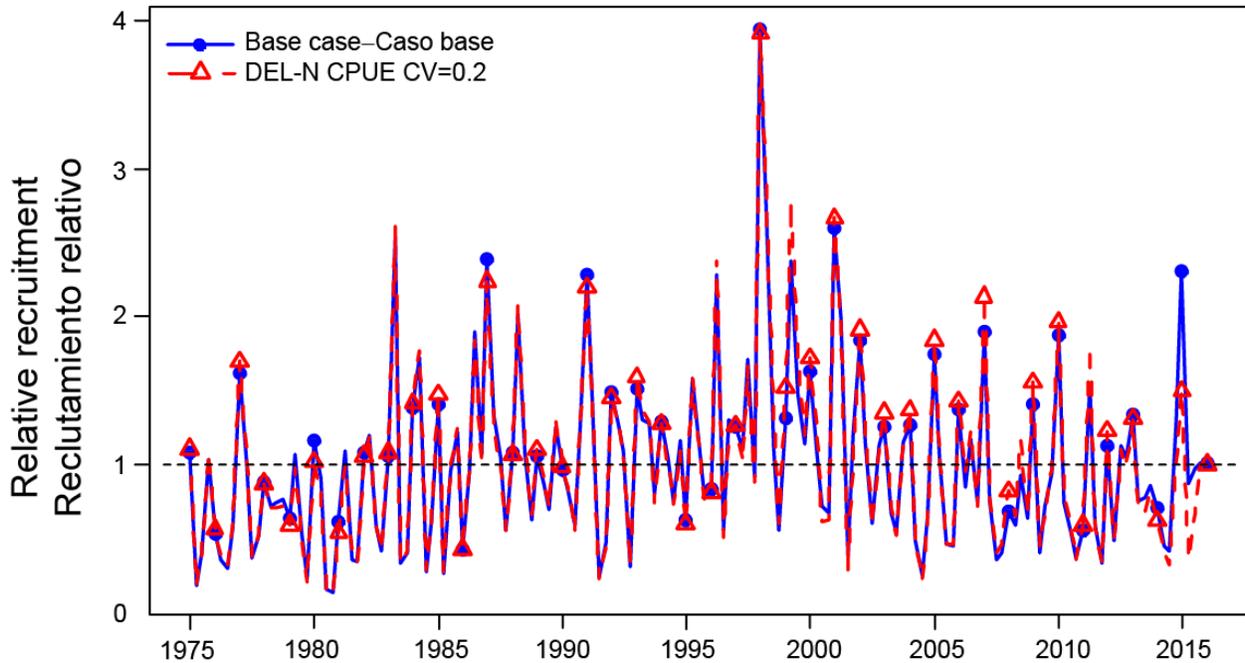


FIGURE D.1. Comparison of estimates of recruitment of yellowfin tuna from the model fitting more closely to the CPUE of the southern longline fishery (base case) and the model fitting more closely to the CPUE of the northern dolphin fishery (DEL-N).

FIGURA D.1. Comparación de las estimaciones de reclutamiento de atún aleta amarilla del modelo que se ajusta más estrechamente a la CPUE de la pesquería de palangre del sur (caso base) y el modelo que se ajusta más estrechamente a la CPUE de la pesquería sobre delfines del norte (DEL-N).

