

**COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL**

**COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR**

**15ª REUNIÓN**

La Jolla, California (EE. UU.)

10-14 de junio de 2024

**DOCUMENTO SAC-15 INF-K**

**EFFECTOS DEL PROGRAMA DE UMBRALES INDIVIDUALES POR BUQUE SOBRE LAS  
CAPTURAS DE ATUNES TROPICALES Y EL COMPORTAMIENTO DE LA FLOTA EN EL  
OCÉANO PACIFICO ORIENTAL**

Dan Ovando, Alexandre Aires-da-Silva, Dan Crear, Cristina De La Cadena, Dan Fuller, Cleridy Lennert-Cody, Jon Lopez, Mark Maunder, Carolina Minte-Vera y Haikun Xu

**ÍNDICE**

Resumen ejecutivo.....	2
1. Introducción.....	4
1.1. Objetivos.....	5
2. Métodos.....	5
2.1. Datos.....	5
2.2. Definición de grupos de buques y periodos de tiempo afectados por el UIB.....	6
2.3. Conglomerados de estrategias de pesca.....	7
2.4. Diferencias en diferencias.....	8
2.5. Modelo de detección de puntos de cambio en los residuales.....	8
2.6. Modelo de previsión.....	10
2.7. Controles sintéticos.....	11
3. Resultados.....	12
3.1. Análisis exploratorios.....	12
3.1.1. Dinámica de la pesquería.....	13
3.1.2. Estrategias de pesca.....	14
3.1.3. Capturas de atún aleta amarilla.....	15
3.2. Efectos estadísticos del UIB.....	15
3.2.1. Probabilidad de captura de BET.....	15
3.2.2. Modelo de previsión.....	16
3.2.3. Controles sintéticos.....	17
3.3. Efectos del UIB en la composición por especie.....	18
4. Discusión.....	18
5. Referencias.....	19
6. Tablas.....	21
7. Figuras.....	22

## RESUMEN EJECUTIVO

Las medidas de conservación para los atunes tropicales en la resolución [C-21-04](#) implementaron lo que se conoce como un programa de “Umbrales Individuales por Buque” (UIB) para las capturas de atún patudo (BET) en el Océano Pacífico oriental (OPO). Este programa de UIB entró en vigor en 2022. En virtud de este programa, los buques de cerco pertinentes reciben más días de veda si rebasan determinados valores de capturas anuales, y la cantidad de días de veda aumenta en función de la cantidad en que un buque rebasa el umbral. Como parte del programa de UIB, la resolución C-21-04 estableció un programa reforzado de muestreo en puerto ("Programa Reforzado de Monitoreo", PRM) para la estimación de la captura de BET a nivel de viaje, con el fin de apoyar a los Miembros y a sus buques de cerco en sus esfuerzos de conservación. El PRM comenzó a recolectar datos en marzo de 2023, y el muestreo continuará hasta diciembre de 2024. Los resultados del PRM de 2023, así como un resumen de las investigaciones científicas que se están llevando a cabo actualmente con los datos del PRM, pueden consultarse en el documento [SAC-15 INF-H](#).

En respuesta a una recomendación de investigación del Comité Científico Asesor de la CIAT (recomendación 3.1 en el documento [SAC-14-16](#)), en el presente informe se evalúan las evidencias de los impactos de este programa de UIB sobre el comportamiento de la flota y las capturas de atunes tropicales, particularmente BET, en el OPO en 2022 y 2023, mediante múltiples líneas de evidencia. Todos los análisis presentados en el presente documento se basaron en datos de observadores del APICD para buques de clase 6.

Las capturas cerqueras de BET en 2022 y 2023 fueron las más bajas que se han registrado en la última década, continuando una tendencia descendente en las capturas que comenzó aproximadamente en 2018 (Figura 2). Para entender en qué medida estos niveles más bajos de captura pueden explicarse por el programa de UIB se requiere un método para separar los efectos del programa de UIB de otros factores que pueden influir en las capturas, como la abundancia de los atunes y/o los cambios ambientales, económicos o tecnológicos. Aproximadamente el 25% de los buques representó el 75% de la captura de BET de los buques cerqueros de clase 6 en el OPO en los últimos años (Figura 4). Se clasificaron los buques cerqueros de clase 6 en un grupo de buques "*highliner*", que históricamente han capturado niveles de BET que podrían ponerlos en riesgo de rebasar el UIB, y buques "*non-highliner*", que no lo han hecho. Se supone que este grupo de buques *highliner* se vio afectado por el UIB, mientras que los *non-highliner* no. Bajo este supuesto, los buques *non-highliner* pueden servir de control para otros factores compartidos (por ejemplo, cambios en la abundancia de los atunes o condiciones ambientales) que podrían haber afectado las capturas de atunes en el OPO en 2022 y 2023 además del programa de UIB.

Los buques *highliner* y *non-highliner* tuvieron tendencias relativamente paralelas en el número de lances totales y lances desglosados por tipo de lance hasta 2020, momento en el que los buques *non-highliner* experimentaron un aumento marcado en los lances sobre objetos flotantes (OBJ) y una disminución en los lances sobre cardúmenes no asociados (NOA), algo que no se reflejó en el grupo de buques *highliner* (Figura 7, Figura 8).

La captura de BET por lance OBJ (CPUE) disminuyó a un ritmo constante durante la última década en el grupo de buques *non-highliner*, pero fue relativamente estable en el grupo de buques *highliner* hasta 2020, después de lo cual la CPUE de BET disminuyó rápidamente, con una reducción particularmente pronunciada en la CPUE de BET en la pesquería OBJ en 2022 y 2023 (Figura 10), lo cual coincide con la implementación del programa de UIB. Se compararon las tendencias de la CPUE entre buques *highliner* y *non-highliner* en el oeste (al oeste de 115°O) y este (al este de 115°O) del OPO para examinar si las diferencias en las tendencias de la CPUE entre los grupos de buques *highliner* y *non-highliner* podrían explicarse por diferencias espaciales en los caladeros y la CPUE de BET (Figura 12, Figura 13). Si el

espacio por sí solo fuera la causa de estas diferencias en las tendencias de la CPUE, se esperaría que los buques *highliner* y *non-highliner* que pescan en la misma área (por ejemplo, el OPO occidental) tuvieran una CPUE de BET similar en lances OBJ. Sin embargo, los buques *non-highliner* que pescaban tanto en el este como en el oeste mostraron la misma tendencia descendente general, mientras que los buques *highliner* en el este y en el oeste tuvieron en gran medida la misma CPUE estable seguida de un fuerte descenso que coincidió con los años de UIB (Figura 14). Este resultado respalda la hipótesis de que las diferencias en las tendencias de la CPUE entre los grupos de buques *highliner* y *non-highliner* están más impulsadas por las diferencias a escala fina en las prácticas pesqueras que por las elecciones a gran escala de los lugares de pesca.

Se utilizó una mezcla de análisis de conglomerados y modelos de diferencias en diferencias para estimar si es posible que el programa de UIB haya provocado una disminución de la probabilidad de que los buques *highliner* capturen cantidades significativas de BET en lances OBJ. Se estimó que la probabilidad de que los buques *highliner* capturaran  $\geq 10$ MT de BET en un lance disminuyó drásticamente en 2022 y 2023 con respecto a la tendencia histórica (Figura 19), y que esto fue impulsado por una disminución de los eventos de captura en lances que históricamente hubieran tenido más probabilidades de capturar BET debido a sus atributos (por ejemplo, hora de pesca, ubicación, y profundidad del plantado) (Figura 21). Estos efectos son adicionales a cualquier efecto de fondo de la biomasa estimada de BET vulnerable, lo que indica que el descenso de la probabilidad de que los buques *highliner* capturen BET que coincide con los años de UIB se debe a algún otro atributo de la pesquería para el que actualmente no hay datos.

Se utilizaron modelos de control sintético para estimar el efecto del programa de UIB en la captura OBJ total de BET y otros atunes tropicales por buques *highliner*. Este enfoque controla los factores de confusión observados, como la biomasa de BET vulnerable a los lances OBJ, así como los factores de confusión no medidos, variables con el tiempo y específicos por buque (condicionados a los supuestos del modelo). Este enfoque de control sintético estimó que el programa de UIB redujo las capturas de BET en lances OBJ de los buques *highliner* en un promedio de aproximadamente 8,500 MT en 2022 y 2023, lo que equivale a una reducción del 23% de los niveles de captura predichos en ausencia del programa de UIB (Figura 25). Aunque la cifra exacta es incierta, el modelo respalda firmemente un tamaño de efecto de este orden de magnitud.

No se encontraron evidencias de que el programa de UIB por sí solo pudiera explicar una parte significativa del reciente aumento de las capturas de atún aleta amarilla (YFT) (Figura 17). Tanto los buques *highliner* como los *non-highliner* incrementaron sustancialmente sus capturas de YFT en 2021 y 2022, y las redujeron en 2023. Los buques *highliner* no tuvieron un aumento desproporcionado de las capturas de YFT que coincidiera con el programa de UIB.

En resumen, se estima que el programa de UIB disminuyó significativamente las capturas de BET en lances OBJ por parte de los buques cerqueros de clase 6. Este cambio parece haber sido impulsado en gran medida por una disminución de la CPUE en los lances OBJ, en vez de una disminución en el número de lances totales o un cambio de lances OBJ a lances NOA. Esta reducción estimada de las capturas de BET causada por el programa de UIB toma en cuenta los efectos de las mejores estimaciones disponibles de la abundancia de BET subyacente. Estos resultados están respaldados además por nuestro análisis que muestra que los buques *highliner* parecían haber disminuido su probabilidad de capturar  $\geq 10$ MT de BET en un lance OBJ con respecto a otras tendencias de fondo en esta proporción (Figura 21).

Es posible que existan explicaciones alternativas para estos resultados, pero tendrían que explicar por qué la CPUE de BET de los buques *highliner* descendió al mismo tiempo que se implementó el programa de UIB y por qué este descenso de la CPUE en el momento del programa de UIB no se observó en los buques *non-highliner* (Figura 10), y por qué estas diferencias en las tendencias de la CPUE entre los

buques *highliner* y *non-highliner* persisten incluso cuando estos dos grupos de buques pescaron en la misma área general (Figura 14). No se encontraron evidencias claras de cambios en la estrategia de pesca que pudieran explicar estos cambios, dados los atributos de los lances de pesca para los que se dispone de datos a nivel de lance. Es necesario realizar más investigaciones para comprender qué cambios en la estrategia de pesca de los buques *highliner* explican estos resultados, si los hubiera.

## 1. INTRODUCCIÓN

Al momento de determinar las medidas de conservación para los atunes tropicales en el periodo 2022-2024, el personal recomendó adoptar medidas adicionales a una veda estacional de 72 días para la pesquería cerquera con el fin de evitar que la mortalidad por pesca aumente por encima de los niveles de *statu quo*, definidos como la mortalidad por pesca promedio durante el periodo 2017-2019. En ese sentido, los Miembros presentaron dos propuestas para un esquema de límite de captura por buque individual para el atún patudo (BET) considerando que un pequeño número de buques era responsable de una gran fracción de las capturas de BET. Como resultado, las medidas de conservación para los atunes tropicales en la resolución [C-21-04](#) implementaron un programa de “Umbrales Individuales por Buque” (UIB) para las capturas de BET, el cual entró en vigor en 2022. En virtud de este programa, los buques de cerco pertinentes reciben más días de veda si rebasan determinados valores de capturas anuales, y la cantidad de días de veda aumenta en función de la cantidad en que un buque rebasa el umbral ([Tabla 1](#)).

Como parte del programa de UIB, la resolución [C-21-04](#) estableció un programa reforzado de muestreo en puerto ("Programa Reforzado de Monitoreo", PRM) para la estimación de la captura de BET a nivel de viaje, con el fin de apoyar a los Miembros y a sus buques de cerco en sus esfuerzos de conservación. El PRM comenzó a recolectar datos en marzo de 2023, y el muestreo continuará hasta diciembre de 2024. Para los viajes muestreados, el PRM proporciona una estimación independiente de la captura de BET, así como una medida de la precisión de esa estimación ([SAC-15 INF-H](#)). Los datos recolectados por el PRM también se utilizan para fines de investigación científica, incluyendo el modelado de la relación entre las estimaciones de captura de BET a nivel de bodega del PRM y de los observadores ([SAC-15 INF-H](#)), lo que podría conducir a la incorporación de los datos de observadores en futuras investigaciones con respecto a modelos espaciotemporales para estimaciones de la composición por especie a nivel de flota.

En respuesta a una recomendación de investigación del Comité Científico Asesor (CCA) de la CIAT (recomendación 3.1 en el documento [SAC-14-16](#)), en el presente informe se evalúan las evidencias de los impactos de este programa de UIB sobre el comportamiento de la flota y las capturas de atunes tropicales, particularmente BET, en el Océano Pacífico Oriental (OPO) en 2022 y 2023, mediante múltiples líneas de evidencia. Todos los análisis presentados en el presente documento se basaron en datos de observadores recolectados en buques de clase 6 en virtud del Acuerdo sobre el Programa Internacional para la Conservación de los Delfines (APICD). Aunque el programa de UIB proporciona un incentivo para que los buques no excedan el umbral establecido, no queda claro *a priori* exactamente qué tan fuerte es este incentivo y cuáles serían los cambios resultantes en las capturas de atunes tropicales (al contrario de, por decir, un control de arriba hacia abajo como una cuota anual de captura). Asimismo, el impacto del UIB podría confundirse con otros cambios económicos y ecológicos simultáneos en el OPO. Para abordar estos desafíos, se evaluaron múltiples líneas de evidencia en un esfuerzo de medir los impactos del UIB en las capturas de atunes tropicales en 2022 y 2023, con un enfoque particular en las capturas de atún patudo (BET, *Thunnus obesus*). Los resultados indican que el UIB probablemente sí resultó en una reducción significativa en la captura de BET en 2022 y 2023, y no parece explicar el reciente aumento de las capturas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*, YFT).

## 1.1. Objetivos

Este informe tiene tres objetivos principales:

1. Evaluar el impacto del UIB en las estrategias generales de pesca utilizadas por los buques cerqueros en el OPO ([Sección 4.1](#)).
2. Evaluar el impacto del UIB en las capturas de atunes tropicales, con un enfoque particular en las capturas de atún patudo ([Sección 4.2](#)).
3. Evaluar si existe algún indicio de que el programa de UIB explique en parte el reciente aumento de las capturas de atún aleta amarilla ([Sección 4.3](#)).

## 2. MÉTODOS

Este informe explora las evidencias de los efectos del programa de Umbrales Individuales por Buque (UIB), que entró en vigor el 1 de enero de 2022 de conformidad con la resolución [C-21-04](#); en particular, cambios en las capturas de BET por buques de clase 6, así como cambios en la estrategia de pesca y la composición por especie de la captura, como resultado o al menos coincidiendo con la implementación del UIB. El reto de cualquier evaluación de políticas es separar el efecto de la política en sí de otros factores que alteraron el resultado de interés al mismo tiempo. En el caso de los atunes tropicales, las capturas varían año con año debido a un gran número de factores, incluyendo cambios en la abundancia impulsados por fluctuaciones del reclutamiento, así como factores ambientales, económicos y políticos. Aunque puede ser instructivo el empezar a buscar cambios claros que coincidan con la implementación del programa de UIB, este enfoque por sí solo puede ser engañoso ya que cualquier cambio observado en las capturas que coincida con el UIB podría haber ocurrido por un sinnúmero de otras razones. Los análisis se llevaron a cabo utilizando R (Team, 2024).

### 2.1. Datos

Los principales datos utilizados para este análisis son los datos de observadores del APICD provenientes del formulario de Informes Diarios (DAR, por sus siglas en inglés) de 2009 hasta 2023. Para este análisis se realizó un filtro de estos datos; solo se incluyeron los buques cerqueros con capacidad de acarreo superior a 363 toneladas métricas (t) (buques de clase 6 de la CIAT) y lances sobre objetos flotantes (OBJ) y lances no asociados (NOA) realizados al este de 150°O.

Antes de realizar los análisis, los datos se limitaron aún más a buques con un comportamiento de pesca general similar. Parte del objetivo de este estudio es comparar las tendencias en buques que son, en lo general, similares en su comportamiento de pesca pero que tuvieron historias muy diferentes de captura de BET. Para identificar los tipos generales de comportamiento de pesca se realizó un análisis de conglomerados utilizando los métodos descritos en Lennert-Cody *et al.* (2018) y [FAD-07-01](#), asignando cada buque a un conglomerado durante el periodo 2010-2020.

Para identificar las estrategias de pesca, se aplicó el análisis de conglomerados a los resúmenes a nivel de buque de las siguientes variables:

- La proporción de lances por tipo de lance (los tres tipos de lances).
- La proporción de lances OBJ por tipo de objeto (por ejemplo, dispositivos agregadores de peces (plantados) sembrados por el buque.
- Plantados encontrados por casualidad, objetos flotantes naturales.
- La proporción de lances OBJ realizados en la región oeste del OPO.

Los buques utilizados en este análisis fueron los que realizaron un mayor porcentaje de sus lances sobre plantados que ellos mismos sembraron, con proporcionalmente pocos lances sobre objetos flotantes

naturales y sobre atunes asociados a delfines. Estos buques además realizaron proporcionalmente más lances OBJ que lances NOA; este conjunto de buques corresponde a los conglomerados 1 y 4 de los que se muestran en la [Figura 1](#). Se supone que este subconjunto de buques representa un comportamiento de pesca general enfocado en la pesca sobre plantados pero que además realiza lances NOA de manera oportunista.

La base de datos filtrada final que se utilizó en este análisis cuenta con 145,309 lances realizados por 106 buques. Tomando el año 2023 como referencia, esta base de datos filtrada representa 29,996 t de BET del total de 38,768 t notificadas en el DAR en ese año (77%); esta misma base contiene tanto lances OBJ como NOA. Se utilizaron ambos tipos de lances en todo el análisis, pero para el BET se utilizaron principalmente lances OBJ, ya que las capturas de BET en lances NOA son extremadamente bajas ([Figura 9](#)).

Esta base de datos se aumentó con información acerca de la abundancia de BET vulnerable a las artes de pesca en cuestión. Para calcular esto, se recopiló la biomasa estimada por edad del BET de la última evaluación de la población ([SAC-15-02](#)). Se calcularon las edades vulnerables para OBJ y NOA con base en las curvas de selectividad estimada para estos tipos de artes, lo que resultó en que los trimestres del 4 al 15 son vulnerables a los lances NOA y los trimestres del 3 al 6 son vulnerables a los lances OBJ. Después, se calculó la biomasa total en cada uno de estos grupos de edad para obtener dos índices de biomasa separados para los lances NOA y OBJ. Las estimaciones de biomasa vulnerable por buque se calcularon como el promedio ponderado de las tendencias de biomasa vulnerable de lances NOA y OBJ, con una ponderación basada en la cantidad relativa de lances NOA y OBJ realizados por un buque determinado en un año determinado.

## **2.2. Definición de grupos de buques y periodos de tiempo afectados por el UIB**

A lo largo de este informe se examinó una gama de estrategias para explorar los cambios en los resultados de la pesca derivados del UIB y aislar, lo más posible, los efectos del programa de UIB de los cambios producidos por otros factores. Muchos de estos métodos están basados en el supuesto de que se pueden separar los buques cerqueros cubiertos por el programa de UIB en dos grupos generales: un conjunto de buques “*highliner*”, que históricamente han capturado cantidades relativamente grandes de BET y, como tal, son más propensos a que el programa de UIB tenga un efecto directo sobre ellos; y por otro lado, un conjunto de buques “*non-highliner*”, que históricamente no han capturado mucho atún patudo y, como tal, es probable que continúen sus operaciones normales independientemente de la presencia del UIB. Muchos de los análisis parten del supuesto de que estos buques *non-highliner* pueden servir como indicadores de tendencias generales ambientales, de abundancia y/o de mercado no observadas en la pesquería que podrían afectar las capturas independientemente de la presencia del programa de UIB.

Se probó una variedad de métodos para definir este grupo de buques *highliner*, pero el enfoque principal presentado aquí es la definición de los buques *highliner* con base en las capturas de BET de 2017 a 2021; durante este periodo, se calculó la captura total de BET por año y por buque. El programa de UIB estipula que los buques que exceden las capturas de 1,200 t de patudo en un año reciben más días de veda, lo que incentiva a los buques a evitar rebasar este umbral. Los buques normalmente dan seguimiento a sus capturas a nivel de viajes de pesca; considerando lo anterior, se cuantificó la desviación estándar de la captura de BET por viaje y por buque desde 2017 hasta 2021. Entonces, un supuesto sencillo es que un buque puede esperar que las capturas de BET en un viaje determinado estén dentro de  $\pm \sim 2$  desviaciones estándar (340) de la captura promedio por viaje. El límite se calculó como el valor del umbral de 1,200 t menos aproximadamente dos desviaciones estándar, redondeado a 800 t.

Después, se calculó la proporción de años entre 2017 y 2021 en la que cada buque capturó 800 t de BET o más y se definieron como buques *highliner* los buques que capturaron 800 t de BET o más en 50% o más de los años. El razonamiento es que, durante estos años de referencia, estos buques capturaron de forma consistente suficiente BET como para estar en riesgo de rebasar el umbral actual del UIB, lo que puede ser indicativo de su exposición a la política de UIB una vez que entró en vigor.

Se evaluaron otros métodos para definir el grupo de buques *highliner*, incluyendo solo los buques incluidos en el PRM, los buques en el percentil del 80% superior de captura de BET, y variaciones en el límite de 800 t utilizado aquí. Los resultados fueron insensibles a estas variaciones de la definición de *highliner*.

Este proceso resultó en 25 buques en el grupo de buques *highliner* y 81 en el grupo de buques *non-highliner*.

De manera general, se asignaron los años de 2009 a 2021 como el periodo “previo” al UIB y de 2022 a 2023 como el periodo “posterior” al UIB, aunque en algunos análisis de sensibilidad se asignaron años placebo de UIB para probar la validez de distintos supuestos del modelo.

### **2.3. Conglomerados de estrategias de pesca**

Una hipótesis es que el programa de UIB puede causar que algunos buques modifiquen sus estrategias de pesca, si al hacerlo son capaces de evitar mejor niveles altos de capturas de BET no deseables. Para probar esta hipótesis, se ejecutó un algoritmo de conglomeración sobre el conjunto de datos filtrados que asignaba cada lance de pesca de 2009 a 2023 a un determinado conglomerado de estrategias de pesca. Después, se examinó si los buques del grupo *highliner* (el cual, según nuestra hipótesis, tiene más probabilidades de responder al programa de UIB) mostraban algún cambio sistémico en la frecuencia de lances dentro de los distintos conglomerados de pesca tras la implementación del programa de UIB.

La conglomeración se realizó utilizando las siguientes variables:

- Tipo de lance (OBJ, NOA, asociado a delfines (DEL))
- Latitud y longitud
- Distancia de la costa
- Temperatura superficial del mar
- Profundidad de la red
- Mes

La profundidad de la red se refiere a la extensión vertical máxima de la red de cerco (es decir, no es la profundidad real en el agua, que se verá afectada por corrientes y otros factores). Para realizar la conglomeración por lance individual, primero se tomaron muestras aleatorias de 25,000 lances del subconjunto utilizado en este estudio. Después, se calculó la matriz de disimilitud de Gower entre todos los lances de esta base de datos submuestreada, con base en las covariables de conglomeración antes mencionadas. La razón de este paso es que no era informáticamente factible calcular la matriz de disimilitud entre los más de 100,000 lances observados incluidos en el estudio. Posteriormente, se agruparon los lances con base en esta matriz de disimilitud utilizando la función `hclust` en R, limitando a cinco el conjunto final de conglomerados.

Después, entrenamos un modelo de bosques aleatorios utilizando el paquete *ranger* en R para asignar todos los lances observados a uno de los conglomerados desarrollados en el paso de submuestreo. El paso inicial de conglomeración asignó los buques a los conglomerados con base en las disimilitudes de los atributos enumerados anteriormente entre los lances. Se utilizó un modelo de bosques aleatorios para predecir el conglomerado con base en estos mismos atributos de conglomeración; en otras palabras, el modelo de bosques aleatorios aprende cómo el algoritmo de conglomeración utilizó en

última instancia estas variables para dividir los lances en conglomerados. Este paso permitió estimar el conglomerado al que cada lance no incluido en la definición inicial de conglomerado probablemente hubiera sido asignado por el algoritmo de conglomeración si hubiera sido incluido.

## 2.4. Diferencias en diferencias

Diferencias en diferencias (DD) es una técnica común utilizada para intentar estimar el efecto causal de una política (ver Ovando *et al.*, 2021 para un ejemplo ecológico) dados los datos sobre un grupo de “tratamiento” y “control” antes y después de la implementación de una política. En este caso, se trató a los grupos de buques *highliner* y *non-highliner* como los grupos de tratamiento y control, respectivamente; y el periodo “previo” como los años anteriores a 2022 y el periodo “posterior” como los años 2022 y 2023.

