

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL
GRUPO DE TRABAJO AD HOC PERMANENTE SOBRE PLANTADOS
8ª REUNIÓN

La Jolla, California (EE. UU.)
7-8 de junio de 2024

DOCUMENTO FAD-08-02

**ÍNDICES DE BIOMASA DE ATUNES TROPICAL DERIVADOS DE BOYAS CON
ECOSONDA EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL**

Jon Uranga¹, Jon López², Maitane Grande¹, Cleridy E. Lennert-Cody², Iñaki Quincoces¹, Mark N. Maunder², Alexandre Aires-da-Silva², Gorka Merino¹, Hilario Murua³, Josu Santiago¹

RESUMEN EJECUTIVO

La colaboración con algunas asociaciones de armadores de buques atuneros y fabricantes de boyas que operan en el Océano Pacífico oriental permitió acceder a la información recolectada por sus boyas satelitales con ecosonda desde 2012. Estas boyas proporcionan a los pescadores información remota en tiempo real a los pescadores sobre la geolocalización y la abundancia de peces debajo de los dispositivos agregadores de peces (plantados). Por lo tanto, las boyas con ecosonda sirven como plataformas eficaces de observación del medio pelágico y ofrecen la posibilidad de evaluar la abundancia de atunes en los plantados de manera rentable e independiente de la captura. Sin embargo, las boyas con ecosonda actuales proporcionan un único valor de biomasa y no distinguen entre especies ni tienen en cuenta la composición por talla de los peces. Por lo tanto, para obtener índices por especie, los datos de las boyas con ecosonda actualmente deben combinarse con datos de pesca, en particular, con información sobre la composición por especie y talla. En este artículo se presenta una estimación actualizada de índices de abundancia para los atunes barrilete, aleta amarilla y patudo en el Océano Pacífico oriental utilizando datos de boyas con ecosonda para el periodo 2012-2023. Estos índices se utilizaron en las evaluaciones de referencia de la CIAT del atún barrilete y se exploraron para las evaluaciones de los atunes patudo y aleta amarilla en 2024.

1. INTRODUCCIÓN

Históricamente, las evaluaciones de poblaciones de especies de atunes tropicales se han basado casi exclusivamente en índices de abundancia que dependen de las capturas comerciales y el esfuerzo de pesca obtenido de las bitácoras de los capitanes o de los datos de los observadores (Maunder y Punt 2004). Estos datos se integran en los modelos de evaluación de poblaciones para evaluar la condición y la evolución de las poblaciones de peces, proporcionando información sobre tendencias relativas en la abundancia de peces (Quinn y Deriso 1999). Estas tendencias se suelen monitorear con índices de abundancia relativa basados en la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE), que se relacionan con la abundancia a través del coeficiente de capturabilidad (q). Sin embargo, diversos factores, como las variaciones en la eficacia pesquera, la dinámica espacial de la flota o especies y las condiciones ambientales pueden afectar esta proporcionalidad (Maunder y Punt 2004; Maunder *et al.* 2006). Por lo tanto, la estandarización de la CPUE se utiliza para eliminar estos efectos e identificar los cambios

¹ AZTI, Marine Research, Basque Research and Technology Alliance (BRTA). Txatxarramendi ugarteaa z/g, 48395. Sukarrieta - Bizkaia, España

² Comisión Interamericana del Atún Tropical, 8901 La Jolla Shores Drive, La Jolla CA 92037, USA

³ International Seafood Sustainability Foundation (ISSF), 3706 Butler Street Suite #316, 15201-1820 Pittsburgh, PA (USA). hmurua@issf-foundation.org

relacionados con la abundancia de la población.

La incorporación de nuevas tecnologías y el uso extensivo de dispositivos agregadores de peces (plantados) han provocado un aumento significativo de la eficacia pesquera de la pesquería de cerco de atunes tropicales (López *et al.* 2014; Torres-Irineo *et al.* 2014; Gaertner *et al.* 2016). Sin embargo, los científicos tienen dificultades para estandarizar la CPUE de la pesquería sobre plantados debido a las dificultades asociadas a la falta de un buen sustituto del esfuerzo de cerco y a la inclusión de covariables de escala fina que reflejen los cambios tecnológicos y la progresión del esfuerzo de la pesquería (Gaertner *et al.* 2016; Katara 2018; Wain 2021). Por consiguiente, la CPUE de la pesquería de cerco sobre plantados no se ha incluido normalmente en los modelos de evaluación de poblaciones de atunes tropicales en el Océano Pacífico oriental (OPO). No obstante, los proyectos colaborativos exitosos entre la ciencia y la industria han comenzado a brindar información valiosa sobre la adopción de avances tecnológicos para la flota cerquera de atunes tropicales para mejorar el proceso de estandarización de la CPUE (Wain 2021) y, en última instancia, las evaluaciones de los atunes tropicales.

La introducción de boyas satelitales con ecosonda sujetas a plantados en las operaciones de pesca habituales (Scott 2014) ofrece un método alternativo para observar la dinámica de las agregaciones en los plantados y estimar índices independientes de la captura. Estas boyas instrumentadas brindan información en tiempo real a los pescadores sobre la posición del plantado y una estimación aproximada de la biomasa de peces debajo de ellos, lo que las convierte en plataformas rentables de observación para monitorear remotamente agregaciones de atunes y otras especies de forma sistemática y no invasiva. En los últimos años, las colaboraciones entre la industria y la investigación han permitido recolectar datos derivados de boyas y se han desarrollado marcos metodológicos científicos para extraer información fiable de estos datos (por ejemplo, Orue *et al.*, 2019). Esta información ha demostrado ser útil para la investigación científica, permitiendo una variedad de investigaciones sobre el comportamiento y la ecología de los atunes alrededor de los plantados y el desarrollo de índices de abundancia derivados de boyas, entre otros (por ejemplo, López *et al.* 2014; Capello *et al.* 2016; Moreno 2016; Orue *et al.*, 2019; Santiago *et al.* 2019; Baidai 2020). Los resultados de este esfuerzo colaborativo se presentaron por primera vez en la 5ª reunión del Grupo de Trabajo sobre Plantados de la CIAT.

Sobre la base de este logro, se estableció un marco colaborativo entre la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) y AZTI, en asociación con proveedores de boyas con ecosonda y algunas de las empresas pesqueras de buques cerqueros que pescan atunes tropicales en el OPO (es decir, empresas integradas en la asociación de armadores OPAGAC-AGAC y Cape Fisheries), con el apoyo especial de la International Seafood Sustainability Foundation (ISSF). En los últimos años (Santiago *et al.* 2019, Santiago *et al.* 2020, Santiago *et al.* 2020b, Santiago *et al.* 2021, Uranga *et al.* 2024), se desarrollaron índices de abundancia derivados de las boyas con ecosonda (IAB) para las evaluaciones de las tres especies de atunes tropicales (aleta amarilla, patudo y barrilete) en el Océano Atlántico. De manera similar, el índice IAB fue integrado en la evaluación provisional del barrilete de la CIAT en 2022 ([SAC-13-07](#)). El índice de boyas desarrollado para el barrilete se utilizó en las evaluaciones de referencia de la CIAT de 2024, y se exploró su inclusión en las evaluaciones del patudo y el aleta amarilla (ver SAC-15-02, SAC-15-03 y SAC-15-04 para más detalles).

En este documento se presentan índices de abundancia actualizados para las especies de atunes tropicales en el OPO utilizando datos de boyas con ecosonda de 2012 a 2023 y se describen los avances logrados desde la última actualización de los índices, así como se discuten mejoras futuras de la metodología.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Prefiltrado de datos acústicos

Los principales datos utilizados en este análisis fueron recolectados por boyas satelitales con

ecosonda sujetas a plantados en la pesquería de cerco de atunes tropicales del OPO. Dado que los autores han desarrollado métodos para estimar estimaciones de biomasa por especie para las boyas Satlink (por ejemplo, Orue *et al.* 2019), en este análisis solo se utilizaron los datos recolectados por este fabricante de boyas. Las especificaciones técnicas de cada modelo de boya se presentan en la Tabla 1. Las boyas registran información desde los 3 hasta los 115 m de profundidad, dividida en 10 estratos verticales uniformes, cada una con una resolución de 11.2 m. Cabe señalar que los primeros 3 m corresponden a la zona ciega y no proporcionan datos utilizables. Durante el periodo analizado, 2012-2023, se utilizaron cinco modelos diferentes de boyas: DS+, DSL, ISD, ISL y SLX (Tabla 1).

La serie de tiempo de 2012 a 2023 contiene dos tipos principales de información: i) datos históricos (2012-2021) notificados voluntariamente por empresas pesqueras como Albacora, Calvo, Garavilla, Ugavi, y Cape Fisheries, así como ii) datos recientes (2022-2023) notificados por toda la flota en virtud de la resolución C-21-04. Los datos históricos contienen información de un total de 23 buques cerqueros y 5 CPC (Panamá, España, Ecuador, El Salvador, EE. UU.). Los datos de los años más recientes (es decir, 2022-2023) incluyen información de toda la flota operacional del OPO, incrementando significativamente el número de buques y CPC (un total de 162 buques y 8 CPC) y ampliando el área de estudio (Figura 1).

La base de datos utilizada para este análisis incluía un total de 38.9 millones de registros acústicos de 62,382 boyas individuales. Se descartaron los datos del primer semestre de 2012 debido al bajo número de registros disponibles (Figura 1). Además, los registros acústicos de áreas con un bajo número de observaciones (menos de 30 registros en rectángulos estadísticos de 5°x5°) y los que estaban al oeste de 150°O se excluyeron de este análisis.

