

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL
GRUPO DE TRABAJO AD-HOC PERMANENTE SOBRE PLANTADOS
9ª REUNIÓN

La Jolla, California (EE. UU.)
28-29 de mayo de 2025

DOCUMENTO FAD-09-02

**DINÁMICA DE LA VIDA ÚTIL DE LOS PLANTADOS BIODEGRADABLES Y
CONVENCIONALES EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL**

Dan Ovando, Marlon Román, Dan Fuller, Cleridy Lennert-Cody y Jon Lopez

Este documento se elaboró en respuesta a la recomendación 1.8 de la 8ª reunión del Grupo de Trabajo sobre Plantados: *“El personal científico estudie la vida útil de los plantados convencionales y biodegradables para evaluar las necesidades reales de la flota y los posibles efectos de la implementación de los plantados biodegradables en las operaciones pesqueras”* ([Informe de la 8ª reunión del Grupo de Trabajo sobre Plantados \[https://www.iattc.org/GetAttachment/20a36a00-5d58-4c88-bb8a-853a000184a0/FAD-08-RPT_8th-Meeting-of-the-Ad-Hoc-Working-Group-on-FADs.pdf\]\(https://www.iattc.org/GetAttachment/20a36a00-5d58-4c88-bb8a-853a000184a0/FAD-08-RPT_8th-Meeting-of-the-Ad-Hoc-Working-Group-on-FADs.pdf\)](https://www.iattc.org/GetAttachment/20a36a00-5d58-4c88-bb8a-853a000184a0/FAD-08-RPT_8th-Meeting-of-the-Ad-Hoc-Working-Group-on-FADs.pdf)).

ÍNDICE

Resumen	2
1. Introducción.....	2
2. Métodos.....	3
2.1. Datos.....	3
2.1.1. Base de datos de observadores sobre objetos flotantes de la CIAT	3
2.1.2. Base de datos y proceso de seguimiento de plantados	4
2.1.3. Identificación de plantados biodegradables	9
2.1.4. Filtrado de datos	9
2.2. Análisis.....	10
2.2.1. Análisis exploratorios	10
2.2.2. Duración de la vida útil de los plantados	10
2.2.3. Capturas de atunes tropicales con plantados	11
2.2.4. Efectos de los plantados biodegradables.....	11
2.2.5. Resultados de la encuesta de capitanes	13
3. Resultados y discusión	14
4. Conclusiones y recomendaciones.....	33
5. Referencias	35

RESUMEN

En respuesta a la resolución [C-23-04](#) y la [recomendación 1.8](#) del Grupo de Trabajo sobre Plantados en 2024, este informe presenta un análisis realizado por el personal científico de la CIAT sobre la dinámica de la vida útil de los plantados en el Océano Pacífico oriental (OPO), con un enfoque en las diferencias entre plantados convencionales y biodegradables. Este análisis usa una base de datos de la vida útil de los plantados creada por el personal a partir de registros de observadores de cerco de las actividades e interacciones con los plantados. En este informe, “vida útil” se refiere a los eventos observados entre la siembra de un plantado en el mar en un entorno sin agregación de peces o actividad pesquera conocidas (siembra en un entorno virgen o siembra virgen) y la eventual recuperación de ese plantado, o su último registro observado. A partir de esta base de datos, se presentan una serie de análisis exploratorios, combinados con modelos estadísticos, para estimar el efecto marginal de la construcción de plantados biodegradables sobre los atributos de los plantados, incluidas las capturas de atunes tropicales.

Los resultados muestran que entre los plantados sembrados antes de 2024, más del 70% de los plantados sembrados rastreados en nuestra base de datos no se volvieron a observar después de su siembra. En conjunto, el 22% de todos los plantados figuran como recuperados, el 13% si solo se incluyen los plantados sembrados antes de 2024. En el 16% de los plantados sembrados antes de 2024 se realizaron lances al menos una vez. Los plantados sobre los que se realizaron lances fueron pescados generalmente por dos o menos embarcaciones individuales entre 1 y 5 veces. Según los datos brutos y sin controlar ninguna diferencia de confusión entre ambos grupos, se realizaron lances sobre los plantados en promedio 26 días antes que sobre los plantados convencionales. Si se controlan estas diferencias, se realizaron lances sobre los plantados biodegradables un 10% antes que sobre los plantados convencionales. El 80% de los plantados tenían una vida útil observada (es decir, interacciones y visitas de pesca, o recuperaciones entre la siembra inicial y la recuperación o pérdida de la base de datos) de 50 días o menos. Menos del 10% de los plantados biodegradables tenían una vida útil igual o superior a 50 días, mientras que aproximadamente el 14% de los plantados convencionales tenían una vida útil igual o superior a 50 días.

La captura por lance bruta y la captura total por vida útil fueron inferiores para los plantados biodegradables que para los plantados convencionales para todas las especies de atunes tropicales. Sin embargo, las diferencias brutas entre los plantados biodegradables y los plantados convencionales pueden ser engañosas, ya que existen diferencias sistémicas en la siembra y las prácticas pesqueras de estos dos grupos. Los plantados biodegradables fueron utilizados generalmente por buques de menor capacidad, y se concentraron en zonas y momentos específicos que no son representativos de los caladeros más amplios del OPO. Además, el uso de plantados biodegradables ha aumentado en los últimos años. Ya que todos estos factores necesitan ser tomados en cuenta para proporcionar una estimación más fiable de los efectos marginales de los plantados biodegradables, se utilizaron modelos delta espaciotemporales para controlar variables potencialmente confusas en un intento de aislar mejor el efecto marginal de la construcción de plantados biodegradables y las estrategias de pesca. Los modelos estimaron que, aunque los plantados biodegradables tienen, en promedio, vidas útiles (es decir, tiempos de inmersión) y número de lances por siembra ligeramente inferiores, estas diferencias no se traducen en una diferencia estadísticamente significativa en la captura total promedio de vida útil para ninguno de los atunes tropicales (los intervalos de confianza del 95% del efecto marginal estimado de los plantados biodegradables se sitúan generalmente entre +8% y -15%).

1. INTRODUCCIÓN

La pesquería sobre plantados en el Océano Pacífico oriental (OPO) se ha extendido de manera constante desde inicios de la década de los noventa debido en gran parte a la creciente eficiencia en la captura de atunes tropicales que se agrupan debajo de estos dispositivos (por ejemplo, [FAD-09-01](#)). Sin embargo, como muchos métodos de pesca, los plantados pueden tener efectos ecológicos no intencionados tales

como contribución de desechos marinos, contaminación y varamientos en hábitats sensibles. En un esfuerzo por mitigar estos efectos, la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) adoptó la resolución [C-23-04](#), la cual establece una transición gradual hacia plantados completamente biodegradables para el año 2031.

No obstante, la transición hacia plantados biodegradables puede también tener efectos a corto y largo plazo sobre las operaciones y estrategias pesqueras de las flotas. Con base en la resolución [C-23-04](#) y la [recomendación 1.8](#) del Grupo de Trabajo sobre Plantados, la cual requiere que *“El personal científico estudie la vida útil de los plantados convencionales y biodegradables para evaluar las necesidades reales de la flota y los posibles efectos de la implementación de los plantados biodegradables en las operaciones pesqueras”*, este documento evalúa la dinámica pesquera y las características de diferentes tipos de plantados para tener un mejor entendimiento y anticipar los posibles efectos de la implementación de plantados biodegradables en el OPO. Se describen atributos espaciotemporales de la dinámica de la pesca sobre plantados (por ejemplo, siembra, lances, capturas, tiempo de inmersión) en el OPO, con la comparación asociada de estos atributos entre los plantados convencionales y los plantados biodegradables.

2. MÉTODOS

2.1. DATOS

2.1.1. Base de datos de observadores sobre objetos flotantes de la CIAT

El programa de observadores de la CIAT comenzó en 1979 por medio de un acuerdo de la CIAT de 1977 durante la 34ª reunión (CIAT, 1980). En esa época, la recolección de datos se enfocaba principalmente en las interacciones pesqueras con poblaciones de mamíferos marinos, captura de especies objetivo y aspectos operacionales de la pesquería cerquera de atunes (Duffy et al., 2022, Joseph, 1994).

Durante una reunión especial de la CIAT en 1992, la cual se llevó a cabo en La Jolla ([Acuerdo de La Jolla](#)), se requirió que los buques cerqueros grandes (buques de clase 6; >363 toneladas [t]) que operan en el OPO lleven un observador a bordo durante cada viaje de pesca en 1993. Asimismo, estableció que por lo menos el 50% de los observadores en los buques de cada país Miembro serían de la CIAT y contar con formularios idénticos para la recolección de datos; para entonces, la cobertura por observadores en cerqueros grandes había alcanzado básicamente el 100% (Duffy et al., 2022, Joseph, 1994).

Aunque ello estaba destinado solo para los buques de clase 6, los buques cerqueros de clases 1-5 (<363 t) han sido muestreados ocasionalmente por observadores de la CIAT y de programas nacionales; esto permitió que se incorporaran actividades pesqueras llevadas a cabo por la flota de buques cerqueros atuneros pequeños en la base de datos de observadores de la CIAT. El muestreo por observadores de buques de clases 1-5 ha aumentado en los últimos años, cubriendo aproximadamente alrededor del 34% de los viajes de buques pequeños ([DAT-02-02](#)). Esto ocurre debido a diversas razones, como el cumplimiento de los requisitos del APICD de permitir la pesca durante periodos de veda, monitorear que el buque no utilice bodegas selladas (resolución [C-12-08](#)) o la participación voluntaria en el programa de observadores de la flota de TUNACONS (un consorcio de buques ecuatorianos) ([EB-02-01](#); [DAT-02-01](#); [DAT-02-02](#); Duffy et al., 2022).

En 1987, la recolección de datos de observadores de la CIAT se expandió para incluir los primeros registros de la captura incidental de mamíferos no marinos, en específico relacionado con los objetos flotantes naturales y hechos por el hombre (Duffy et al., 2022). Para este propósito, los observadores nacionales y los de la CIAT (en lo sucesivo llamados “observadores”) utilizaron el Registro de Objetos Flotantes (ROF). Al inicio, la información principal recolectada incluía la fecha y la ubicación de avistamiento del objeto flotante y si se realizó un lance sobre éste o en sus inmediaciones. Cuando era posible, los observadores

también registraban las dimensiones del objeto flotante, el porcentaje de epibiota total que cubría su estructura, proporcionaban dibujos de la vista superior y lateral e información general de su tipo (es decir, si era natural, hecho por el hombre o artificial), forma, material y color del objeto.

En 1997, se añadieron campos de datos adicionales en el ROF, incluyendo la profundidad máxima del objeto flotante y códigos adicionales que describían los diferentes tipos y formas del objeto para dar cabida a los nuevos diseños de plantados, entre otros. En 2005, se le realizaron actualizaciones importantes al ROF, principalmente para entender mejor las actividades y dinámicas asociadas con la expansión de la pesquería sobre plantados. Como parte de estas mejoras, los observadores comenzaron a registrar el origen de cada objeto flotante, por ejemplo, si había sido sembrado por el buque propietario o si se había encontrado a la deriva independientemente de su propietario. Los observadores también documentaban detalles adicionales acerca de los componentes y materiales específicos del objeto, el tipo de interacción del plantado con la tripulación del buque, el método y el equipo utilizados para localizar el plantado y las especificaciones técnicas de su equipo de localización y transmisión. Estos datos se recolectaban tanto cuando se encontraba el objeto como cuando se dejaba a la deriva tras la interacción con la tripulación. Además, se les asignaba un número único de objeto a estos objetos flotantes y un número de encuentro consecutivo que facilitaba el seguimiento de cada plantado a lo largo de las interacciones en el viaje de pesca.

Durante la [3ª Reunión del Grupo de Trabajo ad hoc Permanente sobre Plantados](#), en el documento [FAD-03-INF-A](#) se resumió la revisión de las deficiencias de datos para las resoluciones [C-16-01](#) y [C-17-02](#), así como las mejoras potenciales recomendadas por el personal. Como resultado, en abril de 2019, se volvió a actualizar el ROF para incorporar el registro múltiple de los números de serie de las boyas satelitales con ecosonda utilizadas por los pescadores para identificar el plantado en el momento de la siembra (como lo establece la resolución [C-19-01](#)) y monitorear y localizar remotamente los plantados, incluidos los reemplazos de boyas con ecosonda en los plantados. Esta información hizo posible el seguimiento de los plantados en el agua a lo largo de los viajes de pesca. A diferencia de la versión previa de 2005, este formulario también permitía la recolección de más detalles sobre los componentes flotantes y sumergidos de los plantados (por ejemplo, luz de malla, tipo de componente y materiales categorizados como sintéticos o naturales). Debido a que este estudio tiene como objetivo analizar la vida útil de los plantados por tipo cuando son sembrados (ver Secciones 2.1.2 y 2.1.3), lo cual requiere seguimiento en el mar, se utilizaron datos de 2019 a 2024, ya que era el periodo para el que se disponía de estos datos.