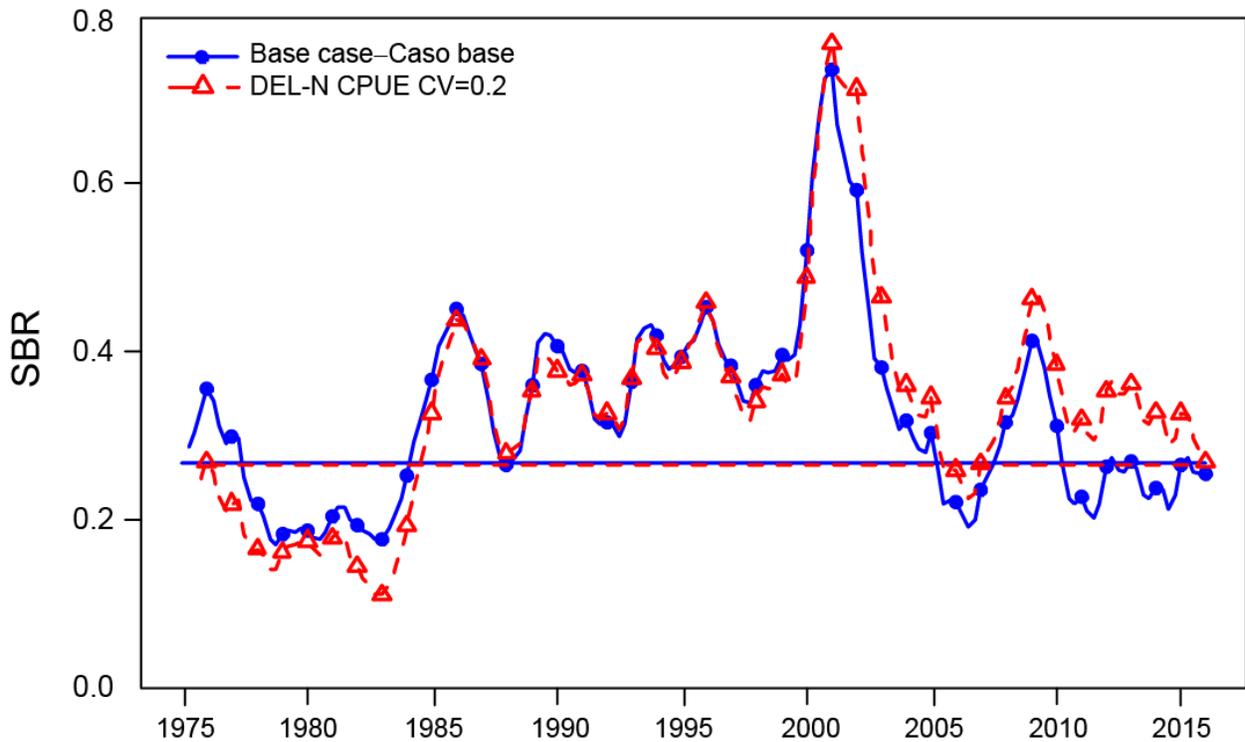


FIGURE D.2. Comparison of estimates of the spawning biomass ratio (SBR) of yellowfin tuna from the model fitting more closely to the CPUE of the southern longline fishery (base case) and the model fitting more closely to the CPUE of the northern dolphin fishery (DEL-N). The horizontal lines represent the SBR associated with MSY for each scenario.

FIGURA D.2. Comparación de las estimaciones del cociente de biomasa reproductora (SBR) de atún aleta amarilla del modelo que se ajusta más estrechamente a la CPUE de la pesquería de palangre del sur (caso base) y el modelo que se ajusta más estrechamente a la CPUE de la pesquería sobre delfines del norte (DEL-N). Las líneas horizontales representan los SBR asociados al RMS correspondiente a cada escenario.