De cada registro individual de datos, transmitido por la boya vía satélite, se extrajo la siguiente información: “Name”, identificación alfanumérica única de la boya, dada por el código del modelo (DS+, DSL, ISL, ISD, SLX) seguido por 5-6 dígitos, “OwnerName”, nombre del dueño de la boya asignada a un buque cerquero único, “MD”, descriptor del mensaje (160, 161 y 162 para datos de posición, sin datos de ecosonda, y 163, 168, 169 y 174 para datos de ecosonda), “StoredTime”, fecha (día/mes/año) y hora (HH:MM) de la posición y los registros de la ecosonda; “Latitude, Longitude”, información de ubicación del GPS asociada al registro (en grados decimales), “Bat”, nivel de carga de la batería de la boya, en porcentaje (no se proporciona, excepto los modelos D+ y DS+, en voltaje); “Speed”, velocidad estimada de la boya en nudos, “Layer1-Layer10”, toneladas estimadas de atún por estrato (los valores se estiman con base en el método del fabricante que convierte la retrodispersión acústica sin procesar en biomasa en toneladas, utilizando un procedimiento de eointegración de estrato por profundidad basado exclusivamente en un algoritmo que utiliza la fuerza de blanco (TS, de Target Strenght) y peso del atún barrilete), “Sum”, suma de la biomasa estimada para todos los estratos “Max”, biomasa máxima estimada en cualquier estrato y “Mag1, Mag3, Mag5 y Mag7”, magnitudes correspondientes a los conteos de objetivos detectados según la TS del pico de detección.

Se aplicó un conjunto de cinco filtros a los datos originales para eliminar artefactos: 1) filas aisladas, duplicadas y ubicuas, que a menudo son causadas por incidentes de comunicación satelital; 2) boyas ubicadas a 1 km o más cerca de tierra o ubicadas en la plataforma continental (es decir, aquellas situadas en puertos pesqueros o con profundidades de fondo inferiores a 200 m), que fueron detectadas y eliminadas usando datos de la costa de la base de datos GSHHG (Wessel 1996) y una información batimétrica global (Amante and Eakins 2009); y 3) posiciones “a bordo” o “en el mar”, que fueron identificadas mediante un algoritmo de Bosques Aleatorios (Orue *et al.* 2019; Santiago *et al.* 2020). Estos casos suelen producirse cuando se activa una boya a bordo de un buque antes de la siembra y posterior a la recuperación.

Además de los filtros de limpieza de datos mencionados anteriormente, se utilizaron los siguientes criterios de selección (Santiago *et al.* 2020) a fin de elaborar el conjunto final de datos para el análisis de estandarización. En primer lugar, se excluyeron los estratos menos profundos (<25m) porque se

considera que reflejan potencialmente especies que no son atunes (por ejemplo, Orue *et al.* 2019). En segundo lugar, solo se consideraron para el análisis los datos registrados alrededor de la salida del sol, entre las 4 a.m. y las 8 a.m. hora local, porque se cree que capturan mejor la biomasa que está debajo de los plantados (por ejemplo, Moreno *et al.* 2007 y FAD-06-01; las horas cercanas a la salida del sol son las preferidas por los pescadores para los lances sobre plantados). Finalmente, se seleccionaron datos acústicos pertenecientes a “segmentos vírgenes” para utilizar el segmento de trayectoria de una boya cuyo plantado asociado probablemente represente una nueva siembra que ha sido potencialmente colonizado por atunes y aún no ha sido pescado. Para calcular los segmentos vírgenes, la información de una sola boya se dividió en segmentos más pequeños en los que la diferencia entre dos observaciones consecutivas de la misma boya superaba los 30 días. Aunque esto puede representar boyas que se han resembrado, parece poco probable, ya que las resiembras suelen producirse en un corto periodo de tiempo. Se eliminaron los segmentos con menos de 30 observaciones y los que tenían una diferencia de tiempo entre cualquiera de las observaciones consecutivas mayor de 4 días durante los primeros 35 días. Finalmente, a partir de los datos restantes, se utilizó información correspondiente a 20-35 días en el mar, ya que este es el tiempo durante el cual los plantados parecen ser colonizados (Orue *et al.* 2019). La [Figura 2](#) muestra un diagrama con un ejemplo de segmentos “vírgenes” utilizados para calcular el índice IAB.

2.2 De datos acústicos a un indicador de abundancia por especie

A fin de calcular la biomasa agregada bajo un plantado a partir de la señal acústica, Satlink utiliza la fuerza de blanco (TS) de una especie, el barrilete, para proporcionar la biomasa en toneladas y, por lo tanto, los datos de biomasa de Satlink deben convertirse a decibeles (información acústica) invirtiendo su fórmula para el cálculo de la biomasa. Una vez que se dispone de la información acústica sin procesar, se puede volver a calcular en biomasa por especie utilizando ecuaciones estándar de estimación de abundancia acústica (Simmons y MacLennan 2005):

$$Biomasa_i = \frac{s_v \cdot Vol \cdot p_i}{\sum_i \sigma_i \cdot p_i}$$

donde s_v es la fuerza de retrodispersión del volumen, Vol es el volumen muestreado del haz y p_i y σ_i son la proporción y la fuerza de blanco linealizada de cada especie i respectivamente.

Las proporciones de las especies en peso en resolución de $1^\circ \times 1^\circ$ y mensual se extrajeron de bitácoras (para los buques de clases 1-5, ≤ 363 t) y de datos de observadores (para los buques de clase 6, >363 t) para 14 pabellones. Las tallas promedio de los peces (L_i), para una resolución de $5^\circ \times 5^\circ$ de área-mes, se obtuvieron a partir de datos de muestreo en puerto de la CIAT para el barrilete (SKJ), el patudo (BET) y el aleta amarilla (YFT), que se extrapolaron a la captura en las bodegas muestreadas. Los pesos se estimaron utilizando los factores de conversión peso-talla de la CIAT. Luego, se usaron las siguientes relaciones de fuerza de blanco-talla para obtener la TS linealizada por kilogramo:

$$\sigma_i = \frac{10^{(TS)/10}}{w_i}$$

donde w_i es el peso promedio de cada especie y TS es la sección transversal de retrodispersión de cada especie de pez individual. Se supone que el valor lineal de TS es proporcional al cuadrado de la talla del pez (Simmons y MacLennan 2005).

$$TS = 20 \log(L_i) + b_{20}$$

Dado que cada marca usa diferentes frecuencias de operación, utilizamos diferentes valores de b_{20} para cada especie (b_{20} es la llamada fuerza de blanco reducida). Los valores de b_{20} se obtuvieron de Boyra *et al.* (2018) para SKJ, de Sobradillo *et al.* (2024) para YFT y de Boyra *et al.* (2018) para BET.

Para obtener información sobre la composición de la captura y la talla de los peces para los estratos de área-tiempo correspondientes de los registros acústicos, se actualizó el proceso jerárquico anterior

de tres pasos en un enfoque jerárquico de cinco pasos de mayor resolución. Primero se utilizaron los datos de distribución de especies de la misma cuadrícula de 1°x1°, año y mes. Si no se disponía de esos datos, se utilizaron los datos de distribución de especies de la misma cuadrícula de 5°x5°, año y mes. En un tercer nivel, se amplió la ventana espacial, y el personal de la CIAT definió las áreas específicas para las evaluaciones de los atunes tropicales barrilete (A), patudo (B), y aleta amarilla (C), con base en las capturas y la estructura de la pesquería sobre objetos flotantes. En un cuarto nivel, los datos se agregaron por trimestre y cuadrícula de 5°x5°. Finalmente, si no se disponía de las opciones anteriores, se utilizaron valores promedio a una resolución trimestral y regional, como se muestra en la [Figura 3](#).

Es importante señalar que el primer nivel no se aplica a la talla de los peces, ya que los datos de frecuencia de tallas solo están disponibles con una resolución de 5°x5°.

Los resultados presentados en este documento se refieren específicamente a la fracción de la señal acústica que se estima es informativa para la biomasa de las tres especies principales de atunes tropicales.

2.3 Índice IAB: Índice de Abundancia Derivado de las Boyas

El índice de abundancia derivado de las boyas, IAB, se determinó como el cuantil 0.9 de las observaciones de energía acústica integrada en cada una de las secuencias “vírgenes”. Se eligió un cuantil alto porque es probable que los valores grandes sean producidos por atunes, al contrario de otras especies. Este supuesto también la usan todos los fabricantes de boyas del mercado, que utilizan el valor máximo como resumen de biomasa para cada intervalo de tiempo. En este estudio, se seleccionó un cuantil alto en lugar del máximo para proporcionar un estimador más sólido al eliminar valores atípicos. El número total de secuencias “vírgenes” analizadas, y por tanto el número de observaciones incluidas en el modelo, fue de 7,671, de las cuales 7,595 (99%) tuvieron valores positivos.

2.4 Modelo estadístico

Con base en la información proporcionada, las covariables utilizadas en el proceso de estandarización y ajustadas como variables categóricas fueron año-trimestre, área de 5°x5° y modelo de boya. Además, se incluyeron como variables continuas en el modelo un sustituto de 1°x1° y densidades mensuales de plantados y las siguientes variables ambientales: espesor de la capa de mezcla oceánica, clorofila, temperatura superficial del mar (TSM) y frentes de TSM y clorofila. El modelo supone que la señal de la boya con ecosonda es proporcional a la abundancia de peces debajo del plantado, lo que es similar a la relación fundamental entre la CPUE y la abundancia ampliamente utilizada en el análisis cuantitativo de las pesquerías.

$$IAB_t = \phi \cdot B_t$$

donde IAB_t es el Índice de Abundancia Derivado de las Boyas y B_t es la abundancia en el tiempo t (Santiago *et al.*, 2016).

Aunque parezca obvio, no hay mucha literatura disponible sobre la relación entre los indicadores acústicos y el rendimiento de la pesca. En general, se supone que la ecointegración acústica es un proceso lineal, es decir, proporcional al número de objetivos (Simmons y MacLennan 2005) y se ha demostrado experimentalmente que es correcto con algunas limitaciones (Foote, 1983; Røttingen, 1976). Por lo tanto, los datos acústicos (vía ecointegración) se toman comúnmente como un sustituto de la abundancia y se utilizan para obtener estimaciones acústicas de la abundancia de muchas especies pelágicas (Hampton 1996; ICES 2015; Masse *et al.* 2018).

