

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

16ª REUNIÓN

La Jolla, California (EE. UU.)

02-06 de junio de 2025

DOCUMENTO SAC-16-03

EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN DE ATÚN ALETA AMARILLA EN EL OCEANO PACÍFICO ORIENTAL: EVALUACIÓN DE REFERENCIA DE 2025

Carolina Minte-Vera, Mark N. Maunder, Haikun Xu y Rujia Bi

RESUMEN

El informe completo se publicará próximamente.

Se llevó a cabo una evaluación de referencia y un análisis de riesgos para el atún aleta amarilla en el Océano Pacífico oriental que abarca el periodo comprendido entre 1984 y principios de 2024. La principal incertidumbre abordada en esta evaluación de referencia fue la estructura espacial. Se hicieron avances en la determinación de las regiones y las definiciones espaciales de las pesquerías (áreas) con base en un nuevo método de análisis de conglomerados utilizando datos de composición por talla. En el análisis de riesgos se utilizaron 72 modelos basados en tres niveles de hipótesis. Las hipótesis abordaron (nivel 1) la estructura espacial; (nivel 2) la progresión del esfuerzo (cambios en la capturabilidad a lo largo del tiempo), la incertidumbre en el crecimiento y la mortalidad natural; y (nivel 3) la inclinación de la relación población-reclutamiento. También se ejecutó un modelo a partir de 2006 para tener en cuenta la posibilidad de cambios en la dinámica de la población o de la pesquería antes y después de este periodo para explicar las diferencias en el contenido de información entre el índice de abundancia relativa y los datos de composición por talla.

ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN Y LAS PESQUERÍAS

Los datos sugieren que existen dos o más poblaciones en el OPO o que existe estructura espacial en la población. Un reclutamiento alto en la década de 1990 entró en la pesquería cerquera asociada a delfines al norte de la línea ecuatorial en un año diferente que el reclutamiento alto que entro en la pesquería palangrera al sur de la línea ecuatorial. Los datos de composición por talla de la pesquería cerquera asociada a delfines muestran peces más pequeños en el noreste, peces más grandes en el sur y el oeste, y aletas amarillas de tamaño intermedio en el área núcleo.

Para evaluar la estructura y los desplazamientos de la población se desarrolló un modelo de tres regiones estructurado espacialmente. Las regiones (ver Figura S-1) se delimitaron a partir de conglomerados de datos de composición por talla. Sin embargo, el modelo estimó un desplazamiento limitado entre las regiones. Por lo tanto, se abandonó este enfoque hasta que se disponga de más información (por ejemplo, mejores datos de marcado) y cuando la plataforma de evaluación incluya más flexibilidad para modelar los desplazamientos.

Se utilizaron dos enfoques para incorporar la estructura espacial: 1) un modelo único para todo el OPO usando áreas como flotas para permitir flexibilidad en la representación de la estructura espacial (modelo

del OPO) y 2) evaluaciones separadas para a) la región noreste donde se realiza la mayor parte de las capturas (NE) y b) para la región sur y oeste (SO). Ver las definiciones espaciales en la Figura S-1. Una diferencia principal entre las evaluaciones es que los índices de abundancia para las evaluaciones del OPO entero y del NE se basan en la CPUE de cerco asociada a delfines y el índice de abundancia para la evaluación del SO se basa en la CPUE de palangre.

En el modelo se definieron las pesquerías en función del tipo de arte (cerco, palangre, caña), el tipo de lance de cerco (sobre objetos flotantes, no asociado, asociado a delfines) y el área de operación para representar las diferentes tallas de aleta amarilla capturadas. Las áreas se desarrollaron a partir de conglomerados de datos de composición por talla. Algunas de las pesquerías se dividieron en pesquerías de peces pequeños y grandes para representar mejor la talla de los peces extraídos de la población. También se definieron pesquerías que representaban peces pequeños descartados.

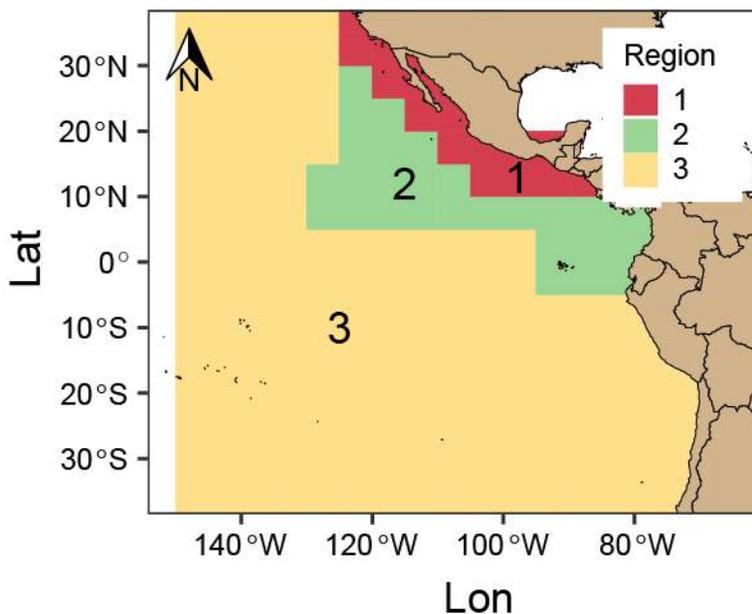


FIGURE S-1. Regional divisions obtained using cluster analysis of length composition data from the purse-seine fishery associated with dolphins. The EPO models consider all regions, the NE and NE_short models include regions 1 and 2, the SW model comprised only region 3. Further subdivisions in areas were made within each region based on the cluster analysis results, which were treated as different fisheries.

FIGURA S-1. Divisiones regionales obtenidas usando análisis de conglomerados de datos de composición por talla de la pesquería cerquera asociada a delfines. Los modelos del OPO consideran todas las regiones, los modelos NE y NE_short incluyen las regiones 1 y 2, el modelo SO comprende solo la región 3. Se hicieron subdivisiones adicionales en áreas dentro de cada región con base en los resultados del análisis de conglomerados, que fueron tratadas como pesquerías diferentes.

DATOS

La captura, la composición por talla y los índices de abundancia relativa fueron los principales tipos de datos utilizados en la evaluación. La composición por talla, la CPUE y la captura de cerco de atún aleta amarilla son estimadas por el personal utilizando varias fuentes de datos, incluyendo datos de observadores, bitácoras y muestreo en puerto. Los datos composición por talla, CPUE y captura de palangre son obtenidos por los CPC y remitidos anualmente a la CIAT. Los datos operacionales de CPUE de palangre de Japón, Corea y China y los datos de CPUE por buque en alta resolución de Taipéi Chino fueron facilitados para esta evaluación.