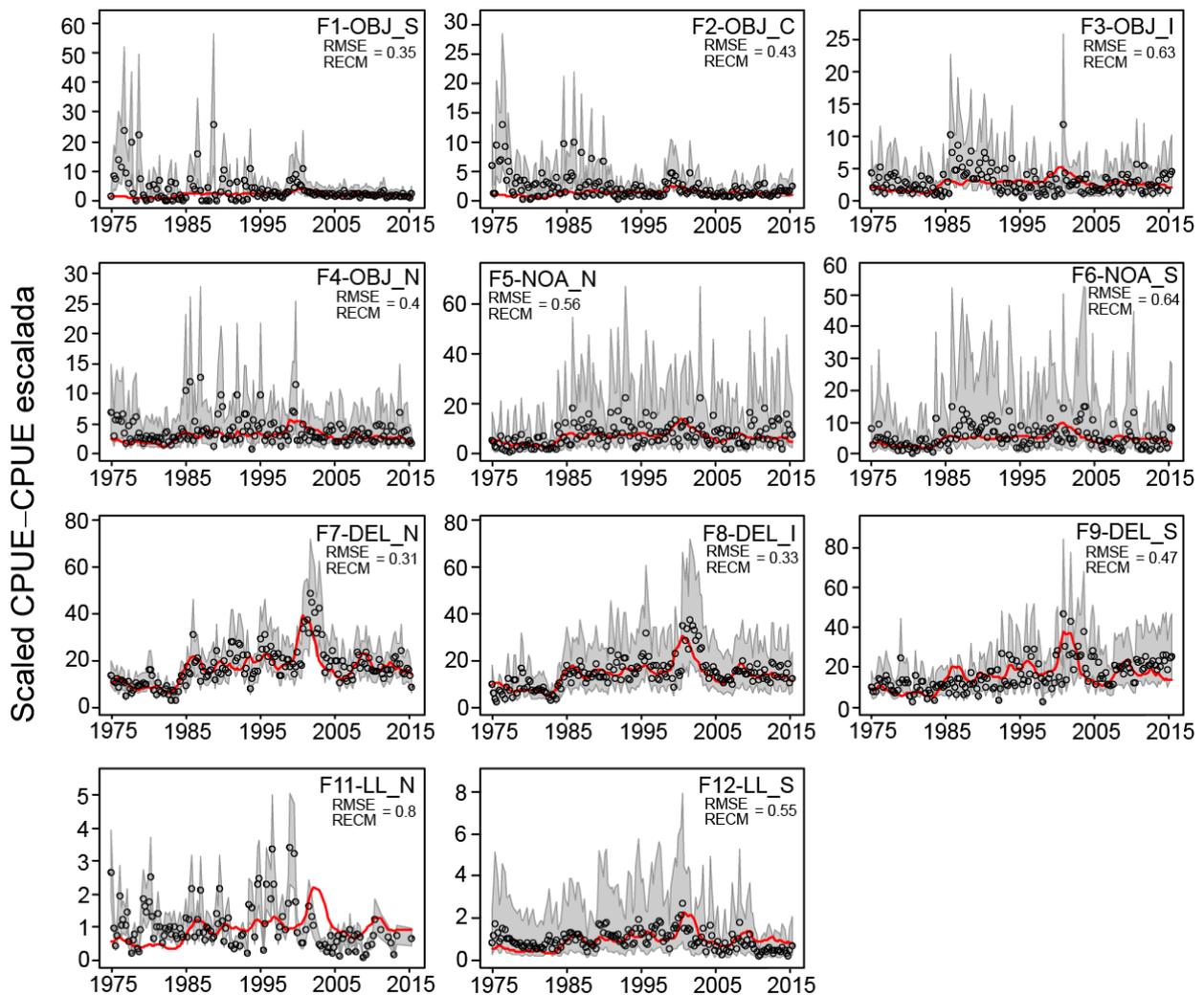


FIGURE D.3. Model fits (for F5, F6, F7, F8, and F12) and predictions (for the rest, as they are not used in the model fit) to the CPUE from the model fitting more closely to the CPUE of the northern dolphin fishery (DEL-N, F7). The shaded area represents the 95% confidence intervals for the observed data (dots) based on the assumed variability for the data or the internally-estimated standard deviations for the lognormal-based likelihood function (for F5, F6, F8, and F12).

FIGURA D.3. Ajustes del modelo (para F5, F6, F7, F8, y F12) y predicciones (para los demás, ya que no se usan en el ajuste del modelo) a la CPUE del modelo que se ajusta más estrechamente a la CPUE de la pesquería sobre delfines del norte (DEL-N, F7). El área sombreada representa los intervalos de confianza de 95% correspondientes a los datos observados (puntos) basados en variabilidad supuesta de los datos o las desviaciones estándar estimadas internamente para la función de verosimilitud log-normal (para F5, F6, F8, y F12).