Al igual que con la capturabilidad, el coeficiente de proporcionalidad (ϕ) no es constante por muchas razones. Para asegurar que se pueda suponer que ϕ sea constante (es decir, para controlar los efectos

distintos a los causados por cambios en la abundancia de la población) se debe realizar un análisis de estandarización con el objetivo de eliminar factores distintos a los cambios en la abundancia de la población. Esto se puede realizar estandarizando las mediciones nominales de la boya con ecosonda utilizando un enfoque de Modelado Lineal Generalizado Mixto (MLGM).

En este análisis se utilizó como variable de respuesta el logaritmo (IAB+k) con una distribución normal. Se añadió una constante k pequeña a la variable de respuesta para permitir el modelado de observaciones con valores cero. La constante k se estableció como el umbral de detección de la boya con ecosonda ($k = 0.001$). Se sabe que este tipo de enfoque puede causar cierto sesgo en la estimación del efecto año-trimestre (Hinton y Maunder, 2004). Sin embargo, el número de ceros en el conjunto de datos es relativamente bajo (alrededor de 1%) en este análisis y, por lo tanto, se espera que el sesgo no sea significativo. Se aplicó un MLGM con un modelo estructurado con un componente de error lognormal para estandarizar las observaciones acústicas. Se utilizó un procedimiento escalonado para ajustar el modelo con todas las variables e interacciones explicativas con el fin de determinar las que contribuyeron significativamente a explicar la variabilidad de los datos. Se crearon análisis de desviación y tablas de resumen, y la selección final de las variables explicativas se realizó utilizando: a) el aumento porcentual relativo de la desviación explicada cuando la variable se incluyó en el modelo (se seleccionaron variables que explicaban más del 5%) y b) la prueba de chi-cuadrado (χ^2).

También se evaluaron las interacciones del componente temporal (año-trimestre) con el resto de las variables. Si una interacción era estadísticamente significativa, entonces se consideraba como una interacción aleatoria dentro del modelo final (Maunder y Punt 2004).

La selección del modelo final se basó en el Criterio de Información de Akaike (AIC, de *Akaike's Information Criterion*), el Criterio de Información Bayesiano (BIC, de *Bayesian Information Criterion*) y una prueba de chi-cuadrado (χ^2) de la diferencia entre la estadística de log-verosimilitud de diferentes formulaciones de modelo. Los promedios de mínimos cuadrados del efecto año-trimestre (LSmeans) se corrigieron por sesgo para los algoritmos de transformación de logaritmos utilizando el enfoque descrito en Lo *et al.* 1992. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete lme4 en R (Bates *et al.* 2014).

3. RESULTADOS

Se evaluaron en total 38.9 millones de registros acústicos de 62,382 boyas que abarcan desde 2012 hasta 2023, lo que resultó en 7,671 observaciones para el análisis MLGM. Cada observación se calculó como el percentil de 90% de un segmento "virgen" de trayectorias de boyas. Como se explicó anteriormente, Un segmento virgen representa una siembra de un plantado que tiene el potencial de ser colonizado por atunes pero que aún no ha sido pescado.

En este documento se presentan los resultados específicos del barrilete para ilustrar mejor los análisis estadísticos, la naturaleza de los datos y la distribución espacial, así como el índice IAB derivado. Sin embargo, en la [Tabla 3](#) y la [Figura 9](#), se presentan los resultados de las tres especies principales de atunes tropicales en el Océano Pacífico oriental.

La [Figura 4](#) muestra los histogramas de los valores nominales del IAB y el IAB transformado logarítmicamente para el modelo del barrilete. La transformación logarítmica se aplicó para hacer que los datos sigan una distribución normal, como se muestra en el panel izquierdo de la [Figura 4](#). La [Figura 5](#) muestra la distribución espacial del número de segmentos "vírgenes" de trayectorias de boyas que fueron utilizados en el análisis MLGM en una cuadrícula de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$. La evolución trimestral del número de observaciones en una cuadrícula de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ se muestra en la [Figura 6](#). La [Figura 7](#) ilustra la evolución trimestral del índice IAB logarítmico nominal para SJK por cuadrados de 5×5 grados desde 2012 a 2023.

Los resultados del análisis de desviación para el modelo del SKJ se presentan en la [Tabla 2](#). El modelo explicó el 41.2% de la desviación total y las variables explicativas más significativas fueron año-trimestre, área de 5°x5° y la interacción entre año-trimestre y área, que se consideró un efecto aleatorio. No se observaron patrones residuales significativos ([Figura 8](#)).

Las series trimestrales de los índices IAB estandarizados por especie se presentan en la [Tabla 2](#) y en la [Figura 9](#). En el caso del atún SJK, de nuevo como ejemplo ilustrativo, tres periodos mostraron valores más altos: a) desde el inicio de la serie en 2012 hasta 2023; b) desde el segundo semestre de 2019 hasta el final del primer semestre de 2020; y c) a partir del segundo trimestre de 2022 hasta el segundo semestre de 2023. Los coeficientes de variación se mantuvieron relativamente estables a lo largo de la serie de tiempo en niveles de 22-29%.

4. DISCUSIÓN

Este artículo presenta los resultados de los índices de abundancia de atunes tropicales derivados de boyas en el Océano Pacífico oriental. La serie ha sido actualizada con datos de hasta 2023, incluyendo datos notificados voluntariamente por algunas empresas de 2012-2021, así como requisitos obligatorios de notificación de datos para toda la flota en virtud de la resolución C-21-04 para 2022-2023. Para este estudio, se adaptó la metodología descrita anteriormente para poblaciones de atunes tropicales en el Pacífico y otros océanos (Santiago *et al.* 2019, Santiago *et al.* 2020a, Santiago *et al.* 2020b, Uranga *et al.* 2022, Uranga *et al.* 2023). Como tal, se abordaron algunas de las áreas de mejora identificadas en años anteriores y se implementaron nuevos insumos metodológicos jerárquicos para considerar mejor las necesidades de resolución de datos y las especificaciones de cada área de pesca y estructura de la pesquería sobre objetos flotantes en el Océano Pacífico oriental.

Recolección de datos

A fin de mejorar la consistencia de los índices de abundancia generados hasta ahora, sería beneficioso recopilar datos acústicos históricos del mayor número posible de empresas o asociaciones e integrarlos en los índices previamente establecidos para años anteriores. Los resultados actuales se obtuvieron bajo el supuesto de que los datos podían representar una única población; sin embargo, la actualización de este año incluye una serie de observaciones en áreas costeras debido a la inclusión de datos de toda la flota en 2022 y 2023. Las posibles similitudes o discrepancias entre los indicadores e índices costeros y de alta mar, cuando se desarrollen, deben investigarse más a fondo para comprender mejor los factores que pueden afectar la señal acústica y determinar si debería tratarse como un único índice o como múltiples índices separados. De manera similar, esto concuerda con la necesidad de que el índice represente con precisión la composición de las capturas y las abundancias en diferentes áreas específicas para cada especie, tal y como se definen en los análisis de estructura de las pesquerías realizados por el personal. En este estudio, se utilizaron tres áreas específicas ([Figura 3](#)) para las principales especies de atunes tropicales, y éstas se aplicaron a toda la serie. Sin embargo, las pesquerías y las especies son dinámicas e, idealmente, deberían desarrollarse métodos que estimen la composición por especie y talla a partir de la señal acústica para obtener índices más independientes de los datos de pesca.

Además de las consideraciones relativas a las series de tiempo, la recolección de datos también varía entre los distintos fabricantes de boyas. Estas diferencias deben tenerse en cuenta, resolverse e incorporarse en futuros análisis para desarrollar un índice de abundancia derivado de las boyas más completo. Por ello, es necesario explorar la variabilidad fundamental de los datos acústicos en la recolección de datos, y desarrollar e implementar métodos de intercalibración para que las señales acústicas de los distintos modelos y fabricantes de boyas sean comparables y los métodos sean lo más flexibles posible para tener en cuenta las diferencias que puedan surgir en la remisión de datos de boyas.

Actualización de la metodología

En análisis anteriores, se reconoció la necesidad de revisar los filtros utilizados para limpiar la base de datos de artefactos y evaluar su idoneidad para las trayectorias generadas por los diferentes enfoques. Esta tarea debería priorizarse en el futuro próximo.

Como se indica en la sección de materiales y métodos, se actualizó el protocolo jerárquico para emparejar los datos específicos de composición y talla de las capturas, con los datos acústicos, para que el método sea más inclusivo y se tengan en cuenta mayores niveles de resolución. En los próximos años, se deberían desarrollar nuevos modelos que aumenten la robustez de la estimación de datos específicos de composición y talla de las capturas, a través del espacio y del tiempo. El establecimiento de modelos geoespaciales o de aprendizaje automático puede mejorar la información disponible para la composición y talla de las capturas bajo los plantados, tanto temporal como espacialmente. Además, se debería comprender mejor la relación entre la composición de las capturas y el proceso de colonización, así como realizar estudios que tengan en cuenta el comportamiento vertical de las distintas especies para perfeccionar potencialmente las mediciones acústicas y su interpretación, por área y estación. En este sentido, la incorporación de datos de estudios de marcado electrónico podría ayudar a definir el tiempo que suelen pasar las distintas especies y tallas a cada profundidad en el espacio y en el tiempo.

En cuanto a los modelos de colonización, debería probarse el supuesto de los 20-35 días después de las nuevas siembras (con base en Orue *et al.*, 2019). Lo ideal sería explorar enfoques adaptativos que se adapten a diferentes regiones y estaciones, donde las curvas de colonización se estimen de forma independiente y se incorporen al modelo para cada plantado u observación individual. Para lograrlo, se están explorando datos de plantados de bitácoras y observadores, junto con datos de boyas, así como enfoques novedosos que definan trayectorias únicas a partir de datos sin procesar mediante la revisión de, entre otros, los parámetros utilizados para filtrar, procesar y eliminar artefactos de los datos.