Los índices de abundancia relativa basados en CPUE de la pesquería de palangre y de la pesquería de cerco asociada a delfines, así como los datos de composición por talla asociados, fueron desarrollados a partir de modelos espaciotemporales. Los datos de composición por talla de la pesquería palangrera también fueron desarrollados usando un modelo espaciotemporal, pero ponderados por la captura en lugar de por la abundancia relativa.

Se utilizaron conjuntos de datos adicionales de biología reproductiva, incrementos diarios de otolitos y de marcado, obtenidos por el personal para estimar la producción reproductiva (para definir la biomasa reproductora), el crecimiento y la mortalidad natural de forma externa a los modelos de evaluación.

SUPUESTOS DE LOS MODELOS

La evaluación se llevó a cabo utilizando Stock Synthesis, una plataforma de modelado estadístico integrado de evaluación de poblaciones estructurado por edad. Los modelos partían de un estado de pesca en 1984 (o 2006 para NE_short) y se modelaron hasta el inicio de 2024 en un intervalo temporal trimestral. Se definieron 30 clases de edad, desde 0 trimestres hasta 29 (7.25 años), utilizándose la edad más avanzada como grupo plus. Los modelos están estructurados por sexo, pero solo la mortalidad natural difiere entre hembras y machos. Los modelos están condicionados a las capturas y se ajustan a los índices de abundancia relativa y a los datos de composición por talla.

Las condiciones iniciales incluyen la estimación del reclutamiento inicial, la mortalidad por pesca inicial y 16 desviaciones del reclutamiento para representar la estructura de edad inicial. No se utiliza ninguna penalización asociada a las capturas iniciales de equilibrio. La pesquería utilizada para crear las condiciones iniciales depende del supuesto de estructura espacial, pero en general se eligió una pesquería con una amplia gama de tallas y capturas grandes.

El crecimiento se actualizó ajustando el modelo de cese de crecimiento a una combinación de nuevos datos de edad y talla de incrementos diarios de otolitos y datos de marcado. La información de los peces más jóvenes (hasta 10 trimestres de edad) procedía de los datos de otolitos y la información de los peces de más edad procedía de peces marcados con una edad prevista en el momento de la recuperación de 10 trimestres o más y con información fiable sobre la talla.

La mortalidad natural (M) se actualizó mediante un análisis de cohortes ajustado a datos de marcado recolectados recientemente y a datos de proporción de sexos. Se supuso que M variaba por edad y por sexo, utilizando la función de Lorenzen para modelar el descenso de M con la edad y suponiendo un aumento de la mortalidad natural de las hembras relacionado con la madurez. Los datos de proporción de sexos proceden de pesquerías cerqueras y palangreras.

La madurez y la fecundidad se actualizaron en función de los nuevos datos de madurez, fecundidad por camada y frecuencia de desove por talla.

Se supuso que el reclutamiento se producía trimestralmente y seguía una relación población-reclutamiento de Beverton-Holt. La variabilidad del reclutamiento se implementó mediante una función de penalización. Se utilizó un proceso iterativo para establecer la desviación estándar del logaritmo de las desviaciones del reclutamiento y el factor de corrección de sesgo lognormal. En el análisis de riesgos se utilizaron tres niveles de inclinación de la relación población-reclutamiento: 1.0, 0.9 y 0.8.

La selectividad se especificó mediante un árbol de decisión basado en la magnitud de la captura, la fiabilidad de los datos de composición por talla y la capacidad de una curva de selectividad normal doble para representar la composición por talla. Las flotas con volúmenes altos de capturas, datos de composición fiables y un buen ajuste a los datos de composición tenían bloques de tiempo en la selectividad, parámetros estimados de una curva de selectividad normal doble y ponderación de Francis para el ajuste. Otras flotas no tenían bloques de tiempo, selectividad fija, menor ponderación de los datos,

y/o no se ajustaban a los datos de composición. Se utilizó la selectividad asintótica para las pesquerías y estudios que capturan los individuos más grandes (pesquerías palangreras y/o pesquerías cerqueras asociadas a delfines, dependiendo del modelo).

En esta evaluación de referencia se utiliza un enfoque de análisis de riesgos. El enfoque comienza por identificar "estados de naturaleza" alternativos (es decir, hipótesis) que se consideran plausibles para describir la dinámica de la población de atún aleta amarilla. La identificación de esas hipótesis se realiza de forma jerárquica; las hipótesis de nivel superior representan la incertidumbre más importante (nivel 1) y las hipótesis de nivel inferior anidadas dentro del nivel superior representan otras incertidumbres (nivel 2), y se cruzan con las hipótesis de nivel 3, que abarcan parámetros para los que hay poca o ninguna información en los datos. Los tres niveles de hipótesis en el análisis de riesgos para el atún aleta amarilla son: nivel 1 - la estructura espacial (OPO, NE, NE_short, SO), nivel 2 - escenarios construidos para representar la incertidumbre en los parámetros biológicos (crecimiento, mortalidad natural) y la progresión del esfuerzo (aumento del 1% por año en la capturabilidad de los índices de abundancia); y nivel 3 - la inclinación de la relación población-reclutamiento. Las hipótesis de nivel 2 se implementaron cambiando un supuesto cada vez en el modelo de referencia base de cada estructura espacial. Los escenarios bajo y alto para el crecimiento y la mortalidad natural se basaron en la incertidumbre de las estimaciones externas (valores que tienen aproximadamente la mitad de probabilidad que la estimación de verosimilitud máxima). Para la hipótesis de tercer nivel se consideran tres valores de inclinación de la relación población-reclutamiento de Beverton-Holt ($h=1.0$, $h=0.9$, $h=0.8$). La combinación de los tres niveles de hipótesis da lugar a $4*6*3 = 72$ modelos de referencia.

Los modelos se ajustaron minimizando una función de verosimilitud logarítmica negativa (NLL) penalizada. Para garantizar que los modelos obtuvieran los mínimos globales, se realizaron una serie de análisis de *jitter*, que cambian aleatoriamente los valores iniciales de los parámetros para comprobar la convergencia, hasta que el modelo superara la prueba de *jitter* (las estimaciones iniciales de los parámetros eran las que producían la NLL más baja entre todos los modelos analizados con *jitter*). Los ajustes también se evaluaron mediante un análisis de residuales. Se utilizaron diagnósticos integrados de modelos para comprender el contenido informativo de los datos. Los diagnósticos utilizados fueron el modelo de producción estructurado por edad con desviaciones estimadas del reclutamiento (ASPM_dev), ASPM_dev también ajustado a la composición por talla del índice, análisis de la curva de captura (CCA), CCA solo ajustado a la composición por talla del índice, perfil de verosimilitud del parámetro de escala (\log_{R0}) y análisis retrospectivo.