La ecuación DD básica es la siguiente:

$$\begin{aligned} outcome = & (Highliner_{after} - Highliner_{before}) \\ & - (NonHighliner_{after} - NonHighliner_{before}) \quad (1) \end{aligned}$$

“*outcome*” (resultado) en este caso podría ser, por ejemplo, la captura de atún por lance OBJ. En este informe se utilizaron enfoques de estilo DD para examinar el efecto del UIB en distintos tipos de resultados. Partiendo del supuesto de que, en ausencia de UIB, los resultados de los grupos de buques *highliner* y *non-highliner* hubieran tenido tendencias paralelas, este enfoque controla tanto los distintos niveles de referencia de los resultados entre los dos grupos, como las diferencias de referencia en los periodos de tiempo previo y posterior no relacionados con la intervención de la política.

Este enfoque de DD puede expresarse por medio de la siguiente estructura general de regresión:

$$outcome_{i,t} \sim \beta_0 + \beta_1 IVT_t + \beta_2 highliner_i + \beta_3 IVT_t \times highliner_i + \beta_x covariates_{i,t}$$

Donde *outcome* es el resultado de interés para la unidad *i* en el periodo de tiempo *t*, *IVT* es una variable ficticia que indica si se trata del periodo previo o posterior al UIB; *highliner* es una variable ficticia que indica si una unidad determinada está en el grupo de tratamiento (*highliner*) o en el de control (*non-highliner*); y *covariates* es un vector de covariables adicionales. En esta estructura,  $\beta_0$  es el nivel de referencia del resultado para un *non-highliner* en el periodo previo al UIB;  $\beta_1$  es el efecto adicional de ser un *non-highliner* en el periodo de UIB;  $\beta_2$  es el efecto adicional de ser un *highliner*; y  $\beta_3$  es el efecto adicional de ser un *highliner* en el periodo de UIB.  $\beta_x$  es un vector de coeficientes covariables adicionales.

El parámetro  $\beta_3$  es el efecto estimado de la política, el efecto adicional de ser una unidad *highliner* en el periodo de UIB. Con el fin de interpretar estos coeficientes  $\beta_3$  “causalmente”, se debe invocar el supuesto de tendencias paralelas, es decir, que *antes* del tratamiento, los grupos tratados y no tratados tenían tendencias paralelas en el resultado, lo cual se puede observar antes del tratamiento, pero no se puede observar después del tratamiento. Cuando el resultado está en el espacio logarítmico, los coeficientes  $\beta$  pueden ser interpretados aproximadamente como un efecto multiplicativo en lugar de un efecto aditivo.

## 2.5. Modelo de detección de puntos de cambio en los residuales

La captura de BET es una función compleja tanto de la disponibilidad de patudo como de las prácticas pesqueras utilizadas en un lance determinado. En la medida en que conocemos los atributos importantes y podemos medirlos de manera exacta, en teoría se puede construir un modelo que permita predecir la probabilidad de capturar patudo como una función de esos atributos. Sin embargo, muchas veces no se cuenta con los datos de cada atributo del proceso de pesca que pueda resultar relevante, y el efecto de un determinado atributo en el proceso de pesca puede cambiar entre los

periodos de tiempo utilizados para entrenar el modelo y los periodos de tiempo en los cuales el modelo se aplica para realizar una predicción. En particular, una política como el UIB puede resultar en cambios en las estrategias de pesca sutiles que no son directamente medibles con los datos actualmente recolectados por los observadores.

Para probar esta posibilidad, se entrenó una serie de árboles de regresión reforzada utilizando el paquete *xgboost* en R (Chen *et al.*, 2024). *xgboost* es un algoritmo basado en árboles similar a un bosque aleatorio. No obstante, al contrario que este último, el algoritmo *xgboost* tiene mecanismos que actualizan activamente el modelo para abordar los puntos de datos que el modelo tiene dificultades para ajustar (esto, sin embargo, hace que el modelo sea más propenso al sobreajuste). Los parámetros del modelo se afinaron para evitar el sobreajuste utilizando una celda de validación “progresiva” en la que los años se añadían de forma secuencial a la división de entrenamiento de un modelo que después se utilizaba para predecir los años futuros retenidos. Ver Elith *et al.* (2008) para consultar una introducción general a los árboles de regresión reforzada.

El conjunto base de las covariables utilizadas en este informe fueron las siguientes:

- Capacidad de carga de pescado del pabellón del buque
- Profundidad de la red y profundidad del plantado. La profundidad del plantado representa la longitud máxima del material que cuelga debajo del plantado (es decir, no representa la profundidad real del material en el agua, que se verá afectado por corrientes y otros factores)
- Latitud, longitud y su interacción (calculado como el producto de las dos variables)
- Distancia de la costa
- Mes
- Temperatura superficial del mar
- Índice de abundancia de BET vulnerable

Con el propósito de tratar de identificar cambios en las estrategias de pesca resultantes de la implementación del UIB, se adaptaron los conceptos presentados por Lennert-Cody y Berk (2007). Se realizaron una serie de experimentos en los que se retuvieron porciones de los datos del proceso de entrenamiento del modelo y después se utilizó el modelo para predecir el resultado de interés en esas muestras retenidas. Suponiendo que las covariables medidas y los resultados incluidos en este análisis capturan de forma adecuada los procesos subyacentes, el desempeño del modelo no debería deteriorarse sustancialmente al predecir sobre datos retenidos.

Si se produce un descenso en el desempeño del modelo con datos retenidos, se puede deber a varias causas, las cuales pueden ocurrir de manera simultánea. En primer lugar, es posible que el cambio de política haya afectado el comportamiento de pesca en formas no capturadas adecuadamente por las covariables incluidas en el modelo; de hecho, es posible que no se conocieran esas covariables y, por tanto, que no se midieran. Esto llevará a que el modelo tenga un desempeño deficiente con los datos del periodo posterior al cambio de política, aun cuando los datos de esos años se hayan incluido en los datos utilizados para entrenar el modelo. En segundo lugar, el cambio de política puede haber afectado la relación entre las covariables incluidas en el modelo, pero esta relación no se puede estimar con datos del periodo previo al cambio de política. Esto llevará a que un modelo entrenado con datos previos al cambio de política tenga un desempeño deficiente con los datos retenidos del periodo posterior al cambio de política. A este modelo se le llama modelo de “detección de puntos de cambio en los residuales” ya que su objetivo es detectar si existen cambios sustanciales en los residuales del modelo asociados a la implementación del UIB.

Se ejecutaron múltiples versiones de estos análisis. Para el experimento “progresivo”, se ejecutaron una serie de modelos progresivos de un paso adelante, en los que se utilizaron los datos de los años  $1:X$  para

entrenar el modelo, que después se utilizó para predecir el año  $X+1$ . Si la dinámica del sistema no cambiara, cabría esperar que el desempeño del modelo fuera aproximadamente igual en el año  $X+1$  que en los años  $1:X$ . Como alternativa a este experimento “progresivo”, se realizó un experimento “aleatorio” en el que, para cada año  $x$ , se retuvo del conjunto de entrenamiento un subconjunto aleatorio de buques. Para este análisis solo se incluyeron lances OBJ debido a la baja probabilidad de encuentro de patudo en lances NOA.

El análisis se trató como un problema de clasificación de dos clases. La variable de respuesta a nivel de lance fue la presencia/ausencia de captura de BET superior a 10 t; es decir, “presencia” se refiere a la captura de BET en un lance superior a 10 t, mientras que “ausencia” se refiere a la captura de BET en un lance menor o igual a 10 t. Como sensibilidad, el análisis también se ejecutó con la variable de respuesta definida como la presencia/ausencia de cualquier BET en un lance.

Después, se comparó la presencia o ausencia de BET en un lance determinado para el año  $x$  con la predicción de presencia/ausencia generada por el modelo. Se puede cuantificar el desempeño del modelo utilizando tres métricas diferentes:

1. Exactitud: la proporción de observaciones para las que el modelo predijo correctamente que la captura de BET para el lance era superior a 10 t (presencia) o inferior o igual a 10 t (ausencia).
2. “Presencia sorpresa”: el modelo predijo que la captura de BET era inferior o igual a 10 t, pero el lance en realidad tenía una captura de BET superior a 10 t.
3. “Ausencia sorpresa”: el modelo predijo que la captura de BET era superior a 10 t, pero el lance en realidad tenía una captura de BET inferior o igual a 10 t.

Nuestra hipótesis es que el UIB puede haber incentivado a los pescadores a modificar su comportamiento para evitar el patudo. Si ese es el caso, y si estas decisiones afectan comportamientos que no se miden directamente en los datos con los que se alimentó el modelo, cabría esperar que esto se manifestara como una disminución de la exactitud en los años de UIB, asociada principalmente a un aumento de la tasa de “ausencias sorpresa”.

## 2.6. Modelo de previsión

Los atributos de las capturas de atunes tropicales (captura, captura por lance y número de lances) muestran tendencias tanto a largo plazo (decadales y anuales) como a corto plazo (estacionales). Se desarrolló un modelo de previsión con base en tendencias para examinar si los atributos de las capturas de atunes tropicales cambiaron de manera sustancial cuando entró en vigor el programa de UIB. Los cambios antes y después de una intervención de una política deben interpretarse con cautela, ya que en ausencia de una unidad de control válida cualquier efecto puede ser una simple coincidencia. No obstante, al complementarse con los otros análisis en este informe, este tipo de modelo más sencillo puede ser una forma útil de comprender exactamente cuáles procesos parecen estar cambiando en el sistema.

Se ajustó un modelo aditivo generalizado bayesiano (MAG) a la captura, el número de lances y la captura por lance para cada una de las especies de atunes tropicales por año, mes y grupo de buques *highliner*.

La forma general de estos modelos es la siguiente:

$$y_{m,t} \sim \beta_0 + \beta_1 lag_{m,t} + \beta_2 month + s(year|highliner) + highliner + s(bet)$$

Donde  $y$  es el resultado en cuestión para la métrica  $m$  (por ejemplo, captura por lance o captura total) para la especie de atún  $t$ . Los términos  $\beta$  son coeficientes de regresión,  $lag$  es un retardo de 12 meses

del resultado y para la especie  $t$ , *highliner* denota si una observación determinada es del grupo *highliner*, y  $bet$  es la abundancia estimada de patudo en un intervalo temporal determinado.  $s(year/highliner)$  denota un término suavizado en un año numérico para los datos de los buques *highliner* y  $s(bet)$  denota un término suavizado en la abundancia estimada de BET en un intervalo temporal determinado.

Se ajustó este MAG utilizando datos del periodo previo al UIB y después se utilizó el modelo para generar una distribución predictiva posterior de la métrica en cuestión en el periodo posterior al UIB. La variable *lag* se restringió para que no contuviera datos del periodo de UIB (2022 y 2023). Tras lo anterior, se compararon los valores observados y predichos para las métricas en cuestión durante el periodo posterior al UIB; esto permite identificar cuáles atributos de cuáles especies parecen apartarse de sus tendencias históricas cuando entró en vigor el programa de UIB.

## 2.7. Controles sintéticos

El enfoque de DD descrito anteriormente supone que la tendencia promedio de una métrica de interés en el grupo de buques *non-highliner* se habría aplicado al grupo de buques *highliner* en ausencia del UIB. El supuesto de este método es que todos los buques *non-highliner* tienen la misma ponderación (es decir, la misma validez) como un control para los buques *highliner*. Sin embargo, este puede no ser el caso; algunos buques *non-highliner* pueden ser más representativos de las tendencias de los buques *highliner* que otros.

Los controles sintéticos (Abadie *et al.*, 2010; Abadie, 2021) ofrecen una alternativa a este enfoque de “igual ponderación” de un DD convencional. Los controles sintéticos ponderan de forma adaptativa las contribuciones de buques individuales en el grupo *non-highliner* para aproximarse lo mejor posible a las tendencias previas al UIB en el grupo de buques *highliner* (con medidas para evitar el sobreajuste a las tendencias estimadas de los buques individuales en el grupo *non-highliner*, las “unidades de control sintético”). Este enfoque proporciona una unidad de “control” sintético personalizada para cada buque *highliner* en el análisis, la cual luego se puede comparar con los valores reales de interés posteriores al UIB para estimar el efecto de la política en cuestión.

Se utilizó una implementación de controles sintéticos llamada “control sintético generalizado” (GSC, por sus siglas en inglés; Xu, 2017) implementado con el paquete *gsynth* en R. Se utilizó el método de estimación de “finalización de matriz”, como se describe en Athey *et al.* (2021), ya que tenía un mejor desempeño en pruebas de validación cruzada. La estructura básica del enfoque de GSC se presenta a continuación, siendo la variable dependiente las capturas anuales de especies individuales de atunes tropicales en lances OBJ por buque.

1. Asignar un grupo de tratamiento y de control, en este caso buques *highliner* y *non-highliner*. Esto define a los dos grupos que el modelo supone que son afectados (*highliner*) y no son afectados (*non-highliner*) por el UIB.
2. Separar los datos en periodos “previos” y “posteriores” al UIB.
3. Entrenar a un modelo que prediga la captura OBJ utilizando datos de todos los periodos del grupo de buques *non-highliner* y solo del periodo previo al UIB para el grupo de buques *highliner* (solo al utilizar el método de finalización de matriz). Este paso estima los coeficientes latentes del modelo que varían con el tiempo y específicos por buque basándose únicamente en los buques que no están siendo afectados actualmente por el programa de UIB.
4. Entrenar a un modelo secundario que prediga la captura OBJ de los buques *highliner* utilizando los valores predichos del grupo de buques *non-highliner* del periodo previo al UIB. Este paso construye el “control sintético”, es decir, la ponderación de cada buque *non-highliner* individual

en la reproducción de la tendencia previa al tratamiento en las capturas OBJ de los buques *highliner*.

5. Utilizar este modelo secundario para predecir la captura OBJ de los buques *highliner* en el periodo de UIB. Este paso proporciona una predicción de las capturas de las unidades de control sintético en el periodo tratado. En otras palabras, la predicción de lo que los buques *highliner* hubieran capturado en lances OBJ en el periodo de UIB si el UIB no hubiera ocurrido.
6. Sustraer las capturas OBJ de los buques *highliner* observadas de las capturas OBJ de los buques *highliner* predichas generadas por el paso 5. Este es el efecto causal estimado de la política.

El enfoque de control sintético tiene por objeto igualar casi a la perfección las tendencias promedio de las capturas OBJ de los buques *highliner* previas al UIB por medio de una variedad de técnicas numéricas y analíticas utilizadas para evitar el sobreajuste, concretamente una serie de rutinas de validación cruzada de un paso adelante. Las estimaciones de incertidumbre se calculan mediante *bootstrap*.

Se utilizó este enfoque de control sintético para intentar estimar el efecto causal del programa de UIB en las capturas anuales totales de atunes tropicales en lances OBJ, con especial atención a los efectos en el BET. Se fijó en 12 el número mínimo de años previos al UIB que debía tener un buque en la base de datos para ser incluido en el ajuste del modelo. El control sintético incluyó las siguientes covariables:

- Previo y posterior al UIB
- Estado de *highliner*
- Valor promedio anual del Índice de El Niño Oceánico (ONI, por sus siglas en inglés)
- El promedio anual de latitud, longitud y latitud por longitud de lances OBJ por buque
- La biomasa estimada de BET vulnerable a lances OBJ
- El número de lances OBJ

Nótese que al incluir estas covariables se supone que son exógenas al programa de UIB. Los resultados son casi en su totalidad insensibles a la inclusión o exclusión de covariables espaciales que podrían ser endógenas, exógenas o una mezcla de ambas al programa de UIB. Al incluir los lances OBJ en el control sintético, se modela efectivamente la captura por lance OBJ (CPUE). No obstante, al ajustar a captura y condicionarla al esfuerzo, es más fácil proporcionar estimaciones e incertidumbre en las unidades relevantes para la ordenación (captura total). Junto con estos efectos, el método de control sintético estima una serie de efectos latentes de tiempo y por buque que conforman el núcleo de la unidad de control sintético real.

Ya sea que se controle el esfuerzo o se ajuste a la CPUE, se hace el supuesto de que el UIB no afectó directamente la cantidad total de lances OBJ, sino la CPUE de esos lances OBJ. Se hace dicho supuesto ya que ni la evidencia anecdótica ni la empírica apunta a un cambio en la dinámica de la cantidad total de esfuerzo o lances OBJ por el grupo de buques *highliner* causado por el programa de UIB. Se realizaron análisis de sensibilidad en los que el modelo se ajustó a la CPUE en lugar de a la captura y se obtuvieron resultados similares pero ligeramente más variables.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Análisis exploratorios**

Se examinaron las tendencias en los datos sin procesar antes de realizar análisis estadísticos formales para ver si alguna tendencia visual coincidía con la implementación del programa de UIB. Para los fines de esta sección, se considera que el UIB entró en vigor en 2022 (reconociendo que puede haber habido algunos efectos anticipatorios).

### 3.1.1. Dinámica de la pesquería

Las capturas de patudo continuaron una tendencia descendente después del programa de UIB y fueron inferiores en 2022 y 2023 que en cualquier otro año previo al UIB en los últimos diez años. Por el contrario, las capturas de YFT en los años posteriores al programa de UIB alcanzaron o estuvieron cerca de alcanzar máximos históricos en la última década ([Figura 2](#), [Figura 3](#)). Las capturas de SKJ aumentaron drásticamente en 2023.

La curva de captura acumulativa posterior al UIB parece estar en consonancia con la distribución de las curvas de captura acumulativa observadas en años pasados, aunque es más plana que en los años inmediatamente previos al UIB. No se observa un aplanamiento evidente de la curva de captura acumulativa que coincida con la implementación del programa de UIB, pero tampoco se observa un incremento de la concentración de BET en los buques de la flota ([Figura 4](#)). Es decir, la tendencia histórica de que un alto porcentaje de las capturas de BET a nivel de flota sea generado por un porcentaje relativamente pequeño de buques no ha cambiado de forma notable.

Se clasificaron los buques en dos grupos: “*highliner*” y “*non-highliner*” (ver [Sección 2.2](#)). Este proceso resultó en 25 buques *highliner* y 81 buques *non-highliner* ([Figura 5](#)). Aunque los buques *highliner* tuvieron algunos años de captura baja de BET y viceversa, este procedimiento separó ampliamente los buques en el punto de inflexión entre los buques con captura de BET más alta y los buques con captura de BET más baja. De los 25 buques en el grupo *highliner*, 87% fueron muestreados por el Programa Reforzado de Monitoreo establecido en la resolución [C-21-04](#) como parte del programa de UIB, necesario para proporcionar la mejor estimación científica de la captura de BET por viaje.

El grupo *non-highliner* tuvo consistentemente más lances y buques que el grupo *highliner*; ambos siguieron tendencias similares en estos valores a lo largo del tiempo ([Figura 7](#)). Tanto los buques *highliner* como los *non-highliner* realizaron principalmente lances OBJ, aunque el grupo *highliner* dependió más de los lances OBJ. En ambos grupos se pudo observar un incremento general de la tendencia en el número de lances OBJ. La diferencia más notable entre ambos ocurrió después del 2021, cuando el grupo *non-highliner* presentó un aumento considerable en lances OBJ y una disminución mucho mayor en el número de lances NOA en comparación con la tendencia del grupo *highliner* ([Figura 8](#)).

Aunque las tendencias en las capturas de YFT y SKJ de los buques *highliner* y *non-highliner* fueron en general similares durante el periodo 2009-2023, las tendencias en las capturas de BET de ambos grupos de buques durante el mismo periodo fueron bastante diferentes ([Figura 6](#)). De hecho, las capturas de BET fueron mayores en el grupo *non-highliner* antes de 2010, tras lo cual las capturas de BET del grupo *highliner* aumentaron drásticamente durante varios años antes de comenzar un pronunciado descenso a partir de 2020 ([Figura 6](#)).

Tanto SKJ como YFT presentaron tendencias en gran medida paralelas en la CPUE promedio para los grupos *highliner* y *non-highliner* durante el periodo de estudio. La CPUE promedio de BET del grupo *non-highliner* disminuyó de forma constante durante el periodo de estudio; por otra parte, la CPUE promedio de BET del grupo *highliner* se mantuvo estable desde 2010 a 2020, aunque experimentó un fuerte descenso en los años siguientes, alcanzando mínimos históricos para el grupo *highliner* en los años posteriores al UIB, 2022 y 2023 ([Figura 10](#)).

La proporción de la captura anual de atunes tropicales compuesta por BET disminuyó constantemente con el tiempo en el grupo *non-highliner*. En el caso del grupo *highliner*, los niveles se mantuvieron en general estables de 2010 a 2020, después de lo cual la proporción de la captura compuesta por BET del grupo *highliner* comenzó a descender rápidamente ([Figura 11](#)). Se separó la CPUE de BET por lances OBJ y lances NOA.

Algo que posiblemente podría explicar las diferencias en las tendencias de la CPUE de los lances OBJ entre los grupos de buques *highliner* y *non-highliner* son las diferencias espaciales en la abundancia de BET. Si los grupos *non-highliner* pescan en áreas con una tendencia distinta en la abundancia de BET que los grupos *highliner*, entonces se puede esperar ver diferencias en sus tendencias de CPUE. De manera alternativa, si las tendencias reflejan diferencias en las prácticas pesqueras en lugar del espacio, se puede esperar ver la misma tendencia en la CPUE dentro de los grupos *highliner* y *non-highliner* independientemente del lugar de pesca.

Para evaluar lo anterior, se examinó la distribución espacial de los lances entre 2014 y 2023, separando los de años de UIB, 2022 y 2023. Los lances OBJ de buques *highliner* se concentraron en el norte y oeste del OPO, con puntos álgidos en el sureste en algunos años. Los lances OBJ de buques *non-highliner* se concentraron en el este del OPO; no obstante, ambos grupos pescaron algunos lances OBJ en todo el caladero ([Figura 12](#)). La CPUE de BET en lances OBJ tanto para buques *highliner* como *non-highliner* tendió a ser más alta a lo largo de la línea ecuatorial en las partes occidentales del OPO. Los buques *non-highliner* tuvieron una CPUE más baja de BET incluso dentro de las mismas áreas espaciales que los buques *highliner* ([Figura 13](#)).

Para explorar más a fondo si las diferencias espaciales por sí solas podrían explicar las distintas tendencias de la CPUE de BET entre los buques *highliner* y *non-highliner*, se definió un límite de 115 grados oeste con base en la longitud aproximada en la cual cambia el predominio de lances por buques *highliner* en relación con los *non-highliner*. Después, se compararon las tendencias de la CPUE de los buques *highliner* y *non-highliner* en el este y en el oeste del OPO. Si el espacio por sí solo fuera la causa de estas diferencias, se esperaría que los buques *highliner* y *non-highliner* que pescan en la misma área tuvieran una CPUE de BET similar en lances OBJ. La naturaleza del buque (*highliner* vs *non-highliner*) explicó mucho mejor la tendencia de la CPUE que el lugar de pesca ([Figura 14](#)). En otras palabras, los buques *non-highliner* que pescaban en el este o el oeste mostraron la misma tendencia descendente, mientras que los buques *highliner* en el este o el oeste tuvieron en gran medida la misma tendencia estable y luego descendente. Este resultado respalda la hipótesis de que las diferencias en las tendencias de la CPUE entre los grupos *highliner* y *non-highliner* están más impulsadas por las diferencias a escala fina en las prácticas pesqueras que por las elecciones a gran escala de los lugares de pesca.

### **3.1.2. Estrategias de pesca**

#### **Salida del Área de la CIAT**

Una hipótesis es que los buques en riesgo de rebasar el UIB pueden haber desplazado sus operaciones al oeste del límite de 150 grados oeste de la CIAT. Al examinar los datos, no hubo un cambio claro ni en la cantidad de captura de BET ni en el número de lances al oeste de 150°. Eso no significa que buques individuales no hayan llevado a cabo este movimiento, pero la cantidad no parece ser suficiente para causar un cambio a gran escala en la distribución espacial de los lances o la captura de BET ([Figura 15](#)).

#### **Conglomerado de estrategias de pesca**

En el pasado, la CIAT ha utilizado análisis de conglomerados para describir estrategias de pesca en la flota cerquera (Lennert-Cody y Berk, 2007). Con base en este trabajo, se evaluó si hubo cambios visualmente obvios en las estrategias de pesca definidas por conglomerados de tipos de actividades que coinciden con el programa de UIB. Se clasificó cada lance por buques cerqueros de clase 6 de 2010 a 2022 con base en criterios como lugar, época del año, tipo de lance, profundidad de la red y capitán, utilizando los métodos descritos en la [Sección 2.3](#). El algoritmo de conglomeración asigna lances individuales a conglomerados definidos por una estructura similar a un árbol. Se examinó si la proporción de lances en cada conglomerado cambiaba significativamente coincidiendo con el programa

de UIB. Con base en estos métodos, no se observaron cambios repentinos ni obvios en la distribución de lances por conglomerado que coincidiera con la implementación del programa de UIB ([Figura 16](#)).

### 3.1.3. Capturas de atún aleta amarilla

Una hipótesis detrás del reciente incremento de capturas de YFT es que los buques afectados por el programa de UIB pueden haber cambiado su comportamiento con la intención de reducir la captura de BET, pero que incidentalmente podrían haber aumentado su captura de YFT ([Figura 2](#)). Se examinó si el reciente aumento de la captura de YFT se concentra en los buques *highliner* de BET que podrían verse particularmente afectados por el programa de UIB. Históricamente, aproximadamente dos tercios de la captura anual de YFT ha provenido del grupo *non-highliner*. El grupo *highliner* representó alrededor de la mitad del aumento de las capturas de YFT de 2021 a 2022, pero la mayoría de los aumentos de año en año de la captura de YFT ha provenido del grupo *non-highliner*. Lo anterior no significa entonces que el UIB no pueda haber tenido impactos secundarios en las capturas de YFT con base en este análisis, pero las capturas de los buques *highliner* por sí solas no son suficientes para explicar el reciente aumento en las capturas de YFT ([Figura 17](#)). Ver [SAC-15 INF-L](#) para consultar una exploración del papel potencial de los eventos de ENOS para explicar los cambios recientes en las capturas de YFT.