En cuanto al modelo utilizado para estandarizar los valores nominales de biomasa, se deben realizar pruebas de sensibilidad para evaluar el efecto de utilizar diferentes métricas (promedio, mediana, percentil de 90%, etc.) en el índice final de abundancia. Del mismo modo, deberían probarse diversos umbrales de clasificación de segmentos vírgenes, junto con diferentes resoluciones de composiciones de capturas. Además, en la fase de construcción del modelo debería explorarse la inclusión de variables distintas de las presentadas en este documento (por ejemplo, variables ambientales adicionales) para intentar mejorar el desempeño y el diagnóstico del modelo.

Avances en acústica y líneas futuras

Además de mejorar la metodología para estimar la biomasa, es importante seguir explorando la idea de realizar referencias cruzadas entre los datos acústicos y los datos de captura de la boya correspondiente. Este proceso es clave para comprender mejor, en detalle, la variabilidad de los datos y su interpretación y, en última instancia, mejorar su fiabilidad y desarrollar métodos que tengan en cuenta dicha variabilidad. Asimismo, la transición de mediciones específicas extraídas del segmento virgen, siguiendo los pasos y supuestos descritos en este documento, al uso de ecogramas completos del segmento virgen como entradas para los modelos puede conducir a mejoras cualitativas sustanciales. En este sentido, deberían establecerse formas de aumentar el número de muestras que comparen los ecogramas con sus capturas asociadas, ya que los modelos de aprendizaje automático o de visión por computadora que dependen de imágenes requieren grandes conjuntos de datos para identificar patrones de forma fiable. De hecho, la capacidad de distinguir el barrilete (especie sin vejiga natatoria y el objetivo principal de la pesquería sobre plantados) de las especies con vejiga natatoria (patudo y aleta amarilla, a

menudo especies no objetivo en los plantados) supondría un paso importante tanto para la ciencia como para la ordenación sostenible de los atunes tropicales.

Todos los puntos específicos de mejora identificados en este estudio ponen de manifiesto la necesidad de seguir realizando investigaciones sobre el desarrollo de índices de abundancia basados en la acústica de boyas. La red de plantados equipados con boyas acústicas podría ser, en efecto, una herramienta de monitoreo global del medio pelágico que proporcione información sustancial sobre las tres principales especies de atunes tropicales de forma independiente de las capturas, sistemática y rentable. El éxito de la utilización de los datos de boyas con ecosonda depende en gran medida de la gestión eficaz de su naturaleza variable, lo que implica filtrar los datos acústicos no relevantes para la presencia significativa de atunes y desarrollar enfoques que maximicen el potencial de esta valiosa fuente de información. Con miras hacia el futuro, sería beneficioso participar en proyectos de colaboración con la flota pesquera para recolectar datos acústicos, tanto mediante la notificación de información histórica de boyas o la realización de experimentos que se basen en los dispositivos acústicos de los buques (es decir, ecosondas y sonares). Estos dispositivos acústicos, instalados en la mayoría de los buques cerqueros atuneros que operan en el OPO, pueden proporcionar datos acústicos de alta resolución y ofrecer información complementaria sobre la morfología y dinámica de los cardúmenes asociados a los plantados, transformando potencialmente los buques pesqueros en plataformas de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a las siguientes empresas pesqueras que han facilitado información acústica histórica de sus boyas con ecosonda: Albacora, Calvo, Garavilla, Ugavi y Cape Fisheries. Los autores también desean agradecer al Gobierno Vasco y a ISSF por apoyar este trabajo.

REFERENCIAS

- Amante, C. and B. Eakins (2009). "ETOPO1 1 arc-minute global relief model: procedures, data sources and analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24." [National Geophysical Data Center, NOAA 10: V5C8276M](#).
- Baidai, Y. D. A. (2020). [Derivation of a direct abundance index for tropical tunas based on their associative behavior with floating objects](#), Université Montpellier.
- Bates, D., M. Mächler, et al. (2014). "Fitting linear mixed-effects models using lme4." [arXiv preprint arXiv:1406.5823](#).
- Belkin, I. M. and J. E. O'Reilly (2009). "An algorithm for oceanic front detection in chlorophyll and SST satellite imagery." [Journal of Marine Systems](#) 78(3): 319-326.
- Bertrand, A. and E. Josse (2000). "Tuna target-strength related to fish length and swimbladder volume." [ICES Journal of Marine Science](#) 57(4): 1143-1146.
- Boyra, G., G. Moreno, et al. (2018). "Target strength of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) associated with fish aggregating devices (FADs)." [ICES Journal of Marine Science](#) 75(5): 1790-1802.
- Capello, M., J. L. Deneubourg, et al. (2016). "Population assessment of tropical tuna based on their associative behavior around floating objects." [Scientific Reports](#) 6(1): 36415.
- Gaertner, D., J. Ariz, et al. (2016). "Objectives and first results of the CECOFAD project." [Collective Volume of Scientific Papers](#) 72(2): 391-405.
- Gaertner, D., S. Clermidy, et al. (2016). "Results achieved within the framework of the EU research project: Catch, Effort, and eCOsystem impacts of FAD-fishing (CECOFAD)." [Acta Agriculturae Slovenica](#).
- Hampton, I. (1996). "Acoustic and egg-production estimates of South African anchovy biomass over a decade: comparisons, accuracy, and utility." [ICES Journal of Marine Science](#) 53(2): 493-500.
- ICCAT (2019). [Report of the 2019 ICCAT yellowfin tuna stock assessment meeting](#), (Grand-Bassam, Cote d'Ivoire, 8-16 July 2019).
- ICCAT (2021). [Report of the 2021 ICCAT bigeye tuna stock assessment meeting](#), (Online, 19- 29 July 2021)
- ICES (2015). Manual for International Pelagic Surveys (IPS). Series of ICES Survey Protocols. SISP 9 - IPS. 92 pp.

- Katara, I., Gaertner, D., Marsac, F., Grande, M., Kaplan, D., Urtizberea, A., Abascal, F. (2018). Standardisation of yellowfin tuna CPUE for the EU purse seine fleet operating in the Indian Ocean. 20th session of the Working Party on Tropical Tuna.
- Lo, N. C.-h., L. D. Jacobson, et al. (1992). "Indices of relative abundance from fish spotter data based on delta-lognormal models." Canadian journal of fisheries and aquatic sciences 49(12): 2515- 2526.
- Lopez, J., G. Moreno, et al. (2014). "Evolution and current state of the technology of echo-sounder buoys used by Spanish tropical tuna purse seiners in the Atlantic, Indian and Pacific Oceans." Fisheries Research 155: 127-137.
- Masse, J., A. Uriarte, et al. (2018). "Pelagic survey series for sardine and anchovy in ICES subareas 8 and 9—Towards an ecosystem approach." ICES cooperative research report(332).
- Maunder, M. N. and A. E. Punt (2004). "Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches." Fisheries Research 70(2-3): 141-159.
- Maunder, M. N., J. R. Sibert, et al. (2006). "Interpreting catch per unit effort data to assess the status of individual stocks and communities." ICES Journal of Marine Science 63(8): 1373-1385.
- Moreno, G., L. Dagorn, et al. (2007). "Fish behaviour from fishers' knowledge: the case study of tropical tuna around drifting fish aggregating devices (DFADs)." Canadian journal of fisheries and aquatic sciences 64(11): 1517-1528.
- Moreno, G., Dagorn, L., Capello, M., Lopez, J., Filmalter, J., Forget, F., Sancristobal, I., . and Holland, K. (2016). "Fish aggregating devices (FADs) as scientific platforms." Fisheries Research 178: 122- 129.
- Orue, B., J. Lopez, et al. (2019). "From fisheries to scientific data: A protocol to process information from fishers' echo-sounder buoys." Fisheries Research 215: 38-43.
- Orue, B., J. Lopez, et al. (2019). "Aggregation process of drifting fish aggregating devices (DFADs) in the Western Indian Ocean: Who arrives first, tuna or non-tuna species?" PloS one 14(1): e0210435.
- Orúe Montaner, B. (2019). "Ecology and behavior of tuna and non-tuna species at drifting fish aggregating devices (DFADs) in the Indian Ocean using fishers' echo-sounder buoys."
- Oshima, T. (2008). "Target strength of Bigeye, Yellowfin and Skipjack measured by split beam echo sounder in a cage." IOTC, WPTT-22 4.
- Quinn, T. J. and R. B. Deriso (1999). Quantitative fish dynamics, oxford university Press.
- Santiago, J., J. Uranga, et al. (2019). A Novel Index of Abundance of Juvenile Yellowfin Tuna in the Indian Ocean Derived from Echosounder Buoys, IOTC–2019–WPTT21–47.
- Santiago, J., J. Uranga, et al. (2020a). A novel index of abundance of skipjack in the Indian ocean derived from echosounder buoys, IOTC-2020-WPTT22(DP)-14.
- Santiago, J., J. Uranga, et al. (2020b). "A novel index of abundance of juvenile yellowfin tuna in the Atlantic Ocean derived from echosounder buoys." Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 76(6): 321-343.
- Santiago, J., J. Uranga, et al. (2021). " Index of abundance of juvenile bigeye tuna in the Atlantic Ocean derived from echosounder buoys (2010-2020)." Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 78(2): 231-252.
- Scott, G. P., & Lopez, J. (2014). The use of FADs in Tuna Fisheries. European Parliament. Policy Department B: Structural and Cohesion Policies: Fisheries. IP/B/PECH/IC/2013.
- Simmons, E. and D. MacLennan (2005). "Fisheries acoustics." Theory and Practice. Second edition published by Blackwell Science.
- Team, R. C. (2013). R: A language and environment for statistical computing.
- Torres-Irineo, E., D. Gaertner, et al. (2014). "Changes in fishing power and fishing strategies driven by new technologies: The case of tropical tuna purse seiners in the eastern Atlantic Ocean." Fisheries Research 155: 10-19.
- Wain, G., Guéry, L., Kaplan, D. M., & Gaertner, D. (2021). "Quantifying the increase in fishing efficiency due to the use of drifting FADs equipped with echosounders in tropical tuna purse seine fisheries." ICES Journal of Marine Science 78(1), 235-245.
- Wessel, P., and W. H. F. Smith (1996). " A global, self-consistent, hierarchical, high-resolution shoreline database." J. Geophys. Res 101(B4), 8741-8743.