Se realizó un análisis de riesgos para cada una de las cuatro hipótesis de nivel 1 combinando 18 modelos de referencia. Todas las hipótesis de nivel 2 tuvieron la misma ponderación. Las ponderaciones de los tres valores de inclinación (hipótesis de nivel 3) se basaron en la opinión de los expertos a partir del análisis de riesgos realizado para la última evaluación de referencia: $P(h=1.0) = 0.46$, $P(h=0.9) = 0.32$, $P(h=0.8) = 0.22$.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

Los 72 modelos convergieron y se utilizan en la evaluación y en el análisis de riesgos. El diagnóstico integrado de modelos indicó que los índices y las capturas por sí solos no bastan para estimar la escala absoluta de los modelos, y los datos de composición por talla proporcionan la información sobre la escala (Figura S-2). Los índices proporcionan información sobre las tendencias relativas. Los datos de composición por talla para los modelos NE y OPO apoyan niveles de biomasa absoluta más altos en la segunda mitad de la serie de tiempo (Figura S-2). Por esta razón, se desarrolló el modelo NE_short, que comienza en 2006, para representar posibles cambios en la dinámica de la población o la pesquería que no se comprenden o no están modelados con precisión en los modelos NE y OPO. Además, los datos de

marcado, otolitos y biología reproductiva proceden de años recientes y es posible que representen mejor el periodo en los modelos NE_short.

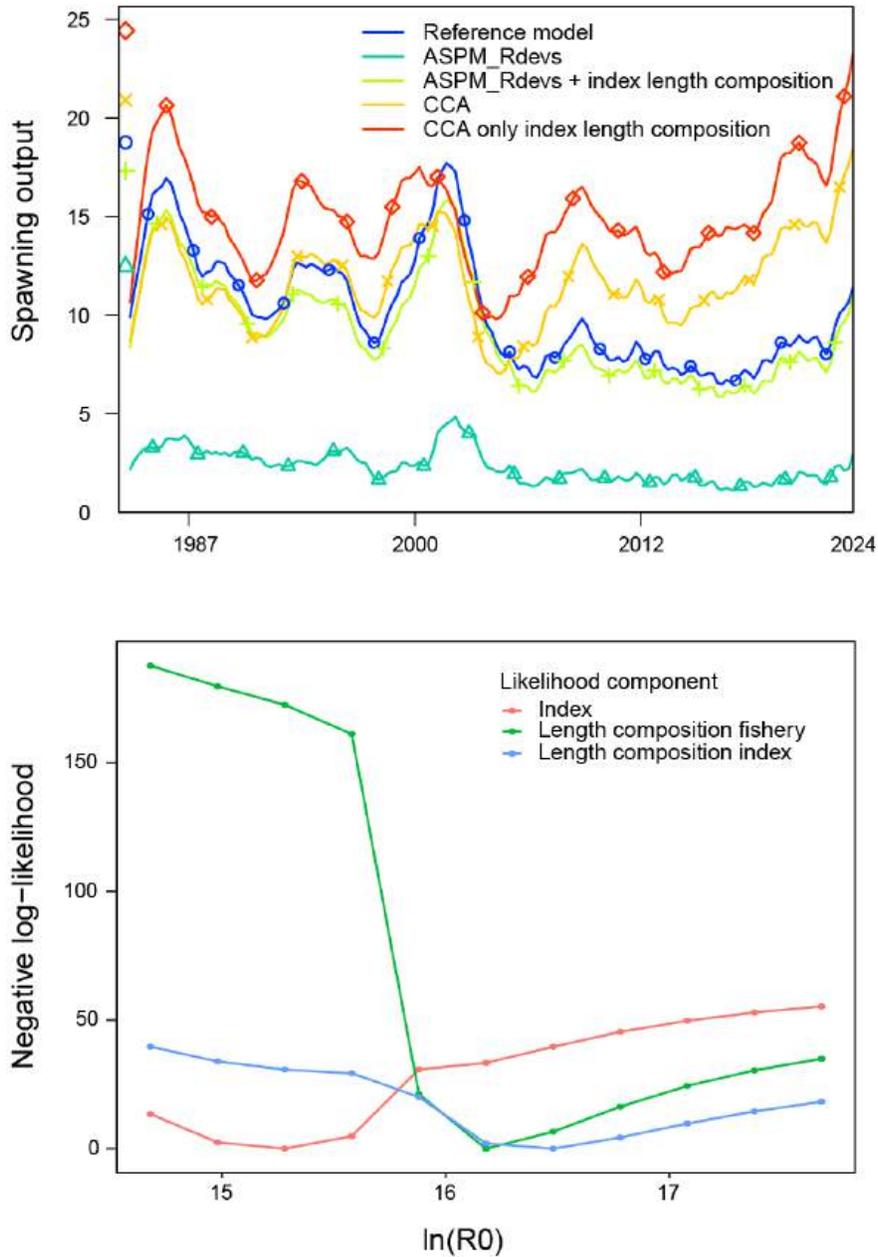


FIGURE S-2. Integrated model diagnostics (Top panel: catch curve analysis (CCA) and age structured production model diagnostic (ASPM); Bottom panel: R0 likelihood component profile) for EPO base model with steepness 1 to illustrate the main information content of the data.

FIGURA S-2. Diagnósticos integrados de modelos (Panel superior: análisis de la curva de captura (CCA) y diagnóstico del modelo de producción estructurado por edad (ASPM); Panel inferior: Perfil R0 de componentes de verosimilitud) para el modelo base del OPO con inclinación 1 para ilustrar el contenido principal de información de los datos.

Reclutamiento

Las tendencias del reclutamiento muestran patrones de similitudes y diferencias entre las hipótesis de estructura espacial (Figura S-3). Todos los modelos que componen el conjunto para cada hipótesis de estructura espacial presentan tendencias similares en el reclutamiento. Los modelos para las cuatro hipótesis de estructura espacial estiman dos picos en el reclutamiento, pero para el modelo SO el mayor pico se produce en 1998, mientras que en los otros se produce en 1999. El segundo pico se produce en 2021. Los modelos SO también estimaron un reclutamiento elevado en 2015-2017. Los modelos NE y OPO y estiman un cambio de régimen en el reclutamiento a un nivel más bajo después de este pico, mientras que el modelo SO no lo hace.