2.1.2. Base de datos y proceso de seguimiento de plantados

La pesquería sobre plantados en el OPO involucra una gama de actividades e interacciones sobre plantados, las cuales se detallan en la [Figura 1](#). Sin embargo, no todas estas actividades (por ejemplo, construcción o reparaciones a bordo o en tierra) son observadas o registradas por los observadores ([Figura 1](#)). En los primeros años, los plantados eran construidos a bordo de buques pesqueros con restos de artes de pesca (por ejemplo, redes, cadenas, cuerdas). Más recientemente, muchos plantados se construyen en instalaciones dedicadas en tierra debido a regulaciones que requieren materiales biodegradables o no enmallantes (res. [C-23-04](#)).

Como se mencionó anteriormente, la [recomendación 1.8](#) del Grupo de Trabajo sobre Plantados requirió que el personal científico de la CIAT estudiara la “vida útil” de los plantados biodegradables y los plantados convencionales. Para propósitos de este informe, definimos la vida útil observada (en lo sucesivo, “vida útil”) como una serie de eventos observados de un plantado en el mar desde su siembra en un entorno “virgen” (área sin agregación actual de atunes o actividad pesquera) hasta la recuperación de dicho plantado; o la última observación de ese plantado por los programas de observadores descritos con anterioridad. Se explica este concepto con mayor detalle a continuación.

El número de identificación de la boya satelital es la única identificación que está presente de manera consistente y de forma física en un plantado después de su siembra. La vida útil del plantado comienza cuando se siembra en el agua con un número de identificación de la boya satelital asociada bajo condiciones “vírgenes”, es decir, cuando se siembra en el mar en un área sin agregación actual de atunes o actividad pesquera. Para cada plantado con el que interactúa el buque, los observadores recolectan una serie de información inherente al plantado, entre la que se incluye la ubicación de la siembra, el origen, los componentes y varios tipos de interacciones (por ejemplo, lances pesqueros, visitas, reemplazos de boyas, modificaciones en el agua, recuperaciones). Si durante el curso de la operación la boya satelital de un plantado es reemplazada, los observadores toman nota de esta interacción y del nuevo número de identificación de la boya, lo que permite seguir al plantado con ese nuevo número de identificación. Por lo tanto, se puede dar seguimiento a los plantados en nuestra base de datos hasta que éste es “recuperado”, es decir, que fue retirado del agua y que no se regresó a la misma ubicación y fecha de cuando fue encontrado, o hasta que un observador ya no pueda detectarlo. Después de la recuperación, los observadores no documentan algunas actividades; por ejemplo, si el plantado fue modificado a bordo o en tierra, si se colocó una nueva boya satelital o si ya no se utiliza en la pesca. Si se sujeta una nueva boya satelital a un plantado en específico durante alguno de estos eventos no observados tras la recuperación, ya no se puede vincular ningún registro de actividad a ese plantado individual y se genera un nuevo número de identificación de plantado si se siembra de nuevo en el mar en un entorno virgen.

Por consiguiente, lo que se informa aquí no es el ciclo de vida física completo de un plantado, desde su construcción original hasta llegar a un estado no operacional (la totalidad de la [Figura 1](#)). En su lugar, este informe hace un seguimiento de la vida útil operativa observada de un plantado en el mar (celdas verdes de la [Figura 1](#)). Es por esta razón que la misma infraestructura física de plantado puede ser, en teoría, parte de múltiples vidas útiles de plantado, cada una con un número de identificación de plantado distinto. Por lo tanto, en este análisis, el mismo plantado físico sembrado en un entorno virgen, recuperado y resembrado en una fecha posterior en un nuevo entorno virgen, recibiría un nuevo número de identificación de plantado. En otras palabras, la recuperación denota el fin de la vida útil para un determinado número de identificación de plantado, pero algunos o todos los componentes físicos de ese plantado podrían ser sembrados de nuevo en un lugar y un momento diferentes. En ese momento, recibiría un nuevo número de identificación de plantado, siempre y cuando esta nueva fecha y entorno no sean los mismos que los de la recuperación del número de identificación de plantado anterior para constituir una nueva siembra virgen. Con los datos utilizados en este estudio no es posible saber el destino de los plantados no recuperados; pueden hundirse, romperse, ser recuperados por un buque sin observador de la CIAT, permanecer en el mar, o quedar varados.

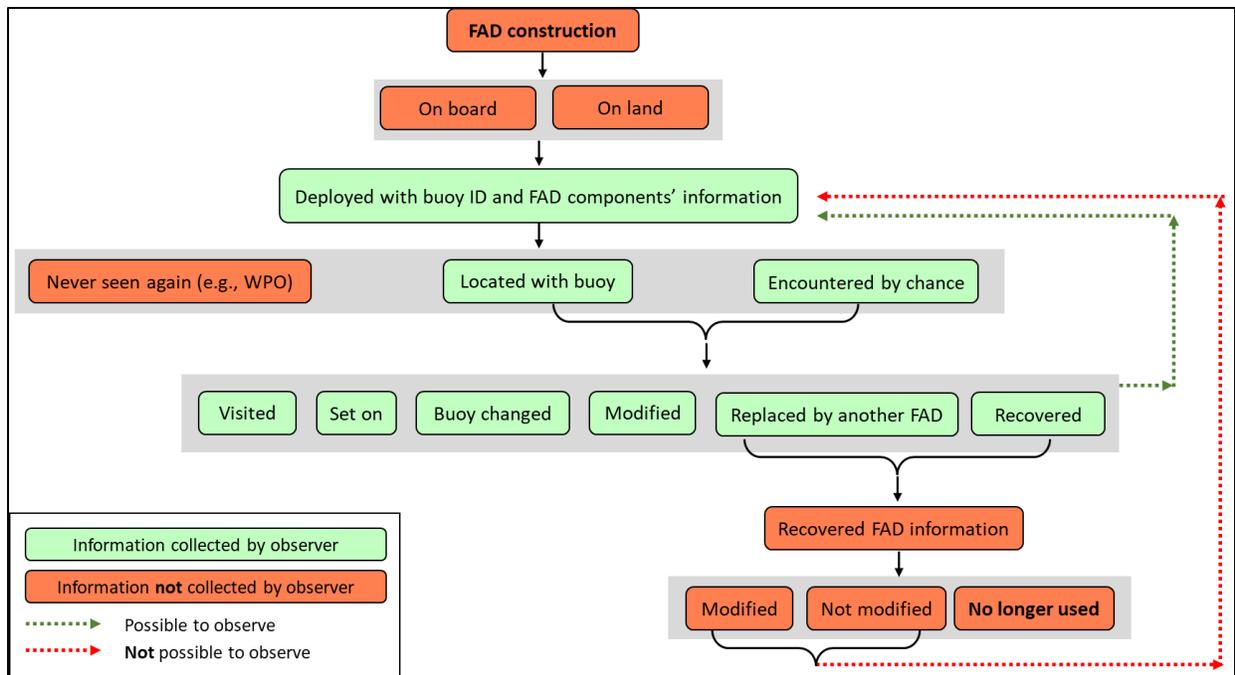


FIGURE 1. Activities and crew interactions that may occur over the complete lifecycle of a FAD.

FIGURA 1. Actividades e interacciones con la tripulación que pueden ocurrir a lo largo del ciclo de vida completo de un plantado.

Consideremos el siguiente ejemplo: se siembra un plantado con una boya satelital con el número de serie 123 y al plantado se le da el número de identificación X. En algún momento en el futuro, el plantado y la boya son encontrados o recuperados juntos, pero la boya es reemplazada por una nueva (número de serie 456) mientras que el plantado X se queda en el agua o se resiembra aproximadamente en el mismo lugar y hora. El observador puede hacer un seguimiento de este intercambio de los números de identificación de las boyas y, por tanto, preservar la identidad del plantado X en la base de datos. Luego, se visita o se hace un lance sobre el plantado X en otra fecha posterior y eventualmente figura como “recuperado”. Esta secuencia de eventos constituiría la vida útil completa observada del plantado X. Sin embargo, si el plantado X se recupera después de visitarlo o realizar un lance sobre él y se devuelve a puerto, se remodela y se vuelve a sembrar en un viaje posterior con una nueva boya (por el mismo buque o por otro diferente) con algunos o todos sus componentes originales, se considerará una nueva siembra y se le asignará el número de identificación de plantado Y. No es posible consultar la base de datos para identificar si el plantado X o el plantado Y comparten alguno o todos los componentes, ya que ningún observador podría documentar el cambio de números de identificación de las boyas.

El algoritmo y el proceso específicos de seguimiento de plantados trabaja de la siguiente manera: se identifica inicialmente cada plantado sembrado utilizando el número de serie de la boya satelital y se le asigna un número único de identificación de plantado, tal y como se describió anteriormente. Las interacciones posteriores con ese plantado en el mar pueden seguirse por medio de su número de identificación de la boya (Figura 2).

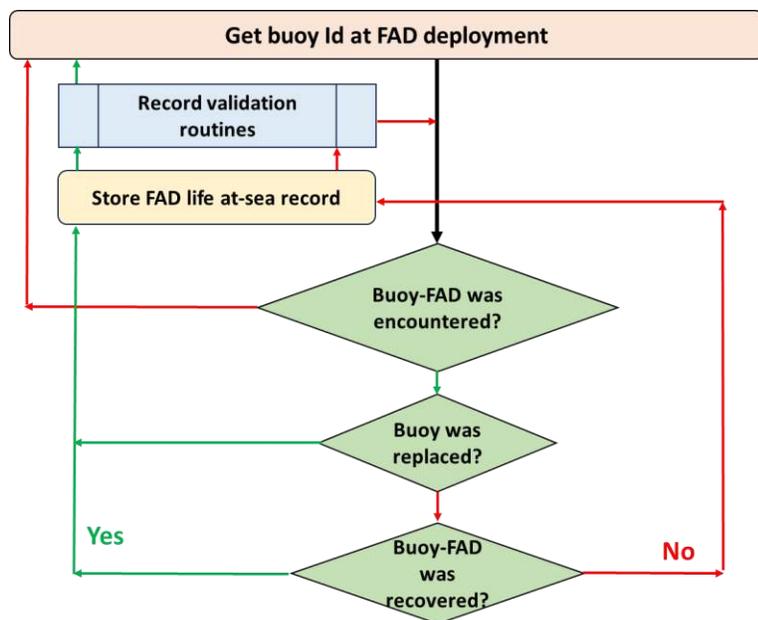


FIGURE 2. Algorithm used for tracking FADs at sea after deployments.

FIGURA 2. Algoritmo utilizado para el seguimiento de plantados en el mar tras las siembras.

Si una boya es reemplazada durante un encuentro con un plantado y este proceso lo documentó un observador, las interacciones siguientes con ese plantado pueden ser seguidas utilizando el número de identificación de la boya de remplazo. A todas las interacciones relacionadas con un plantado dado se les asignó el mismo número de identificación de plantado. En los casos en los que se registró una nueva siembra de plantados inmediatamente después de una interacción sin recuperación, se infirió que se había llevado a cabo una recuperación de plantado o un reemplazo de boya, pero que no estaba documentada en la base de datos de objetos flotantes. En tales casos, se dio por terminada la vida útil del plantado y se inició un nuevo registro de vida útil para el plantado recién sembrado, con el correspondiente número nuevo de identificación de plantado.

Este proceso permitió evaluar la calidad de los datos de interacción con plantados y de los números de identificación de las boyas recolectados por los observadores. Asimismo, se identificaron varias situaciones que podrían afectar la fiabilidad de los resultados de la base de datos de vida útil de los plantados; estas limitaciones fueron detectadas y marcadas por medio de rutinas de validación y los registros asociados fueron eliminados de los análisis aquí presentados.