## 3.2. Efectos estadísticos del UIB

Se llevaron a cabo una serie de procedimientos estadísticos para evaluar las evidencias empíricas del efecto del UIB sobre varios aspectos de la pesquería cerquera de atunes tropicales. En primer lugar, se examinó si el UIB parece haber causado un cambio en la probabilidad de un lance de captura de BET “elevado”, definido como un lance en el que se capturan 10 t o más de BET. Después, se ejecutaron una serie de modelos para examinar los impactos del UIB en las métricas absolutas de la pesquería, principalmente la captura.

### 3.2.1. Probabilidad de captura de BET

Al examinar primero el cambio antes y después en las probabilidades de que los buques cerqueros de clase 6 capturaran  $\geq 10$  t de BET en lances OBJ, algunos buques aumentaron sus probabilidades de capturar  $\geq 10$  t de BET, otros tuvieron probabilidades más bajas y muchos no sufrieron cambios; visualmente, parece como si tal vez hubiera más buques *highliner* en el grupo que tenía menores probabilidades de BET después del UIB ([Figura 18](#)). Utilizamos el modelo de DD descrito en la [Sección 2.4](#) para cuantificar si los buques *highliner* tenían probabilidades significativamente más bajas de un lance de BET elevado después del UIB en comparación con las tendencias previas al UIB.

El modelo de DD estimó un descenso repentino en la probabilidad de BET para los buques *highliner* en 2022 y 2023 con respecto a los valores recientes previos al UIB. No obstante, el modelo no respalda el supuesto de tendencias paralelas; es decir, los efectos *year*  $\times$  *highliner* son significativamente distintos de cero en los años previos al UIB, lo que indica que la tendencia de los buques *non-highliner* de la probabilidad de captura de BET no es un control válido para la tendencia de los buques *highliner*. Lo anterior significa que, aunque los buques *highliner* tuvieron una menor probabilidad de capturar BET en 2022 y 2023, no se cuenta con un control válido para separar de forma fiable cambios más amplios que pudieran explicar este cambio aparte del UIB. Dicho esto, el modelo estimó un descenso drástico en la probabilidad de que los buques *highliner* capturaran más de 10 t de BET en un lance coincidente con la implementación del UIB ([Figura 19](#)).

### Modelo de detección de puntos de cambio en los residuales

Se realizó un análisis según el método de Lennert-Cody y Berk (2007) para intentar medir si había habido cambios en la probabilidad de capturar BET en lances OBJ como resultado de cambios no observados en la estrategia de pesca o cambios en la relación entre las covariables observadas y la probabilidad de

captura de BET. A este enfoque lo llamados modelo “de detección de puntos de cambio en los residuales” (ver los métodos en la [Sección 2.5](#)), ya que evalúa si hubo algún cambio en los residuales del modelo predictivo que coincida con la implementación del UIB.

Los grupos de buques *highliner* y *non-highliner* y las estructuras de modelo “aleatorio” y “progresivo” tuvieron niveles y tendencias similares en la exactitud promedio (clasificación correcta de la presencia o ausencia de una captura de BET elevada en un lance). Tanto los diseños “aleatorios” como los “progresivos” mostraron un descenso repentino en la exactitud promedio que coincide con el UIB ([Figura 20](#)).

Se cuantificó este cambio en la exactitud del modelo mediante un análisis tipo DD con los periodos previos y posteriores definidos como los años anteriores a 2022 (previo) y 2022 y 2023 (posterior) y los grupos de control y tratamiento definidos por los buques *non-highliner* y buques *highliner*, respectivamente; siendo la variable dependiente la exactitud, la tasa de ausencia sorpresa y la tasa de presencia sorpresa (controlando los efectos estacionales y por buque).

El modelo de DD estimó un descenso de la exactitud y un aumento de las ausencias sorpresa para el buque *highliner* promedio en los años verdaderos de UIB en relación con la tendencia en los años placebo de UIB, lo cual es consistente con los efectos hipotéticos del programa de UIB ([Figura 21](#)). El tamaño de la muestra de presencias sorpresa es mucho más bajo que el de ausencias sorpresa, en parte porque la presencia de BET es mucho más infrecuente que la ausencia de BET en los datos subyacentes. Para que haya una presencia sorpresa, tiene que haber una presencia real, lo que es relativamente poco frecuente en los datos, que el modelo clasifica erróneamente como ausencia, lo que reduce aún más el tamaño de la muestra. Así pues, los cambios más amplios en la tasa de presencia sorpresa podrían deberse simplemente a una cuestión del tamaño de la muestra. Los resultados que se muestran en la [Figura 21](#) son consistentes con la hipótesis de que el UIB causó que los buques *highliner* cambiaran su comportamiento de alguna forma, lo que resultó en una menor probabilidad de encontrar BET, particularmente porque la disminución de la exactitud es impulsada en gran parte por un aumento de las ausencias sorpresa; es decir, los casos en los que con base en datos pasados el modelo esperaba que hubiera capturas de BET, pero no se registraron capturas de BET.

El hecho de que las divisiones “progresivas” y “aleatorias” tuvieran un desempeño muy similar proporciona algunas pruebas de lo que podría estar impulsando este cambio en la probabilidad de captura de BET. Si el cambio en la probabilidad de captura de BET se debiera a un cambio en la relación entre una de las covariables del modelo y la probabilidad de captura de BET entre el periodo previo y posterior al UIB, se esperaría ver un descenso en la exactitud de los buques *highliner* en la configuración “progresiva” pero no en la “aleatoria”. Esto sería debido a que los resultados “progresivos” no fueron entrenados con datos posteriores al UIB, mientras que la división “aleatoria” tuvo acceso a datos previos y posteriores al UIB. Si la causa del descenso del desempeño fuera un cambio en, digamos, el efecto de la profundidad de la red desde el periodo previo al posterior al UIB, el modelo “progresiva” no podría detectarlo, pero el modelo “aleatorio” sí, ya que tiene acceso a las observaciones de todos los años. En cambio, ya que ambas configuraciones del modelo mostraron tendencias similares, esto sugiere que el cambio está relacionado con alguna covariable no medida que incrementó la tasa de ausencias sorpresa de BET en lances OBJ de buques *highliner* posteriormente al UIB.

### **3.2.2. Modelo de previsión**

Utilizando los métodos descritos en la [Sección 2.6](#), se examinó si alguna de las métricas absolutas de BET presentaba desviaciones claras de sus tendencias previas al UIB tras la implementación del mismo. La CPUE de BET de lances OBJ por buques *non-highliner* ha disminuido constantemente desde 2010, sin ningún cambio aparente en la tendencia coincidente con el UIB. Por el contrario, la CPUE OBJ de BET

fluctuó en torno a un nivel promedio relativamente estable de 2010 a 2020, pero descendió sustancialmente por debajo de la tendencia previa al UIB en los años de UIB, 2022 y 2023 ([Figura 22](#)). El número total de lances OBJ no mostró cambios claros que coincidan con el UIB ni para el grupo *highliner* ni para el *non-highliner* ([Figura 23](#)). Las capturas de BET asociadas a lances OBJ no se desviaron de la tendencia previa al UIB para el grupo *non-highliner*, pero las capturas de los buques *highliner* disminuyeron ligeramente en relación con la tendencia ([Figura 24](#)).

Estos análisis de punto de quiebre son útiles, pero deben interpretarse con precaución. Un cambio antes y después podría estar causado por algún factor exógeno; además, la ausencia de un cambio también podría ser engañosa, ya que tal vez las capturas, por ejemplo, hubieran aumentado posteriormente al UIB en ausencia del UIB, pero en cambio la presencia del UIB provoca la aparición de ningún cambio en relación con las tendencias previas al UIB.

### 3.2.3. Controles sintéticos

El enfoque de control sintético (ver los métodos en la [Sección 2.7](#)) mejora en las comparaciones del antes y el después mostradas en la [Sección 3.2.2](#) al generar predicciones estadísticas sobre cómo hubiera evolucionado el resultado de interés en el periodo de UIB en ausencia del UIB. En otras palabras, el enfoque de control sintético se aproxima a una aplicación experimental del UIB. Los resultados se enfocaron en la captura de BET en lances OBJ, aunque también se ejecutaron modelos de control sintético para SKJ y YFT.

Este enfoque de control sintético permite la inclusión de covariables (por ejemplo, temperatura superficial del mar, biomasa de atún patudo vulnerable), así como la optimización de la contribución de cada buque *non-highliner* a la creación de la unidad de control sintético. El control sintético hace estimaciones de la captura anual en ausencia del UIB, que después se puede escalar a valores totales anuales estimados de buques *highliner*, según proceda. El sustraer los valores estimados de los valores observados proporciona una estimación del efecto de la política, que se esperaría que fuera cero en los años previos a la política en un modelo correctamente estimado y especificado.

El enfoque de control sintético estimó que el UIB redujo las capturas de BET en lances OBJ de buques *highliner* en 8,638 t, lo que equivale a una reducción del -23% en relación con la captura de BET de cerco esperada en 2022 y 2023 sin el UIB ([Figura 25](#)). El control sintético fue capaz de igualar las tendencias previas al UIB (ver Xu, 2017 para detalles sobre cómo el método de control sintético evita el sobreajuste). Para comprobar el desempeño del modelo, se realizó una prueba placebo en la que se asignó artificialmente 2015 como el año de UIB y luego se evaluó el desempeño del modelo bajo esta configuración de placebo ([Figura 26](#)). El modelo no debería estimar ningún efecto de la política después del UIB placebo, hasta los años en los que se implementó el UIB real (reconociendo que el desempeño también disminuye, ya que se dispone de menos años previos al UIB para ajustar el control sintético) (Abadie, 2021). El diagnóstico placebo se desempeñó relativamente bien, ya que el modelo no estimó ningún efecto de la política del UIB hasta 2022 y 2023, con la excepción del 2018. Aunque el modelo no estimó ningún tamaño de efecto cercano a los niveles observados en 2022 y 2023 en los años placebo, sí estimó efectos significativamente distintos de cero en algunos años, lo que significa que parte de la magnitud observada en 2022 y 2023 podría deberse a errores del modelo.

Se realizaron estos mismos análisis de control sintético para las capturas de YFT y SKJ en lances OBJ. El modelo no estimó efectos significativos del UIB sobre el YFT ([Figura 27](#)). Los aumentos de YFT atribuidos al UIB en los últimos años están en línea con el rango de desviaciones de las capturas observadas del control sintético en el grupo previo al UIB; la prueba placebo indica de forma similar poco apoyo al modelo que identifica un efecto fiable del UIB sobre las capturas de YFT ([Figura 28](#)). El modelo estimó un efecto positivo significativo del UIB en las capturas de SKJ, pero el modelo no pasó la prueba placebo, lo

que indica que no deberíamos considerar fiables los resultados del modelo principal para SJK ([Figura 29](#), [Figura 30](#)). Es probable que este desempeño deficiente para YFT y SJK se deba a que la distinción *highliner/non-highliner* no es significativa para estas especies.

### 3.3. Efectos del UIB en la composición por especie

Tanto el 2022 como el 2023 presentaron niveles elevados de captura de YFT en comparación con el pasado reciente ([Figura 3](#)). Se exploró si existe alguna evidencia de que el UIB pueda explicar este aumento como resultado de, por ejemplo, buques que ajustan su comportamiento para evitar el BET pero que, como resultado, capturan más YFT. Se realizó un análisis tipo DD ([Sección 2.4](#)) para examinar las evidencias de un efecto causal del UIB en la captura anual de YFT y BET. Específicamente, se calculó la captura total de YFT y de BET para cada buque y para cada año y luego se ajustó un modelo tipo DD a la diferencia entre la captura de YFT y de BET. Los valores positivos significan que ese buque capturó más YFT que BET en ese año, y viceversa. El modelo no encontró efectos significativos del UIB en el volumen de captura de YFT respecto a BET ([Figura 31](#)).

## 4. DISCUSIÓN

Muchas dinámicas de la pesquería cerquera atunera en el OPO han cambiado en los años 2000. Entre 2020 y 2023, las capturas de BET continuaron una tendencia descendente hasta llegar a un mínimo local, mientras que las capturas de YFT y SKJ tuvieron un aumento generalizado. El objetivo de este informe fue describir la naturaleza de estos cambios y, en particular, explorar el papel potencial que el programa de UIB implementado en la resolución [C-21-04](#) pudo haber tenido en dichos cambios.

La evaluación de políticas en sistemas socioecológicos es inherentemente difícil, en especial para sistemas de la escala geográfica y temporal de la pesquería cerquera de atunes tropicales en el OPO. Específicamente, puede ser extremadamente difícil separar los efectos de una política de los efectos de otros cambios concurrentes en la pesquería, tales como impactos ambientales o económicos. En un esfuerzo por resolver este desafío, se evaluó el UIB por medio de múltiples líneas de evidencia, a menudo aprovechando las tendencias de los buques *non-highliner* como unidad de control para los buques *highliner*, bajo el supuesto de que sufrieron los mismos cambios generales en el OPO que los buques *highliner*, pero no fueron afectados por el programa de UIB debido a su bajo historial de capturas de BET.

Si bien todas las líneas de evidencia aquí compiladas tienen deficiencias, juntas proporcionan evidencias sólidas de que el UIB resultó en una disminución de las capturas de BET en los buques *highliner*, aparentemente a través de un cambio en el comportamiento que redujo la CPUE de BET en lances OBJ. Si se observan únicamente las tendencias de los datos, las capturas de BET alcanzaron un mínimo local en 2022 y 2023. La CPUE de los buques *highliner* disminuyó drásticamente en los años que coincidieron con el UIB de una manera que no se observó en los buques *non-highliner*. Este descenso en la CPUE de lances OBJ de los buques *highliner* ocurrió tanto en el OPO oriental como en el occidental. Asimismo, parece haber ocurrido una drástica reducción en la probabilidad de que buques *highliner* capturen más de 10 t de BET en un lance OBJ que comenzó en los años del UIB, impulsada por un aumento en la tasa de “ausencias sorpresa” en 2021-2023; es decir, lances que en el pasado se hubiera esperado que produjeran 10 t o más de atún patudo y no lo hicieron. La CPUE de BET en lances OBJ se desvió drásticamente de la tendencia previa al UIB a partir de los años de UIB, aunque la tendencia en el número total de lances OBJ se mantuvo estable. Esto resultó en una ligera disminución de la captura de BET en lances OBJ después del UIB en relación con la tendencia previa al UIB.

Se utilizó el modelo de previsión mostrado en la [Figura 24](#) para estimar la desviación estándar previa al UIB de las capturas de BET residuales que no pueden ser explicadas por las covariables incluidas en ese modelo, lo que resultó en una desviación estándar de 1,077. Esto quiere decir que, en un año

determinado, las capturas de BET podrían variar como mínimo hasta en  $\pm 2,111$  con respecto a las tendencias estimadas en la [Figura 24](#). El tamaño de efecto promedio de aproximadamente 8,638 t de BET por año estimado por el control sintético es mayor que esta variación, pero se debe tener en consideración que parte de este tamaño de efecto puede estar constituido por una variación de fondo en las capturas de BET atribuida incorrectamente al UIB, tal como lo demuestran las pruebas placebo del control sintético ([Figura 26](#)).

Los modelos de control sintético estimaron la diferencia entre la captura observada de buques *highliner* y la cantidad de captura de buques *highliner* que el modelo hubiera esperado ver en ausencia del UIB. Este enfoque de control sintético estimó una reducción promedio en la captura anual de BET de los buques *highliner* de 8,638 t en 2022 y 2023, lo que equivale a una reducción del -23% en la captura de BET en 2022 y 2023. Es necesario realizar más investigaciones para establecer qué cambios introdujo exactamente la flota para lograr esta reducción.

No se encontró evidencia de que el UIB pudiera explicar los recientes aumentos de la captura de YFT. Los buques *highliner* no fueron responsables de una cantidad desproporcionada de los aumentos recientes de YFT ([Figura 17](#)). El enfoque de control sintético no encontró ninguna señal causal consistente del UIB en las capturas de YFT ([Figura 27](#)). El análisis de composición por especie no encontró cambios significativos en la proporción de capturas de YFT frente a BET entre los buques *highliner* ([Figura 31](#)).

En resumen, este análisis exploró evidencias del impacto del programa de UIB en varios aspectos de las pesquerías de atunes tropicales en el OPO. Aunque no se encontraron evidencias de cambios claros en los comportamientos pesqueros medidos, numerosas líneas de evidencia sugieren que el UIB resultó en una disminución significativa de la captura de BET por buques *highliner*. No se encontró evidencia de que el UIB por sí solo pueda explicar los recientes aumentos en las capturas de YFT. Es posible que existan explicaciones alternativas para estos resultados, pero necesitarían explicar por qué la CPUE de BET de los buques *highliner* descendió al mismo tiempo que se implementó el UIB, por qué este descenso en la CPUE en el momento del UIB no se observó en los buques *non-highliner* ([Figura 10](#)) y por qué estas diferencias en las tendencias de la CPUE entre los buques *highliner* y *non-highliner* persisten incluso cuando estos dos grupos de buques pescaron en la misma área general ([Figura 14](#)). Es necesario realizar más investigaciones para determinar qué prácticas pesqueras específicas introdujeron los incentivos proporcionados por el UIB en la flota pesquera que dieron lugar a las reducciones en la captura de BET estimadas por este informe.

Se concluye que el programa de UIB probablemente consiguió incentivar la reducción de las capturas de BET. El sistema de umbrales escalonados del programa de UIB proporcionó un incentivo directo para que los buques redujeran las capturas de BET. Sin embargo, es posible que el muestreo del PRM también haya tenido un papel en los incentivos generados por el programa de UIB, además de proporcionar estimaciones independientes de las capturas de BET, con la correspondiente medida de precisión, y generar datos para investigaciones científicas ([SAC-15 INF-H](#)).

## 5. REFERENCIAS

Abadie, A. (2021). Using synthetic controls: Feasibility, data requirements, and methodological aspects. *Journal of Economic Literature*, 59(2), 391–425. <https://doi.org/10.1257/jel.20191450>

Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2010). Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program. *Journal of the American Statistical Association*, 105(490), 493–505. <https://doi.org/10.1198/jasa.2009.ap08746>

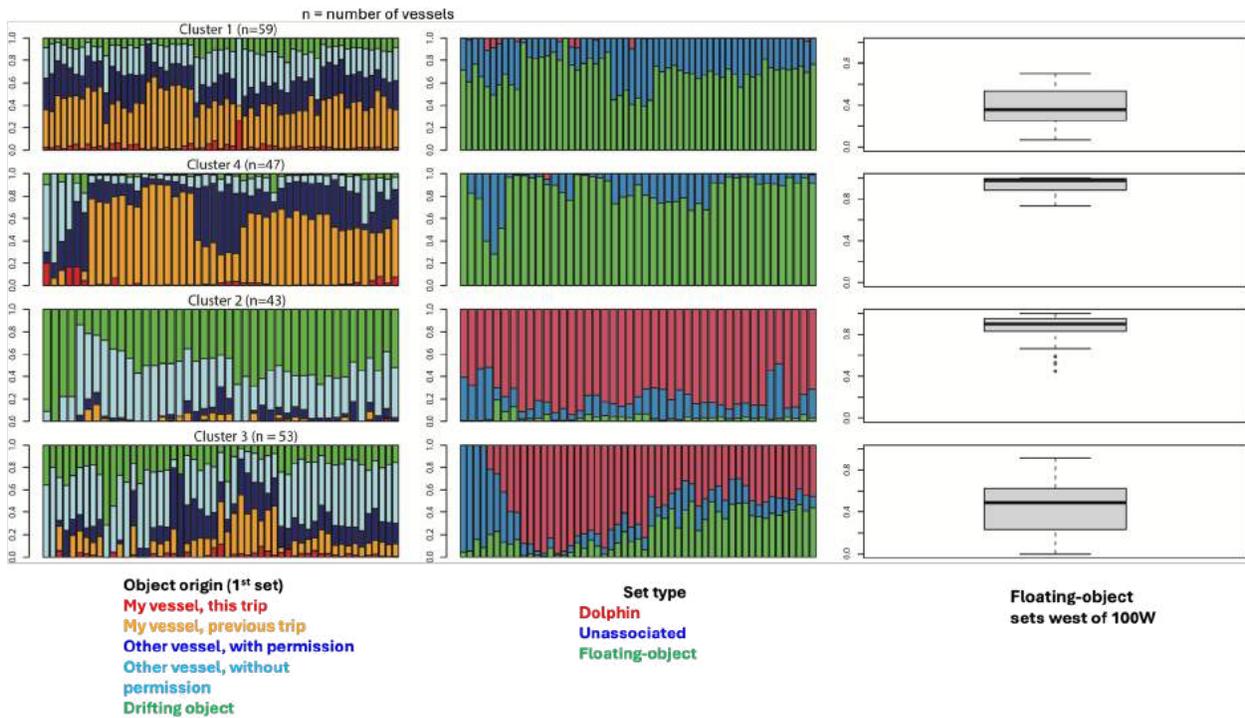
- Athey, S., Bayati, M., Doudchenko, N., Imbens, G., & Khosravi, K. (2021). Matrix completion methods for causal panel data models. *Journal of the American Statistical Association*, 116(536), 1716–1730. <https://doi.org/10.1080/01621459.2021.1891924>
- Chen, T., He, T., Benesty, M., Khotilovich, V., Tang, Y., Cho, H., Chen, K., Mitchell, R., Cano, I., Zhou, T., Li, M., Xie, J., Lin, M., Geng, Y., Li, Y., & Yuan, J. (2024). *Xgboost: Extreme gradient boosting*. <https://CRAN.R-project.org/package=xgboost>
- Elith, J., Leathwick, J. R., & Hastie, T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77(4), 802–813. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01390.x>
- Lennert-Cody, C. E., & Berk, R. A. (2007). Statistical learning procedures for monitoring regulatory compliance: An application to fisheries data. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 170(3), 671–689. <https://doi.org/10.1111/j.1467-985X.2006.00460.x>
- Lennert-Cody, C. E., Moreno, G., Restrepo, V., Román, M. H., & Maunder, M. N. (2018). Recent purse-seine FAD fishing strategies in the eastern pacific ocean: What is the appropriate number of FADs at sea? *ICES Journal of Marine Science*, 75(5), 1748–1757. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy046>
- Ovando, D., Caselle, J. E., Costello, C., Deschenes, O., Gaines, S. D., Hilborn, R., & Liu, O. (2021). Assessing the population-level conservation effects of marine protected areas. *Conservation Biology*, 35(6), 1861–1870. <https://doi.org/10.1111/cobi.13782>
- Team, R. C. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- Xu, Y. (2017). Generalized synthetic control method: Causal inference with interactive fixed effects models. *Political Analysis*, 25(1), 57–76. <https://doi.org/10.1017/pan.2016.2>

## 6. TABLAS

**TABLA 1.** Niveles de umbrales del programa de UIB definidos en la res. [C-21-04](#). El umbral de BET para 2022 se refiere a la captura promedio de 2017:2019. Para 2023:2024, el umbral de BET se calcula como la captura del año anterior.