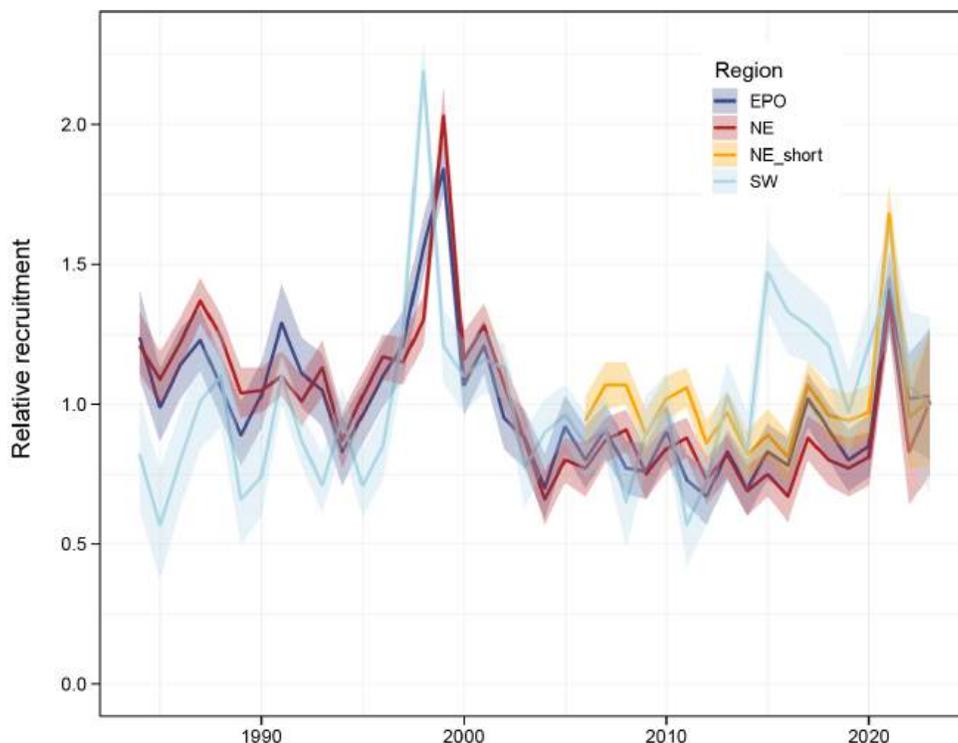


FIGURE S-3. Comparison of multi-model estimates of median relative annual recruitment and 80% confidence interval of yellowfin tuna for each hypothesis of spatial structure. The multi-model estimates include all level 2 and level 3 uncertainty scenarios.

FIGURA S-3. Comparación de las estimaciones de múltiples modelos de la mediana del reclutamiento anual relativo y del intervalo de confianza del 80% del atún aleta amarilla para cada hipótesis de estructura espacial. Las estimaciones de múltiples modelos incluyen todos los escenarios de incertidumbre de nivel 2 y 3.

Biomasa

Se estima que la biomasa reproductora en el NE es aproximadamente el doble de la estimada para el SO. La estimación para el OPO es mayor que la suma de las estimaciones para las dos poblaciones componentes. Las tendencias de la biomasa (Figura S-4) siguen generalmente las tendencias del reclutamiento. Las biomásas reproductoras elevadas son el resultado de un reclutamiento fuerte 2 o 3 años antes. Las cohortes fuertes de 1998 y 1999 en las regiones NE y SO se muestran como biomásas reproductoras elevadas en 2001 y 2002 en las dos regiones, respectivamente. Las tendencias de la biomasa desde 2010 son diametrales en las regiones NE y SO.

Los modelos del OPO entero, que utilizan el enfoque de áreas como flotas para modelar la estructura espacial, estiman niveles de biomasa reproductora mayores y más inciertos que los de NE y SO combinados, lo que indica que los modelos del OPO entero tienen dificultades para ajustar datos con señales incompatibles.

Los modelos NE y NE_short estiman biomazas reproductoras muy similares.

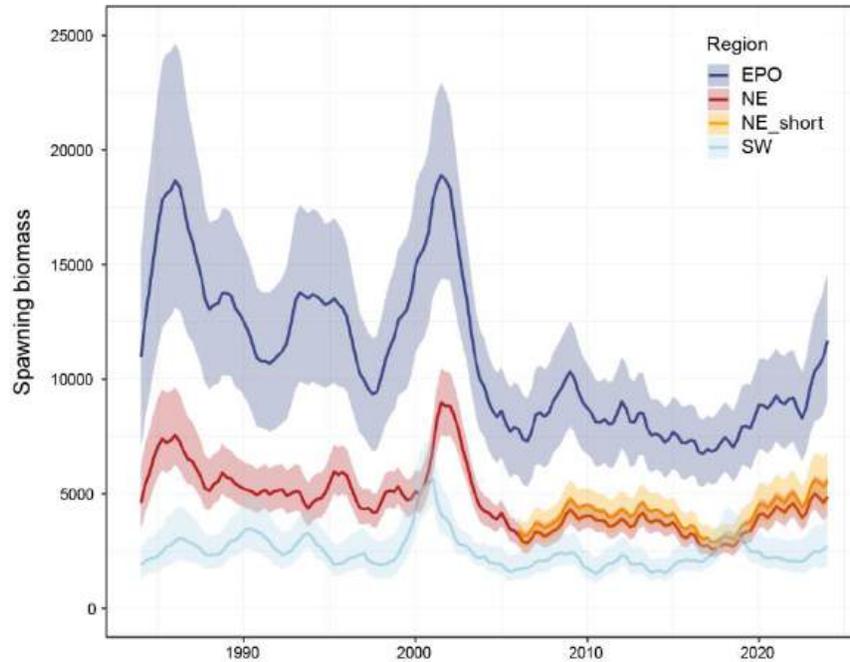


FIGURE S-4A. Comparison of multi-model estimated spawning biomass of yellowfin tuna for each hypothesis of spatial structure with 80% confidence intervals.

FIGURA S-4A. Comparación de la biomasa reproductora del atún aleta amarilla estimada en múltiples modelos para cada hipótesis de estructura espacial con intervalos de confianza del 80%.

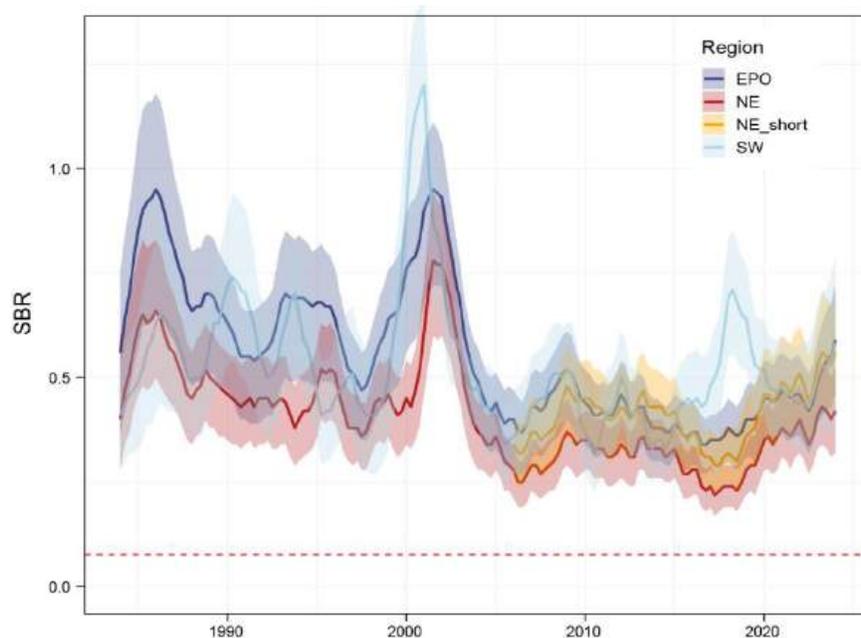


FIGURE S-4B. Comparison of multi-model estimated spawning biomass ratio (spawning biomass over equilibrium virgin spawning biomass) of yellowfin tuna for each hypothesis of spatial structure with 80% confidence intervals. The red dashed line (at 0.077) indicates the SBR at the limit reference point $S_{LÍMITE}$.