Las principales limitaciones incluyen:

1. *Siembra de plantado no registrada.* Si no se documentó la siembra de un plantado, las interacciones posteriores pueden atribuirse erróneamente al número de identificación de plantado original (Figura 3).
2. *Recuperación de plantado no registrada.* Si se recupera un plantado pero no se registra, y después se utiliza la boya en una siembra nueva tampoco registrada (o si se documenta como reemplazo de otra boya), la vida útil del plantado original puede incorporar erróneamente interacciones de un plantado distinto (Figura 4).
3. *Reemplazo de boya no registrado.* Si no se documentó el reemplazo de una boya, es posible que falten interacciones posteriores para ese número de identificación de plantado.

4. *Registro del número de identificación de la boya omitido o incorrecto.* No existe una herramienta de procesamiento para la corrección de números de identificación de boyas omitidos o incorrectos cuando la interacción no está vinculada a otra entrada en la base de datos de objetos flotantes (por ejemplo, un único registro de interacción con un plantado para un viaje). Esto puede llevar a una limitación de tipo 1-3.

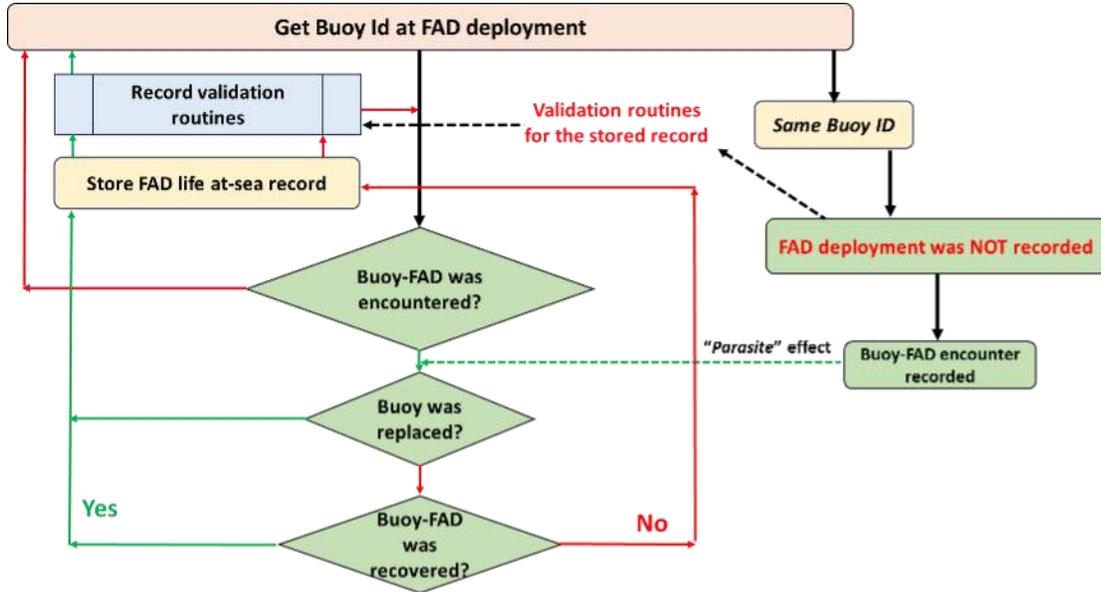


FIGURE 3. Caveat type 1: a FAD deployment occurred but it was not recorded.

FIGURA 3. Limitación de tipo 1: se sembró un plantado pero no se registró.

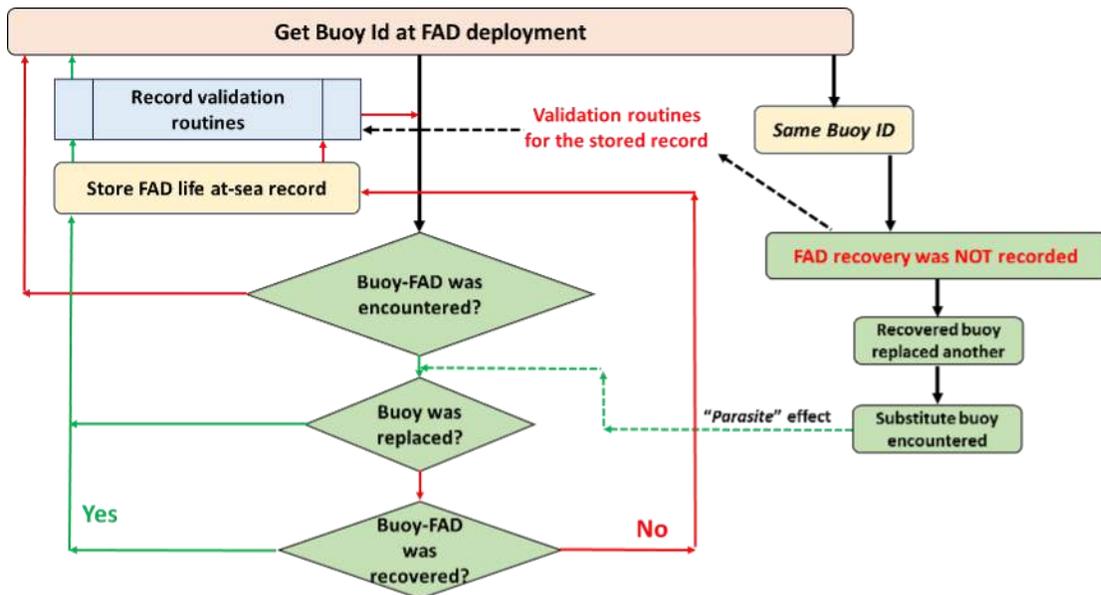


FIGURE 4. Caveat type 2: a FAD recovery occurred but it was not recorded.

FIGURA 4. Limitación de tipo 2: se recuperó un plantado pero no se registró.

Se establecieron rutinas de validación para identificar y eliminar de la base de datos las interacciones e identificaciones de plantados poco fiables, basadas en las limitaciones mencionadas anteriormente. Estas rutinas ayudaron a detectar, identificar y marcar los siguientes casos:

1. *Discrepancia en el origen del plantado*: Se activa una alerta cuando el observador registra el origen del plantado como que “procede del mismo buque y del mismo número de viaje”, pero el registro de siembra anterior muestra un número de viaje diferente. Esto ayuda a identificar los casos relacionados con las limitaciones 1-3 enumeradas anteriormente.
2. *Velocidad inusual del plantado*: Se genera una alerta si hay velocidades inusualmente altas del plantado entre registros de actividad consecutivos del mismo plantado, lo que sugiere que el plantado estaba en un buque y, por lo tanto, no se registró una posible siembra o recuperación de un plantado.
3. *Desplazamiento mínimo con tiempo de inmersión prolongado entre interacciones consecutivas de plantados*: Se genera una alerta para detectar secuencias erróneas causadas por tiempos de deriva prolongados dentro de una zona de amortiguamiento pequeña, ya que los plantados derivan en el espacio a lo largo del tiempo. Esto también puede indicar una siembra o una recuperación de un plantado no registrada.

Estas rutinas de validación marcaron estos posibles casos de error y eliminaron aproximadamente el 4% del número original de números de identificación de plantados de la base de datos.

2.1.3. Identificación de plantados biodegradables

Los datos para identificar plantados biodegradables se obtuvieron de tres fuentes:

1. El proyecto de plantados biodegradables a gran escala de la CIAT, llevado a cabo durante 2018-2022: acuerdo de subvención de la Unión Europea en el marco del EMFAF, número de proyecto 767592 «Pruebas de materiales biodegradables y prototipos para la pesquería de atunes tropicales sobre plantados» (para más detalles, ver los documentos [FAD-06-02](#) y [FAD-07-02](#)).
2. El Tuna Conservation Group (TUNACONS), que proporcionó, desde 2021, datos del plan voluntario del 20% de plantados biodegradables adoptado por sus flotas asociadas.
3. Observadores de la CIAT que completaron, a partir de 2022, un ROF complementario con información sobre plantados biodegradables. Este formulario es el mismo que el utilizado para la recolección de datos del proyecto de plantados biodegradables a gran escala de la CIAT.

Se supuso que los plantados no clasificados como biodegradables eran plantados convencionales.

2.1.4. Filtrado de datos

Tras el filtrado de control de calidad, este análisis utilizó datos de abril de 2019 a diciembre de 2024. Se eliminaron los plantados de la base de datos que mostraron anomalías en datos notificados según las rutinas de validación descritas anteriormente. También se excluyeron los plantados naturales (troncos y otros objetos flotantes naturales, ya que ~98% de los plantados en el OPO son artificiales; [FAD-09-01](#)), y los plantados que se notificó que sobre los que se habían realizado lances dentro de los 7 días de la siembra inicial, ya que esto probablemente indica una siembra no virgen. En total, las rutinas de filtrado eliminaron el 7.8% de los plantados incluidos en la base de datos original.

Dado que los plantados biodegradables no están distribuidos uniformemente en los caladeros, para los escenarios en los que se realizan modelos estadísticos y comparaciones entre plantados convencionales y biodegradables, primero se filtraron los datos para incluir solo los lances dentro de la envoltura convexa formada por las ubicaciones en las que se produjeron más de dos interacciones (siembras, lances,

visitas o recuperaciones) con plantados biodegradables (ver polígonos rojos en la Figura 14). Para los análisis a nivel de plantado en lugar de a nivel de lance, solo se incluyen los plantados para los que el 100% de las interacciones se produjeron dentro de la envolvente convexa de los caladeros de interacción con plantados biodegradables. Esto evita que el análisis tenga que separar los efectos de los plantados biodegradables de los efectos de la pesca en lugares donde no se registraron interacciones con plantados biodegradables.

Los datos utilizados en este estudio finalizan en diciembre de 2024. Sin embargo, los plantados sembrados en el agua antes de esta fecha pueden utilizarse más allá de esta fecha. Para evitar problemas de truncamiento en los resultados, se restringió el análisis de la duración de la vida útil de los plantados y el total de capturas durante su vida útil a los plantados sembrados antes de 2024, con el fin de permitir que los plantados analizados tuvieran la oportunidad de permanecer en el agua durante un mínimo de un año. Para los análisis a nivel de lance, solo se incluyeron los plantados sembrados antes de octubre de 2024, para que los plantados tuvieran un mínimo de tres meses de tiempo de inmersión potencial.

2.2. ANÁLISIS

2.2.1. Análisis exploratorios

Inicialmente, se realizó un análisis exploratorio de los datos para describir algunas características básicas de los datos utilizados en este estudio. Como parte de este proceso, se clasificó la vida útil de los plantados en seis destinos:

1. *Sembrado, no recuperado*: El plantado fue sembrado y nunca volvió a observarse en la base de datos;
2. *Pescado, no recuperado*: Se realizó al menos un lance sobre el plantado después de su siembra, pero nunca se observó su recuperación;
3. *Pescado, recuperado*: Se realizó al menos un lance sobre el plantado después de su siembra y su vida útil terminó con una recuperación observada;
4. *Visitado, no recuperado*: El plantado fue visitado al menos una vez después de su siembra, pero nunca fue recuperado;
5. *Visitado, recuperado*: El plantado fue visitado varias veces después de su siembra y su vida útil terminó con una recuperación observada;
6. *Visita única, recuperado*: El plantado solo fue visitado una vez después de su siembra, y esta única visita fue un evento de recuperación.

También se exploraron atributos básicos de la vida útil de los plantados, como la ubicación de las siembras de plantados y eventos terminales, la dinámica de recuperación, el momento del lance, el número de interacciones con buques, y la captura de atunes tropicales por lance sin procesar y la captura total de atunes tropicales a lo largo de toda la vida útil.

2.2.2. Duración de la vida útil de los plantados

Se utilizaron dos definiciones para la duración de la siembra de un plantado. La primera, “vida útil”, es simplemente el tiempo (en días) entre la siembra y el último registro de ese plantado en la base de datos. Esto incluye todos los plantados utilizados en este estudio, pero es difícil de interpretar debido a la naturaleza de la pesca sobre plantados y al programa de observadores en el OPO. Por ejemplo, los plantados calados en el borde de los caladeros tienen menos probabilidades de ser vistos de nuevo, debido a que derivan fuera de las áreas donde generalmente se observa actividad pesquera. Así, un plantado sembrado en el extremo occidental del OPO puede parecer que tiene una vida útil corta, pero

es posible que siga siendo un plantado operativo en las otras partes del océano donde no hay observadores que participen en el programa de observadores de plantados utilizado aquí.