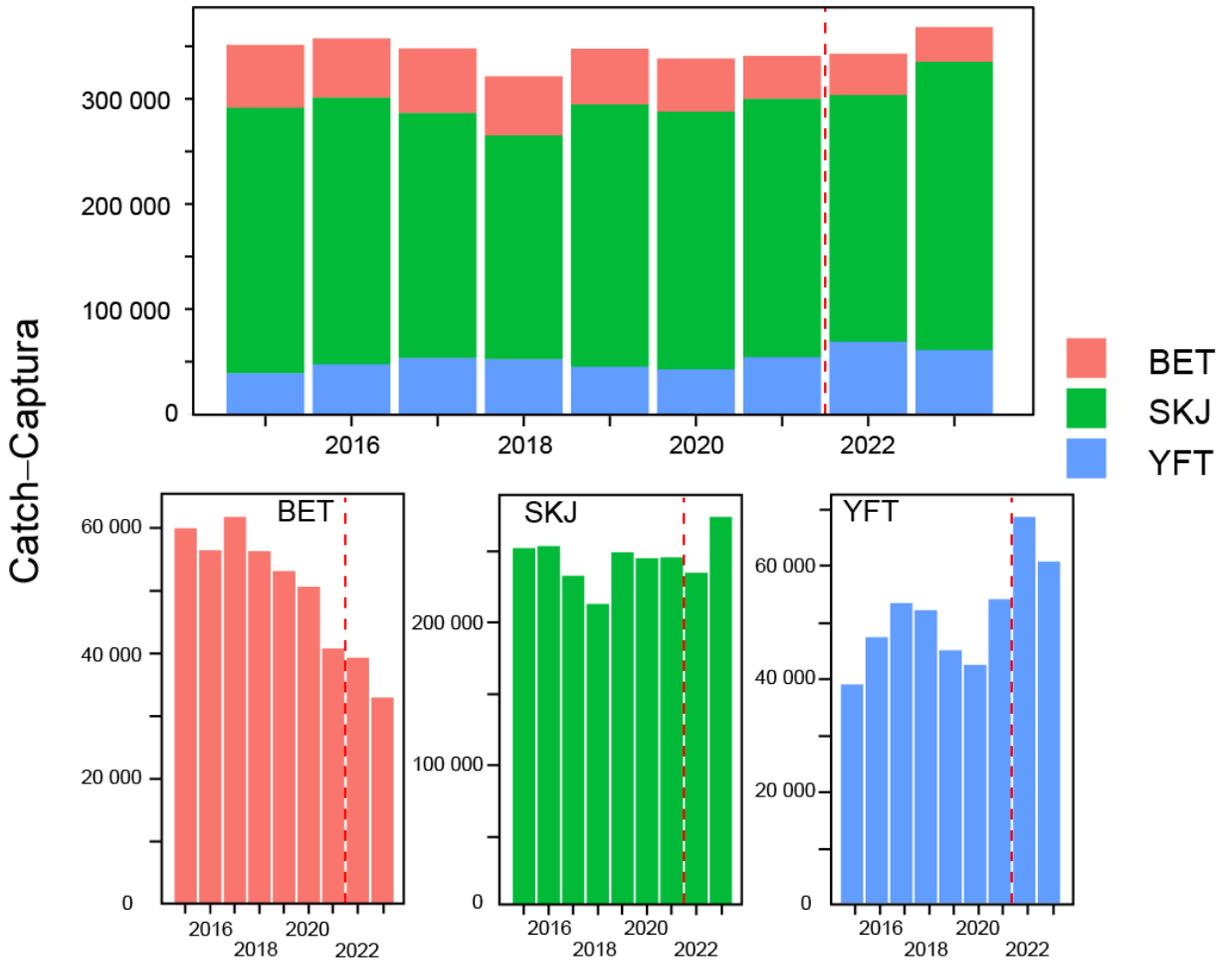
Umbral anual de BET	Días de veda adicionales	Años de aplicación
>1,200 t	8	2022
>1,200 t	10	2023:2024
>1,500 t	13	2023:2024
>1,800 t	16	2023:2024
>2,100 t	19	2023:2024
>2,400 t	22	2023:2024

## 7. FIGURAS



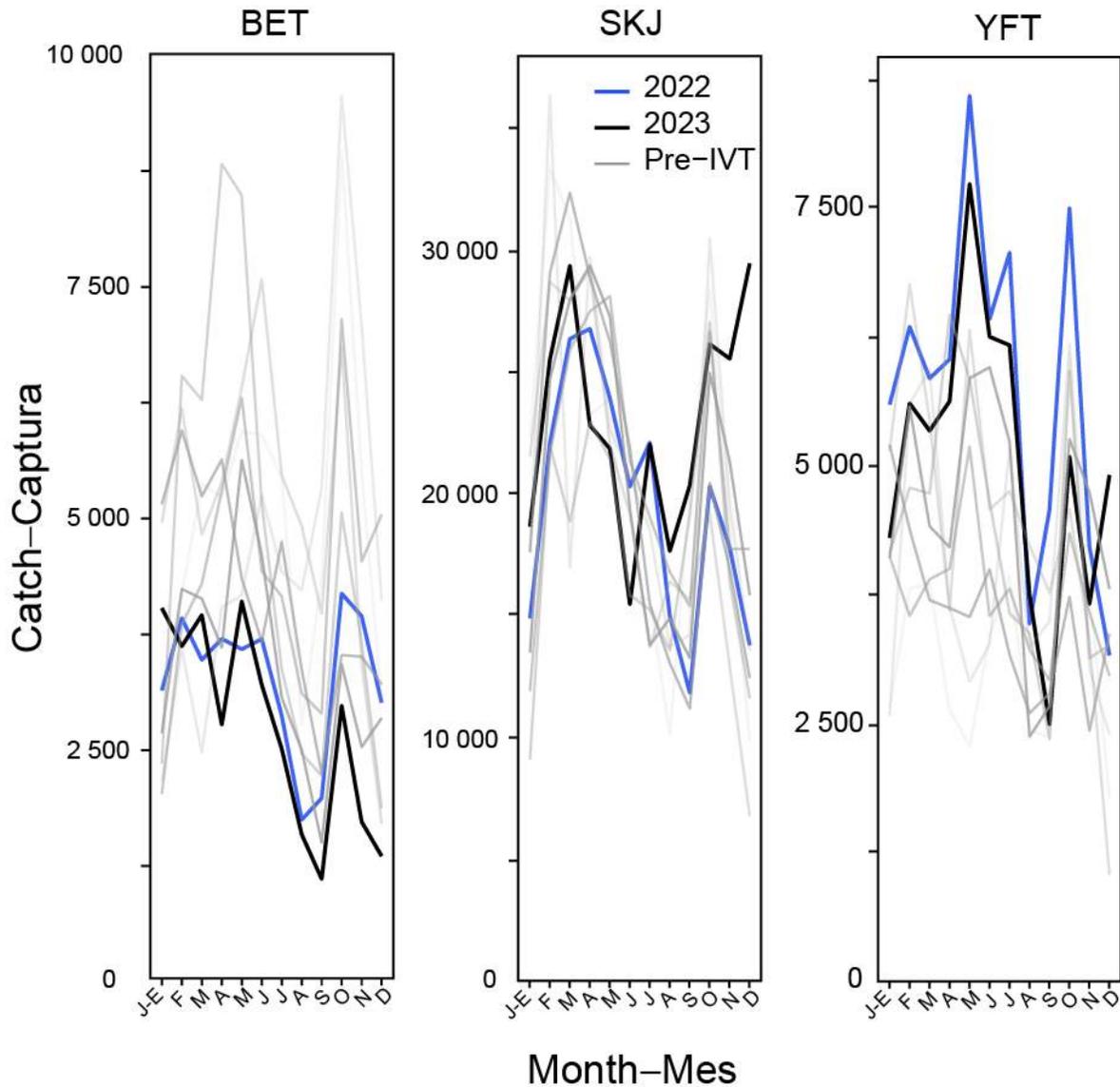
**FIGURE 1.** Visual summary of attributes of fishing strategy clusters using methods described in Lennert-Cody et al. (2018).

**FIGURA 1.** Resumen visual de los atributos de los conglomerados de estrategias de pesca utilizando los métodos descritos en Lennert-Cody *et al.* (2018).



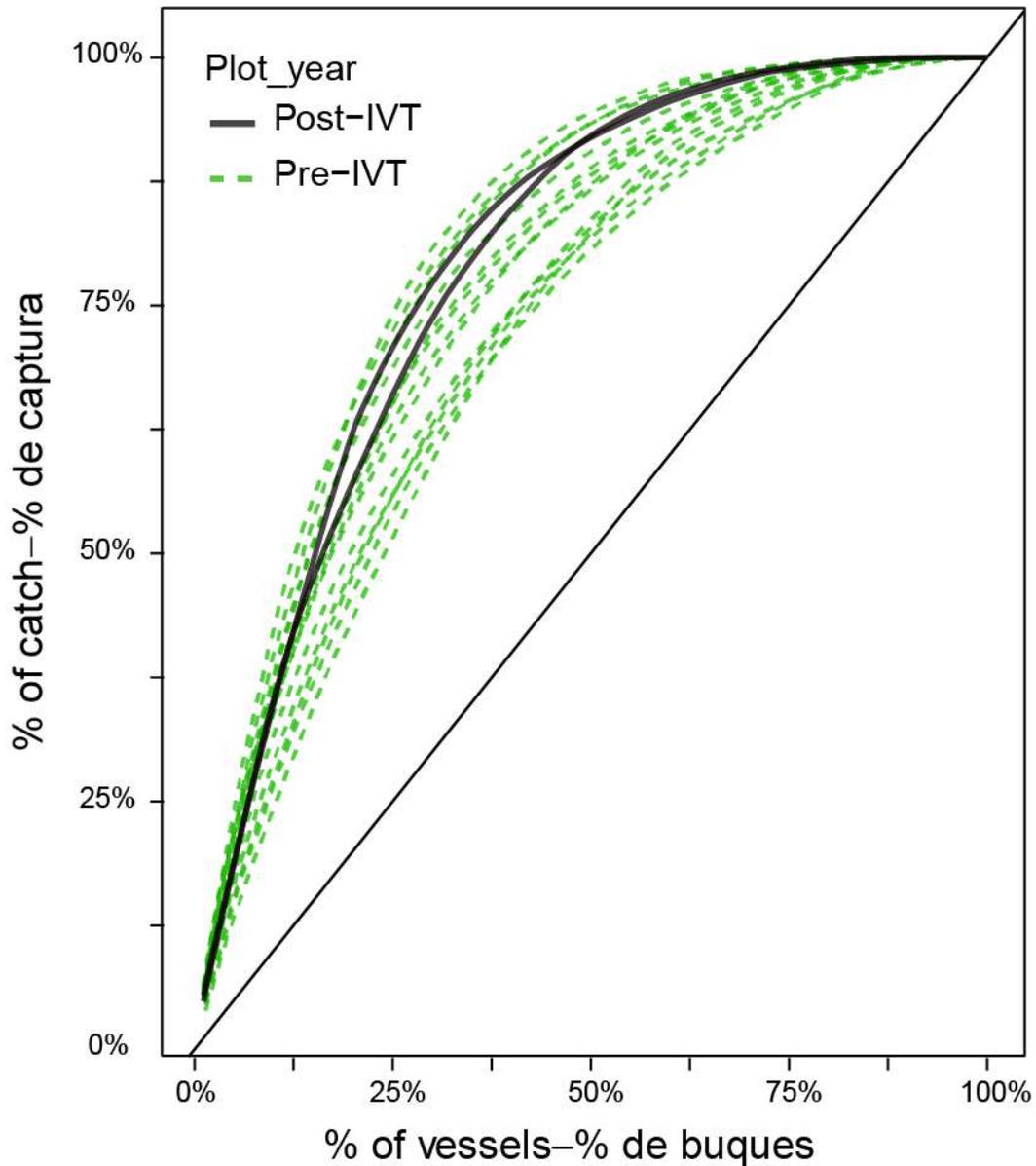
**FIGURE 2.** Total class 6 purse seine catch (t) from used in this analysis over time and by species. Red vertical line indicates official announcement of IVT program in (2022).

**FIGURA 2.** Captura total (t) de buques cerqueros de clase 6 utilizada en este análisis a lo largo del tiempo y por especie. La línea vertical roja indica el anuncio oficial del programa de UIB en 2022.



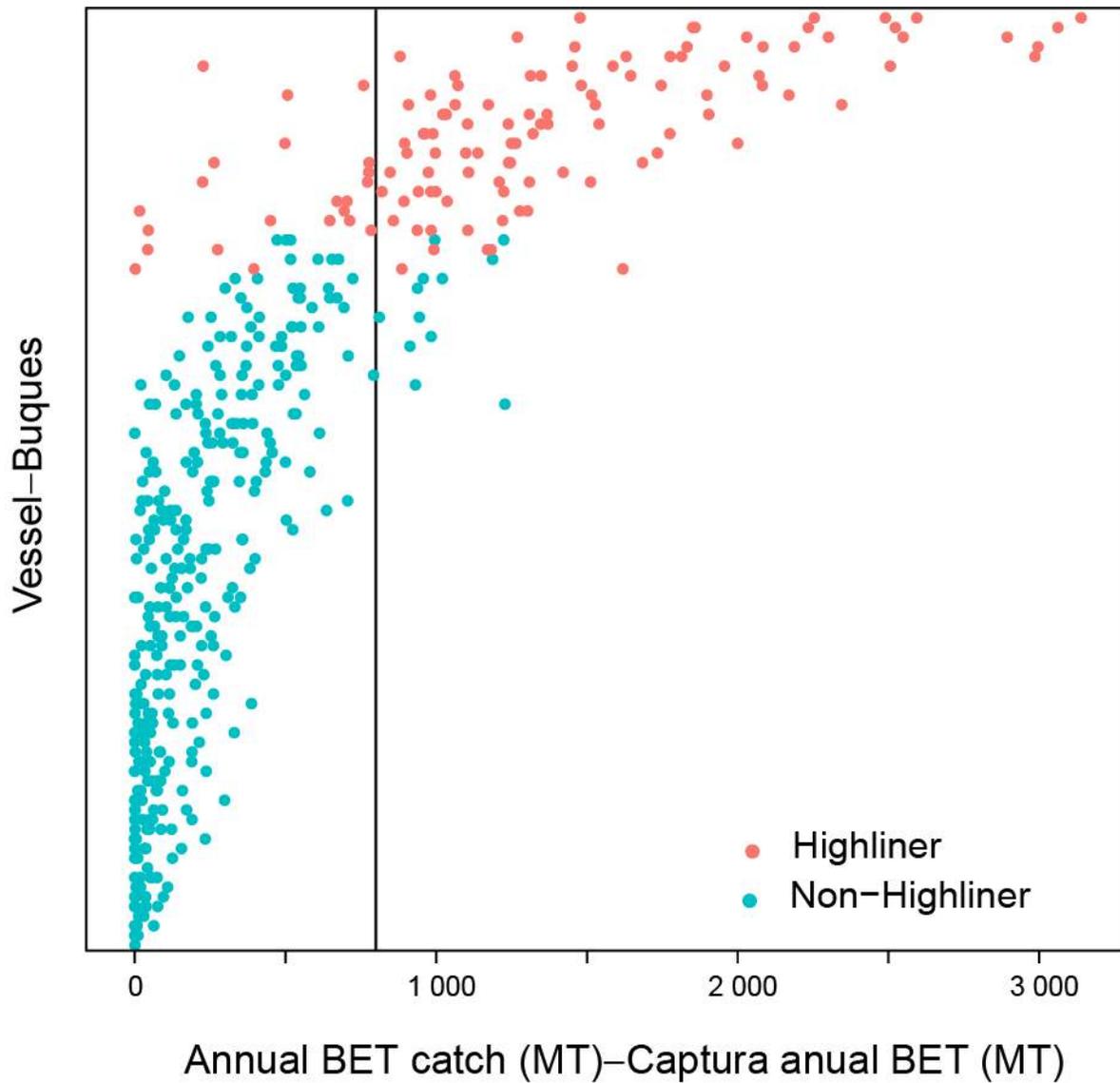
**FIGURE 3.** Class six purse-seine catch (t) by month by species. Each line represents a different year between 2015 and 2023, with transparency of the line indicating how many years in the past a given line represents. Pre-IVT years are shown in blue, post-IVT years in red and green.

**FIGURA 3.** Captura (t) de buques cerqueros de clase 6 por mes y por especie. Cada línea representa un año diferente entre 2015 y 2023, y la transparencia de la línea indica cuántos años en el pasado representa una línea determinada. Los años previos al UIB se muestran en azul; los años posteriores al UIB se muestran en rojo y verde.



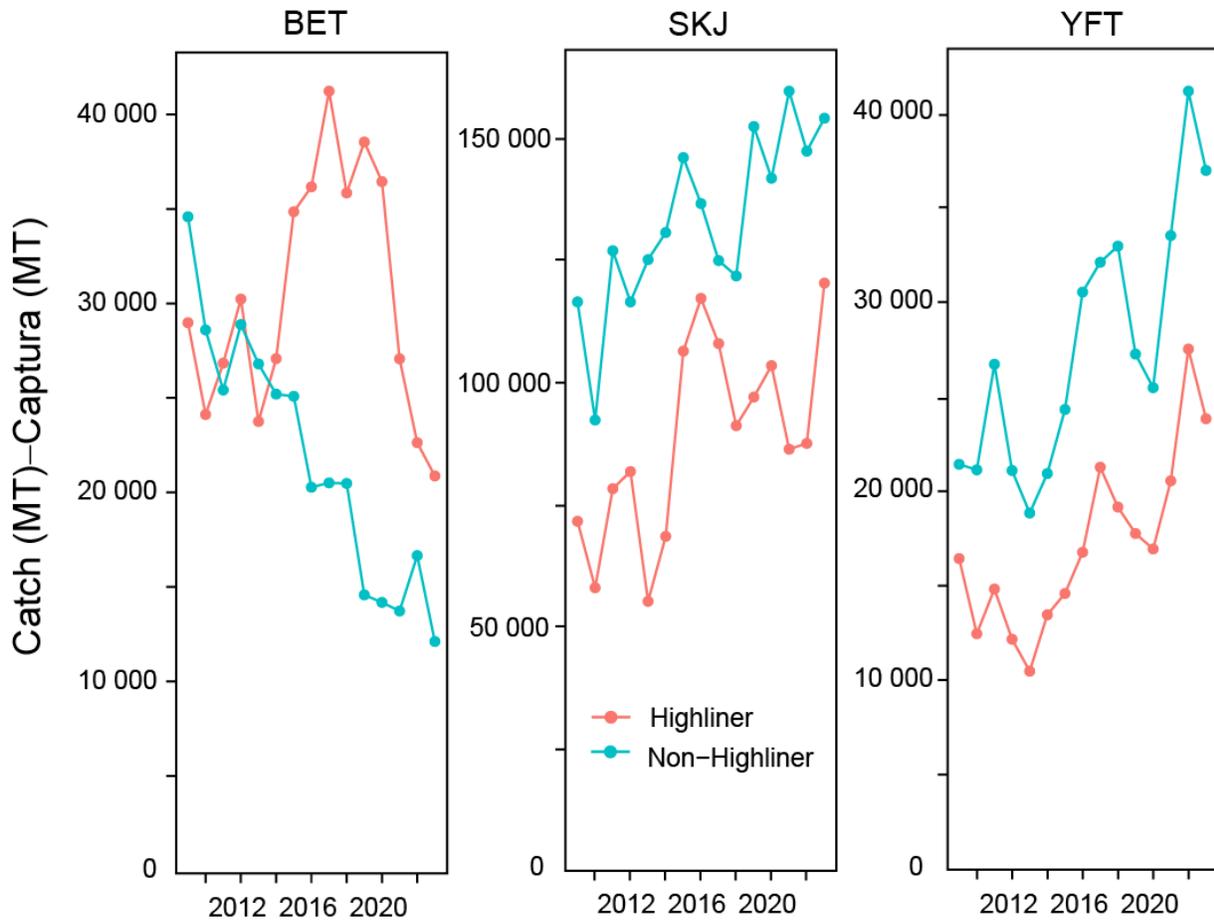
**FIGURE 4.** Cumulative class-6 purse-seine catch of BET by vessel by year. Lines closer to the one-to-one diagonal line indicate a more equal distribution of BET catch across all vessels fishing that year. Lines curved away from the one-to-one line indicate a greater concentration of BET catch among some vessels fishing that year.

**FIGURA 4.** Captura acumulativa de BET de buques cerqueros de clase 6 por buque y por año. Las líneas más cercanas a la línea diagonal individual indican una distribución más equitativa de la captura de BET entre todos los buques que pescaron ese año. Las líneas que se alejan de la línea indican una mayor concentración de la captura de BET entre algunos buques que pescaron ese año.



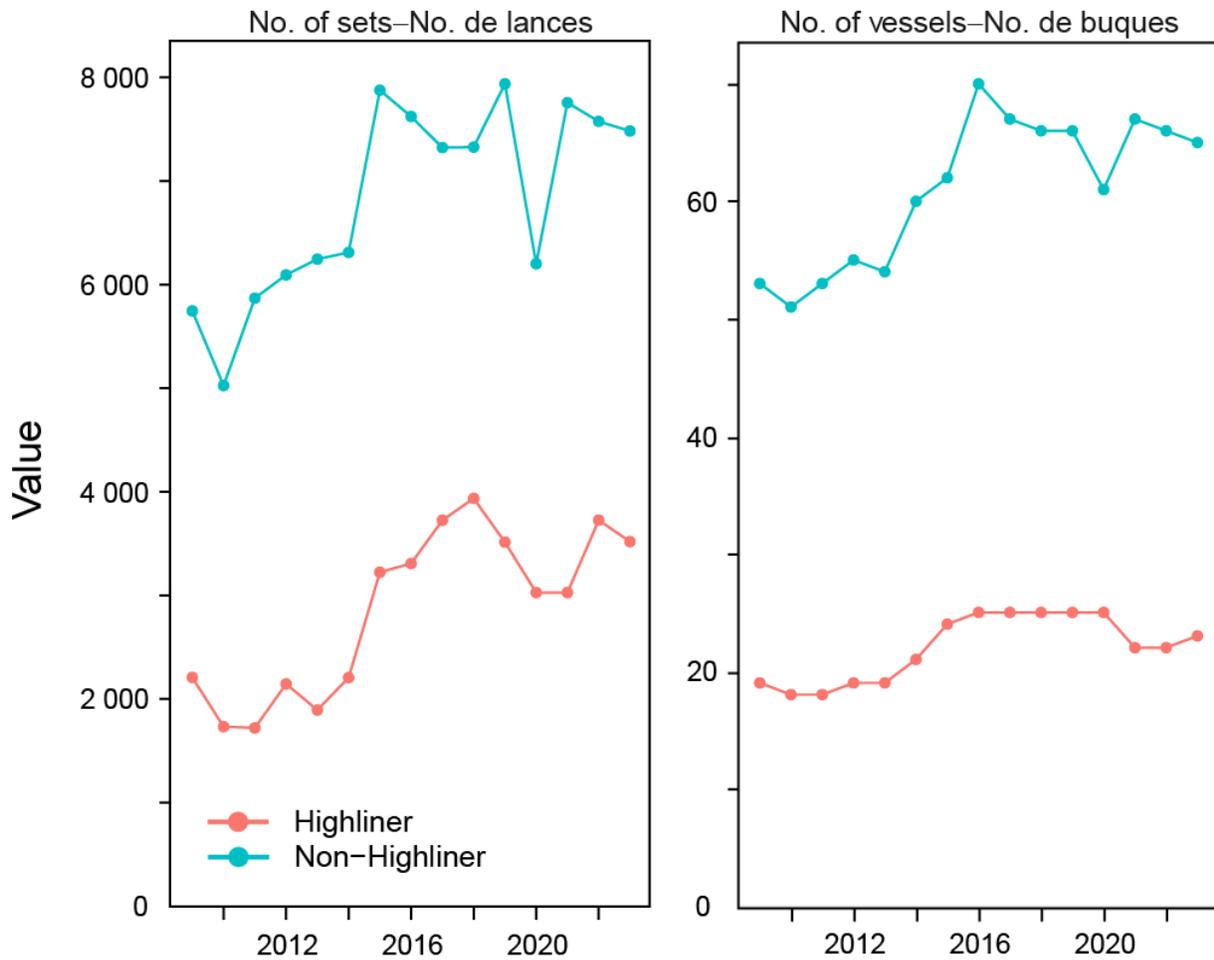
**FIGURE 5.** Distribution of annual class six purse-seine catches per vessel (rows) between 2017 and 2021. Color indicates whether a vessel is classified as a ‘highliner’, defined as annual catches greater than or equal to 800 in at least half of the included years.

**FIGURA 5.** Distribución de las capturas anuales de buques cerqueros de clase 6 por buque (filas) entre 2017 y 2021. El color indica si un buque está clasificado como “*highliner*”, definido como capturas anuales iguales o superiores a 800 en al menos la mitad de los años incluidos.



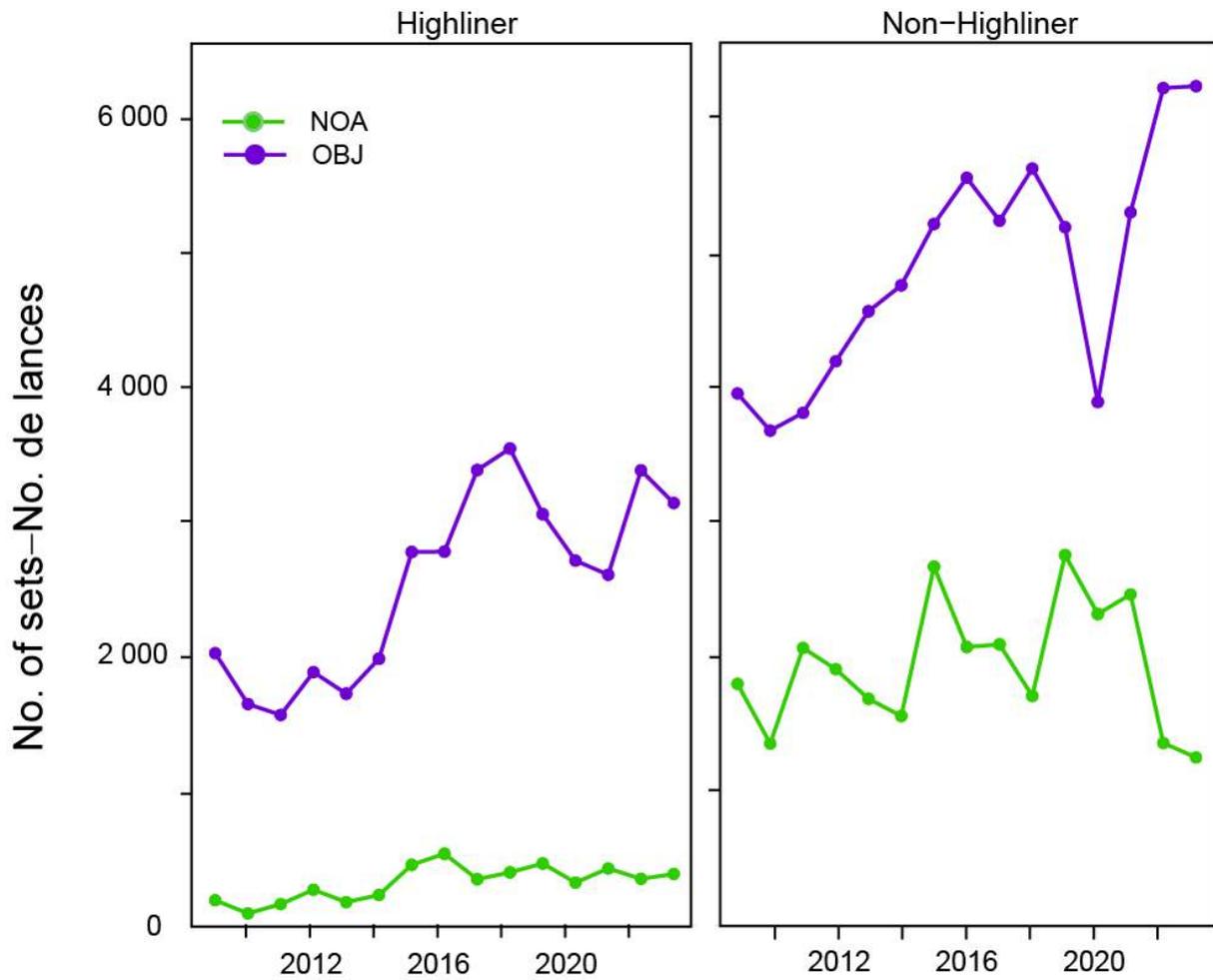
**FIGURE 6.** Class 6 purse-seine vessel catch (t) per year per species included in this analysis, broken out by BET highliner and non-highliner vessels.