FIGURA S-4B. Comparación del cociente de biomasa reproductora del atún aleta amarilla (biomasa reproductora sobre biomasa reproductora virgen de equilibrio) estimado en múltiples modelos para cada hipótesis de estructura espacial con intervalos de confianza del 80%. La línea roja discontinua (en 0.077) indica el SBR en el punto de referencia límite $S_{LÍMITE}$.

Mortalidad por pesca

La distribución relativa de la mortalidad por pesca por edad es similar para los modelos OPO, NE y NE_short: la mortalidad por pesca es mucho mayor para las clases de mayor edad. Sin embargo, la magnitud de la mortalidad por pesca es menor para el modelo del OPO, lo que es consecuencia de que su biomasa se estima superior a la suma de las biomásas de las regiones NE y SO. La distribución relativa de la mortalidad por pesca por edad de la región SO sigue un patrón diferente. La mortalidad por pesca del aleta amarilla de edad intermedia (9-12 trimestres de edad) es inferior, ya que las capturas no asociadas son menores y la pesquería cerquera asociada a delfines suele capturar aletas amarillas de mayor tamaño. La mortalidad por pesca del aleta amarilla más joven (1-4 trimestres de edad) ha aumentado constantemente tras la expansión de la pesquería sobre plantados a mediados de la década de 1990. Después de 2015, la mortalidad por pesca de este grupo de edad supera a la de la clase de edad 5-8.

Las tendencias de la mortalidad por pesca son similares entre los modelos NE y NE_short, lo que indica que empezar el modelo más tarde no cambia la percepción de los efectos de la pesca en los últimos años. Para estas dos hipótesis, se observa un aumento general de la mortalidad por pesca en todas las clases de edad después del año 2006, un descenso después de 2015 y el mínimo al inicio de la pandemia de COVID-19 en 2020. A partir de entonces, la mortalidad por pesca aumenta, sobre todo en el caso de los aletas amarillas de más edad.

El aumento de la mortalidad por pesca observado en los últimos cinco años en el área NE no es compartido por el modelo del OPO. Es posible que esto se deba a la influencia del área SO, que tiene una mortalidad por pesca estable seguida de un fuerte descenso en 2023. Esto indica que el uso de un modelo del OPO entero puede subestimar y enmascarar las tendencias regionales de la mortalidad por pesca.

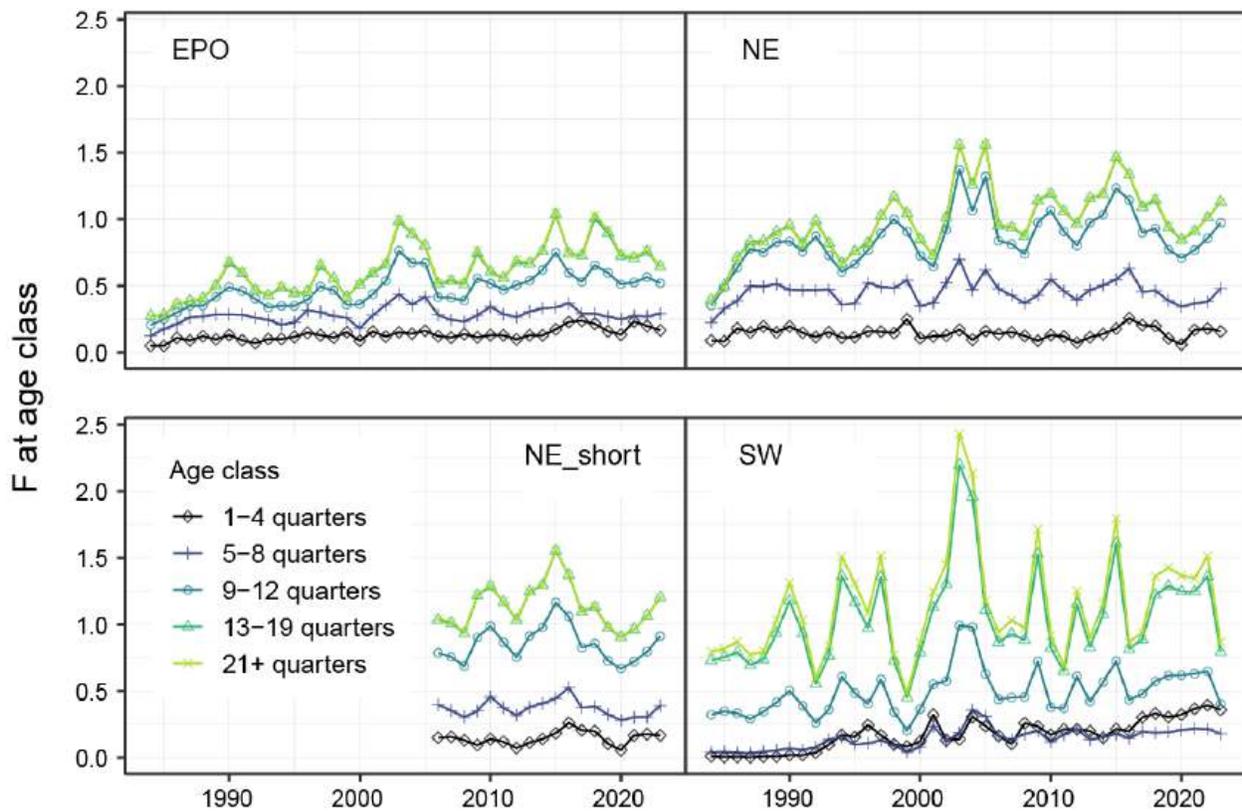


FIGURE S-5. Annual fishing mortality at age (sum of the four quarterly estimates within a year) of yellowfin by age group for each hypothesis of spatial structure (level 1). The values for each age group are weighted across level 2 and level 3 hypotheses.

FIGURA S-5. Mortalidad por pesca anual por edad (suma de las cuatro estimaciones trimestrales dentro de un año) de aleta amarilla por grupo de edad para cada hipótesis de estructura espacial (nivel 1). Los valores para cada grupo de edad están ponderados entre las hipótesis de nivel 2 y nivel 3.

IMPACTO DE LA PESCA

Los modelos OPO, NE y NE_short estiman impactos similares de los diferentes tipos de pesquerías (Figura S-6). Las pesquerías palangreras tienen el menor impacto, mientras que las pesquerías cerqueras asociadas a delfines tienen el mayor impacto durante la mayor parte del periodo modelado. Las pesquerías no asociadas tuvieron el segundo mayor impacto en los primeros años, pero en la década de 1990 el impacto de las pesquerías sobre objetos flotantes comenzó a aumentar y superó al de las pesquerías no asociadas alrededor de 2008.