Para resolver este problema, también se realizaron análisis sobre una segunda medida de duración de la vida útil, denominada “duración de la vida útil de plantado recuperado”. Este cálculo es el mismo que el de la “duración de la vida útil” (fecha final observada menos fecha inicial), pero restringido solo a los plantados cuyo destino final o último evento registrado fue “recuperado”. Esto elimina posibles problemas con los plantados que se registran como no recuperados debido a que abandonan las áreas donde no hay observadores de la CIAT. Sin embargo, cabe señalar que el hecho de examinar solo los plantados recuperados introduce posibles sesgos alternativos. Por ejemplo, si los pescadores tienden a dar prioridad a la recuperación de los plantados que se encuentran en buenas condiciones cuando los encuentran, esto podría crear un sesgo entre la vida útil promedio de todos los plantados y la vida útil promedio de los plantados recuperados.

2.2.3. Capturas de atunes tropicales con plantados

Se vinculó la vida útil de los plantados y la base de datos de Informes Diarios (DAR, por sus siglas en inglés) de los atunes tropicales y se extrajeron las capturas de barrilete (*Katsuwonus pelamis*, SJK), aleta amarilla (*Thunnus albacares*, YFT) y patudo (*Thunnus obesus*, BET) para cada lance. Los datos de captura en la base de datos de DAR son proporcionados por observadores a bordo y complementados con bitácoras cuando no están disponibles. Estos datos no son un registro completo de todas las capturas que ocurren en la región (por ejemplo, se omiten los datos de las pesquerías palangreras) pero proporcionan una buena cobertura de los buques cerqueros. Usando estos datos, se calculó la captura total durante la vida útil y la captura por lance para cada una de las especies de atunes tropicales, y para el total de atunes tropicales, para cada número de identificación de plantado individual.

2.2.4. Efectos de los plantados biodegradables

En los últimos años se ha observado un aumento en el uso de plantados biodegradables en el OPO. Para evaluar los impactos de la construcción de plantados biodegradables, es necesario considerar en qué medida otros factores, además del tipo de construcción, podrían afectar los atributos relacionados con los plantados, tales como la duración de la vida útil, la captura por lance y la captura total durante la vida útil. Si los plantados biodegradables se siembran al azar, cualquier diferencia entre los plantados biodegradables y los plantados convencionales probablemente se debería a los atributos inherentes a los plantados biodegradables en relación con los plantados convencionales. Sin embargo, si los plantados biodegradables se siembran y utilizan de manera sistemáticamente diferente a los plantados convencionales, los impactos de estas diferencias deben controlarse en cualquier evaluación precisa de los efectos de los plantados biodegradables. En este caso, los efectos estimados resultantes de los plantados biodegradables que controlan estos posibles factores de confusión observados serían “efectos marginales de los plantados” o los efectos atribuibles a las diferencias en la construcción.

A partir de las estimaciones de las capturas con plantados, se trató de estimar el efecto marginal de la construcción de plantados biodegradables en diversos aspectos de las actividades de un plantado, incluyendo el momento del primer lance, el tiempo entre lances, la vida útil, el número de lances por vida útil, la captura promedio por lance por vida útil y la captura total promedio por vida útil. Para cada uno de estos análisis, se intentaron controlar los factores potenciales que podrían afectar estos atributos, aparte de si un plantado en particular era biodegradable o no. Para ello, se controlaron en general los campos espaciotemporales subyacentes de la variable en cuestión (por ejemplo, la captura por lance), así como factores como la capacidad de los buques que sembraron o realizaron lances sobre el plantado, según procediera.

La profundidad máxima de la parte sumergida de los plantados también está disponible en cada plantado observado, lo que puede influir en las capturas de atunes (Lennert-Cody et al., 2008; Lopez et al., 2019). Sin embargo, no se controló la profundidad máxima, ya que la profundidad de los plantados biodegradables se estableció mediante consultas con la flota pesquera y casi no varía en la base de datos, lo que indica que el efecto de la profundidad de los plantados podría estar algo confundido con la construcción de los plantados biodegradables en este estudio. Por lo tanto, los resultados relacionados con los plantados biodegradables suponen que se mantienen las profundidades actuales de los plantados que se utilizan normalmente en la construcción de plantados biodegradables.

Los efectos de la construcción de plantados biodegradables sobre la captura total durante su vida útil (es decir, la captura durante toda la vida; la cantidad de atunes capturados en un plantado determinado a lo largo de su vida) dependen del número de lances sobre ese plantado. Sin embargo, al calcular el efecto marginal de la construcción de plantados biodegradables sobre la captura durante toda la vida por plantado, esto no está condicionado por el número de lances. Se optó por esta solución en caso de que el número de lances sobre un plantado sea de alguna manera endógeno a su condición de plantado biodegradable. Los plantados están equipados con boyas satelitales con ecosonda que notifican información sobre el tamaño de la agregación bajo el plantado. Si los plantados biodegradables tienen una biomasa de atunes sistemáticamente mayor o menor, y esa diferencia puede ser detectada por las ecosondas de las boyas satelitales, es concebible que el efecto de los plantados biodegradables sobre la biomasa de atunes pueda hacer que los pescadores realicen más o menos lances sobre ellos. Por lo tanto, controlar el número de lances podría enmascarar parte del efecto de los plantados biodegradables mismos. Para comprender mejor las implicaciones de este supuesto, también se ejecutó un modelo que estima el efecto de la construcción de plantados biodegradables sobre la captura por lance, como complemento al análisis de la captura total que elimina los posibles efectos de la construcción sobre el número de lances realizados.

Los datos de captura con plantados presentan dos problemas generales que deben tenerse en cuenta en los esfuerzos de modelado destinados a separar los efectos de la construcción de plantados biodegradables. El primero es el gran número de ceros. La mayoría de los plantados nunca se pescan y, por lo tanto, tienen una captura total durante su vida útil igual a cero. En el caso de los que sí se pescan, las capturas de especies individuales de atunes suelen ser cero (por ejemplo, solo se capturaron barriletes). Estos ceros deben tenerse debidamente en cuenta al estimar la captura promedio por vida útil y la captura promedio por especie por lance. El segundo es que, debido a la naturaleza de la pesquería y las especies objetivo, los datos tienen claras correlaciones espaciotemporales que deben tenerse en cuenta para estimar e interpretar adecuadamente la incertidumbre en torno a las estimaciones; tratar cada observación de plantados como independiente e idénticamente distribuida inflará artificialmente los tamaños de las muestras y, en general, subestimaré la incertidumbre.

Para resolver ambos problemas, se utilizaron modelos espaciotemporales sdmTMB con una función de enlace delta-gamma (Anderson et al. 2024). Todos los modelos se establecieron en R (R Core Team, 2024). Este modelo delta-gamma se compone de una regresión binomial ajustada a la presencia o ausencia de captura en un plantado determinado, mientras que las capturas positivas se ajustan a una distribución gamma. Para la malla espacial subyacente del modelo espaciotemporal, se habilitó la anisotropía, lo que permite que el grado de correlaciones espaciales varíe a lo largo de una dirección, y se especificó una "longitud" mínima permitida para los bordes de los triángulos de 2.5 grados, tras probar una serie de posibles tamaños de cuadrícula (los valores más pequeños indican un campo espacial de mayor resolución). El modelo espaciotemporal incluyó efectos latentes correlacionados espacialmente cada año que siguen un paseo aleatorio (*random walk*). Cabe señalar que el uso de grados en lugar de longitudes para la malla subyacente no es estrictamente correcto, pero dado que los caladeros del OPO atraviesan múltiples zonas del sistema de coordenadas universal

transversal de Mercator (UTM), no es posible realizar una simple conversión de latitud y longitud a coordenadas este y oeste, por lo que se utilizaron grados. Dado que este estudio no está interesado en los valores de los campos espaciotemporales subyacentes como tales (lo que requeriría calcular correctamente el área de la superficie de cada polígono del campo espacial), argumentamos que esta elección tiene un impacto significativo. Ver Thorson (2017) para una discusión sobre este tipo de modelos y su uso en los sistemas pesqueros.

Se exploraron varios modelos alternativos, incluyendo combinaciones de un modelo delta Poisson-Link (Thorson 2017), una distribución de Tweedie, con y sin anisotropía, una gama de tamaños de malla para el campo espaciotemporal, y con efectos aleatorios espaciales solos o efectos aleatorios espaciotemporales. La configuración del modelo presentada en este informe se seleccionó mediante AIC, teniendo en cuenta que la selección AIC puede tener defectos cuando se aplica a un modelo de efectos mixtos (Anderson et al. 2024 y referencias allí citadas), y mediante el examen visual de los diagnósticos de residuales mediante DHARMA (Hartig, 2024). La opción que más mejoró el desempeño del modelo (en términos de AIC y análisis de residuales) fue si el modelo tenía o no efectos latentes espaciotemporales (en lugar de solo efectos espaciales). Todas las demás opciones (por ejemplo, tamaño de la cuadrícula, presencia de anisotropía) tuvieron impactos relativamente pequeños.

Dado que uno de los objetivos de este estudio es estimar el efecto de los plantados biodegradables sobre los atributos de la pesca, la configuración del modelo delta plantea una complicación, ya que en lugar de un efecto general de los plantados biodegradables, se estiman efectos separados de los plantados biodegradables para cada componente del modelo delta. Para estimar el efecto neto de los plantados biodegradables en la captura en ambas fases del modelo delta, se simuló experimentos contrafactuales para estimar el efecto marginal promedio de un plantado biodegradable. Para ello, se filtraron los datos para incluir solo los plantados biodegradables y se creó una copia de esos datos, pero etiquetando artificialmente todos los plantados biodegradables como plantados convencionales. Posteriormente, se generaron valores previstos a partir del ajuste del modelo delta a la matriz completa de plantados biodegradables (teniendo en cuenta la incertidumbre y la covarianza entre los parámetros estimados) para cada uno de estos dos conjuntos de datos, y se calculó el porcentaje promedio de diferencia entre las dos predicciones en todas las observaciones. Este proceso estima el efecto marginal de la variable de interés (en este caso, la condición de plantado biodegradable) condicionado a la distribución de las demás covariables en la base de datos. Este proceso se repitió 250 veces para generar una distribución simulada de los tamaños del efecto, lo que permitió calcular el promedio y los intervalos de confianza del 95 % para el efecto estimado de los plantados biodegradables. Los efectos generados a través de este proceso pueden interpretarse como el cambio porcentual en el resultado de interés que se estima que es causado por el uso de plantados biodegradables.

2.2.5. Resultados de la encuesta de capitanes

Desde 2020, el personal de la CIAT ha participado u organizado una serie de talleres para pescadores. Estos talleres son espacios de diálogo abierto en los que, además de recibir capacitación sobre temas específicos de interés, se invita a los capitanes a participar en encuestas voluntarias y anónimas que abarcan múltiples temas pertinentes para el personal y la Comisión, entre ellos los cambios en las estrategias de pesca, las operaciones de liberación de captura incidental, los plantados, entre otros. Durante el último año, estas preguntas se centraron principalmente en la dinámica de pesca de los plantados biodegradables, por ejemplo, estrategias de siembra, razones y áreas de pérdida de plantados, duración de los plantados, plantados no recuperados, efecto del tiempo de inmersión y mejoras en la construcción de plantados.

En el ciclo de talleres para capitanes de 2024-2025, un total de 208 pescadores participaron en la encuesta. El número de participantes rebasó los 400 durante 2020-2023. Algunos de los resultados de la

encuesta pertinentes a los temas investigados en este documento se presentan a continuación. Dado que este estudio se basa en gran medida en los plantados, solo se tuvieron en cuenta las respuestas de los participantes que notificaron que su principal estrategia de pesca era sobre plantados (más del 90% de los participantes en 2020-2023 y el 65% de los participantes en 2024-2025).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después del filtrado de datos, la base de datos contenía 159,877 números de identificación únicos de plantados, de los cuales 154,318 son plantados convencionales y 5,559 plantados biodegradables.