**FIGURA 6.** Captura (t) de buques cerqueros de clase 6, por año y por especie, incluida en este análisis, desglosada por buques *highliner* y *non-highliner*.



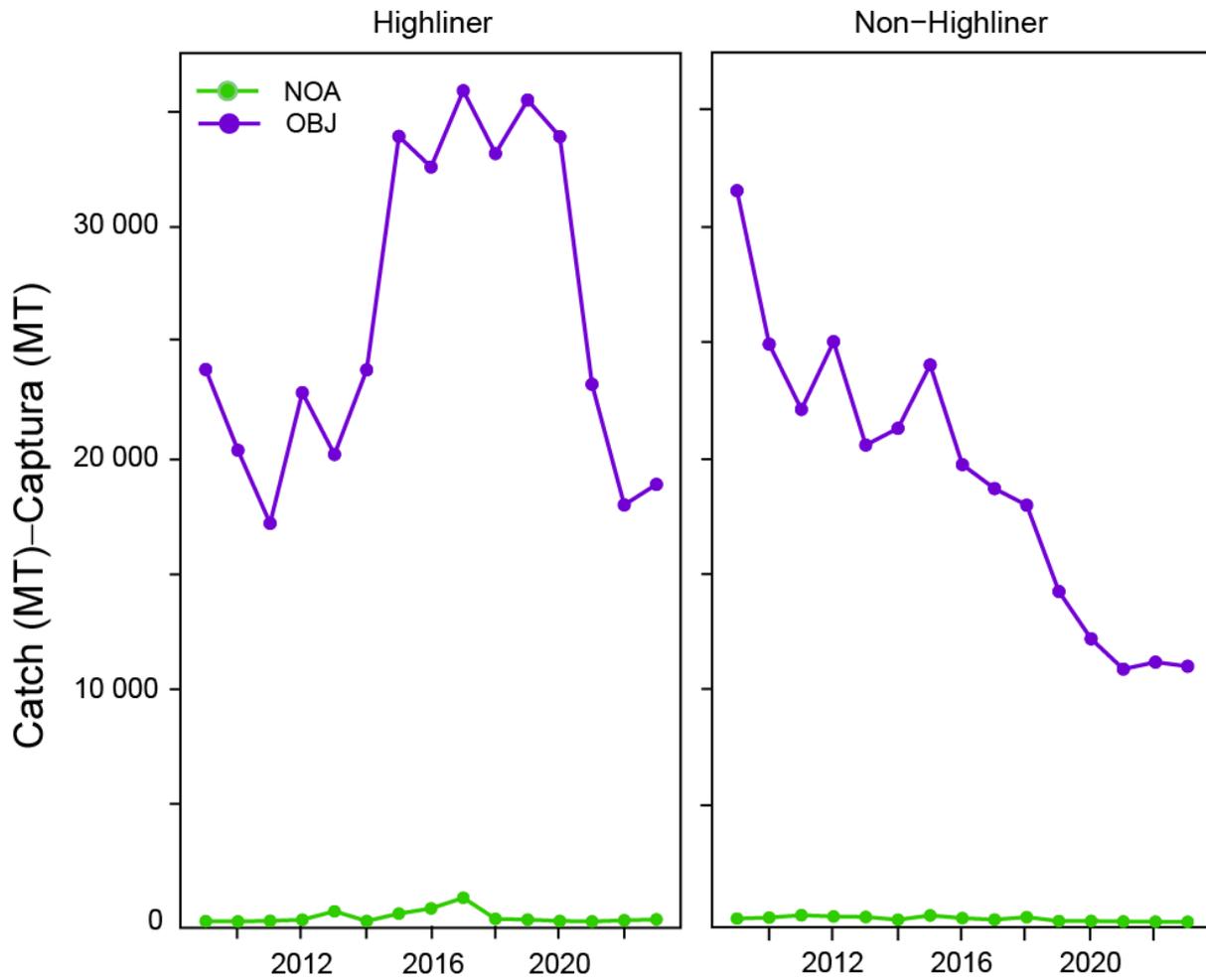
**FIGURE 7.** Number of class 6 purse-seine sets (OBJ and NOA) and vessels used for this analysis, broken out by BET highliners and non-highliners.

**FIGURA 7.** Número de lances de buques cerqueros de clase 6 (OBJ y NOA) y buques utilizados en este análisis, desglosados por buques *highliner* y *non-highliner*.



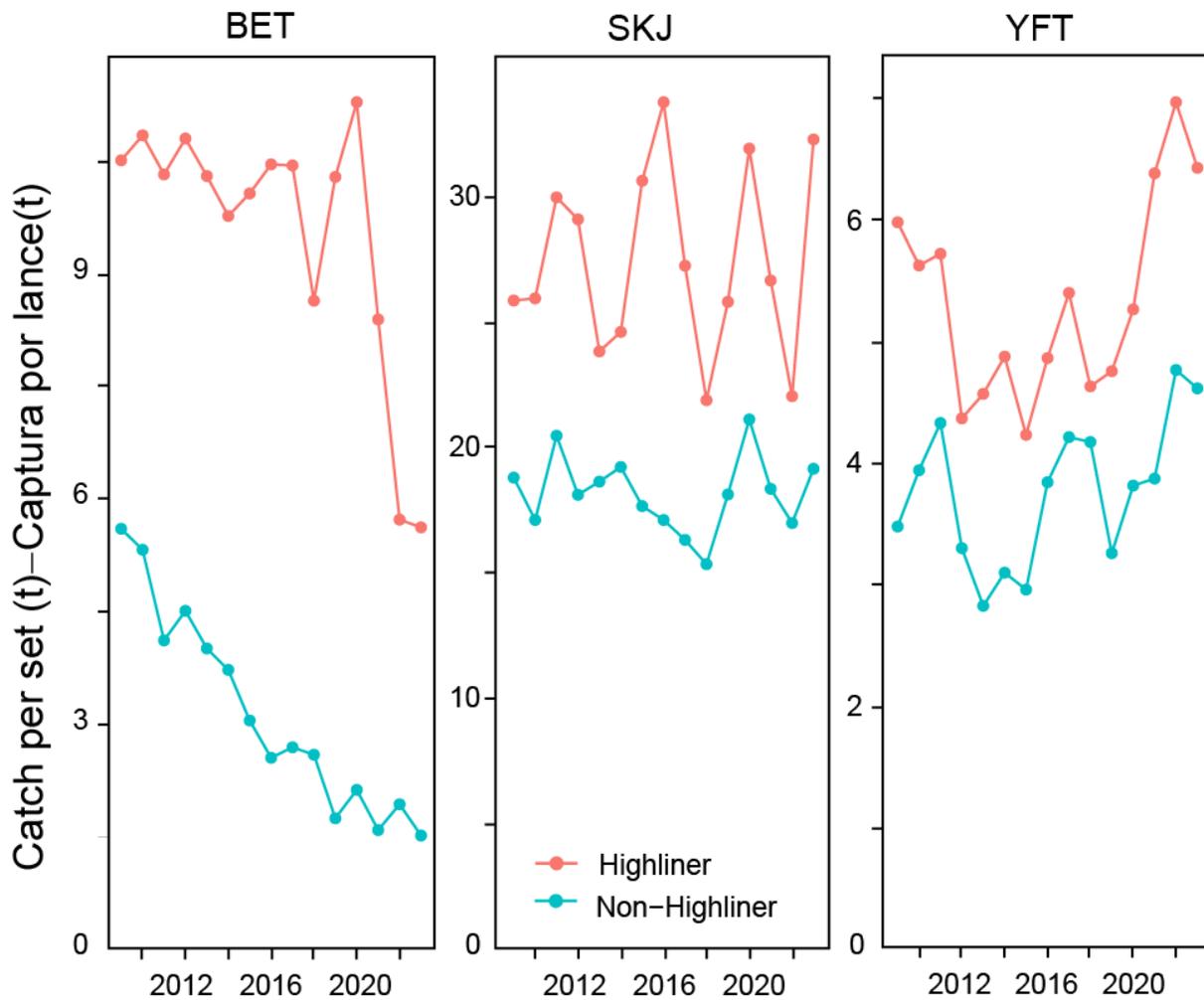
**FIGURE 8.** Number of class 6 purse-seine sets by set type used for this analysis, broken out by BET highliners and non-highliners.

**FIGURA 8.** Número de lances de buques cerqueros de clase 6, por tipo de lance, utilizados en este análisis, desglosados por buques *highliner* y *non-highliner*.



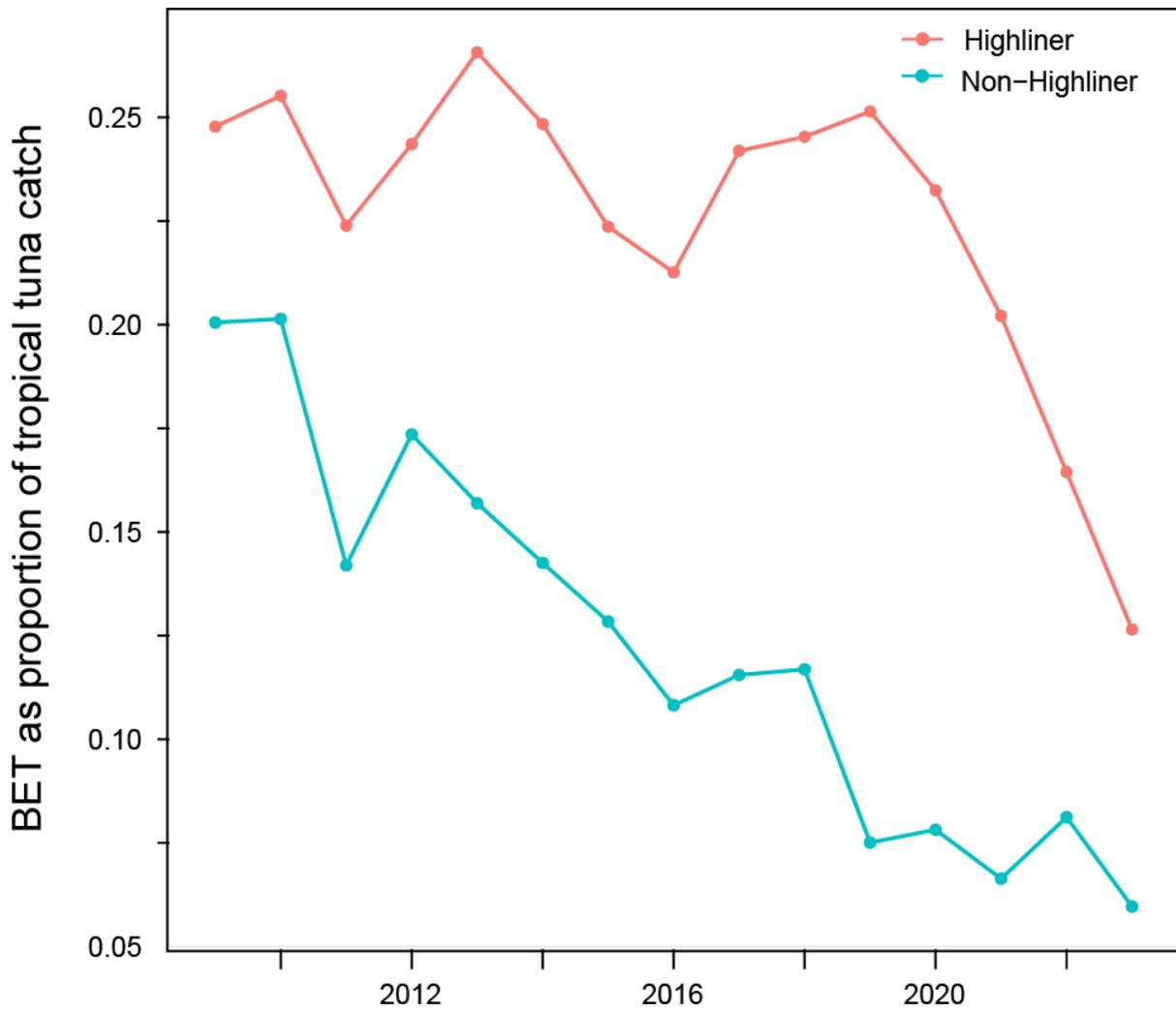
**FIGURE 9.** Class 6 purse-seine BET catch (MT) by set type and highliner group.

**FIGURA 9.** Captura (t) de BET de buques cerqueros de clase 6 por tipo de lance y grupo *highliner*.



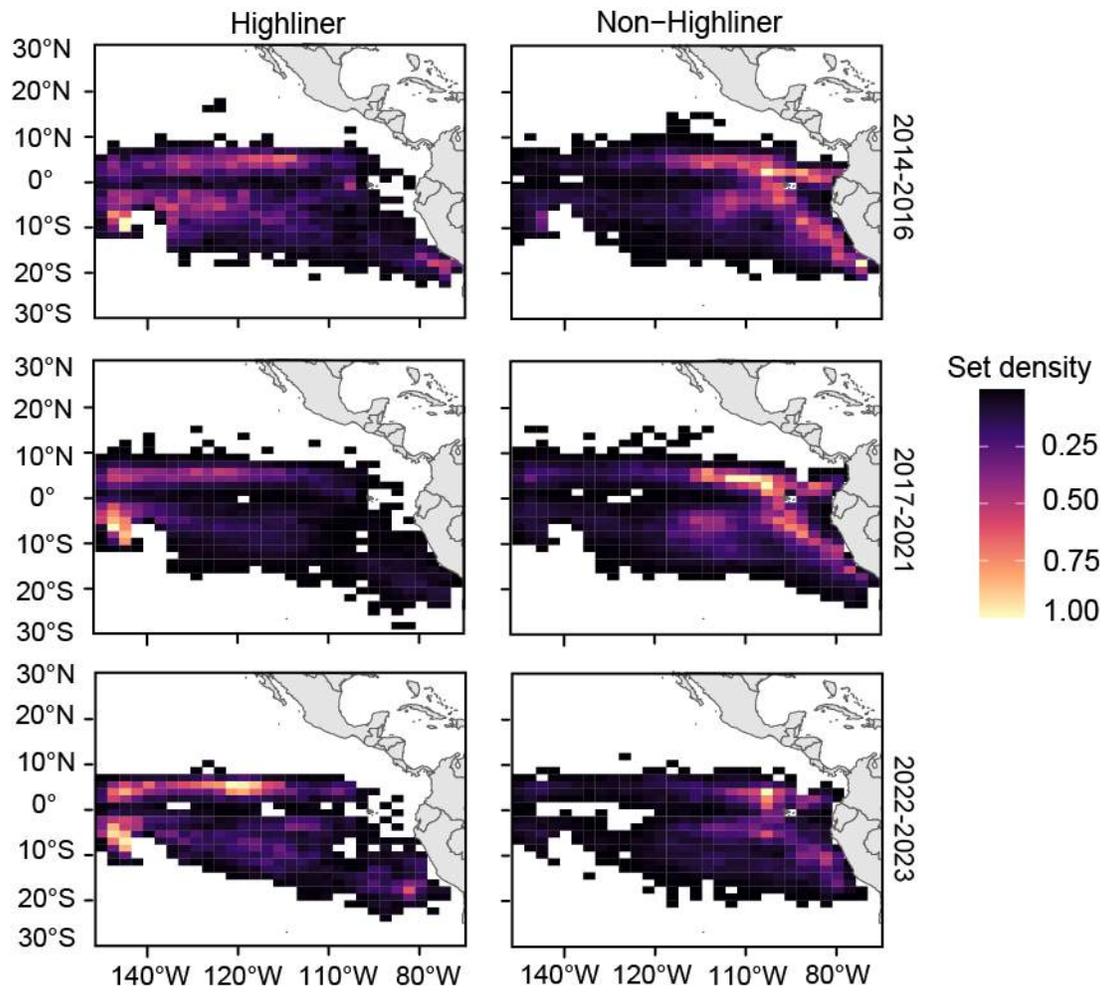
**FIGURE 10.** Class six purse-seine vessel catch (t) per set per year per species, broken out by BET highliner and non-highliner vessels.

**FIGURA 10.** Captura (t) de buques cerqueros de clase 6, por año y por especie, desglosada por buques *highliner* y *non-highliner*.

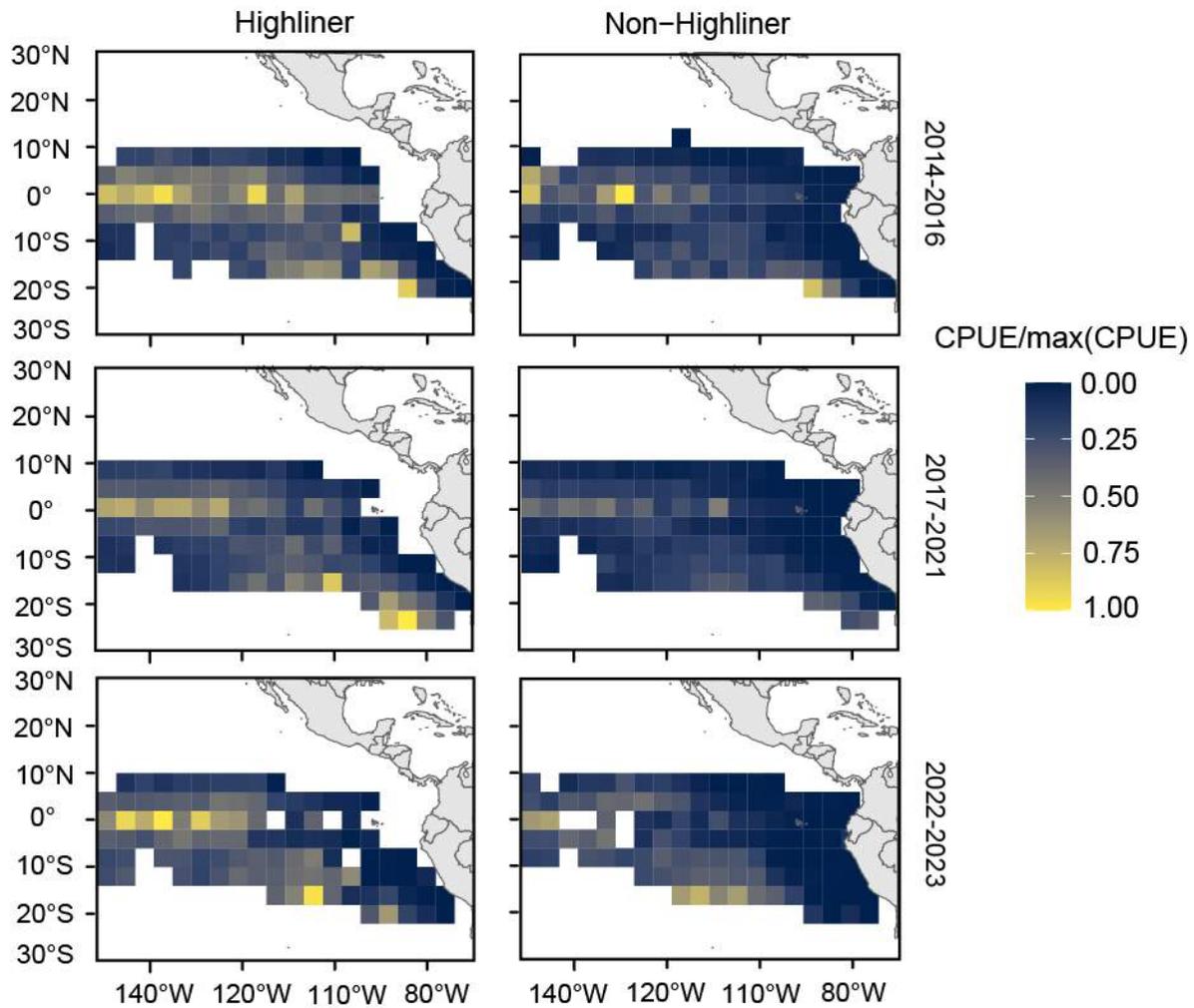


**FIGURE 11.** Class 6 purse-seine BET catch as a proportion of all tropical tuna catch over time, by highliner status.

**FIGURA 11.** Captura de BET de buques cerqueros de clase 6 como proporción de toda la captura de atunes tropicales a lo largo del tiempo, por estado de *highliner*.

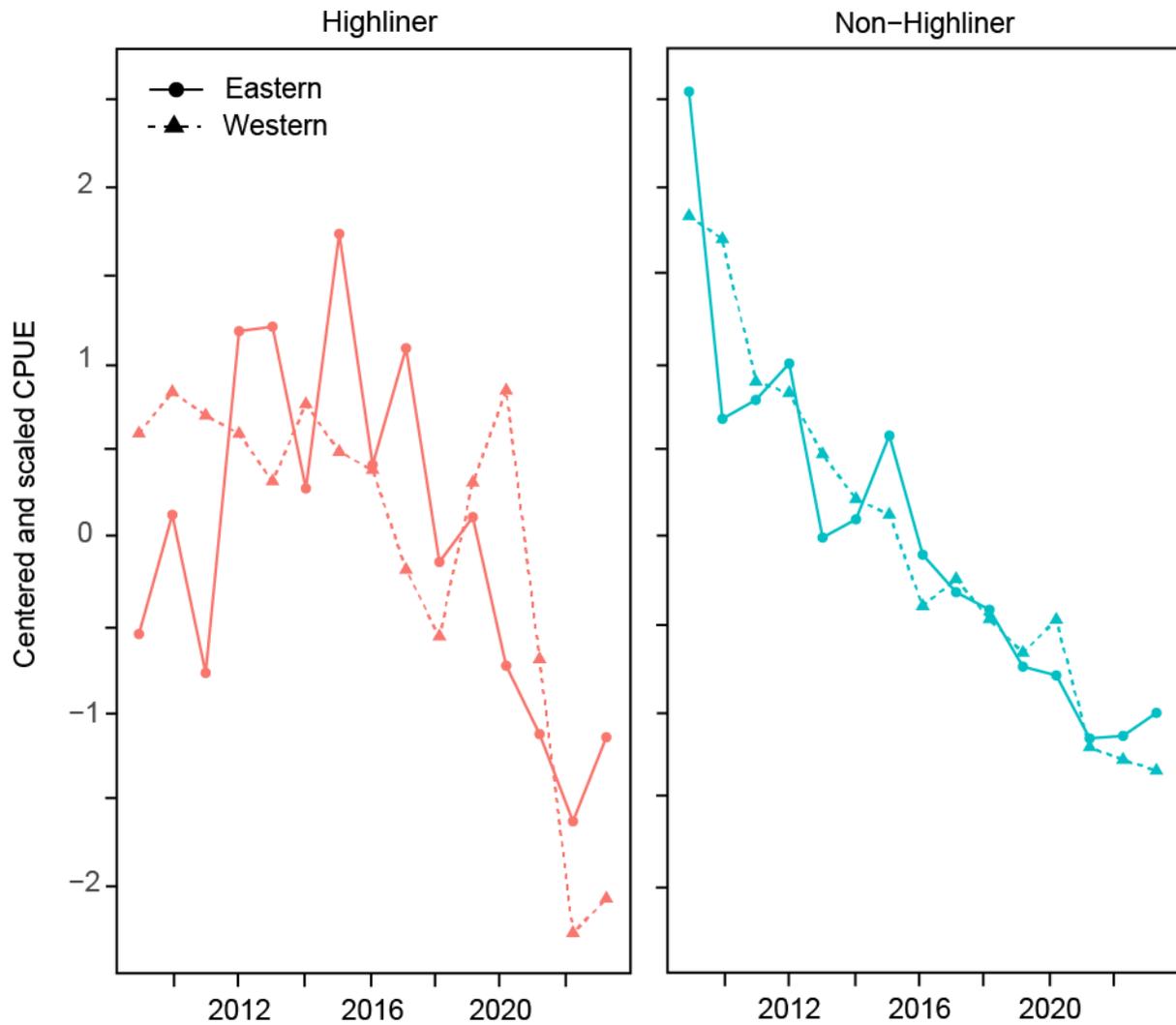


**FIGURE 12.** Spatial density of OBJ sets between 2014 and 2023 by BET highliners and non-highliners.  
**FIGURA 12.** Densidad espacial de lances OBJ entre 2014 y 2023, por buques *highliner* y *non-highliner*.