APPENDIX E: SENSITIVITY ANALYSIS TO DATA WEIGHTING
ANEXO E: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA PONDERACIÓN DE LOS DATOS

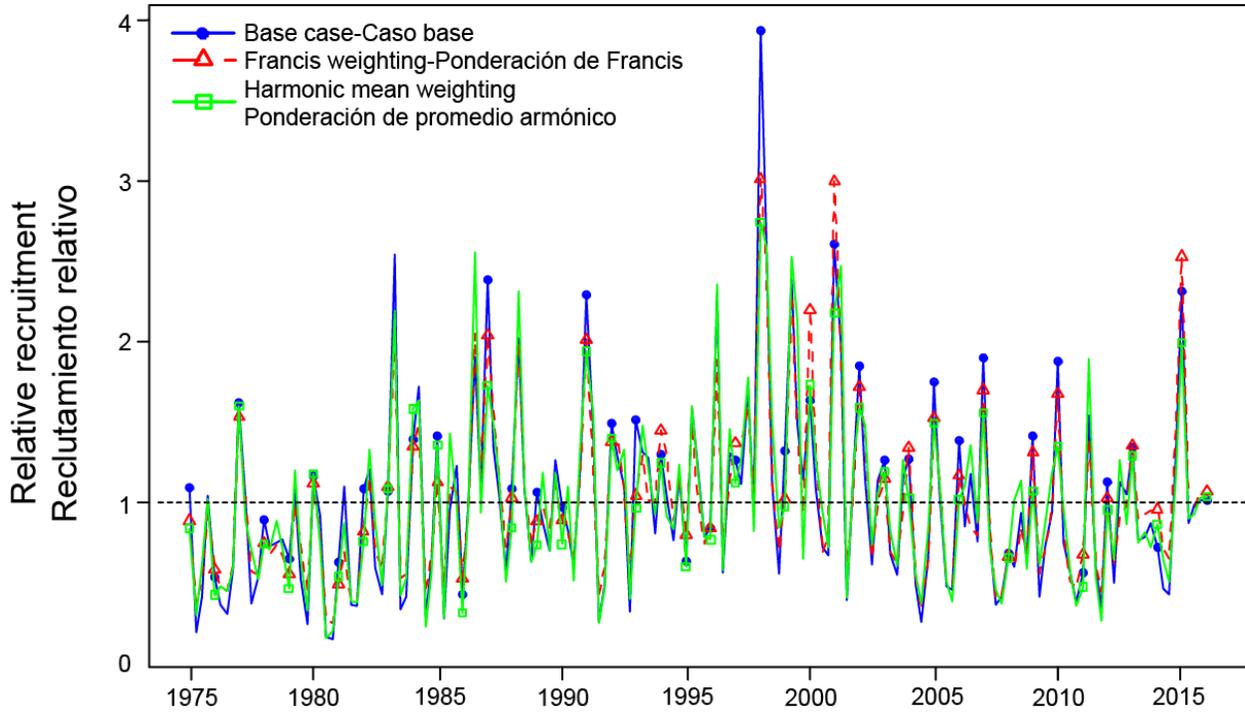


FIGURE E.1. Comparison of estimates of recruitment of yellowfin tuna, from the models with different weightings for the length-frequency data.

FIGURA E.1. Comparación de las estimaciones del reclutamiento de atún aleta amarilla, de los modelos con distintas ponderaciones de los datos de frecuencia de talla.