Destino de los plantados

La distribución de los destinos de los plantados fue relativamente similar entre los plantados convencionales y los biodegradables. Entre los plantados sembrados antes de 2024 (lo que les da un año completo de potencial para ser observados en nuestra base de datos), la mayoría (cerca del 70%) fueron sembrados y nunca notificados como recuperados por el programa de observadores de la CIAT. Cabe señalar que esto no significa que no hayan sido recuperados por algún otro programa o agente, pero los datos actuales no permiten esclarecer el destino final de estos plantados no recuperados en este estudio. La mayoría de los plantados que nunca fueron recuperados tampoco fueron objeto de ningún lance. En conjunto, el 22% de todos los plantados fueron registrados como recuperados, 13% cuando se incluyen solo los plantados sembrados antes de 2024. El 16% de los plantados sembrados antes de 2024 fueron objeto de al menos un lance. Los plantados biodegradables tuvieron casi el doble de probabilidades de tener un destino de “visita única, recuperado” que los plantados convencionales ([Figura 5](#)).

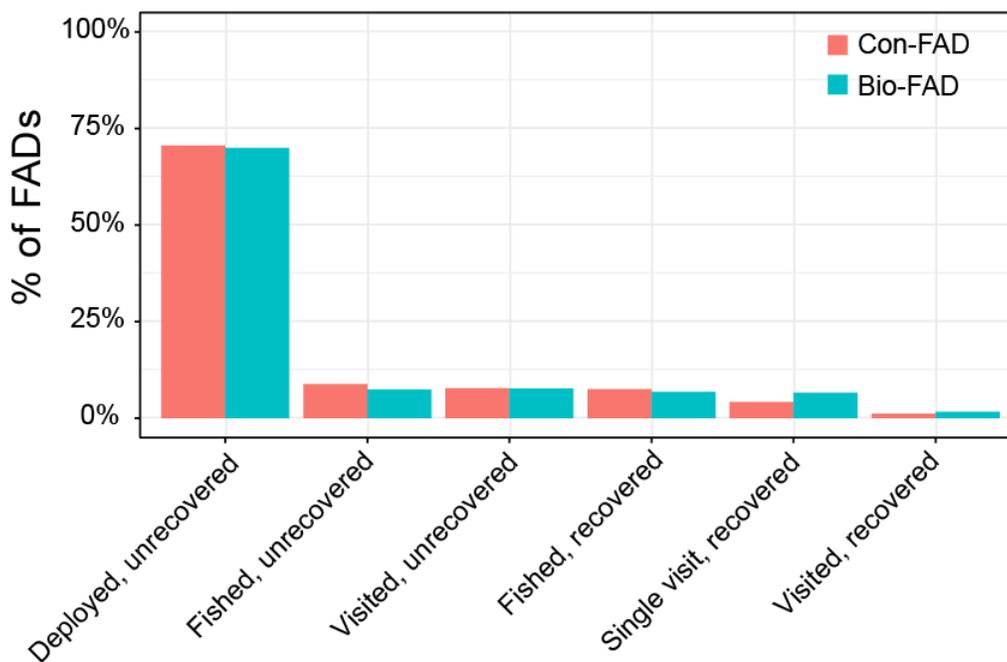


FIGURE 5. Distribution of deployment outcomes over the study period for conventional (con-FAD) and biodegradable (bio-FAD) FADs. Only FADs deployed before 2024 included to ensure that deployed FADs had up to one year reach their ultimate deployment outcome in the database.

FIGURA 5. Distribución de los resultados de siembra durante el periodo de estudio para los plantados convencionales y biodegradables. Solo se incluyen los plantados sembrados antes de 2024 para garantizar que los plantados sembrados tuvieran hasta un año para alcanzar su resultado final de siembra en la base de datos.

Siembras y recuperaciones

Los plantados sembrados en el noreste (es decir, 0-5N y <120W) y en la esquina suroeste (es decir, el área de Perú) de las zonas de siembra fueron los que más probabilidades tuvieron de ser recuperados (Figura 6). Las recuperaciones de plantados terminales (“recuperaciones” en el último evento registrado), independientemente de la ubicación de la siembra, fueron más comunes en los bordes de los caladeros, con especial énfasis en las partes más occidentales (>90-100W) de los caladeros al norte (>5N) y al sur (>5S) de la línea ecuatorial, donde, en algunas zonas, el porcentaje de plantados recuperados rebasó el 50% (por ejemplo, el área entre 100W y 120W y >10S) (Figura 7).

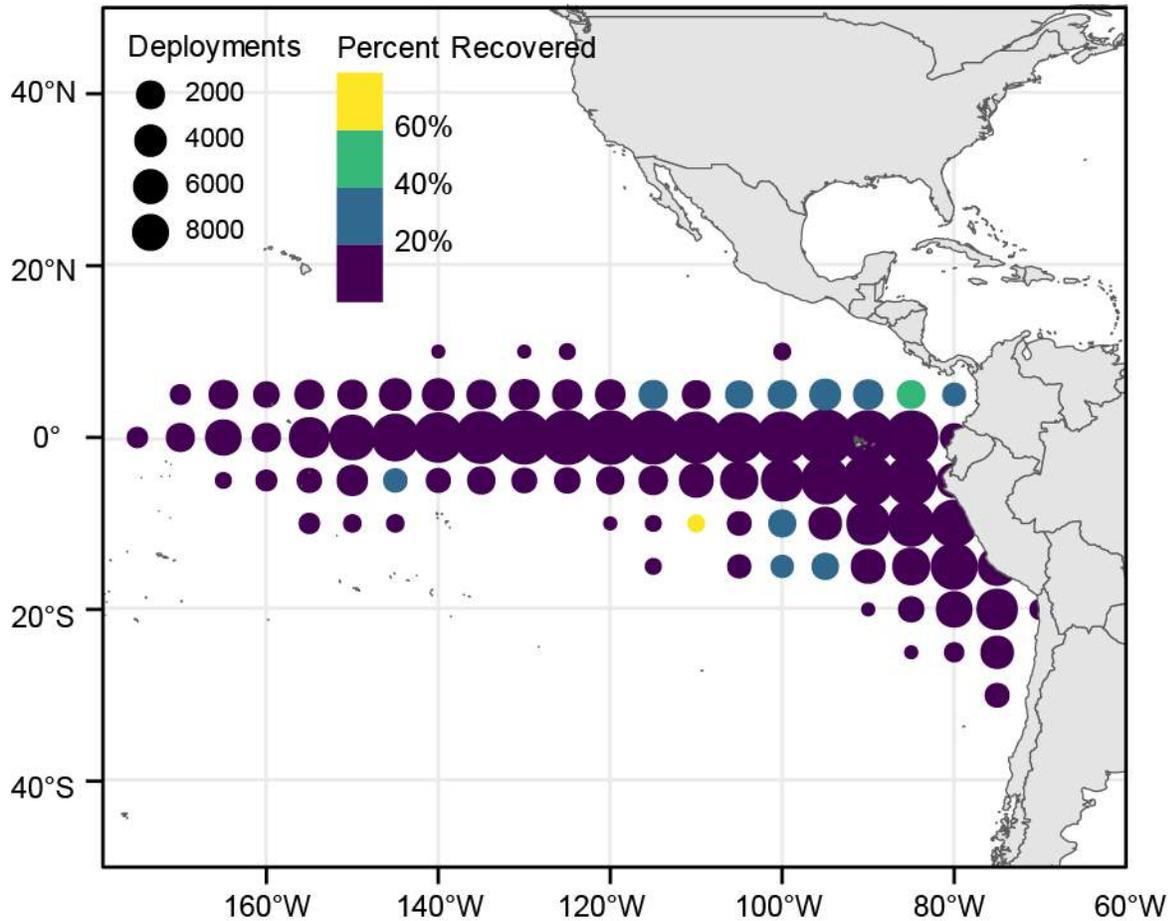


FIGURE 6. Spatial distribution of FAD deployment locations, with color indicating the proportion of FADs deployed at that location that were eventually observed to be recovered.

FIGURA 6. Distribución espacial de las ubicaciones de siembra de plantados; los colores indican la proporción de plantados sembrados en esa ubicación que posteriormente se recuperaron.

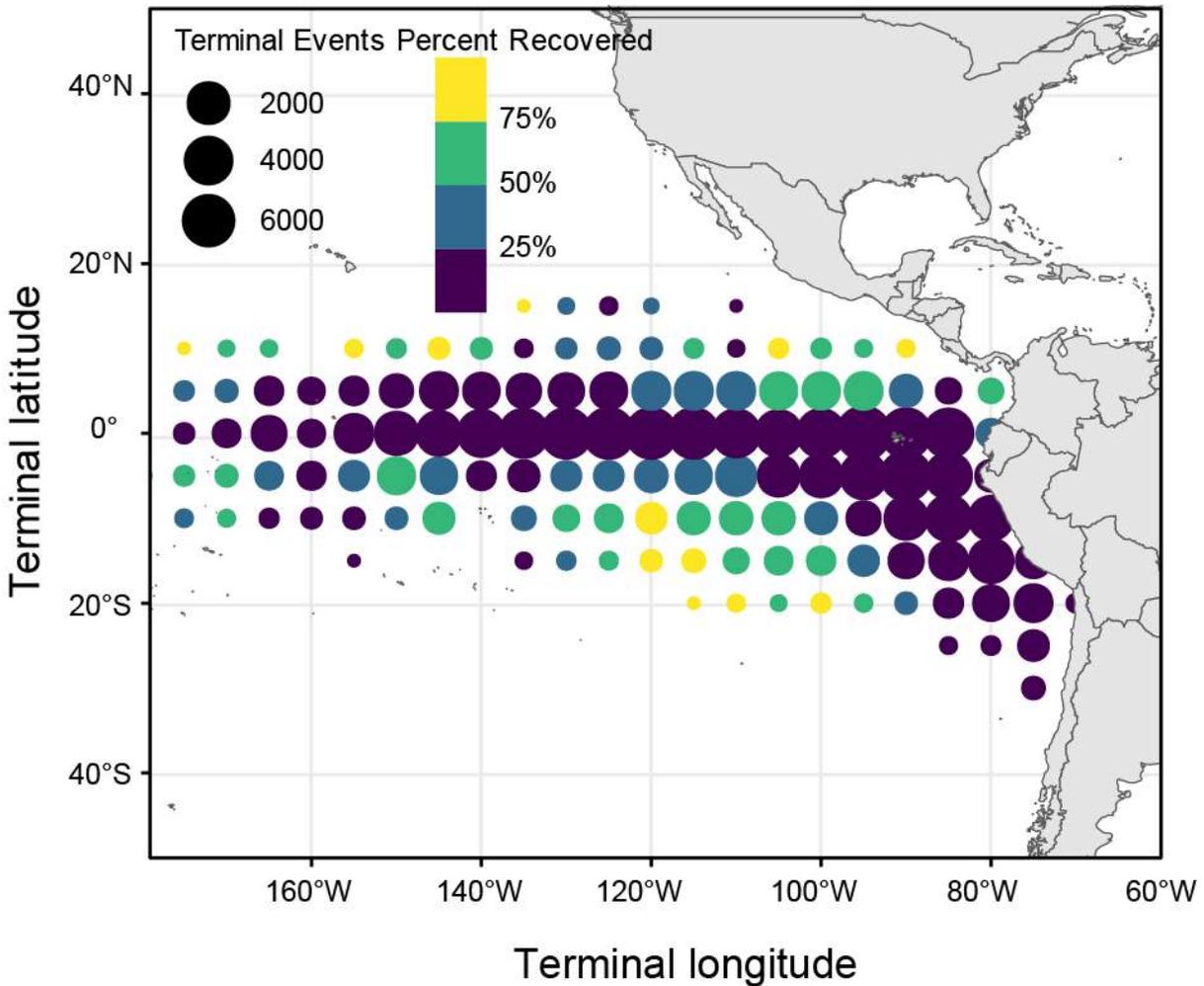


FIGURE 7. Spatial distribution of terminal locations in the database, with color indicating the proportion of FADs whose terminal event at that location was listed as recovery.

FIGURA 7. Distribución espacial de las ubicaciones terminales en la base de datos; los colores indican la proporción de plantados cuyo evento terminal en esa ubicación se registró como recuperación.

Duración de la vida útil de los plantados

Las duraciones de vida útil observadas de los plantados variaron mucho; la mayoría nunca fue objeto de lances, y el 80% de los plantados mostraban una vida útil de 50 días o menos. La mayoría de los plantados tienen una vida útil de 0 días (lo que significa que fueron sembrados y nunca se volvieron a ver), por lo que solo un poco más del 30% de los plantados sobreviven al menos un día. Los plantados biodegradables promedio tenían menos probabilidades de sobrevivir a una duración de vida útil determinada que los plantados convencionales ([Figura 8](#)).