En el caso de los modelos SO el impacto de los distintos tipos de lance de cerco ha cambiado considerablemente con el tiempo. La pesquería palangrera y la pesquería cerquera asociada a delfines tuvieron el mayor impacto hasta mediados de la década de 1990, cuando se produjo una expansión de la pesquería sobre objetos flotantes, que aumentó de forma constante su impacto y se convirtió en la pesquería con mayor impacto en esta región, mayor que todas las demás pesquerías juntas. La pesquería palangrera ha disminuido tanto su esfuerzo como su impacto sobre el aleta amarilla en esa área. La pesquería asociada a delfines ha aumentado lentamente su impacto absoluto en esta región, pero en proporción se ha mantenido estable desde el año 2000.

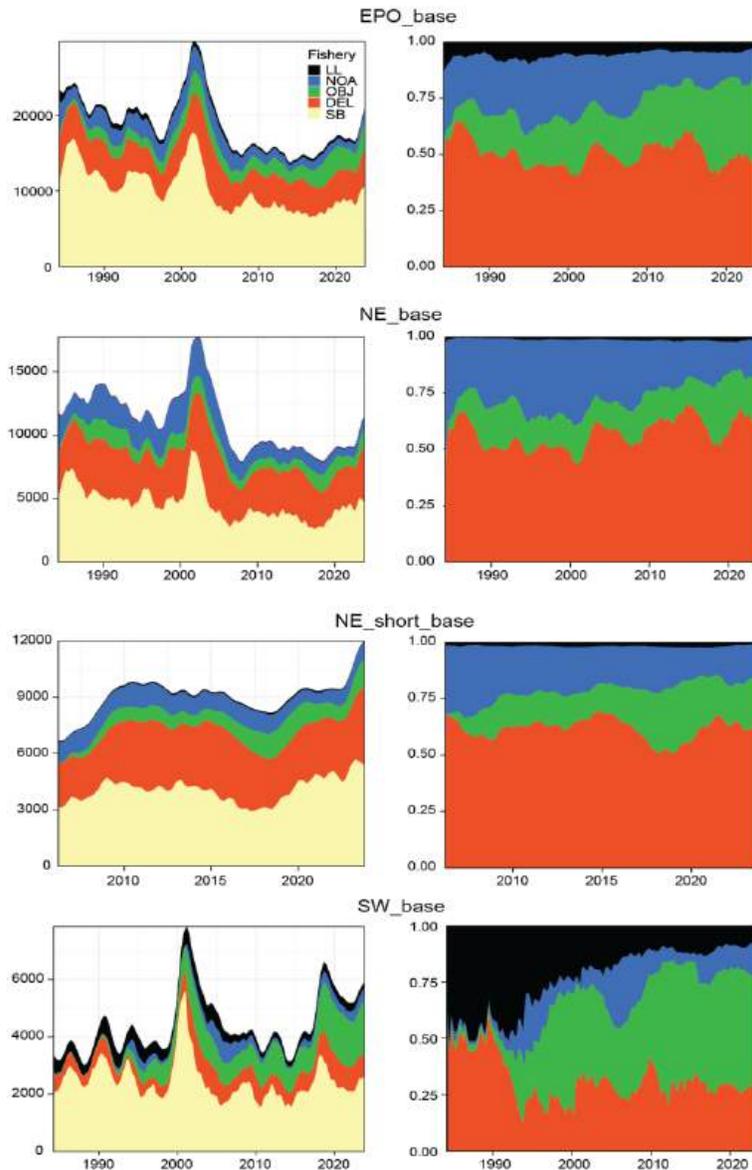


FIGURE S-6. Impact of the different fishing methods on the spawning biomass. Left panels: comparison of spawning biomass trajectory of a simulated population of yellowfin tuna that was never exploited (colored area) and that predicted by the stock assessment model (SB, yellow shaded area), and the impact of each fishing method (purse-seine on floating objects OBJ, also includes sorting discards and pole and line, purse-seine associated with dolphins DEL, purse-seine unassociated NOA and longline LL fisheries) for each stock structure hypothesis calculated from the base reference models with steepness of 1. Right panels: Proportional impacts.

FIGURA S-6. Impacto de los diferentes métodos de pesca en la biomasa reproductora. Paneles de la izquierda: comparación de la trayectoria de la biomasa reproductora de una población simulada de aleta amarilla que nunca fue explotada (área coloreada) y la predicha por el modelo de evaluación (SB, área sombreada en amarillo), y el impacto de cada método de pesca (cerco sobre objetos flotantes OBJ, también incluye descartes y caña, cerco asociado a delfines DEL, cerco no asociado NOA y pesquerías de palangre LL) para cada hipótesis de estructura de la población calculada a partir de los modelos de referencia base con inclinación de 1. Paneles de la derecha: impactos proporcionales.

CONDICIÓN DE LA POBLACIÓN

Con respecto a los puntos de referencia objetivo y límite provisionales de la CIAT, las cuatro hipótesis de estructura espacial estiman la misma condición de la población (Tabla S-1). Se estima que la(s) población(es) está(n) muy por encima de la biomasa reproductora correspondiente al RMS (S_{RMS}) y del sustituto del RMS propuesto por el personal $S_{30\%}$ ([SAC-15-05](#)), con baja probabilidad de estar por debajo de éstos. Se estima que la mortalidad por pesca está muy por debajo del nivel correspondiente al RMS y del sustituto del RMS $F_{30\%}$, con una probabilidad baja de estar por encima de éstos. La evaluación estima una probabilidad cero de que se hayan traspasado los puntos de referencia límite de biomasa reproductora o de mortalidad por pesca. El modelo del OPO es el más optimista.

Los modelos más pesimistas son los que tienen una mortalidad natural baja (Figuras S-7A, S-7B y S-8). Algunos de estos modelos estiman que la biomasa reproductora está por debajo de $S_{30\%}$ y la mortalidad por pesca está por encima de $F_{30\%}$. Los niveles de mortalidad natural elevados suelen ser los más optimistas.

Las estimaciones de SBR (cociente entre la biomasa reproductora y la biomasa reproductora virgen) correspondientes al RMS son bajas (en general, inferiores al 20%, Tabla S-1), a pesar de que la mayor mortalidad por pesca se da en los aletas amarillas de más edad. El valor es mayor con una menor inclinación de la relación población-reclutamiento y una menor mortalidad natural. Por ejemplo, el modelo SO sin relación entre el tamaño de la población y el reclutamiento (inclinación igual a 1) y una mortalidad natural elevada tiene un valor del 5%, mientras que el modelo NE_short con una inclinación igual a 0.8 y una mortalidad natural baja tiene un valor del 32%. El bajo nivel de SBR correspondiente al RMS podría deberse a los supuestos sobre la disminución de la mortalidad natural con la edad (es decir, una M elevada para los juveniles).