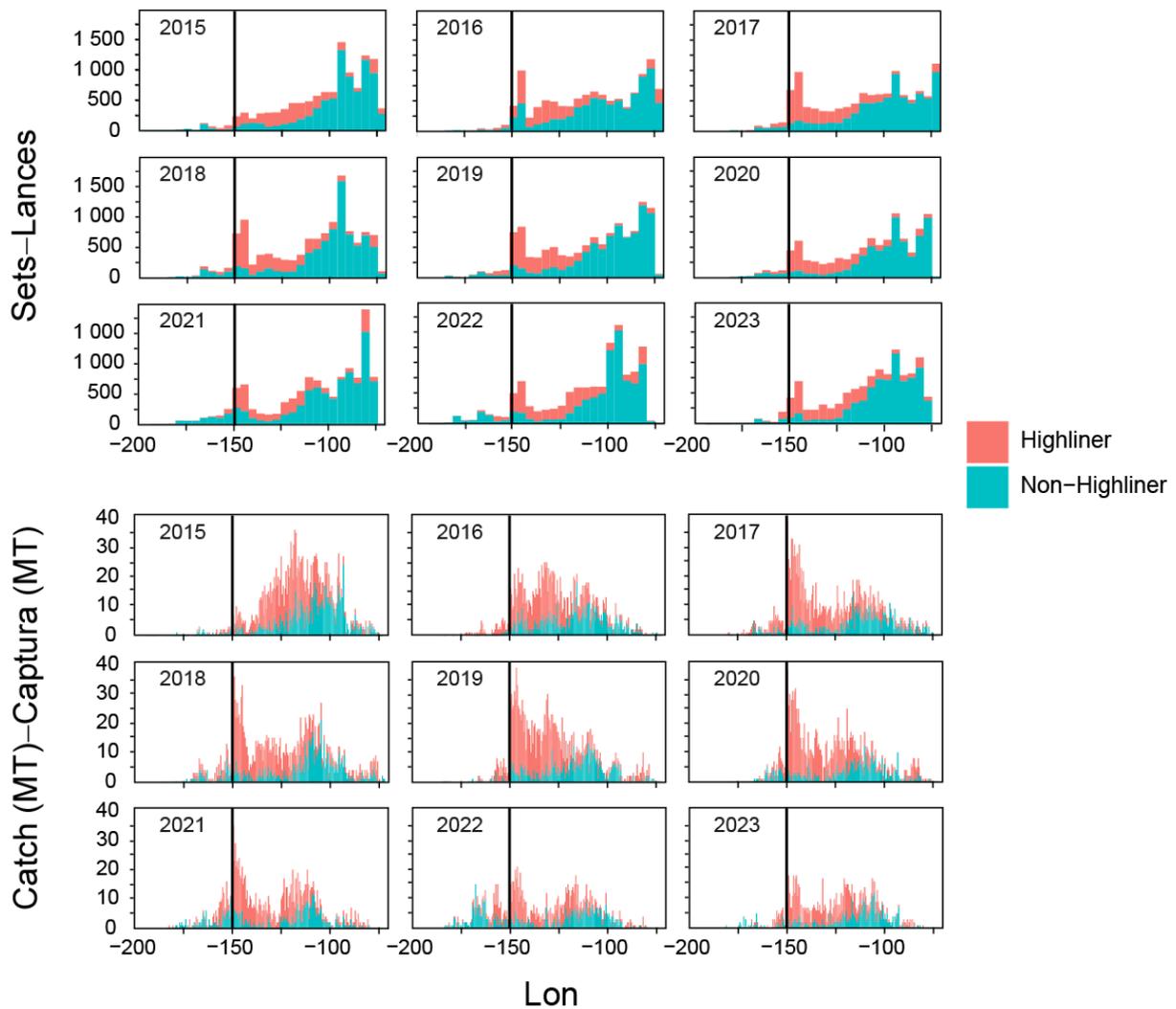
**FIGURE 13.** Spatial max scaled CPUE of OBJ sets between 2014 and 2023 by BET highliners and non-highliners. Scaling performed across highliner and non-highliner but within time blocks.

**FIGURA 13.** CPUE máxima escalada espacial de lances OBJ entre 2014 y 2023 por buques *highliner* y *non-highliner*. Escalado realizado entre buques *highliner* y *non-highliner* pero dentro de bloques de tiempo.



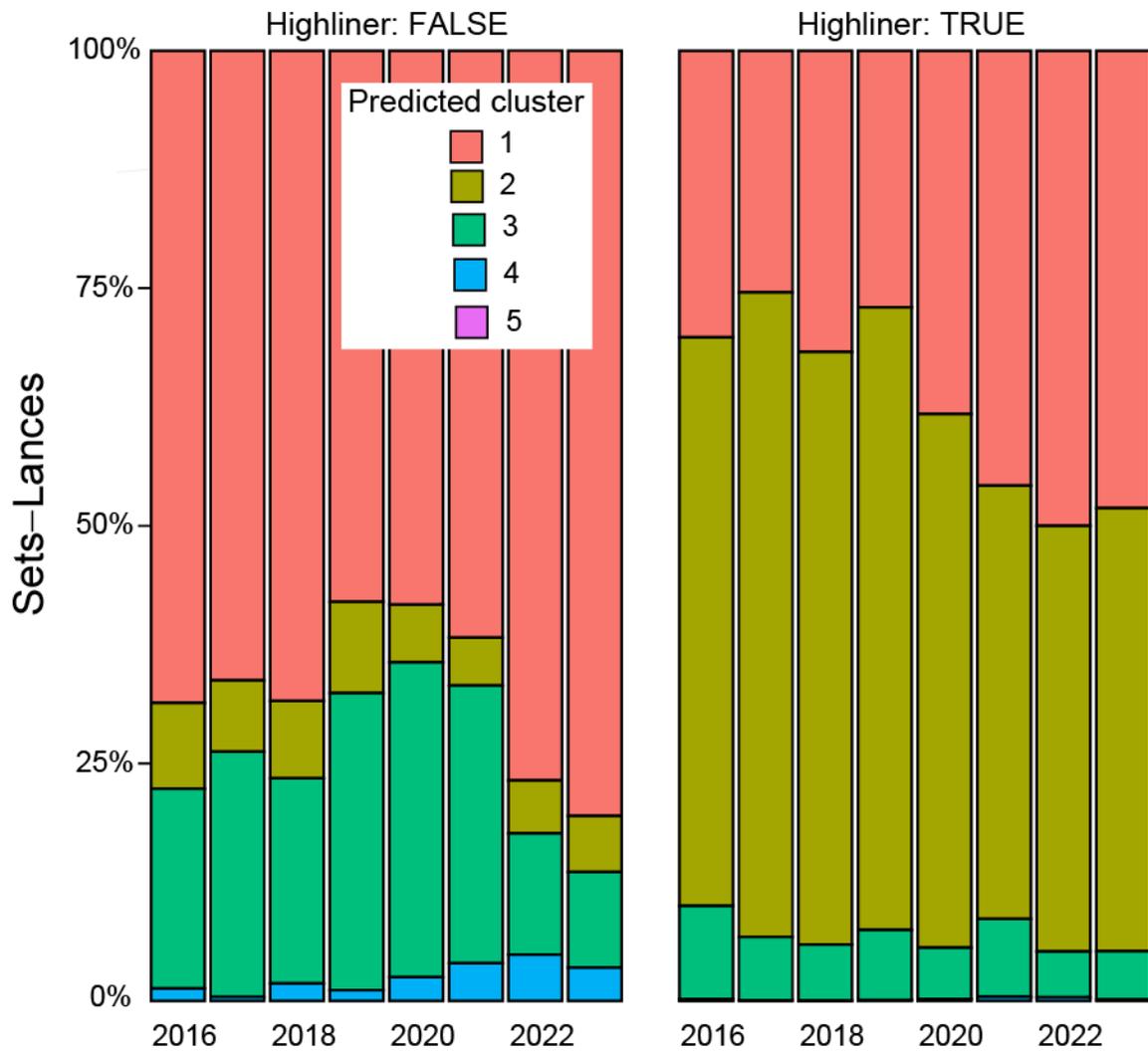
**FIGURE 14.** Centered and scaled OBJ catch per set broken out by Eastern and Western fishing ground. Western defined as fishing west of -115W, East as east of -115W.

**FIGURA 14.** Captura por lance OBJ centrada y escalada, desglosada por caladero oriental y occidental (occidental se define como la pesca al oeste de -115°O, oriental como al este de -115°O).



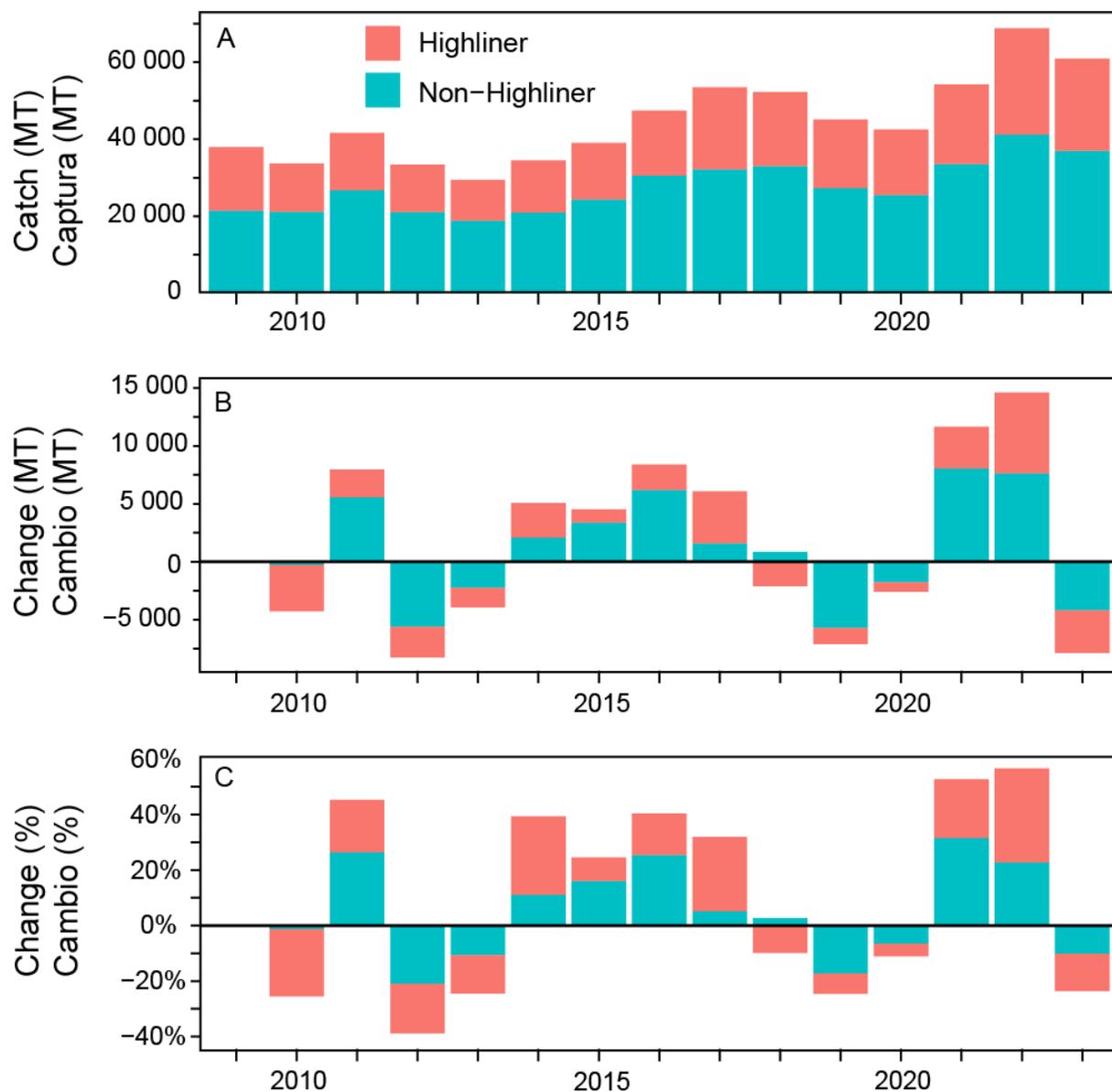
**FIGURE 15.** Number of sets (A) and catch of BET (t) by class 6 purse-seine vessels as a function of longitude and year.

**FIGURA 15.** Número de lances (A) y captura de BET (t) por buques cerqueros de clase 6 en función de la longitud y el año.



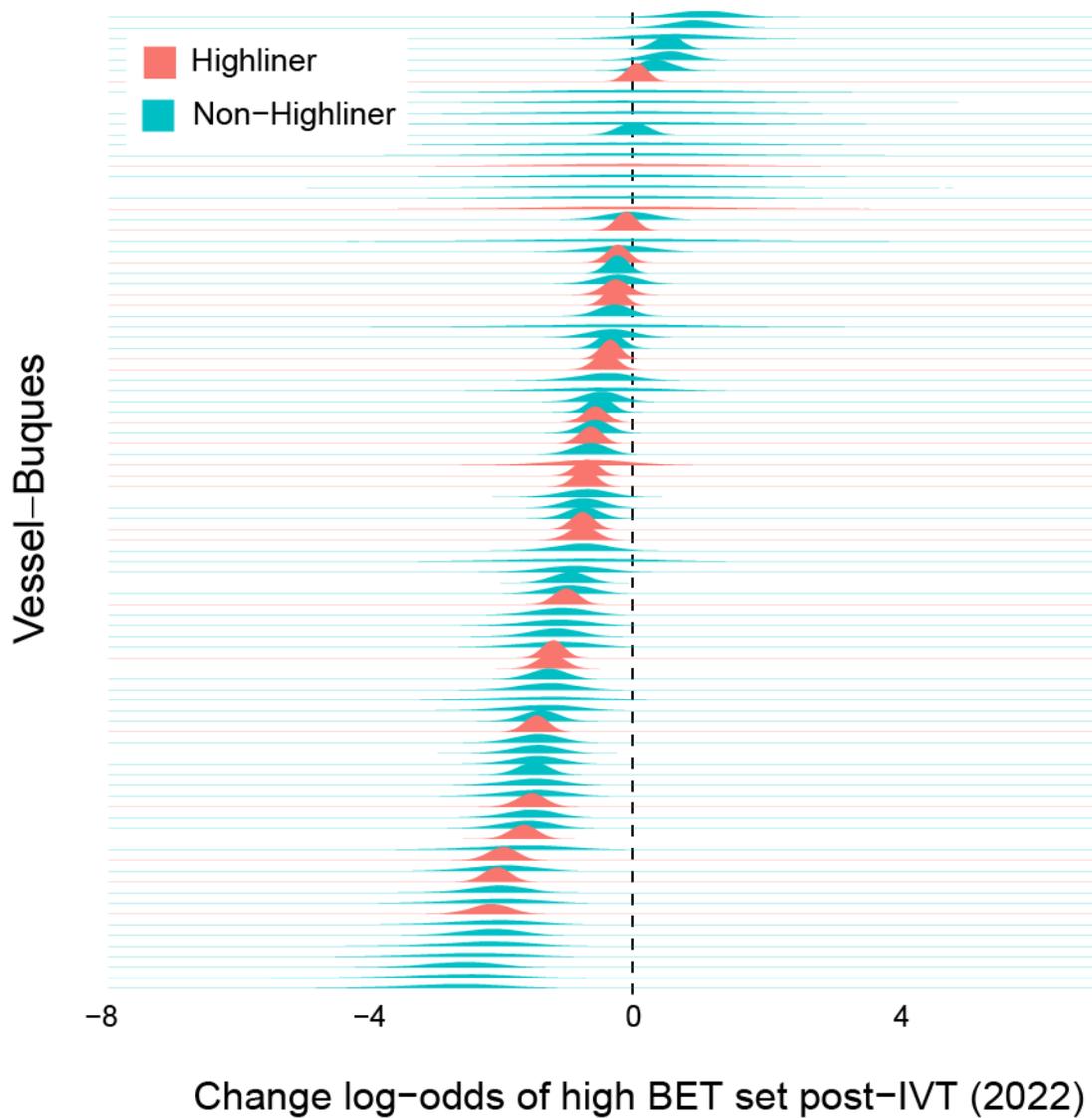
**FIGURE 16.** Percent of Class 6 purse-seine sets assigned to each estimated fishing strategy cluster over time.

**FIGURA 16.** Porcentaje de lances de buques cerqueros de clase 6 asignados a cada conglomerado de estrategias de pesca estimadas a lo largo del tiempo.



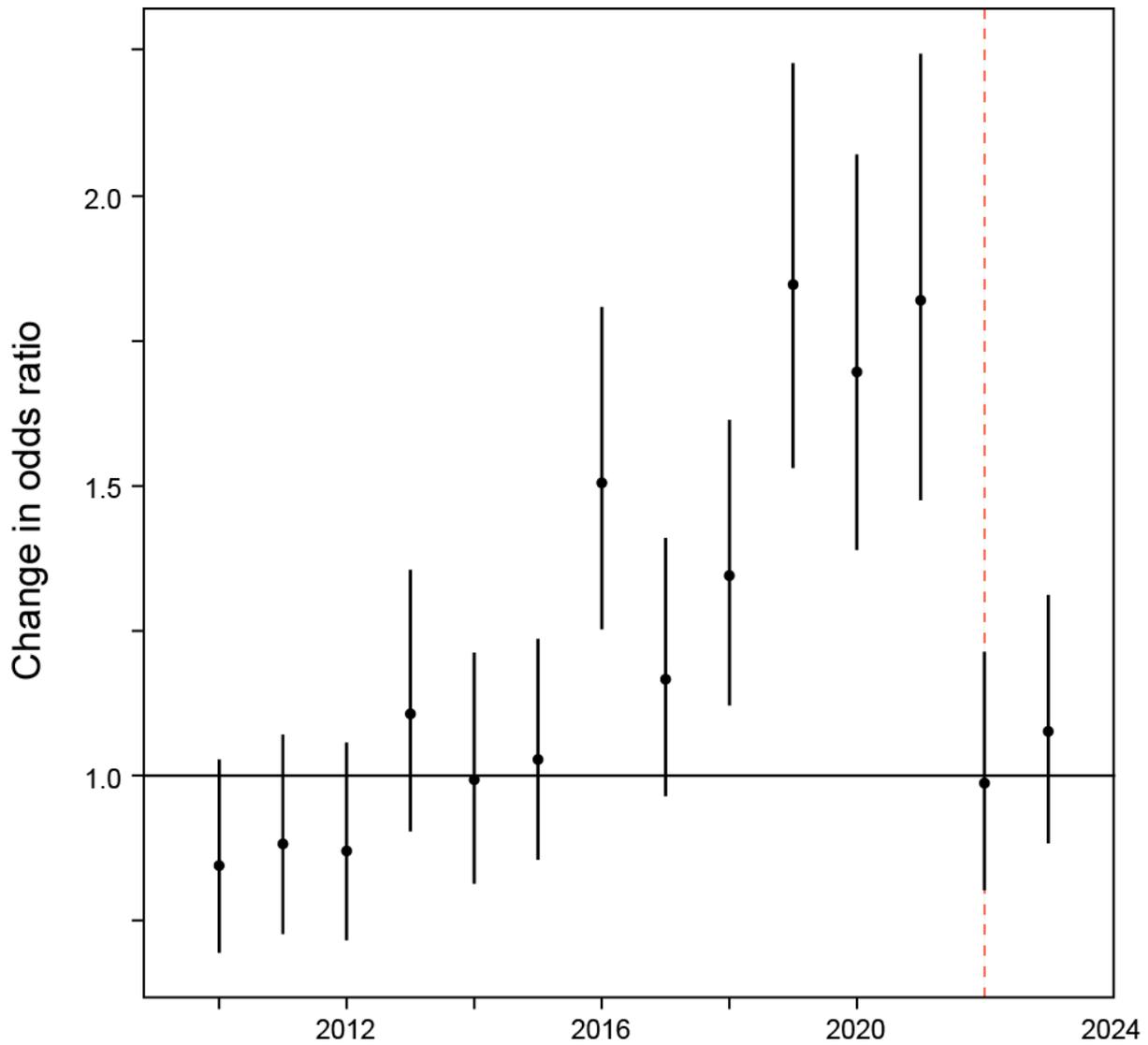
**FIGURE 17.** Breakdown of total (A), year-to-year absolute change (B), and year-to-year percent change (D) YFT class six purse-seine catch by BET highliner groups.

**FIGURA 17.** Desglose de la captura total (A), la variación absoluta interanual (B), y la variación porcentual interanual (C) de YFT por buques cercoeros de clase 6, por grupos de buques *highliner*.



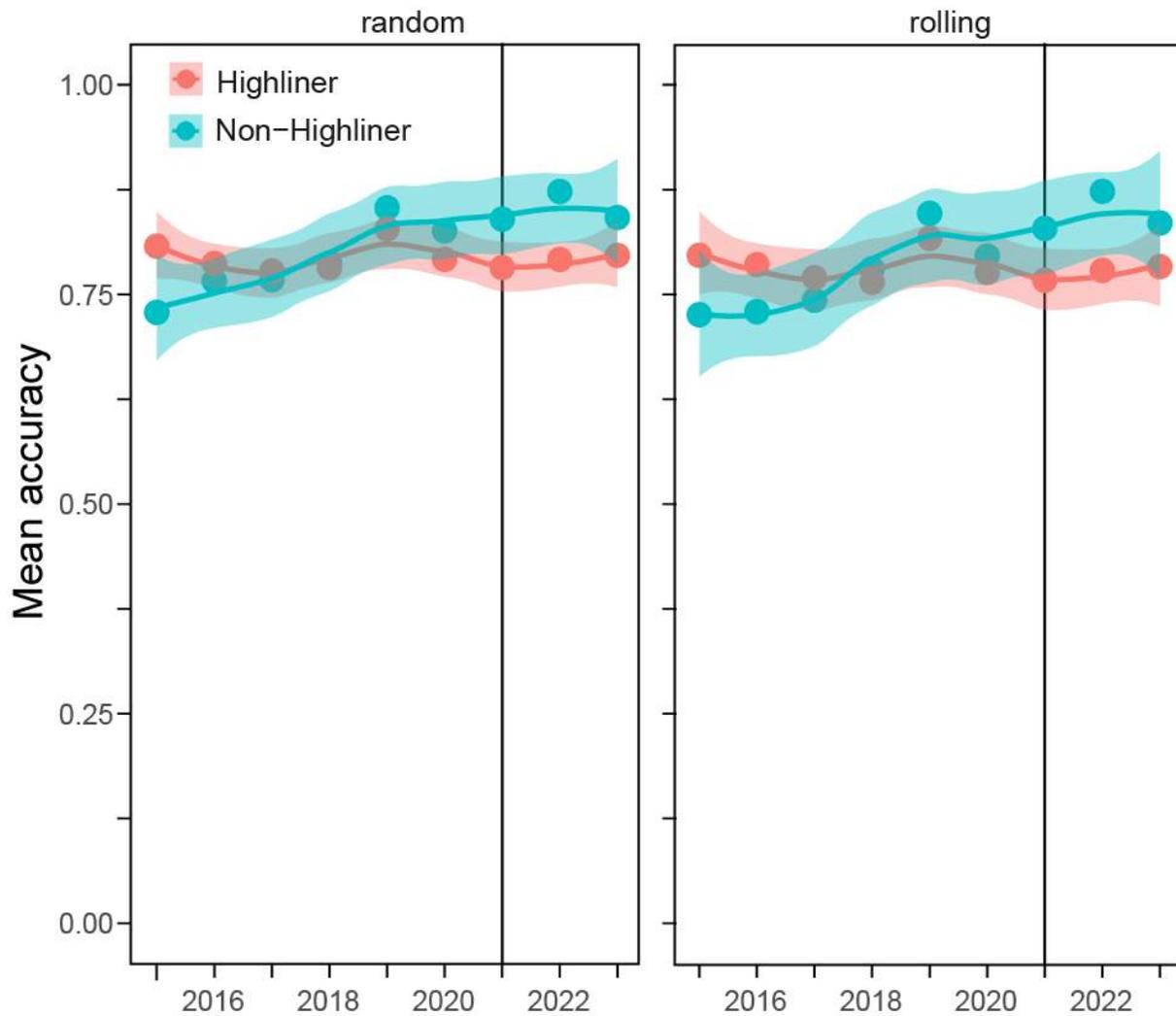
**FIGURE 18.** Estimated change in log-odds of class six purse-seine vessels catching  $\geq$  10 t of BET in a set. Positive values mean higher odds of BET  $\geq$  10 set, negative lower, post IVT year.

**FIGURA 18.** Cambio estimado en las probabilidades logarítmicas de que los buques cerqueros de clase 6 capturen  $\geq$  10 t de BET en un lance. Los valores positivos significan mayores probabilidades de lance de BET  $\geq$  10, negativo inferior, año posterior al UIB.