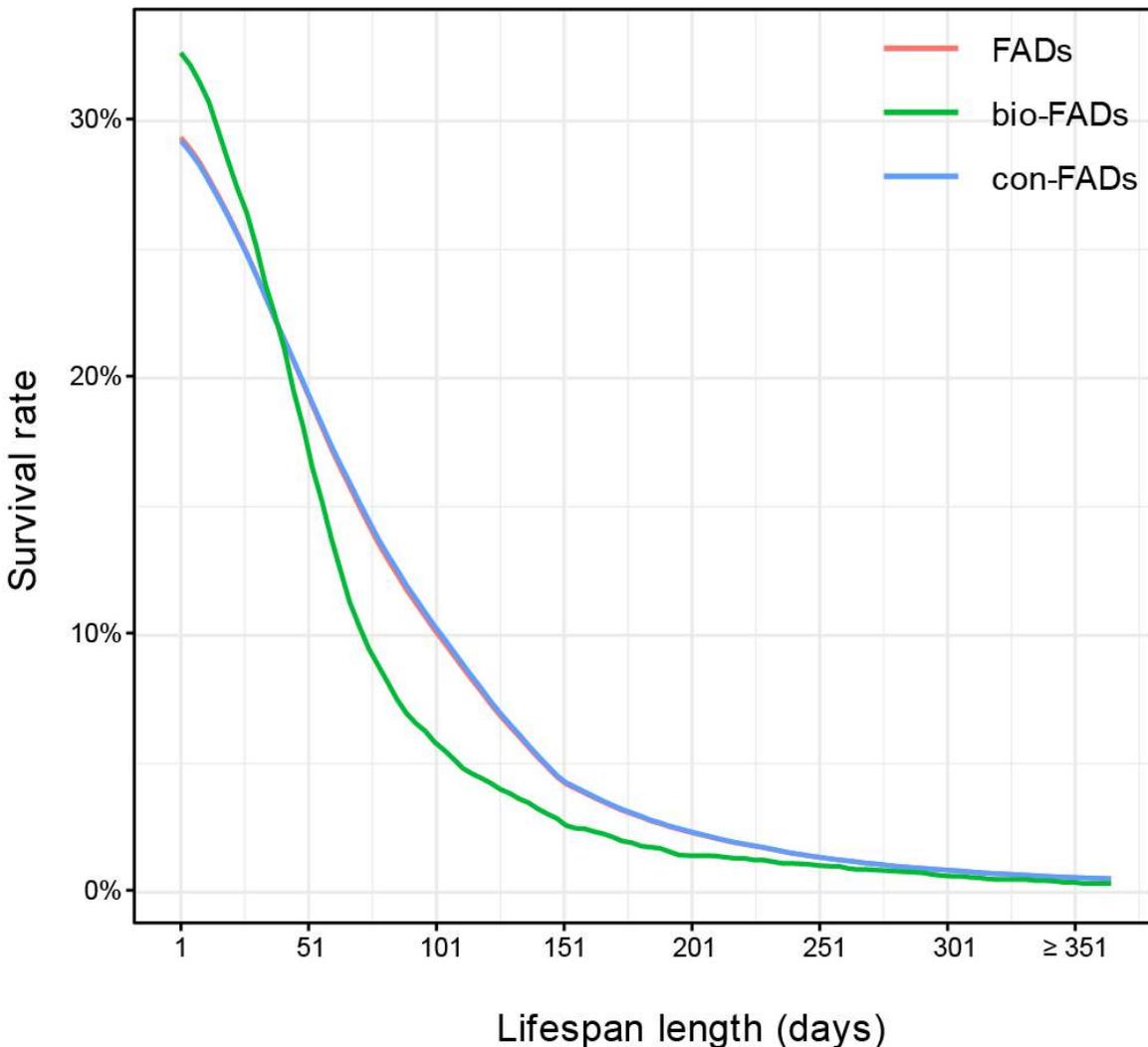


FIGURE 8. Empirical survival curves of FADs observed in the database. X-axis shows observed deployment length in days (days between last observation in the database and first observation), y-axis shows percent of FADs with observed lifespan lengths equal to or greater than the value on the x-axis. Note that these are raw data that do not account for systemic differences in deployment characteristics between bio-FADs and con-FADs.

FIGURA 8. Curvas empíricas de supervivencia de plantados observados en la base de datos. El eje 'x' muestra la duración de siembra observada en días (días entre la última observación en la base de datos y la primera observación), el eje 'y' muestra el porcentaje de plantados con vidas útiles observadas iguales o mayores que el valor en el eje 'x'. Cabe señalar que se trata de datos sin procesar que no tienen en cuenta las diferencias sistémicas en las características de siembra entre plantados biodegradables y plantados convencionales.

Visitas y lances sobre plantados

Dado que todos los plantados aparecen en la base de datos al menos una vez (es decir, siembra), la mayoría de los plantados interactúan (son visitados o se realizan lances sobre ellos) con dos o menos buques, y solo unos pocos interactúan con hasta seis buques ([Figura 9](#)). En el caso de los plantados sobre los que se realizaron lances (16% de los plantados analizados), la mayoría tuvieron menos de cinco lances ([Figura 10](#)).

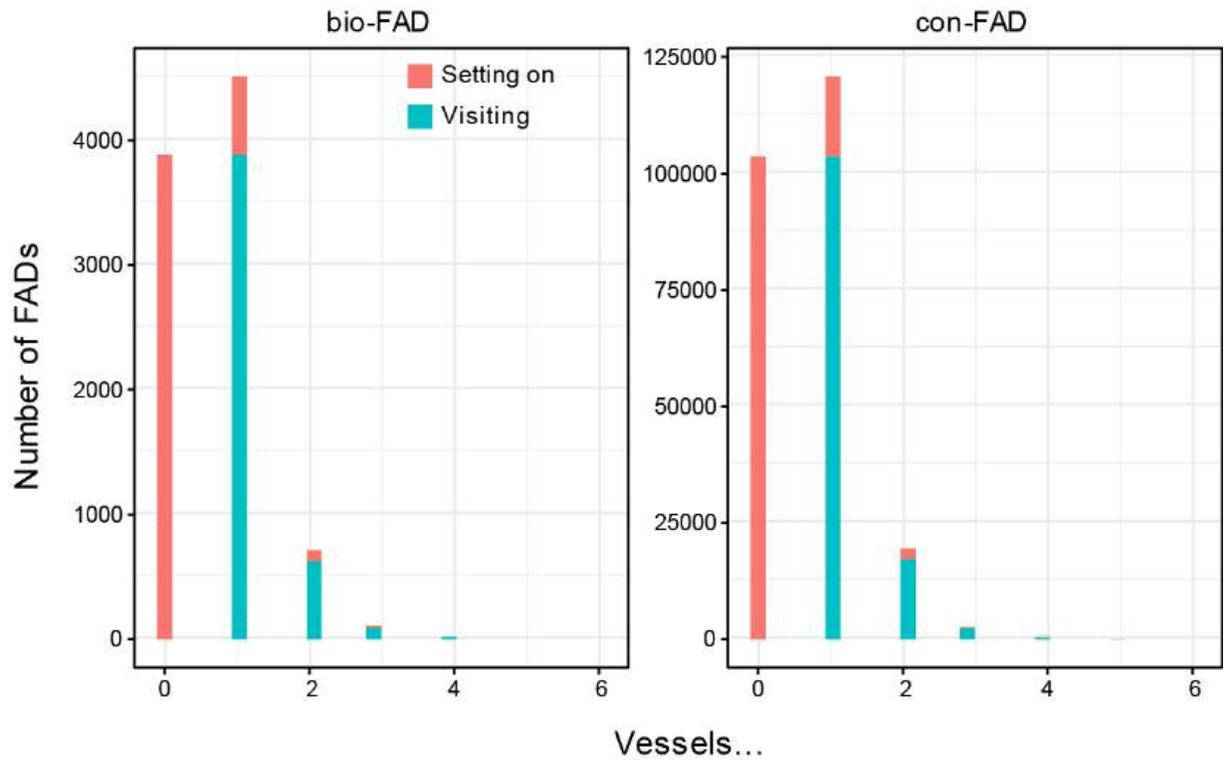


FIGURE 9. Number of vessels visiting or setting on individual FADs, per lifespan, for biodegradable (bio-FAD) and conventional (con-FAD) FADs.

FIGURA 9. Número de buques que visitan o que realizan lances sobre plantados individuales, por vida útil, para plantados biodegradables y convencionales.

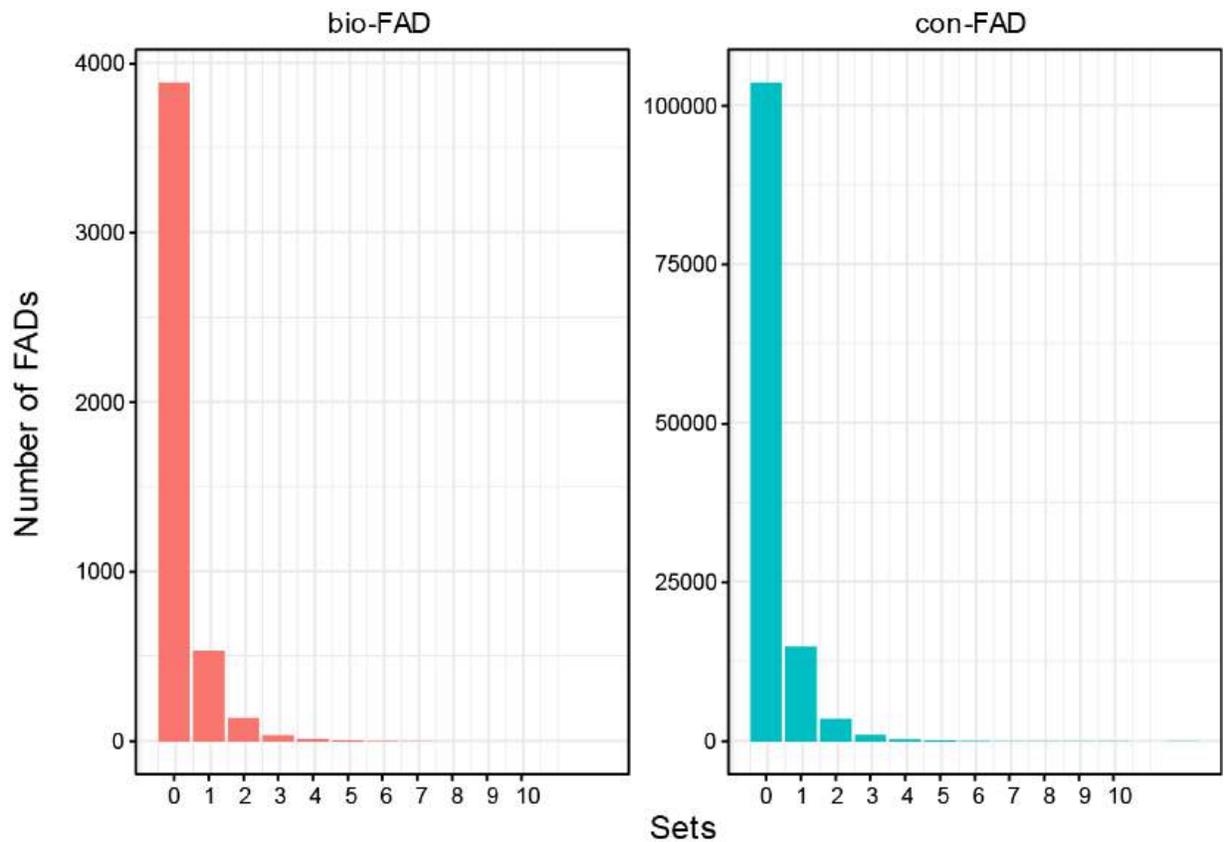


FIGURE 10. Total number of sets per lifespan, for biodegradable (bio-FAD) and conventional (con-FAD) FADs.

FIGURA 10. Número total de lances por vida útil, para plantados biodegradables y convencionales.

Para los plantados que fueron objeto de lances, los días hasta el primer lance oscilaron entre siete días (el tiempo mínimo de inmersión permitido por el proceso de creación de la base de datos) y más de un año. Entre los plantados que fueron objeto de lances, se realizaron lances sobre los plantados biodegradables, en promedio, 26 días antes que sobre los plantados convencionales, según los datos sin procesar y sin controlar ninguna diferencia de confusión entre estos dos grupos. ([Figura 11](#)).