TABLE 1. Technical specifications of different buoy models and observed values over analysis data.
TABLA 1. Especificaciones técnicas de diferentes modelos de boyas y valores observados sobre datos de análisis.

Modelo	Configuración típica						Valores promedio observados sobre datos de análisis	
	Ángulo de haz	Frecuencia de sonda	Potencia	Frecuencia de muestreo acústico (ping rate)	Datos acústicos diarios registrados	Frecuencia de transmisión	Número de boyas	Frecuencia de muestreo
DS+	32º	190.5 kHz	100 W	3	3	24h	1428	1.36
DSL+	32º	190.5 kHz	100 W	3	3	24h	12462	2.82
ISL+	32º	190.5 kHz	100 W	15 min	variable (reinicio al anochecer)	24h	23	1.67
ISD+	32º	200/38 kHz (38 kHz no se brinda)	100 W	15 min	variable (reinicio al anochecer)	24h	6214	1.21
SLX+	32º	200	100 W	5 min	variable (basado en alarmas o en el amanecer)	24h	785	1.98

TABLE 2. Deviance table for the GLM lognormal model of the 2012-2023 period for SKJ.**TABLA 2.** Tabla de desviación del modelo lognormal MLG del periodo 2012-2023 para SJK.

Variable	Df	Deviance	Resid..Df	Resid..Dev	F	Pr..F.	Variable	DevExp	Dev..Exp
NULL	NA	NA	6987	14555	NA	NA	NULL	NA	NA
yyqq	45	909	6942	13646	13	0.0000	yyqq	6	6.24 %
area	45	1038	6897	12608	15	0.0000	area	7	7.13 %
model	2	34	6895	12574	11	0.0000	model	0	0.23 %
den	1	25	6894	12549	16	0.0001	den	0	0.17 %
chl	1	10	6893	12539	7	0.0105	chl	0	0.07 %
chlfront	1	109	6892	12430	71	0.0000	chlfront	1	0.75 %
sst	1	5	6891	12425	3	0.0795	sst	0	0.03 %
sstfront	1	10	6890	12416	6	0.0115	sstfront	0	0.07 %
mld	1	0	6889	12416	0	0.9523	mld	0	0 %
yyqq:area	1311	3864	5578	8552	2	0.0000	yyqq:area	27	26.55 %

TABLE 3. Nominal and standardized Buoy-derived Abundance Index for the period 2012-2023, standard errors and coefficient of variations of the series.

TABLA 3. Índice de Abundancia Derivado de las Boyas nominal y estandarizado para el periodo 2012-2023, errores estándar y coeficiente de variaciones de la serie.

Índice de Abundancia Derivado de las Boyas para el periodo 2012-2023												
Trim.	SKJ				YFT				BET			
	nominal	estand.	se	cv	nominal	estand.	se	cv	nominal	estand.	se	cv
12Q3	2.33	2.12	0.62	0.29	0.12	0.10	0.04	0.39	0.63	0.60	0.30	0.51
12Q4	1.54	1.41	0.41	0.29	0.15	0.21	0.08	0.39	0.45	0.34	0.17	0.51
13Q1	4.86	3.49	0.99	0.29	0.76	1.03	0.38	0.37	1.66	1.37	0.63	0.46
13Q2	3.23	1.92	0.46	0.24	0.65	0.37	0.12	0.33	1.73	0.88	0.39	0.44
13Q3	0.76	0.84	0.21	0.25	0.29	0.28	0.10	0.35	0.40	0.46	0.22	0.47
13Q4	1.00	0.69	0.18	0.26	0.28	0.26	0.09	0.36	0.54	0.29	0.14	0.47
14Q1	2.02	1.86	0.50	0.27	0.55	0.74	0.27	0.37	0.88	0.85	0.42	0.49
14Q2	1.46	1.54	0.39	0.25	0.59	0.60	0.22	0.36	0.80	0.65	0.32	0.50
14Q3	0.68	0.67	0.17	0.25	0.10	0.12	0.04	0.36	0.17	0.15	0.08	0.49
14Q4	1.12	1.07	0.28	0.26	0.18	0.24	0.09	0.36	0.25	0.35	0.17	0.49
15Q1	2.97	2.45	0.59	0.24	0.46	0.70	0.24	0.34	1.08	1.23	0.56	0.46
15Q2	1.84	1.60	0.37	0.23	0.49	0.64	0.20	0.32	0.71	0.61	0.26	0.42
15Q3	1.43	1.53	0.34	0.22	0.17	0.24	0.07	0.31	0.26	0.26	0.10	0.39
15Q4	0.99	1.19	0.27	0.22	0.16	0.21	0.06	0.31	0.26	0.42	0.17	0.40
16Q1	2.25	1.92	0.44	0.23	0.29	0.41	0.13	0.32	0.51	0.44	0.18	0.42
16Q2	1.07	1.08	0.26	0.24	0.13	0.14	0.05	0.34	0.32	0.28	0.13	0.45
16Q3	1.65	1.66	0.41	0.25	0.33	0.39	0.14	0.35	0.39	0.36	0.18	0.49
16Q4	2.35	2.05	0.51	0.25	0.33	0.45	0.16	0.36	0.55	0.34	0.17	0.50
17Q1	2.08	1.92	0.50	0.26	0.44	0.60	0.22	0.36	0.37	0.39	0.19	0.48
17Q2	1.40	1.40	0.33	0.24	0.40	0.52	0.17	0.33	0.46	0.35	0.15	0.43
17Q3	1.54	1.31	0.33	0.25	0.42	0.44	0.16	0.36	0.45	0.33	0.16	0.49
17Q4	1.87	1.56	0.42	0.27	0.47	0.61	0.22	0.37	0.27	0.34	0.17	0.50
18Q1	1.44	1.16	0.29	0.25	0.29	0.37	0.13	0.34	0.51	0.39	0.17	0.45
18Q2	1.25	1.06	0.26	0.24	0.35	0.45	0.15	0.33	0.38	0.28	0.12	0.43
18Q3	0.60	0.57	0.15	0.26	0.22	0.25	0.09	0.36	0.14	0.12	0.05	0.47
18Q4	2.06	1.52	0.37	0.24	0.31	0.42	0.14	0.34	0.50	0.36	0.16	0.45
19Q1	1.73	1.66	0.40	0.24	0.56	1.03	0.34	0.33	0.57	0.83	0.37	0.45
19Q2	1.90	1.68	0.41	0.24	0.42	0.44	0.15	0.34	0.69	0.63	0.28	0.45
19Q3	1.46	1.47	0.38	0.26	0.28	0.33	0.12	0.36	0.27	0.28	0.14	0.50
19Q4	2.23	2.29	0.57	0.25	0.62	0.64	0.22	0.35	0.37	0.48	0.23	0.47
20Q1	3.94	3.46	0.89	0.26	0.66	0.80	0.29	0.36	0.74	0.83	0.41	0.49
20Q2	2.91	2.65	0.65	0.24	0.55	0.58	0.20	0.35	0.88	0.60	0.28	0.47
20Q3	2.15	2.00	0.49	0.24	0.67	0.75	0.26	0.35	0.50	0.35	0.16	0.46
20Q4	2.39	2.20	0.53	0.24	0.54	0.68	0.23	0.34	0.25	0.22	0.10	0.47
21Q1	1.64	1.39	0.36	0.26	0.66	0.76	0.27	0.36	0.76	0.75	0.37	0.49
21Q2	1.28	0.85	0.21	0.25	0.15	0.15	0.05	0.34	0.47	0.28	0.13	0.46
21Q3	2.21	1.82	0.41	0.23	0.25	0.25	0.08	0.31	0.26	0.29	0.11	0.40
21Q4	1.19	1.19	0.31	0.26	0.28	0.37	0.13	0.35	0.09	0.23	0.10	0.44
22Q1	1.99	1.55	0.36	0.23	0.40	0.65	0.21	0.33	0.34	0.30	0.13	0.44
22Q2	1.27	1.37	0.33	0.24	0.79	0.71	0.24	0.34	0.37	0.40	0.18	0.44
22Q3	1.66	1.55	0.36	0.23	0.49	0.49	0.16	0.32	0.33	0.32	0.13	0.41
22Q4	1.43	1.47	0.33	0.23	0.54	0.57	0.17	0.30	0.24	0.26	0.10	0.37
23Q1	2.79	2.65	0.63	0.24	0.74	1.04	0.35	0.34	0.80	0.68	0.31	0.46
23Q2	3.90	3.23	0.78	0.24	0.88	1.30	0.45	0.34	0.81	0.73	0.34	0.46
23Q3	2.41	1.92	0.45	0.23	0.57	0.82	0.26	0.32	0.33	0.29	0.12	0.41
23Q4	2.29	2.28	0.56	0.24	0.60	0.67	0.23	0.35	0.20	0.28	0.13	0.47