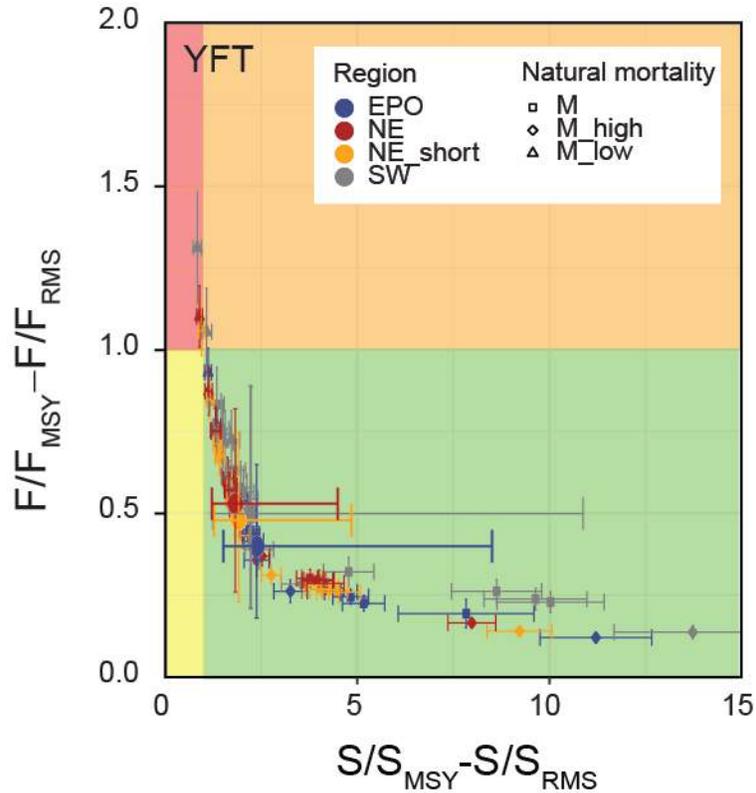


FIGURE S-7A. Kobe plot of the most recent estimates of spawning biomass (S) and fishing mortality (F) relative to their target reference points (S_{MSY_d} and F_{MSY}) for each hypothesis of spatial structure. Each dot is based on the average F over the most recent three years, 2021-2023, and the S for the first quarter of 2024 and the error bars represent the 80% confidence interval of model estimates. The larger dots represent the combined result for each spatial structure hypothesis.

FIGURA S-7A. Gráfica de Kobe de las estimaciones más recientes de biomasa reproductora (S) y mortalidad por pesca (F) en relación con sus puntos de referencia objetivo (S_{RMS_d} y F_{RMS}) para cada hipótesis de estructura espacial. Cada punto se basa en la F promedio de los tres años más recientes, 2021-2023, y la S del primer trimestre de 2024, y las barras de error representan el intervalo de confianza del 80% de las estimaciones del modelo. Los puntos más grandes representan el resultado combinado para cada hipótesis de estructura espacial.

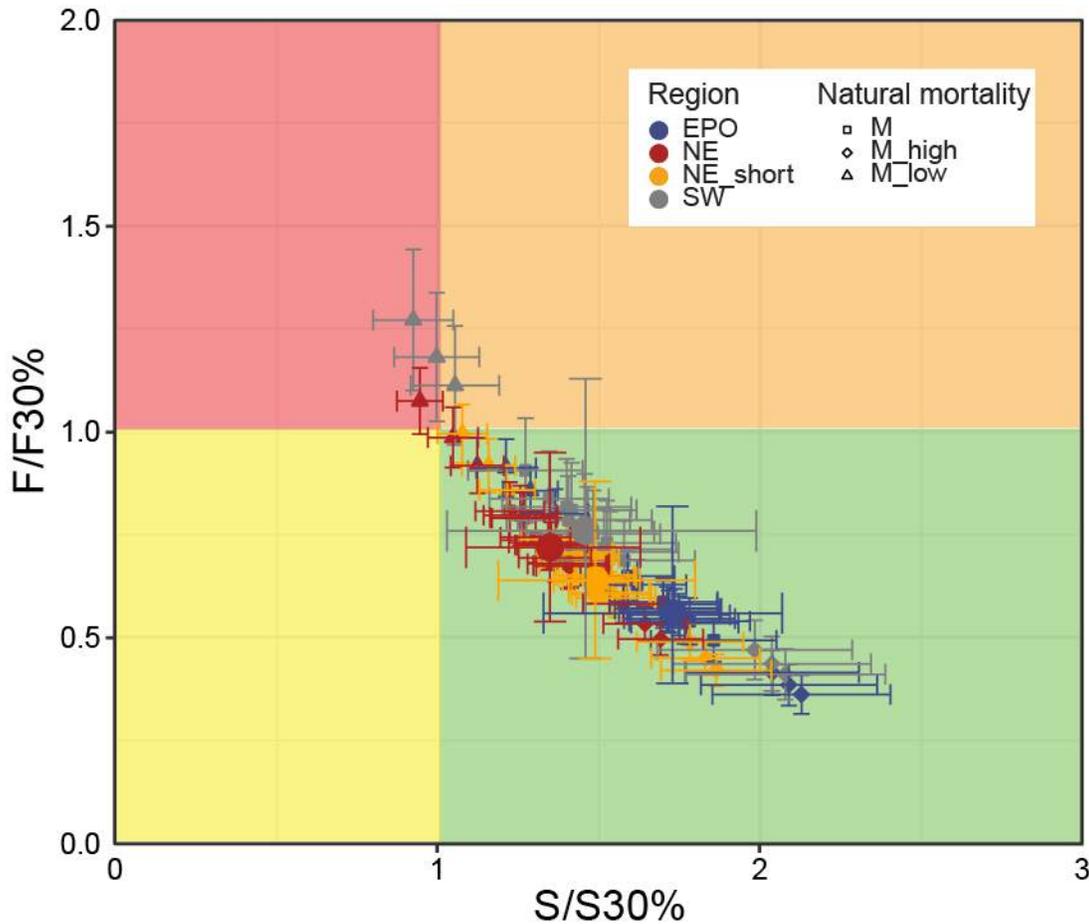


FIGURE S-7B. Kobe plot of the most recent estimates of spawning biomass (S) and fishing mortality (F) relative to their proxy target reference points ($30\%S_d$ and $F_{30\%S_d}$) for each hypothesis of spatial structure. Each dot is based on the average F over the most recent three years, 2021-2023, and the S for the first quarter of 2024 and the error bars represent the 80% confidence interval of model estimates. The larger dots represent the combined result for each spatial structure hypothesis.