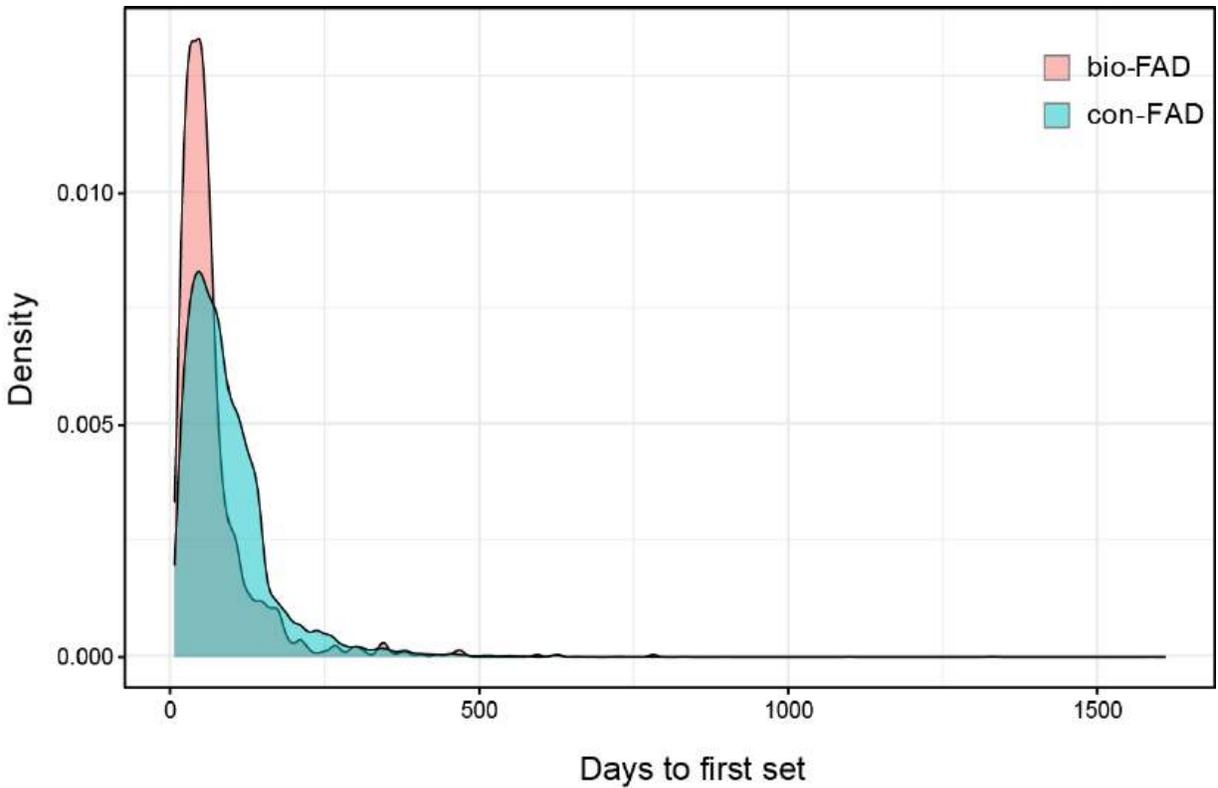


FIGURE 11. Distribution of days to first set for FADs that were set on at least once, for biodegradable (bio-FAD) and conventional (con-FAD) FADs.

FIGURA 11. Distribución de días hasta el primer lance para los plantados sobre los que se realizó al menos un lance, para plantados biodegradables y convencionales.

Con base en los datos sin procesar de captura por lance y captura total por vida útil, los plantados biodegradables tuvieron menor captura por lance y captura total observada durante la vida útil que los plantados convencionales para todos los atunes tropicales ([Figura 12](#)). Sin embargo, los plantados biodegradables no se siembran al azar, lo que puede hacer que los valores sin procesar sean engañosos para interpretar y atribuir el resultado a la construcción del plantado biodegradable en sí.

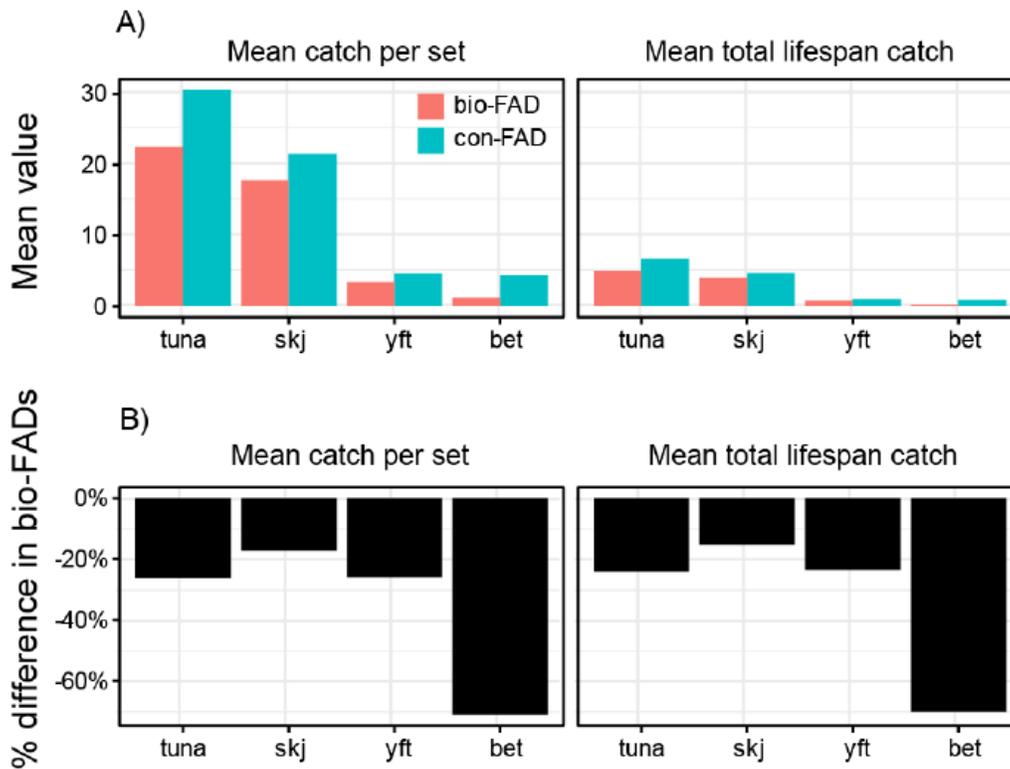


FIGURE 12. A) Raw mean catch per set and total observed lifespan catch by tuna group broken out by biodegradable (bio-FAD) and conventional (con-FAD) FADs. B) Percentage difference in raw outcomes between bio-FADs and con-FADs. “tunas” refers to total of all three tropical tuna species.

FIGURA 12. A) Captura promedio por lance y captura total observada durante la vida útil por grupo de atunes, desglosada por plantados biodegradables y convencionales. B) Diferencia porcentual en los resultados brutos entre los plantados biodegradables y los plantados convencionales. “Atunes” se refiere al total de las tres especies de atunes tropicales.

Efectos marginales de los plantados biodegradables

En la sección anterior se presentaron diferencias brutas entre las características de vida útil de los plantados biodegradables y los plantados convencionales. Sin embargo, la siembra y el uso de plantados biodegradables no son aleatorios y, por lo tanto, las comparaciones entre los plantados biodegradables y los plantados convencionales pueden ser engañosas y atribuir la diferencia a la naturaleza de los plantados biodegradables, en lugar de a diferencias sistémicas en variables no relacionadas, como la ubicación de la pesca o la capacidad de los buques.

Las siembras de plantados biodegradables se concentraron en la parte nororiental de la zona de siembra de plantados (Figura 13). De manera similar, los lances sobre plantados biodegradables se concentran en lugares determinados de las zonas de pesca sobre plantados, con puntos críticos alrededor y, en particular, al oeste de las Galápagos (Figura 14). La proporción de lances sobre plantados biodegradables ha aumentado significativamente con el tiempo, pasando de casi el 0 % antes de 2020 a un máximo del 10 % a finales de 2023 (Figura 15). Estos patrones espaciotemporales deben tenerse en cuenta en cualquier evaluación de las diferencias en los resultados de los plantados convencionales y los plantados biodegradables. Los plantados biodegradables también eran sistemáticamente menos profundos que los plantados convencionales, pero este efecto se trató como una parte intrínseca de la condición o el diseño de los plantados biodegradables, y no como una covariable de confusión en este análisis (Figura 16).

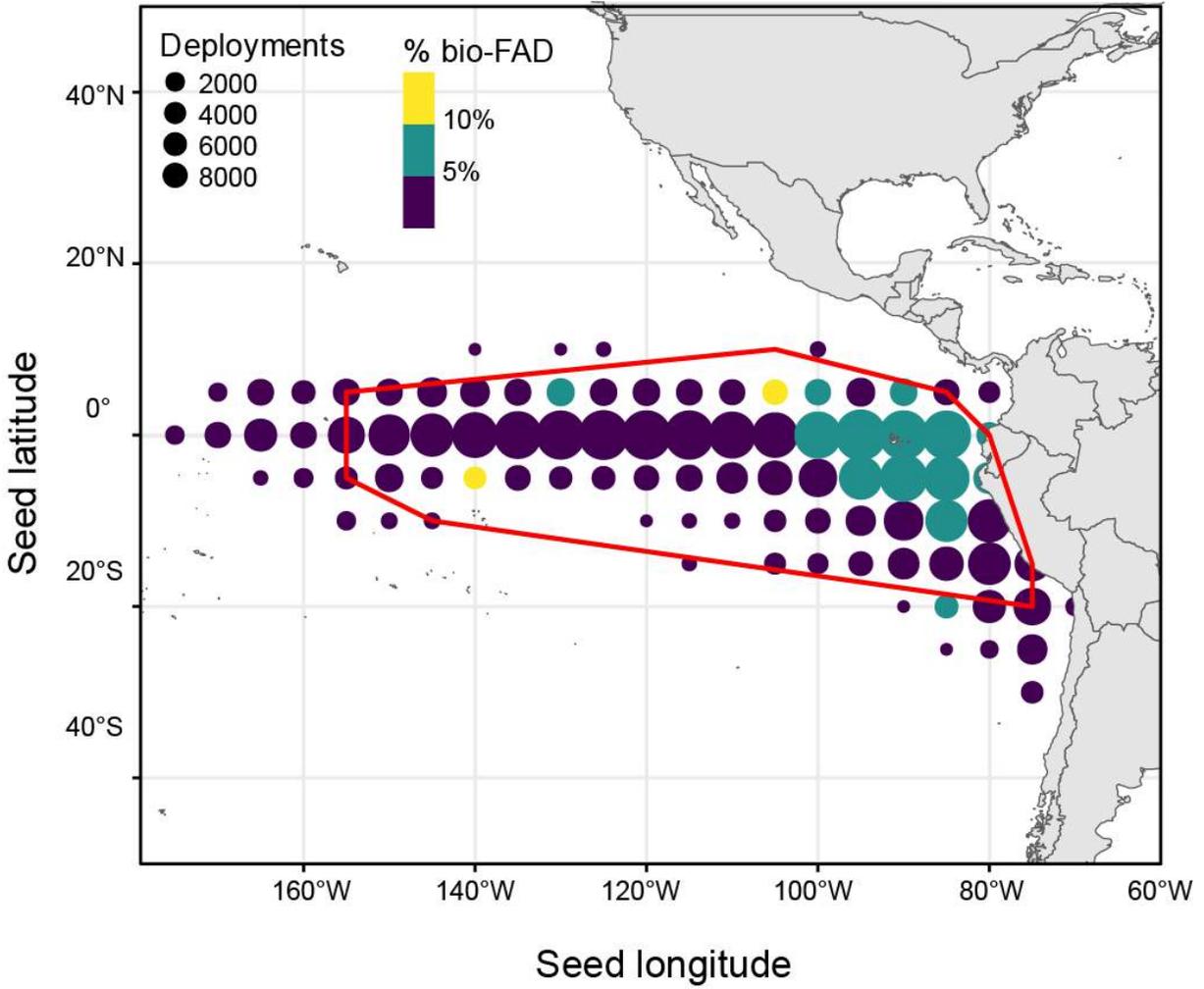


FIGURE 13. Percent of FAD deployments classified as biodegradable FADs (bio-FAD) over study period. Red polygon shows core bio-FAD interaction area.