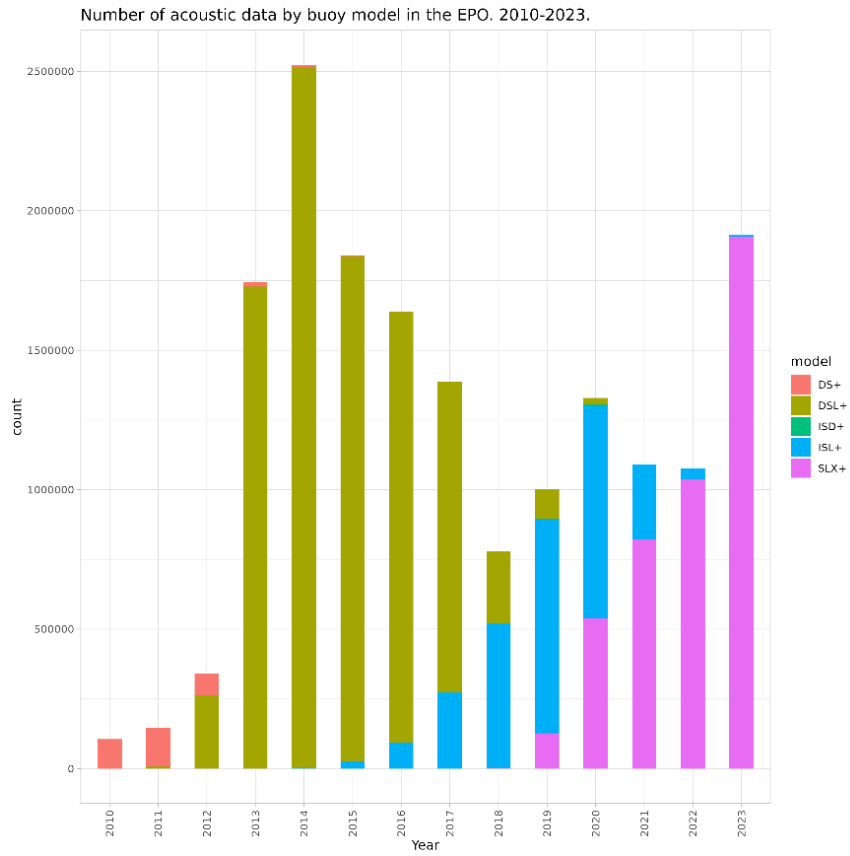


FIGURE 1. Buoy data distribution per model in the Pacific Ocean (2010-2023).

FIGURA 1. Distribución de datos de boyas por modelo en el Océano Pacífico (2010-2023).

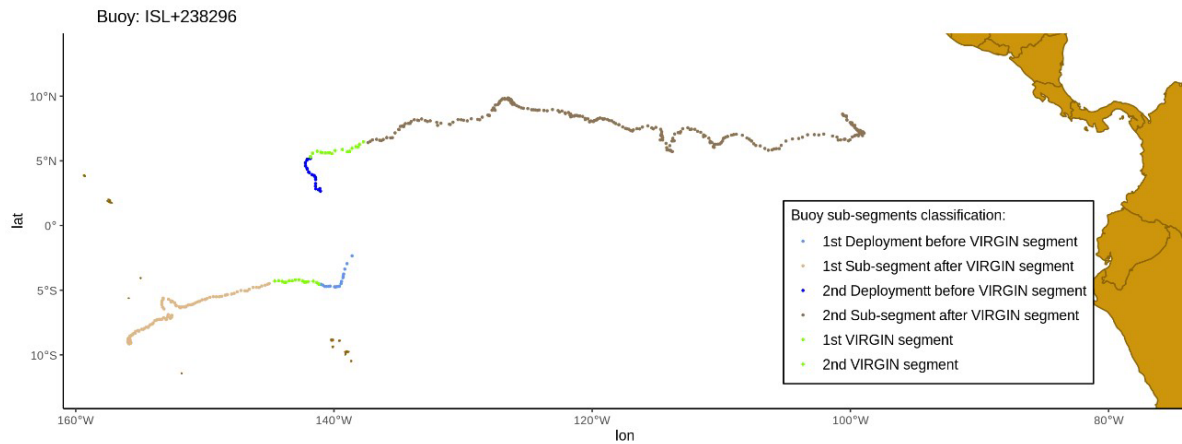


FIGURE 2. Example of “virgin” segments used for the calculation of the BAI index. Trajectories correspond to buoy ISL+284966 with two different paths representing drifts of different FADs. A virgin segment is defined as the segment of a buoy trajectory whose associated FAD likely represents a new deployment, which has been potentially colonized by tuna and not already fished. We consider as virgin segments (i.e. when tuna has aggregated to FAD) those segments of trajectories from 20-35 days at sea. “Virgin” segments are shown in green.

FIGURA 2. Ejemplo de segmentos “vírgenes” utilizados para el cálculo del índice IAB. Las trayectorias corresponden a la boya ISL+284966 con dos rutas distintas que representan derivas de diferentes plantados. Un segmento virgen se define como el segmento de la trayectoria de una boya cuyo plantado asociado probablemente representa una nueva siembra, que ha sido potencialmente colonizado por atunes y que aún no se ha pescado. Consideramos como segmentos vírgenes (es decir, cuando el atún se ha agregado a un plantado) aquellos segmentos de trayectorias de 20 a 35 días en el mar. Los segmentos "vírgenes" se muestran en verde.

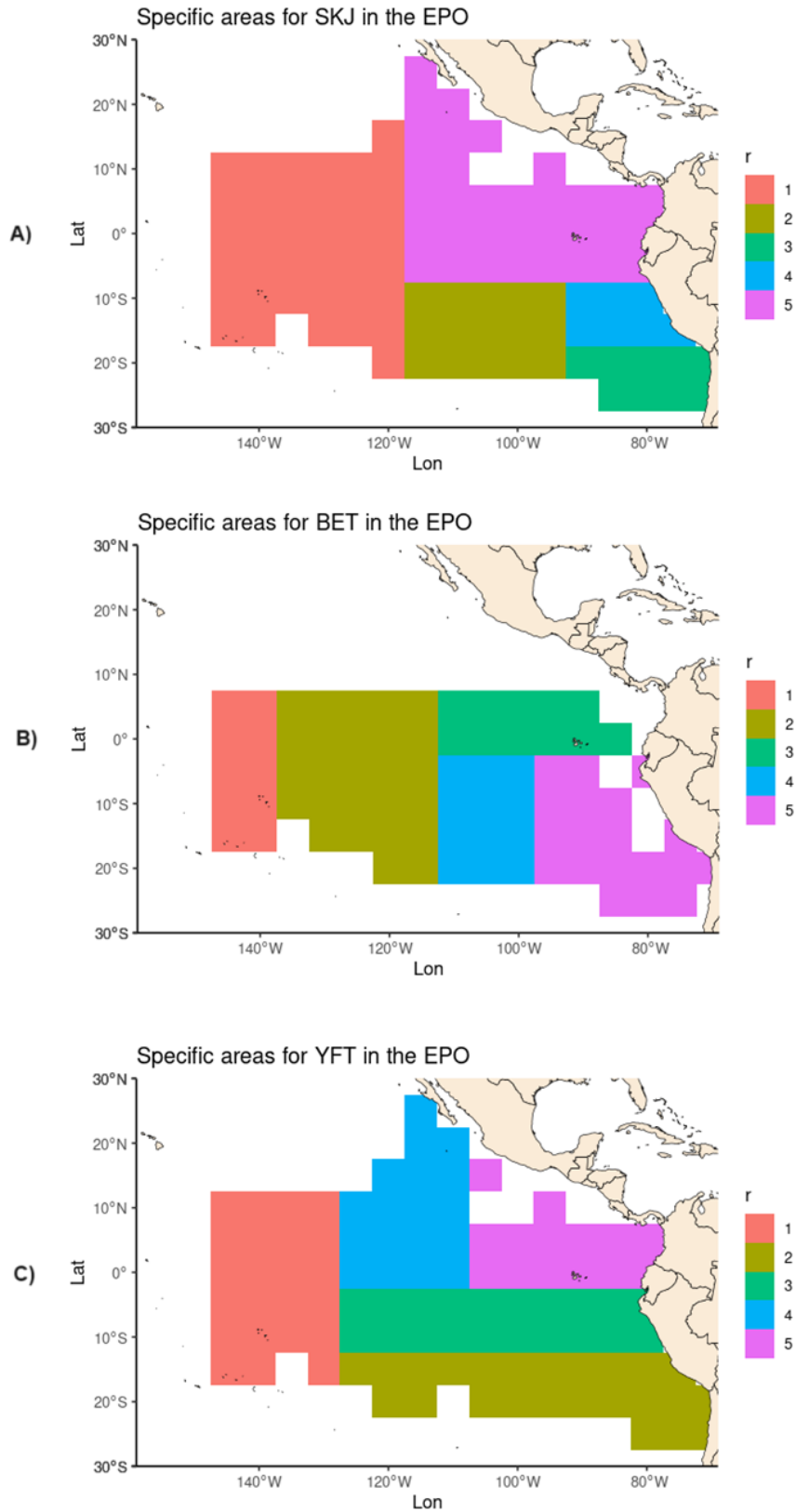


FIGURE 3. Length-frequency sampling areas defined by the IATTC staff for analyses of skipjack (A), bigeye (B) and yellowfin tuna (C) catches associated with floating objects.

FIGURA 3. Áreas de muestreo de frecuencia de tallas definidas por el personal de la CIAT para análisis de capturas de atunes barrilete (A), patudo (B) y aleta amarilla (C) asociadas con objetos flotantes.