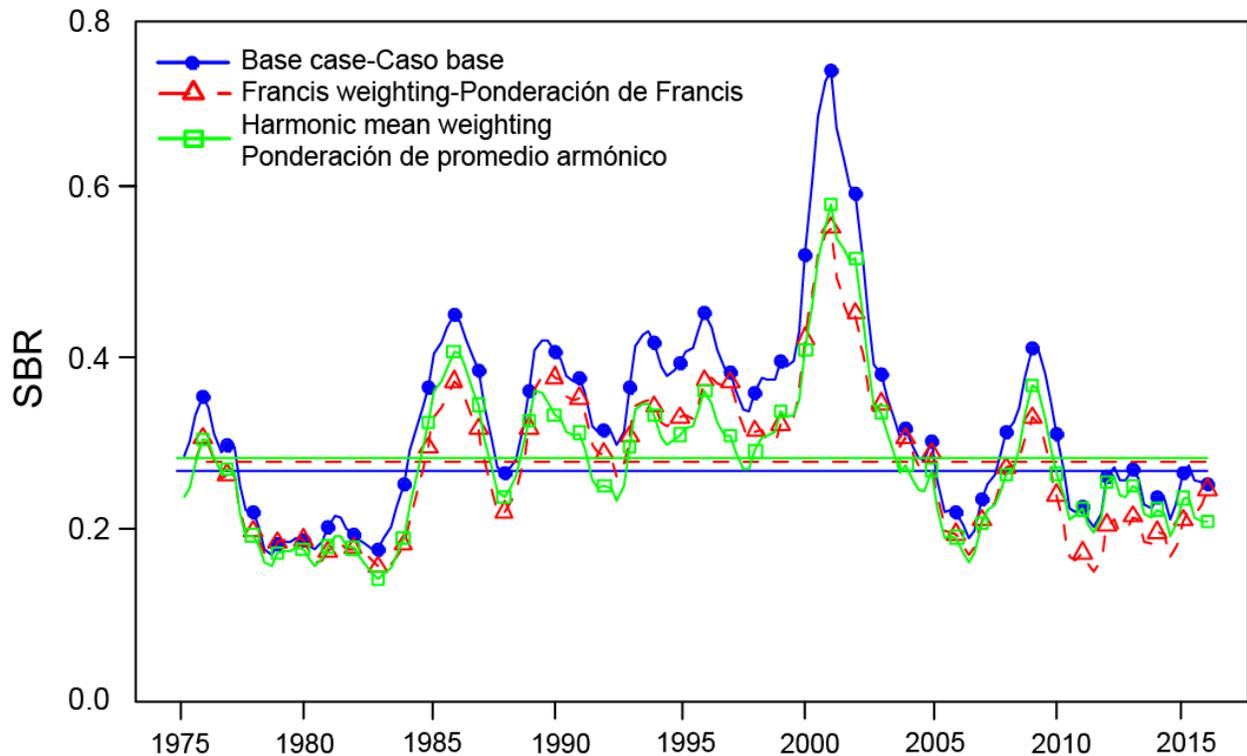


FIGURE E.2. Comparison of estimates of the spawning biomass ratio (SBR) of yellowfin tuna from the models with different weightings for the length-frequency data. The horizontal lines represent the SBRs associated with MSY for each scenario.

FIGURA E.2. Comparación de las estimaciones del cociente de biomasa reproductora (SBR) de atún aleta amarilla, de los modelos con ponderación diferente de los datos de frecuencia de talla. Las líneas horizontales representan los SBR asociado al RMS correspondiente a cada escenario.