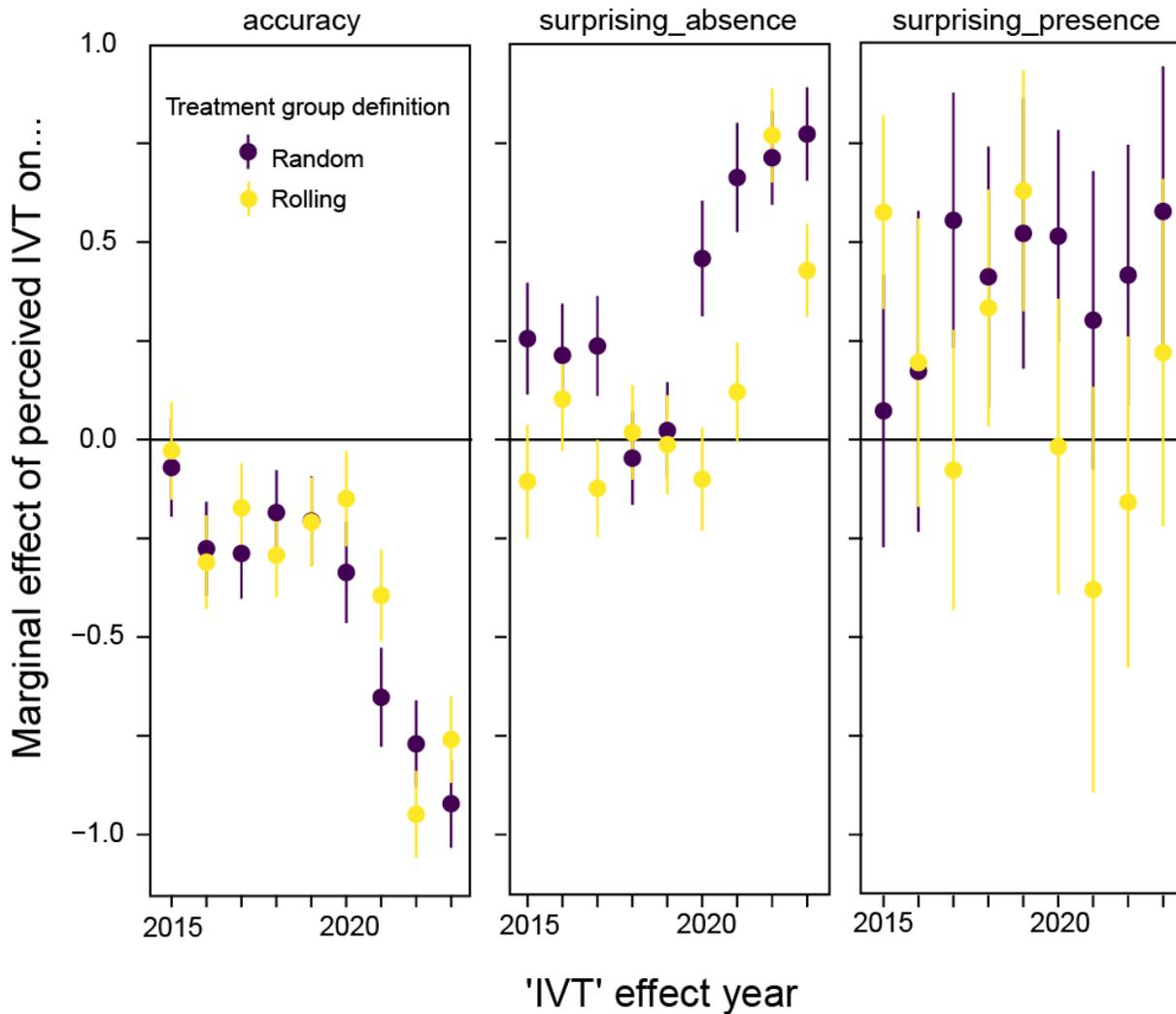
**FIGURE 19.** Marginal effect of being a highliner in each year conditional on control variables on the probability of a set having  $\geq 10$  t of BET.

**FIGURA 19.** Efecto marginal de ser *highliner* en cada año condicionado a las variables de control sobre la probabilidad de que un lance tenga  $\geq 10$  t de BET.



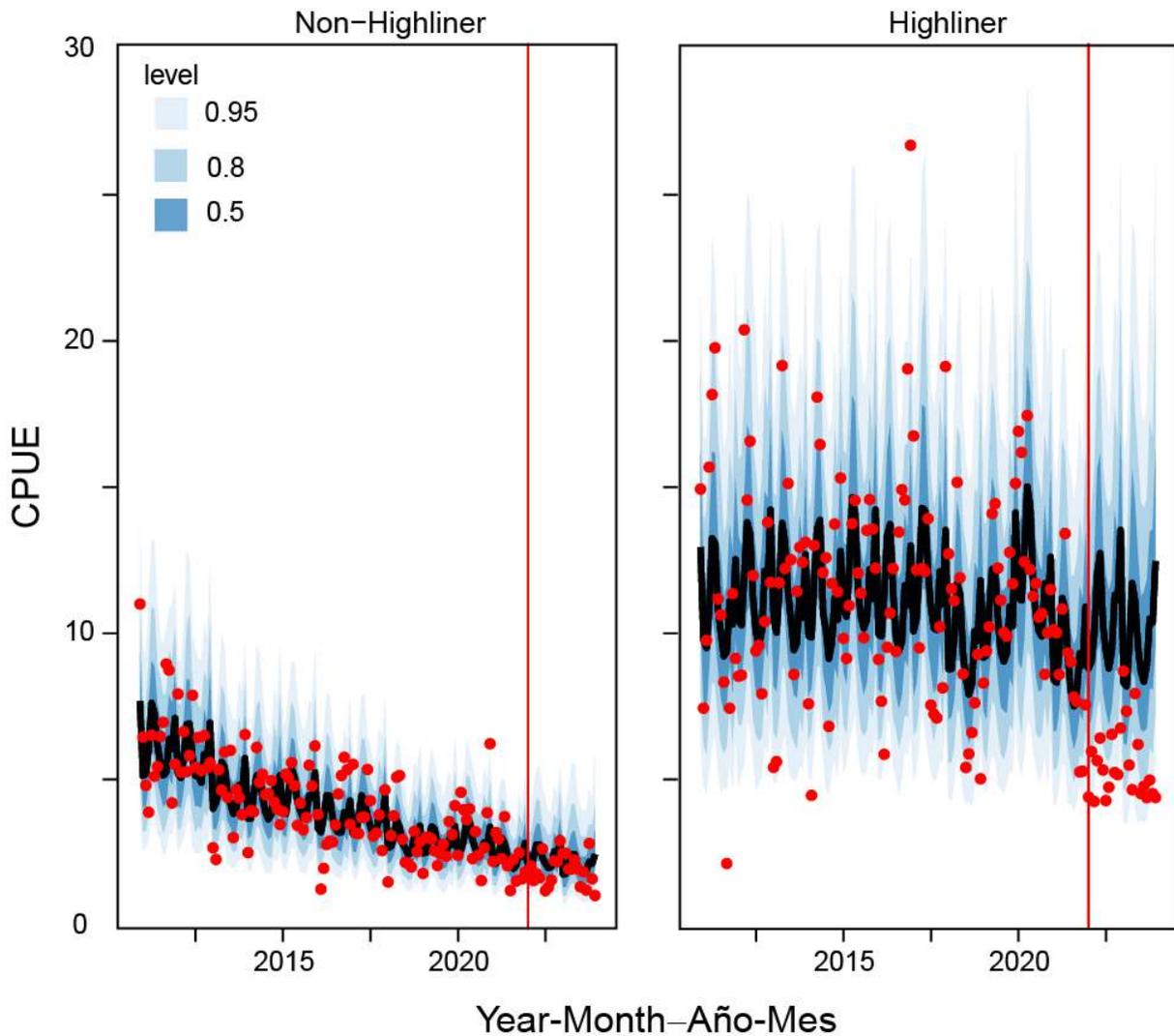
**FIGURE 20.** Mean testing split classification accuracy of BET catch detection models. For any given point, ‘random’ indicates that the testing split is made up of a randomly sampled subset of vessels in that year, rolling indicates that all data points in that year were held out from the training set.

**FIGURA 20.** Exactitud promedio de clasificación de la división de prueba de los modelos de detección de captura de BET. Para cualquier punto dado, “aleatorio” indica que la división de prueba se compone de un subconjunto de buques muestreados aleatoriamente en ese año; “progresivo” indica que todos los puntos de datos de ese año se retuvieron del conjunto de entrenamiento.



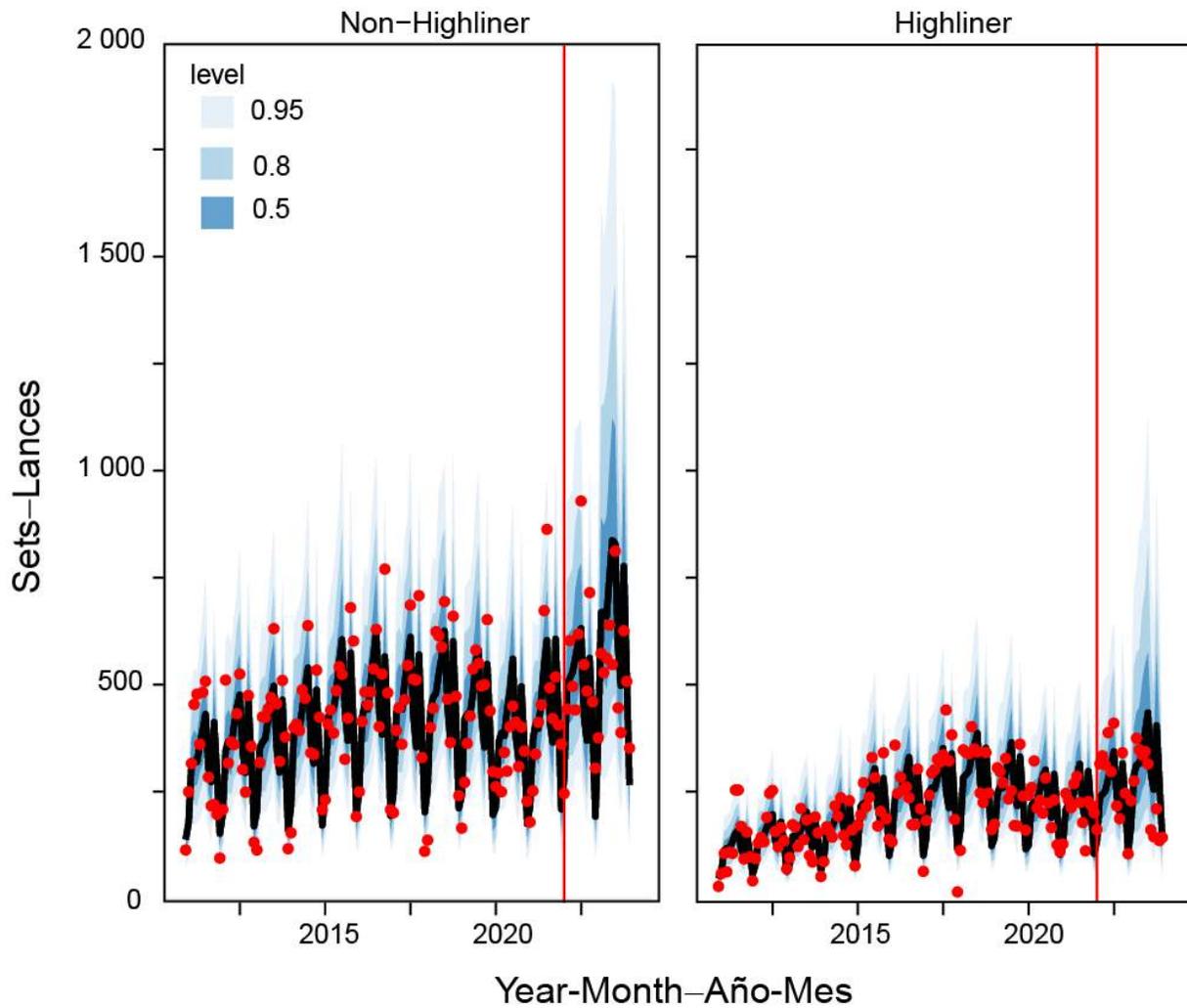
**FIGURE 21.** Results of DiD-style analysis on residuals of probability that a given set caught greater than or equal to 10 t of BET. Accuracy reflects the change in the overall accuracy of the model. Surprising Presence shows the change in the probability of a surprising presence, Surprising Absence the change in the probability of a surprising absence. All changes are conditional on the expected changed change in the metric in question based on the non-highliners. For any given point, ‘random’ indicates that the testing split is made up of a randomly sampled subset of vessels in that year, rolling indicates that all data points in that year were held out from the training set.

**FIGURA 21.** Resultados del análisis tipo DD sobre los residuales de la probabilidad de que un lance determinado capture 10 t o más de BET. La exactitud refleja el cambio en la exactitud general del modelo. Presencia sorpresa muestra el cambio en la probabilidad de una presencia sorpresa. Ausencia sorpresa muestra el cambio en la probabilidad de una ausencia sorpresa. Todos los cambios están condicionados por el cambio esperado en la métrica en cuestión con base en los valores de los buques *non-highliner*. Para cualquier punto dado, “aleatorio” indica que la división de prueba se compone de un subconjunto de buques muestreados aleatoriamente en ese año; “progresivo” indica que todos los puntos de datos de ese año se retuvieron del conjunto de entrenamiento.



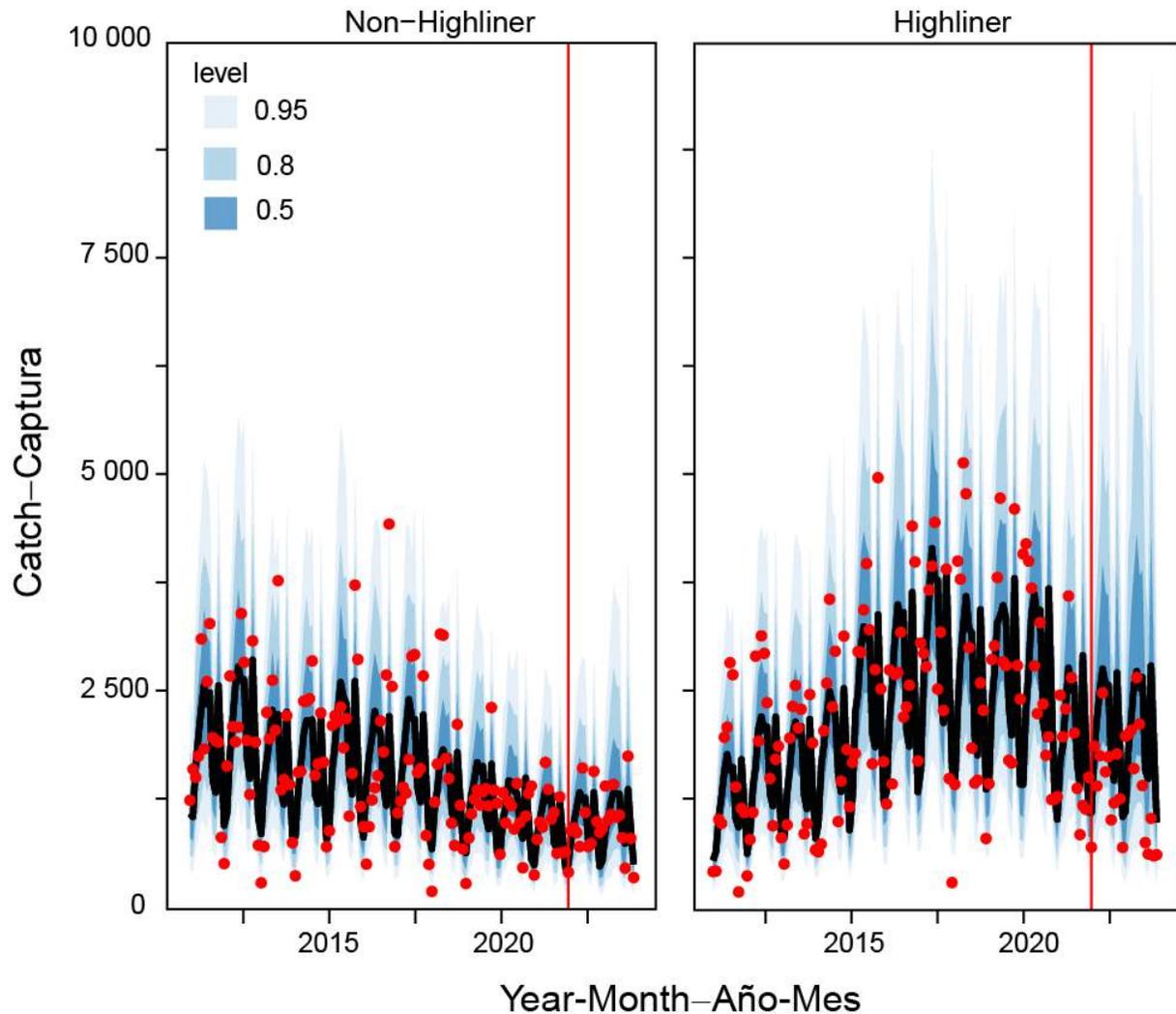
**FIGURE 22.** Observed (red points) and Bayesian GAM predicted (black line and blue distribution) catch per set (CPUE) of BET in OBJ sets. Trends are broken out by highliner status. Black line and blue distributions show mean and distribution of posterior predictive CPUE values. GAMs were fit using only data from before 2022.

**FIGURA 22.** Captura por lance (CPUE) observada (puntos rojos) y predicha por el MAG bayesiano (línea negra y distribución color azul) de BET en lances OBJ. Las tendencias se desglosan por estado de *highliner*. La línea negra y las distribuciones azules muestran el promedio y la distribución de la predicción posterior de los valores de la CPUE. Los MAG se ajustaron solo con datos previos a 2022.



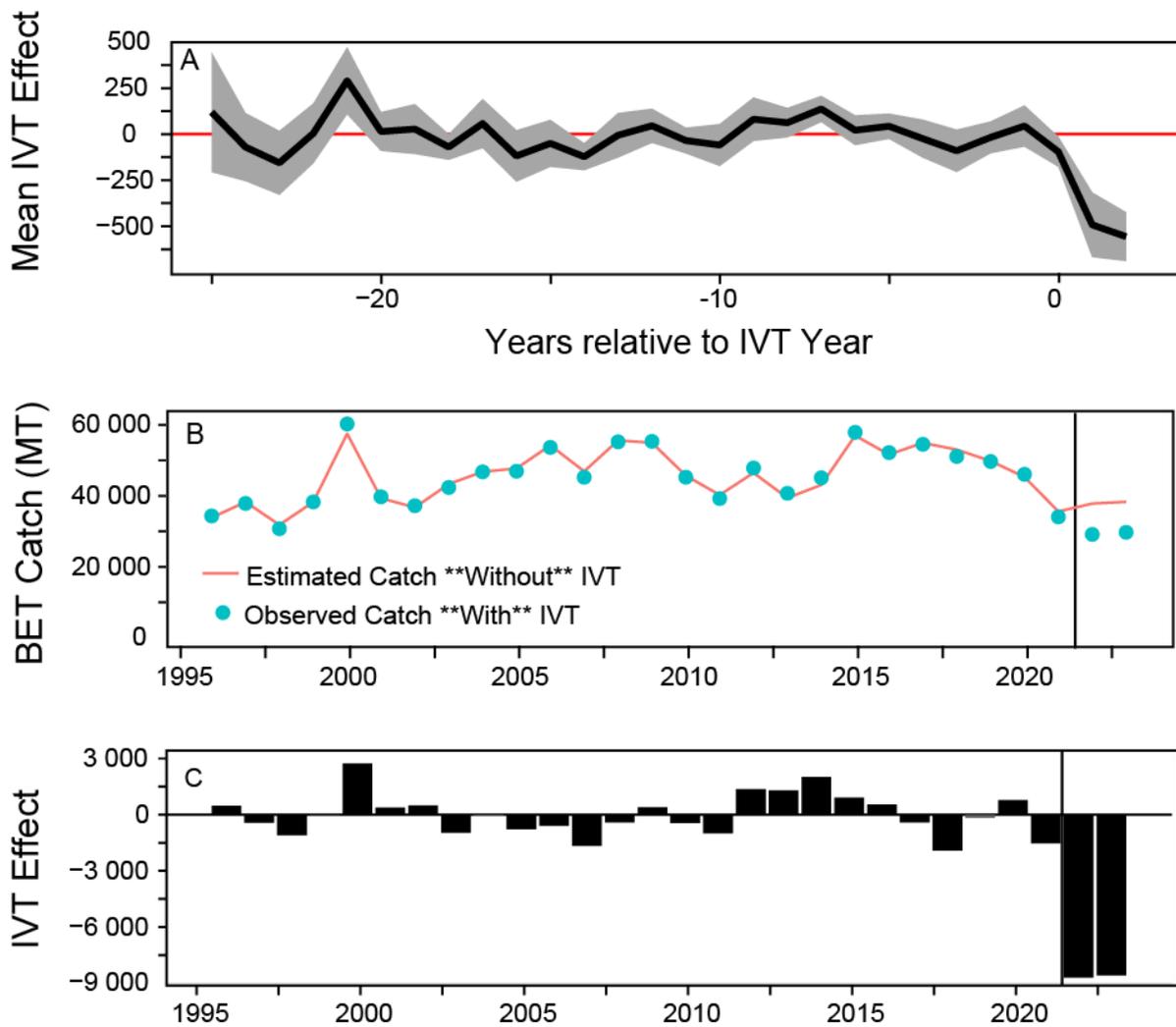
**FIGURE 23.** Observed (red points) and Bayesian GAM predicted (black line and blue distribution) OBJ sets. Trends are broken out by highliner status. Black line and blue distributions show mean and distribution of posterior predictive number of sets. GAMs were fit using only data from before 2022.

**FIGURA 23.** Lances OBJ observados (puntos rojos) y predichos por el MAG bayesiano (línea negra y distribución color azul). Las tendencias se desglosan por estado de *highliner*. La línea negra y las distribuciones azules muestran el promedio y la distribución de la predicción posterior del número de lances. Los MAG se ajustaron solo con datos previos a 2022.



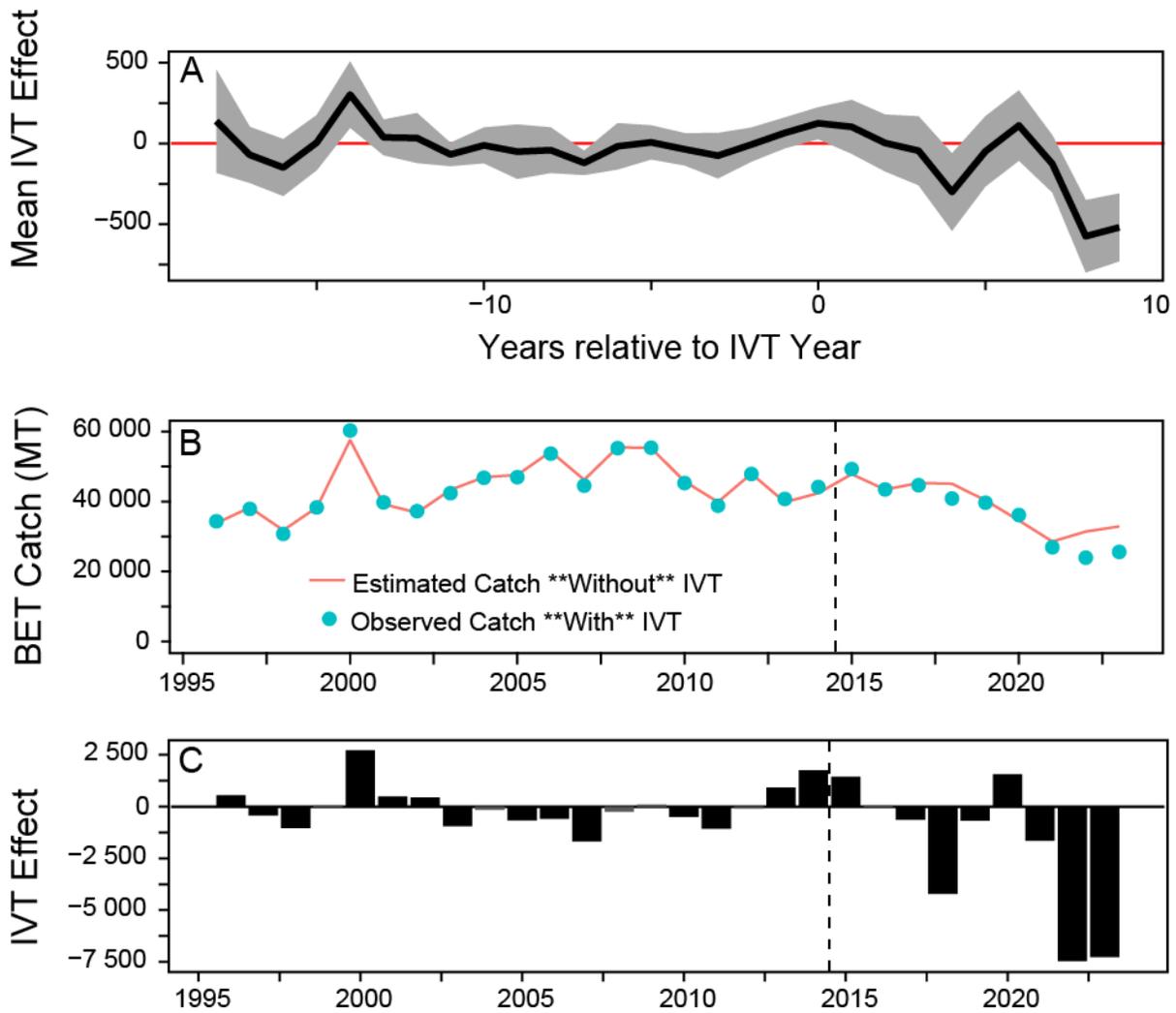
**FIGURE 24.** Observed (red points) and Bayesian GAM predicted (black line and blue distribution) BET catch from OBJ sets. Trends are broken out by highliner status. Black line and blue distributions show mean and distribution of posterior predictive BET catch. GAMs were fit using only data from before 2022.