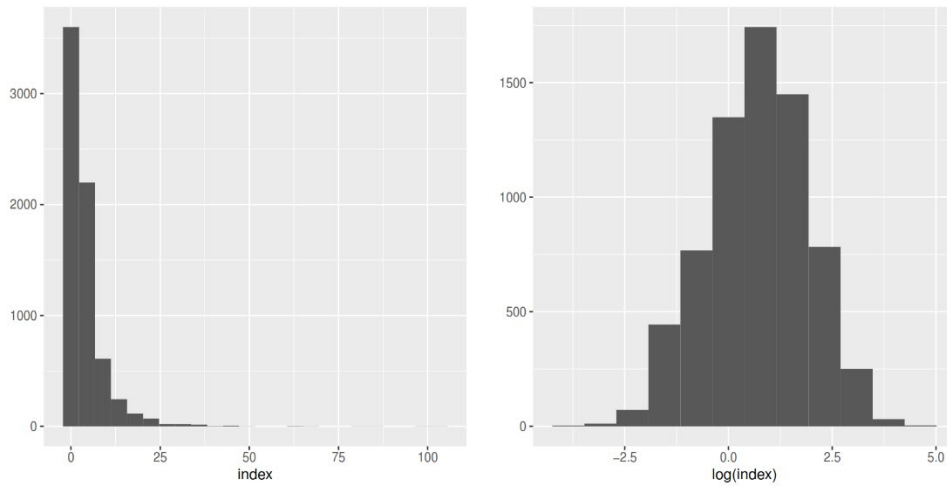


FIGURE 4. Histograms of the nominal values (left) and the log transformed nominal values (right) of the Buoy-derived Abundance Index for the SKJ (0.9 quantile of the integrated acoustic energy observations in "virgin" sequences).

FIGURA 4. Histogramas de los valores nominales (izquierda) y los valores nominales transformados logarítmicamente (derecha) del Índice de Abundancia Derivado de las Boyas para el SKJ (cuantil de 0.9 de las observaciones de energía acústica integrada en secuencias "vírgenes").

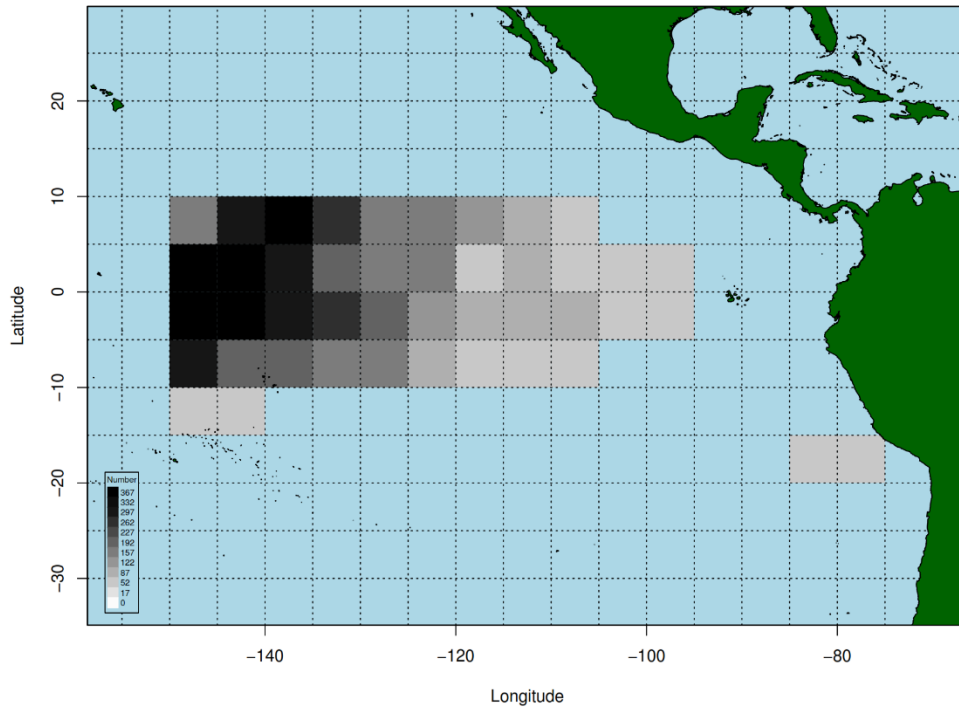


FIGURE 5. Spatial distribution [5°x5°] of the “virgin” sequences of buoy trajectories that have been used in the GLM analysis for the SKJ.

FIGURA 5. Distribución espacial [5°x5°] de las secuencias “vírgenes” de trayectorias de boyas que se han utilizado en el análisis MLG para el SKJ.

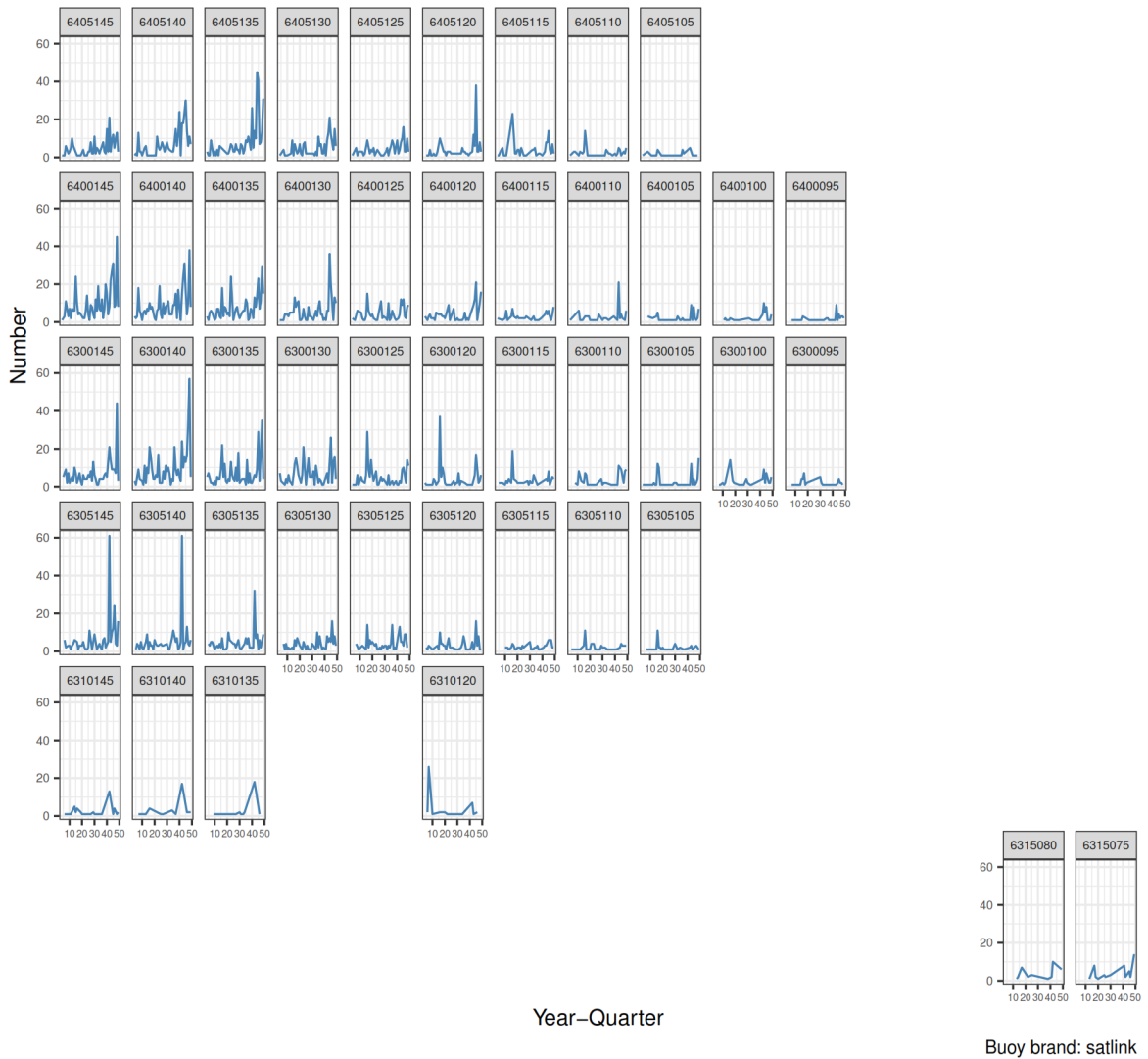


FIGURE 6. Quarterly evolution of the number of observations (“virgin” sequences of buoy trajectories) on a $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ grid from 2012 to 2023 for the SKJ.

FIGURA 6. Evolución trimestral del número de observaciones (secuencias “vírgenes” de trayectorias de boyas) en una cuadrícula de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ de 2012 a 2023 para el SKJ.