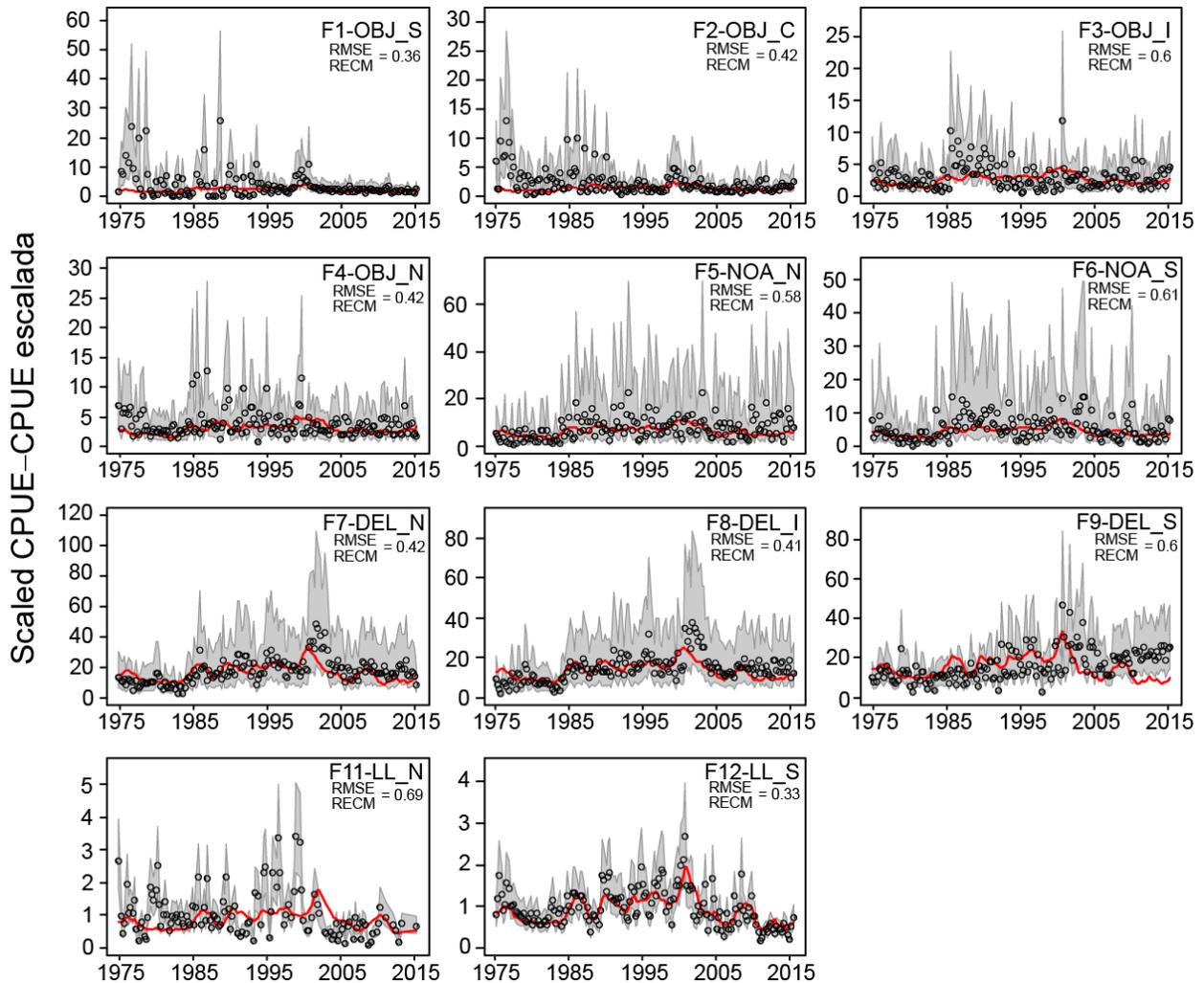


FIGURE E.3. Model fits (for F5, F6, F7, F8, and F12) and predictions (for the rest, because they are not used in the model fit) to the CPUE from the model that uses the Francis methods for weighting the length-frequency data. The shaded area represents the 95% confidence intervals for the observed data (dots) based on the assumed variability for the data or the internally-estimated standard deviations for the lognormal-based likelihood function (for F5, F6, F7, and F8).

FIGURA E.3. Ajustes del modelo (para F5, F6, F7, F8, y F12) y predicciones (para los demás, ya que no se usan en el ajuste del modelo) a la CPUE del modelo que usa los métodos de Francis para ponderar los datos de frecuencia de talla. El área sombreada representa los intervalos de confianza de 95% correspondientes a los datos observados (puntos) basados en variabilidad supuesta de los datos o las desviaciones estándar estimadas internamente para la función de verosimilitud log-normal (para F5, F6, F7, y F8).