FIGURA S-7B. Gráfica de Kobe de las estimaciones más recientes de biomasa reproductora (S) y mortalidad por pesca (F) relativas a sus puntos de referencia objetivo sustitutos ($30\%S_d$ y $F_{30\%S_d}$) para cada hipótesis de estructura espacial. Cada punto se basa en la F promedio de los tres años más recientes, 2021-2023, y la S del primer trimestre de 2024, y las barras de error representan el intervalo de confianza del 80% de las estimaciones del modelo. Los puntos más grandes representan el resultado combinado para cada hipótesis de estructura espacial.

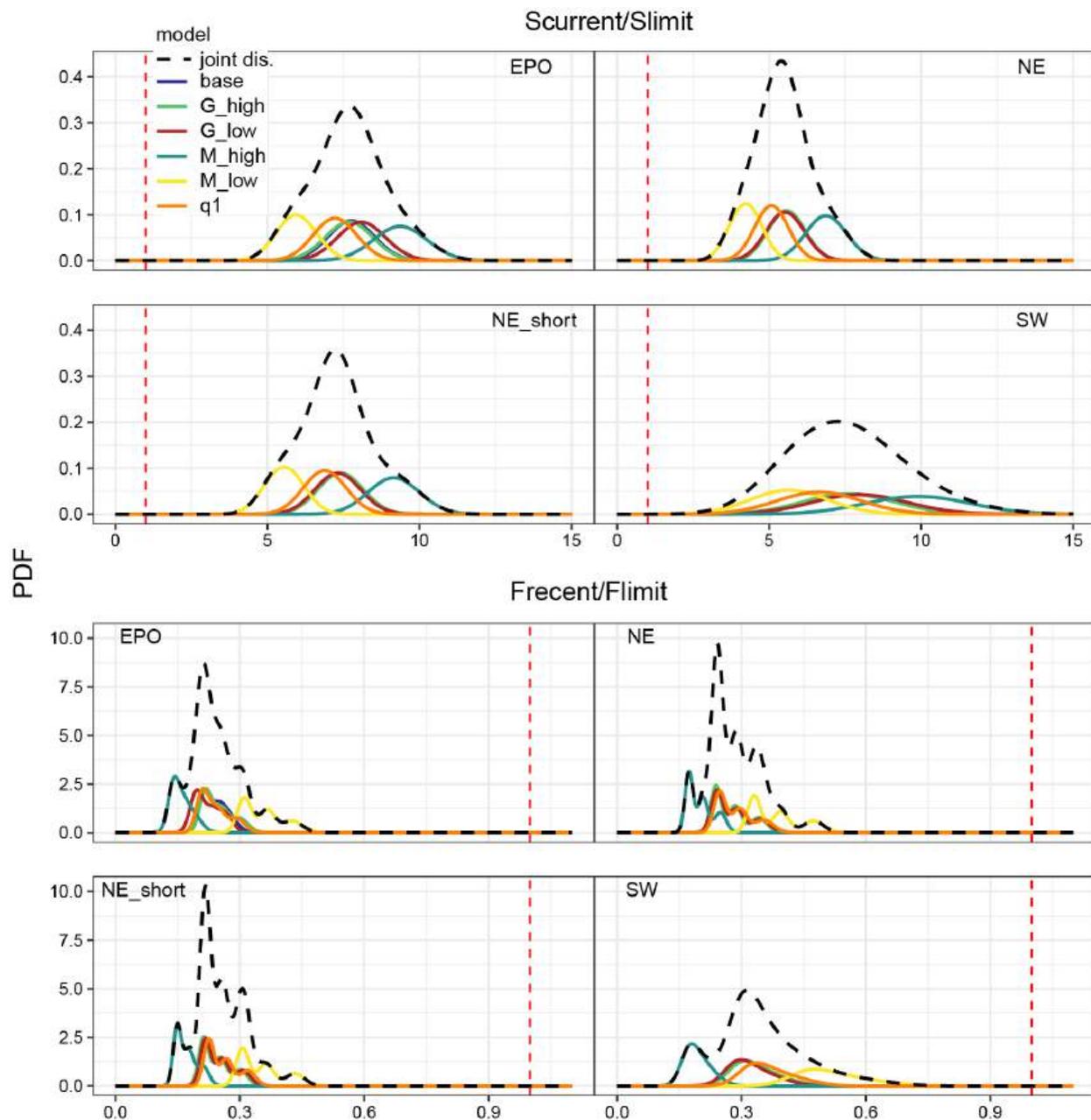


FIGURE S-8. The joint probability distributions for spawning biomass (S) in the first quarter of 2024 and average fishing mortality (F) in 2021-2023 relative to their limit reference points (S_{Limit} and F_{Limit}). The distributions are provided for each of the four spatial structure hypotheses separated into different components (level 2 hypotheses). The level 3 hypotheses (steepness values) were integrated out.

FIGURA S-8. Las distribuciones de probabilidad conjunta para la biomasa reproductora (S) en el primer trimestre de 2024 y la mortalidad por pesca (F) promedio en 2021-2023 en relación con sus puntos de referencia límite ($S_{Límite}$ y $F_{Límite}$). Las distribuciones se proporcionan para cada una de las cuatro hipótesis de estructura espacial separadas en distintos componentes (hipótesis de nivel 2). Las hipótesis de nivel 3 (valores de inclinación) se integraron fuera.

TABLE S-1. Management quantities for yellowfin tuna in the EPO for each spatial structure hypothesis. The medians (or expected values *) and probabilities were obtained from the join probability distributions across models.

TABLA S-1. Cantidades de ordenación para el atún aleta amarilla en el OPO para cada hipótesis de estructura espacial. Las medianas (o valores esperados *) y probabilidades fueron obtenidas de las distribuciones de probabilidad conjunta en todos los modelos.

	OPO	NE	NE_short	SO
$SRMS/SO^*$	0.180	0.189	0.194	0.162
$SRMS_d/SO_d^*$	0.190	0.192	0.201	0.170
$F_{actual}/F_{30\%SO_d}$	0.559	0.718	0.643	0.757
$p(F_{actual} > F_{30\%SO_d})$	0.002	0.059	0.020	0.161
F_{actual}/F_{RMS}	0.397	0.532	0.484	0.502
$p(F_{actual} > F_{RMS})$	0.004	0.034	0.031	0.075
$F_{actual}/F_{LÍMITE}$	0.232	0.272	0.243	0.330
$p(F_{actual} > F_{LÍMITE})$	0.000	0.000	0.000	0.000
$S_{actual}/30\%SO_d$	1.73	1.35	1.49	1.46
$p(S_{actual} < 30\%SO_d)$	0.0000588	0.044	0.004	0.081
$S_{(actual)}/S_{(RMS_d)}$	2.38	1.82	1.91	2.22
$p(S_{actual} < S_{RMS_d})$	0.000	0.000	0.000	0.000
$S_{actual}/S_{LÍMITE}$	7.67	5.43	7.23	7.48
$p(S_{actual} < S_{LÍMITE})$	0.000	0.000	0.000	0.000