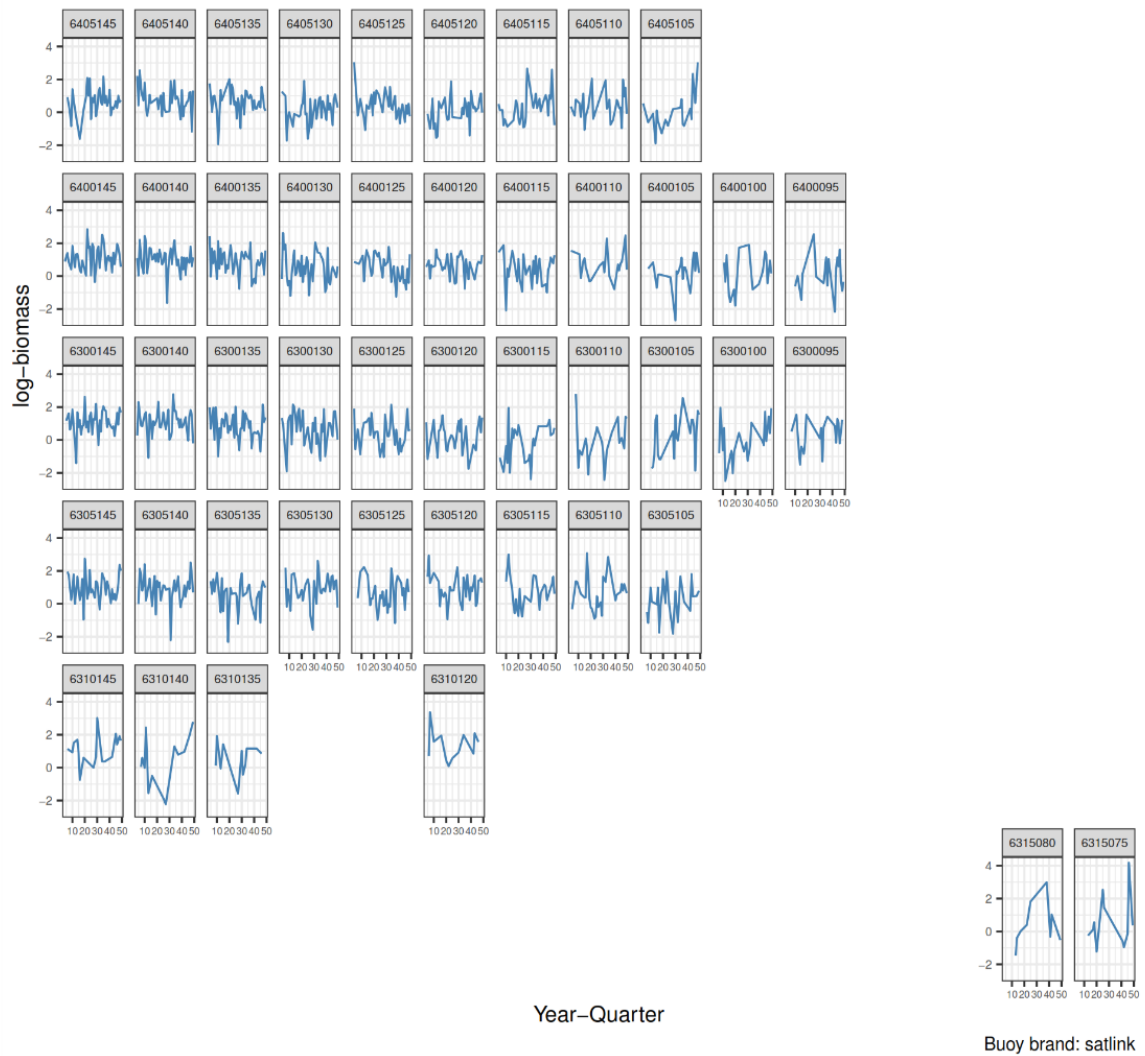


FIGURE 7. Quarterly evolution of the nominal log BAI index in the Atlantic Ocean by squares of 5x5 degrees from 2012 to 2023 for the SKJ.

FIGURA 7. Evolución trimestral del índice IAB logarítmico nominal en el Océano Atlántico por cuadrados de 5x5 grados de 2012 a 2023 para el SKJ.

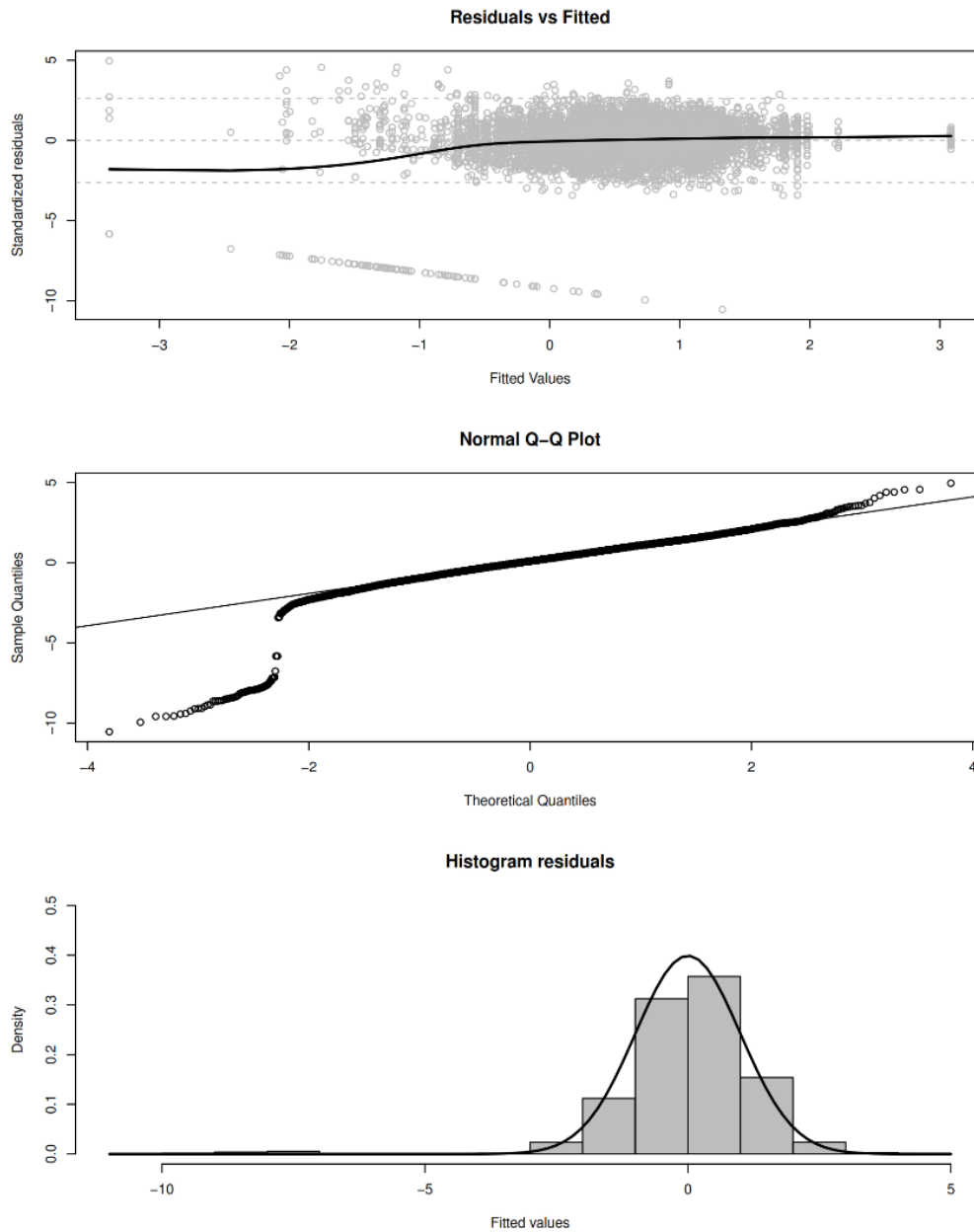


FIGURE 8. Diagnostics of the lognormal model selected for the period 2012-2023 for the SKJ: residuals vs fitted, Normal Q-Q plot and frequency distributions of the residuals.

FIGURA 8. Diagnóstico del modelo lognormal seleccionado para el periodo 2012-2023 para el SKJ: residuales vs. ajustados, gráfico Q-Q normal y distribuciones de frecuencia de los residuales.

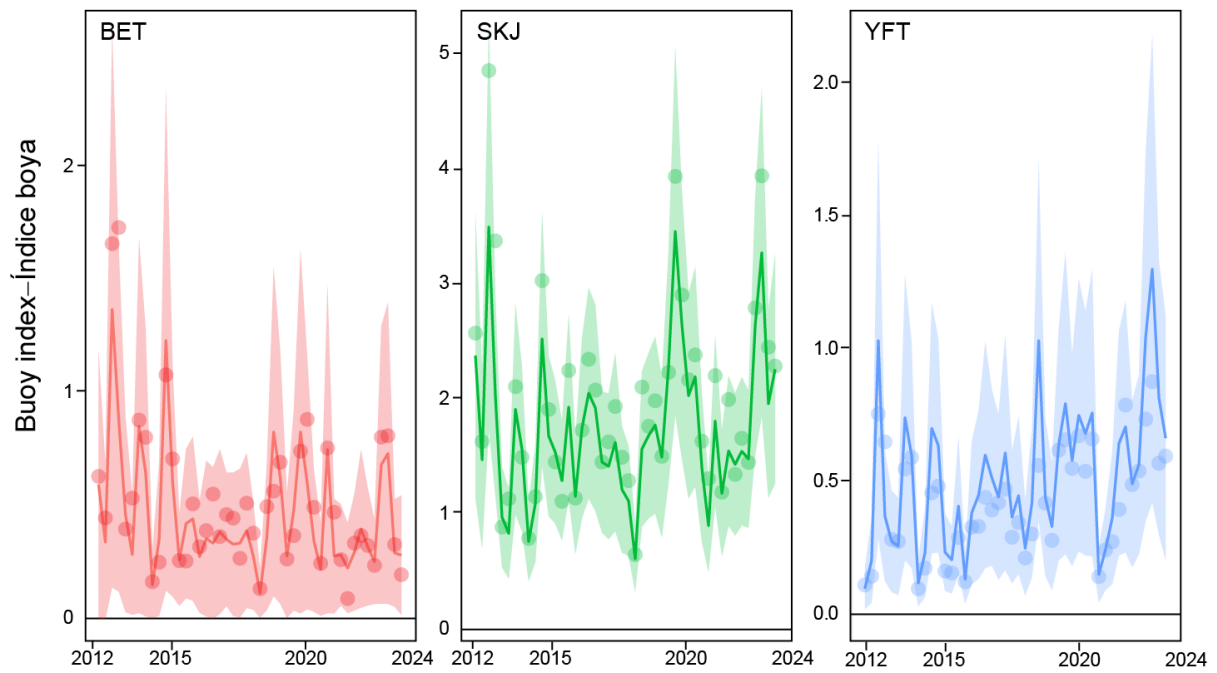


FIGURE 9. Time series of nominal (circles) and standardized (continuous line) Buoy-derived Abundance Index for the period 2012-2023 for all three tropical tuna species. The 95% upper and lower confidence intervals of the standardized BAI index are shown by the grey shaded area.

FIGURA 9. Serie de tiempo del Índice de Abundancia Derivado de Boyas nominal (círculos) y estandarizado (línea continua) para el periodo 2012-2023 para las tres especies de atunes tropicales. Los intervalos de confianza superior e inferior del 95% del índice IAB estandarizado se muestran en el área sombreada en gris.