**FIGURA 24.** Captura BET observada (puntos rojos) y predicha por el MAG bayesiano (línea negra y distribución color azul) de lances OBJ. Las tendencias se desglosan por estado de *highliner*. La línea negra y las distribuciones azules muestran el promedio y la distribución de la predicción posterior de la captura BET. Los MAG se ajustaron solo con datos previos a 2022.



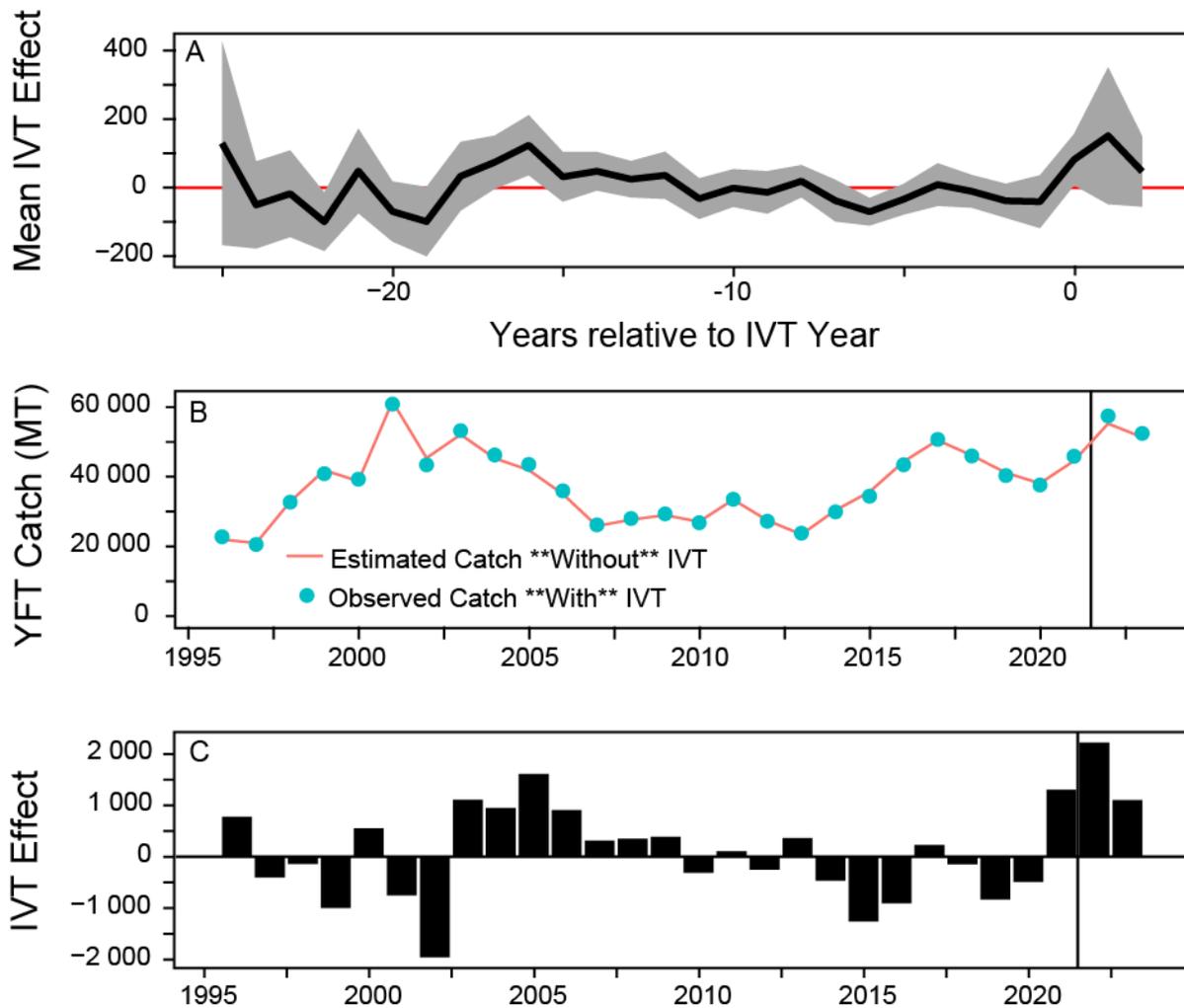
**FIGURE 25.** Impacts of IVT on BET catches estimated by synthetic control approach. A) Estimated effect of IVT on average highliner vessel as a function of number of years since IVT. Ribbon shows 95% confidence interval. B) Total observed with IVT and estimated without IVT class 6 purse-seine BET catches over time. C) Estimated difference in class 6 purse-seine BET catches over time. Vertical dashed lines show IVT year.

**FIGURA 25.** Impactos del UIB sobre las capturas de BET estimados por un enfoque de control sintético. A) Efecto estimado del UIB en un buque *highliner* promedio en función del número de años transcurridos desde el UIB. La franja muestra el intervalo de confianza del 95%. B) Total observado con el UIB y estimado sin el UIB de capturas de BET de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. C) Diferencia estimada en las capturas de BET de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. Las líneas verticales discontinuas muestran el año del UIB.



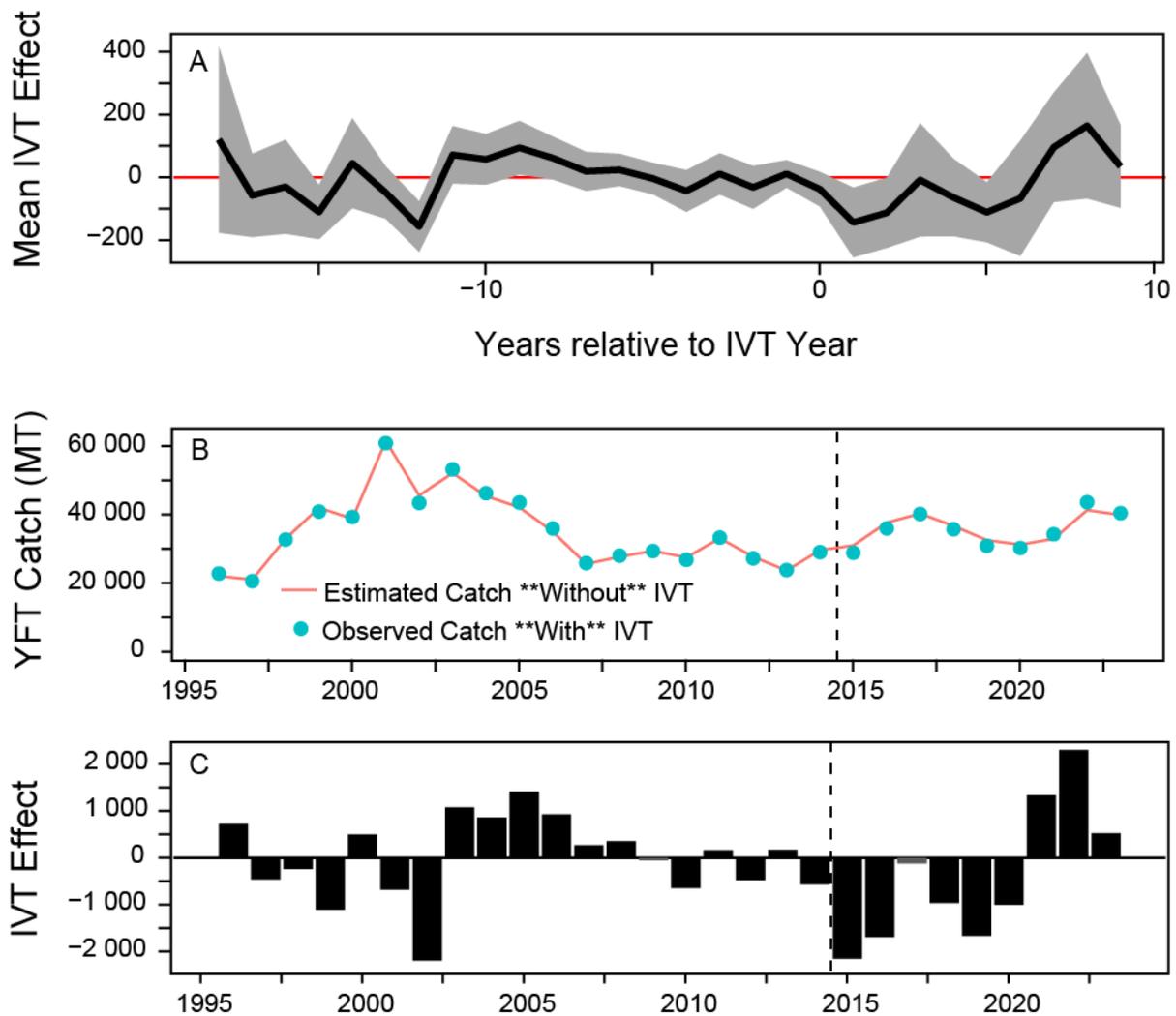
**FIGURE 26.** Placebo diagnostics of BET synthetic control. A) Estimated effect of IVT on average highliner vessel as a function of number of years since IVT. Ribbon shows 95% confidence interval. B) Total observed with IVT and estimated without IVT class 6 purse-seine BET catches over time. C) Estimated difference in class 6 purse-seine BET catches over time. Vertical dashed lines show placebo IVT year.

**FIGURA 26.** Diagnóstico placebo del control sintético de BET. A) Efecto estimado del UIB en un buque *highliner* promedio en función del número de años transcurridos desde el UIB. La franja muestra el intervalo de confianza del 95%. B) Total observado con el UIB y estimado sin el UIB de capturas de BET de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. C) Diferencia estimada en las capturas de BET de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. Las líneas verticales discontinuas muestran el año placebo del UIB.



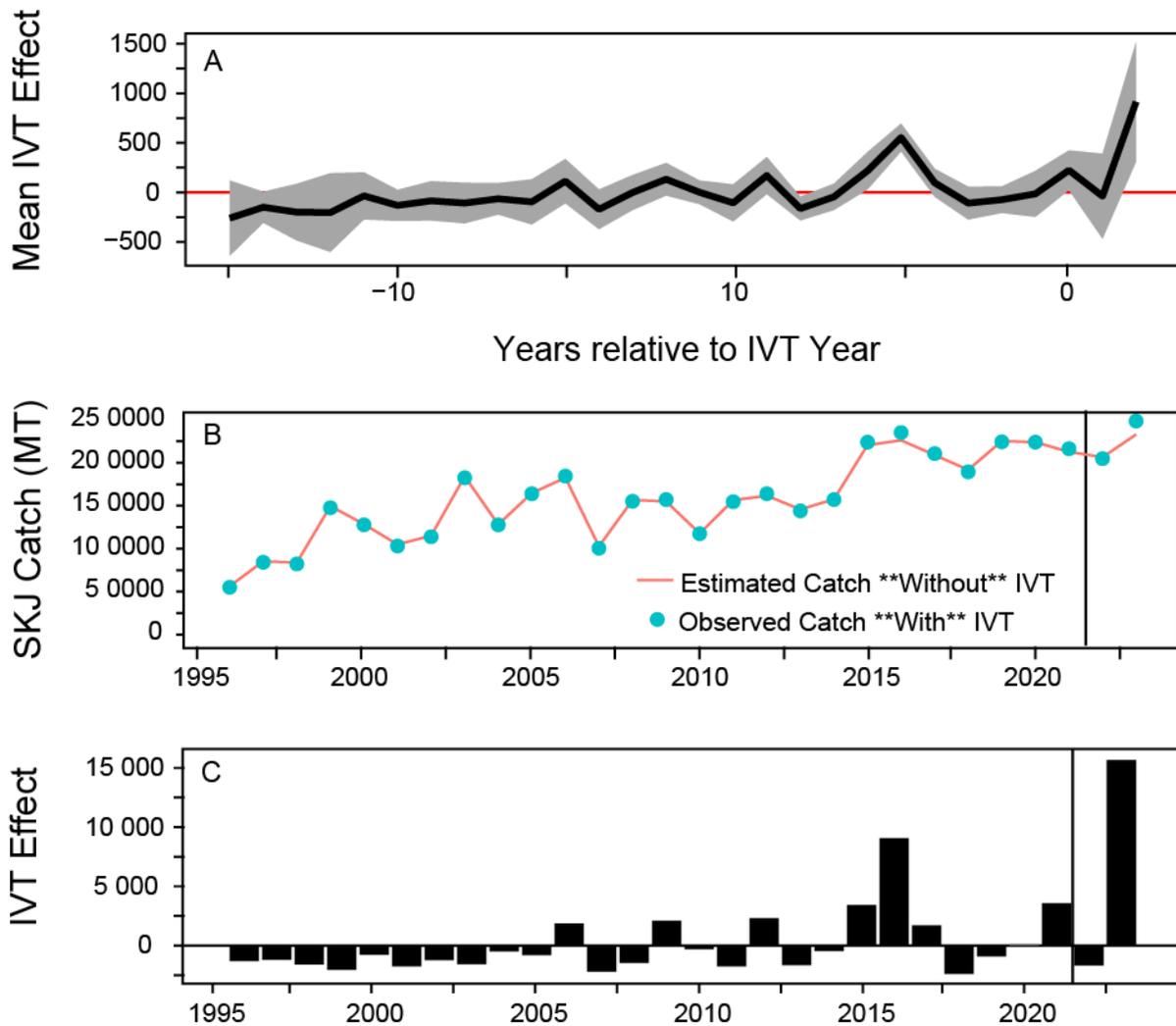
**FIGURE 27.** Impacts of IVT on YFT catches estimated by synthetic control approach A) Estimated effect of IVT on average highliner vessel as a function of number of years since IVT. Ribbon shows 95% confidence interval. B) Total observed with IVT and estimated without IVT class 6 purse-seine YFT catches over time. C) Estimated difference in class 6 purse-seine YFT catches over time. Vertical dashed lines show IVT year.

**FIGURA 27.** Impactos del UIB sobre las capturas de YFT estimados por un enfoque de control sintético. A) Efecto estimado del UIB en un buque *highliner* promedio en función del número de años transcurridos desde el UIB. La franja muestra el intervalo de confianza del 95%. B) Total observado con el UIB y estimado sin el UIB de capturas de YFT de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. C) Diferencia estimada en las capturas de YFT de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. Las líneas verticales discontinuas muestran el año del UIB.



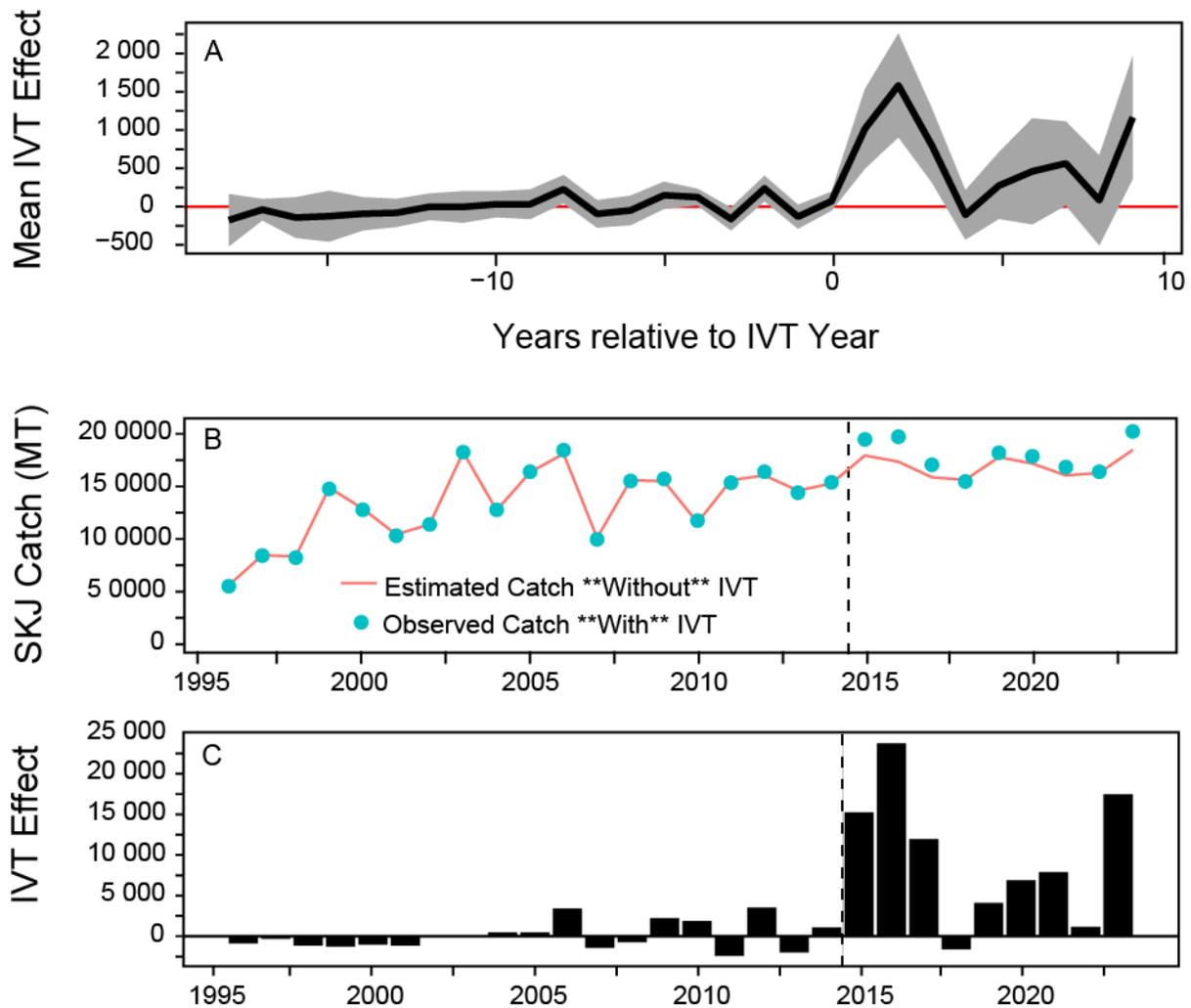
**FIGURE 28.** Placebo diagnostics of YFT synthetic control. A) Estimated effect of IVT on average highliner vessel as a function of number of years since IVT. Ribbon shows 95% confidence interval. B) Total observed with IVT and estimated without IVT class 6 purse-seine YFT catches over time. C) Estimated difference in class 6 purse-seine YFT catches over time. Vertical dashed lines show placebo IVT year.

**FIGURA 28.** Diagnóstico placebo del control sintético de YFT. A) Efecto estimado del UIB en un buque *highliner* promedio en función del número de años transcurridos desde el UIB. La franja muestra el intervalo de confianza del 95%. B) Total observado con el UIB y estimado sin el UIB de capturas de YFT de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. C) Diferencia estimada en las capturas de YFT de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. Las líneas verticales discontinuas muestran el año placebo del UIB.



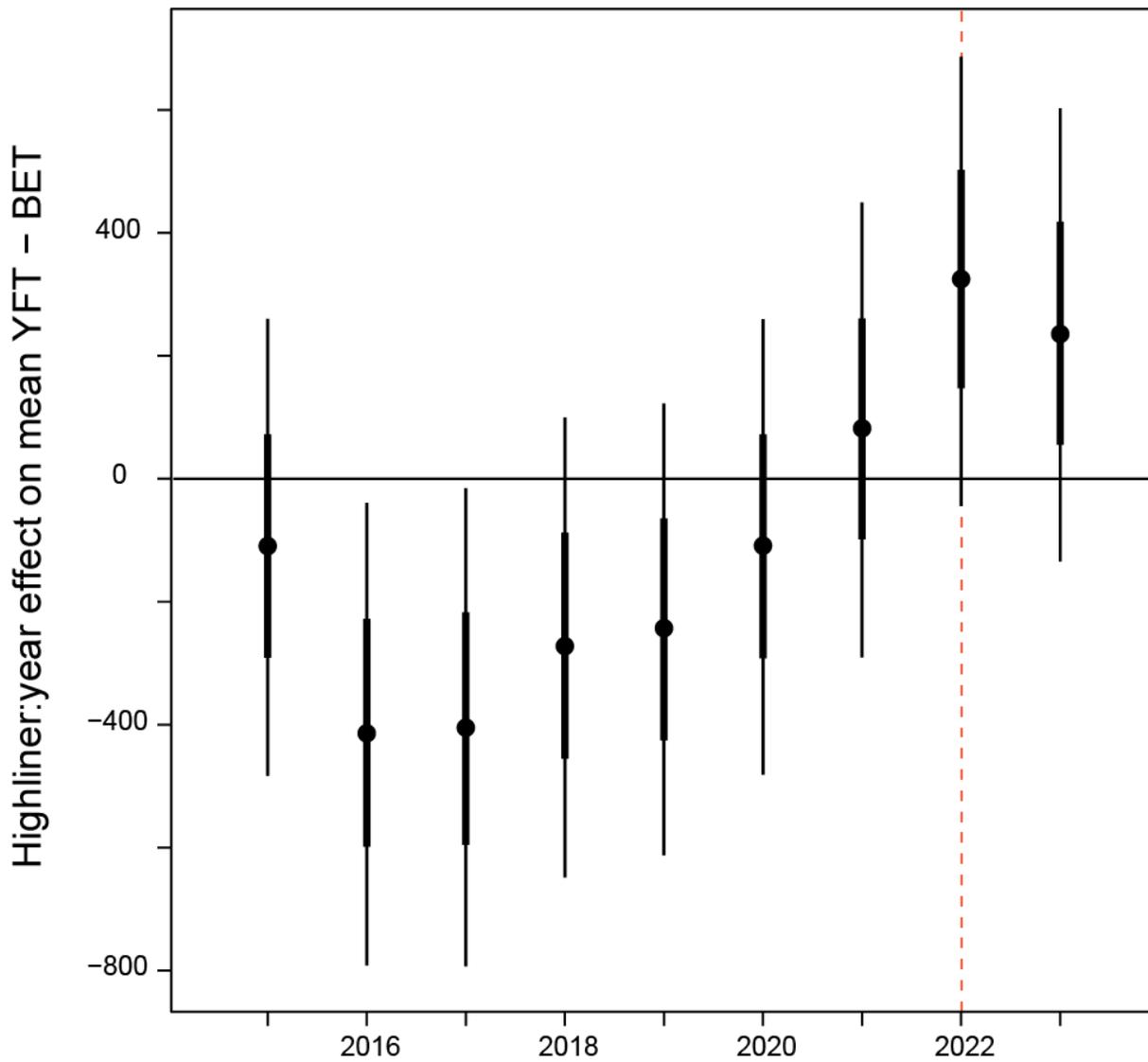
**FIGURE 29.** Impacts of IVT on SKJ catches estimated by synthetic control approach. A) Estimated effect of IVT on average highliner vessel as a function of number of years since IVT. Ribbon shows 95% confidence interval. B) Total observed with IVT and estimated without IVT class 6 purse-seine SKJ catches over time. C) Estimated difference in class 6 purse-seine SKJ catches over time. Vertical dashed lines show IVT year.

**FIGURA 29.** Impactos del UIB sobre las capturas de SKJ estimados por un enfoque de control sintético. A) Efecto estimado del UIB en un buque *highliner* promedio en función del número de años transcurridos desde el UIB. La franja muestra el intervalo de confianza del 95%. B) Total observado con el UIB y estimado sin el UIB de capturas de SKJ de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. C) Diferencia estimada en las capturas de SKJ de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. Las líneas verticales discontinuas muestran el año del UIB.



**FIGURE 30.** Placebo diagnostics of SKJ synthetic control. A) Estimated effect of IVT on average highliner vessel as a function of number of years since IVT. Ribbon shows 95% confidence interval. B) Total observed with IVT and estimated without IVT class 6 purse-seine SKJ catches over time. C) Estimated difference in class 6 purse-seine SKJ catches over time. Vertical dashed lines show placebo IVT year.

**FIGURA 30.** Diagnóstico placebo del control sintético de SKJ. A) Efecto estimado del UIB en un buque *highliner* promedio en función del número de años transcurridos desde el UIB. La franja muestra el intervalo de confianza del 95%. B) Total observado con el UIB y estimado sin el UIB de capturas de SKJ de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. C) Diferencia estimada en las capturas de SKJ de buques cerqueros de clase 6 a lo largo del tiempo. Las líneas verticales discontinuas muestran el año placebo del UIB.



**FIGURE 31.** Estimated effect of the IVT on the average absolute difference in YFT catch to BET catch per year for class 6 purse seine vessels.

**FIGURA 31.** Efectos estimados del UIB sobre la diferencia absoluta promedio entre la captura de YFT y la captura de BET por año para los buques cerqueros de clase 6.