FIGURA 13. Porcentaje de siembras de plantados clasificados como plantados biodegradables durante el periodo de estudio. El polígono rojo muestra el área núcleo de interacción con plantados biodegradables.

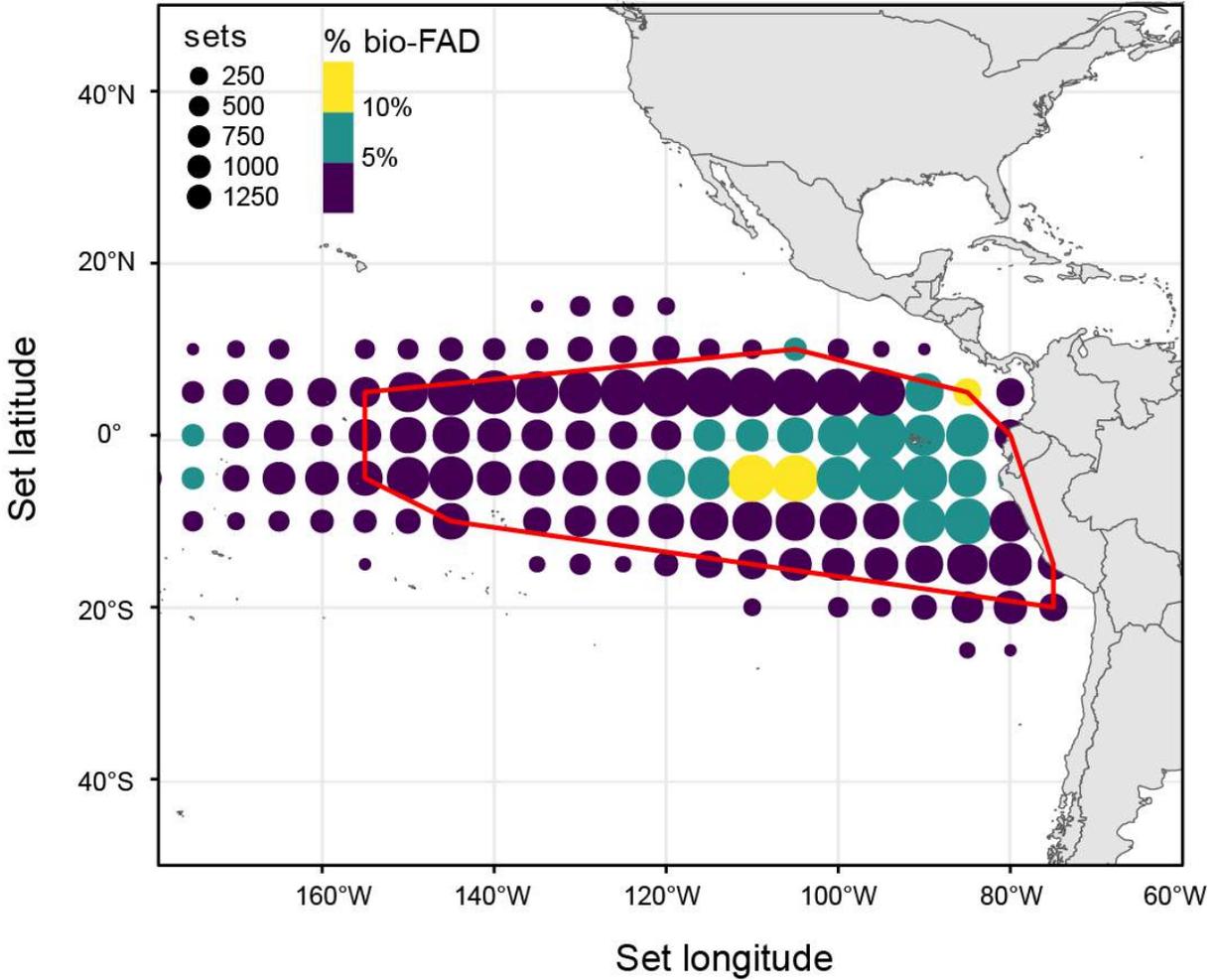


FIGURE 14. Percent of FAD sets occurring on biodegradable FADs (bio-FAD) over study period. Red polygon shows core bio-FAD interaction area.

FIGURA 14. Porcentaje de lances sobre plantados biodegradables durante el periodo de estudio. El polígono rojo muestra el área núcleo de interacción con plantados biodegradables.

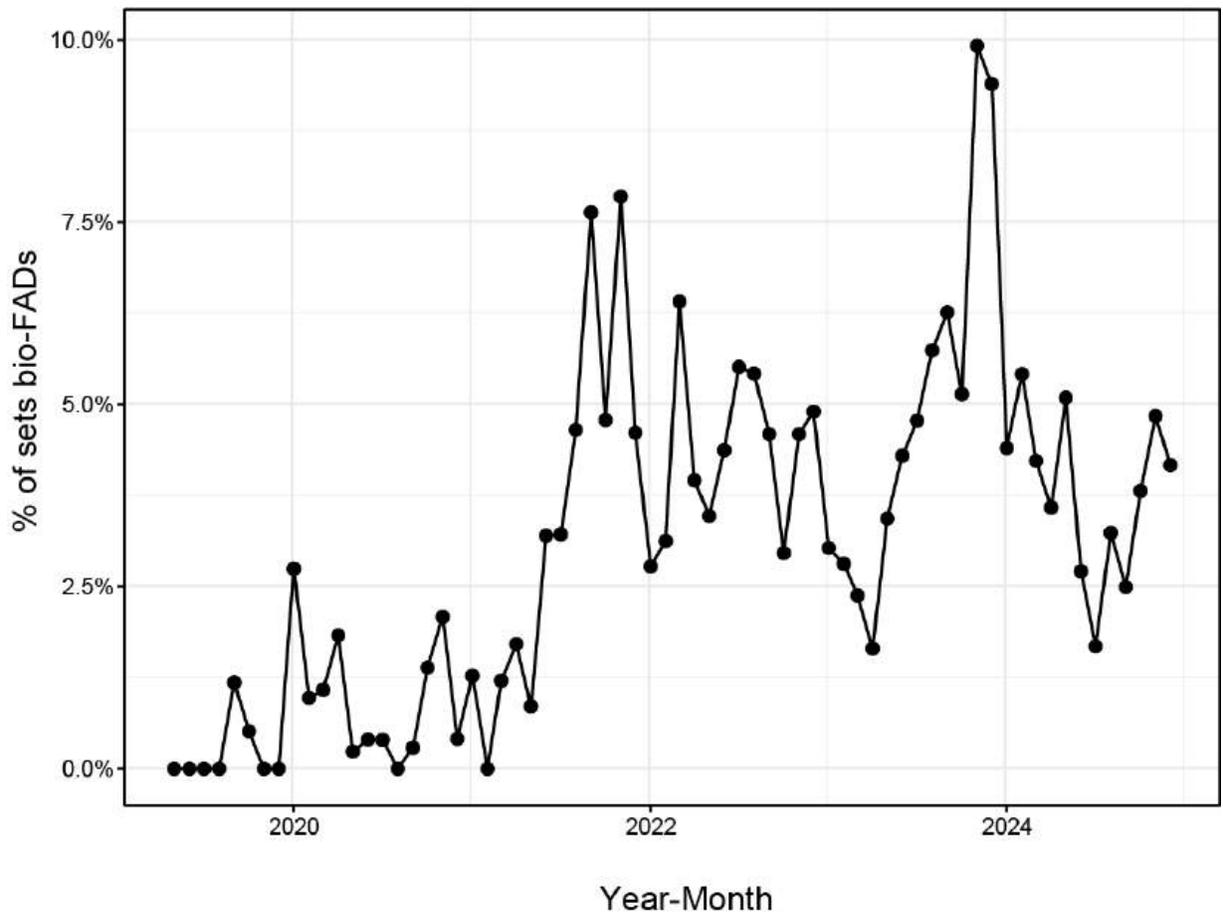


FIGURE 15. Percent of observed FAD sets that occurred on biodegradable FADs (bio-FAD) over time.
FIGURA 15. Porcentaje de lances sobre plantados biodegradables observados a lo largo del tiempo.

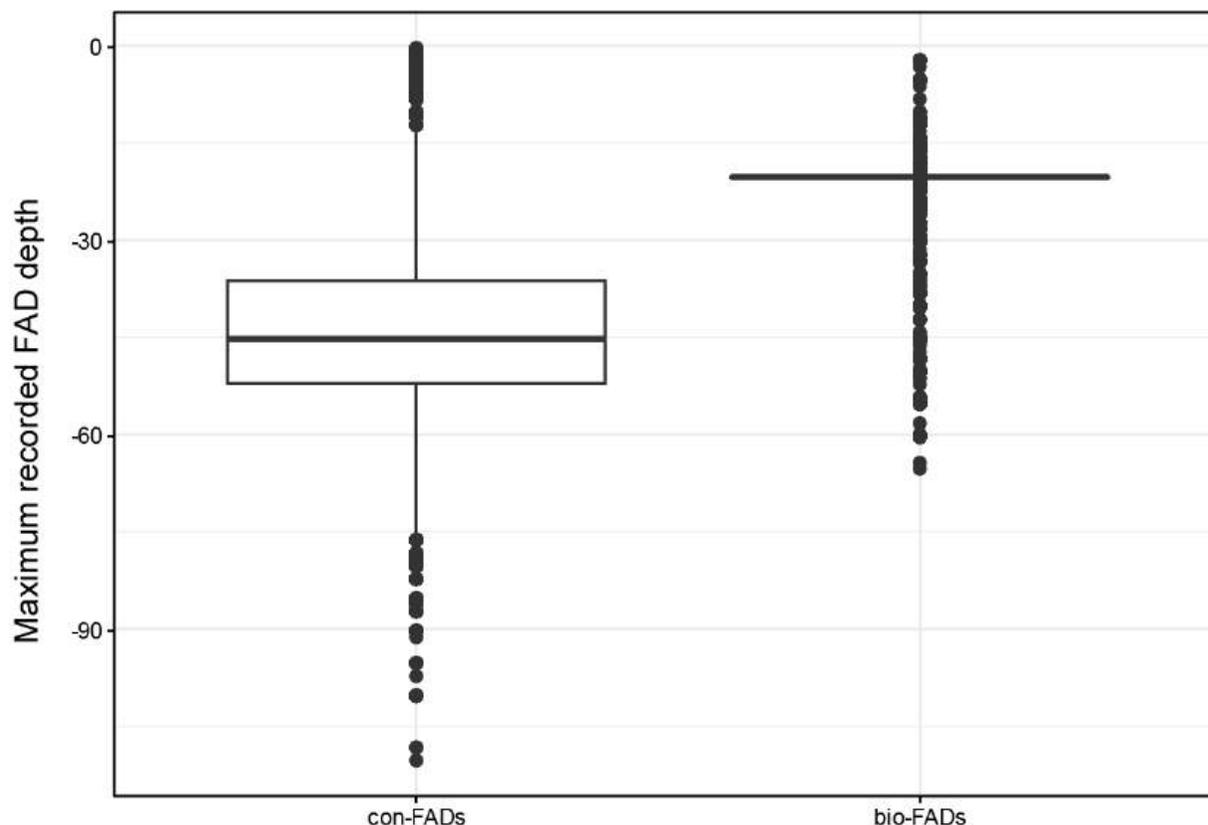


FIGURE 16. Distribution of maximum recorded FAD depth for biodegradable (bio-FAD) and conventional (con-FAD) FADs.

FIGURA 16. Distribución de la profundidad máxima registrada de los plantados biodegradables y convencionales.

Dadas estas diferencias sistémicas en muchas posibles variables de confusión entre los plantados biodegradables y los plantados convencionales, se trató de estimar el efecto marginal de la condición de plantado biodegradable, controlando estas posibles variables de confusión lo mejor posible, dados los datos disponibles, tal como se describe en los métodos. Cabe señalar que, aunque los modelos establecidos en este estudio no incluyen una estrategia formal de identificación causal, son preferibles a las diferencias brutas, ya que los efectos marginales estimados siguen siendo menos susceptibles al sesgo de variables omitidas que las diferencias brutas en los valores medios.

Controlando el año y la ubicación de la siembra, la capacidad del buque que sembró el plantado y la condición de plantado biodegradable, los plantados biodegradables que fueron objeto de al menos un lance, se realizaron lances sobre ellos aproximadamente un 10% (7%-13%) antes que sobre los plantados convencionales ([Figura 17](#)).

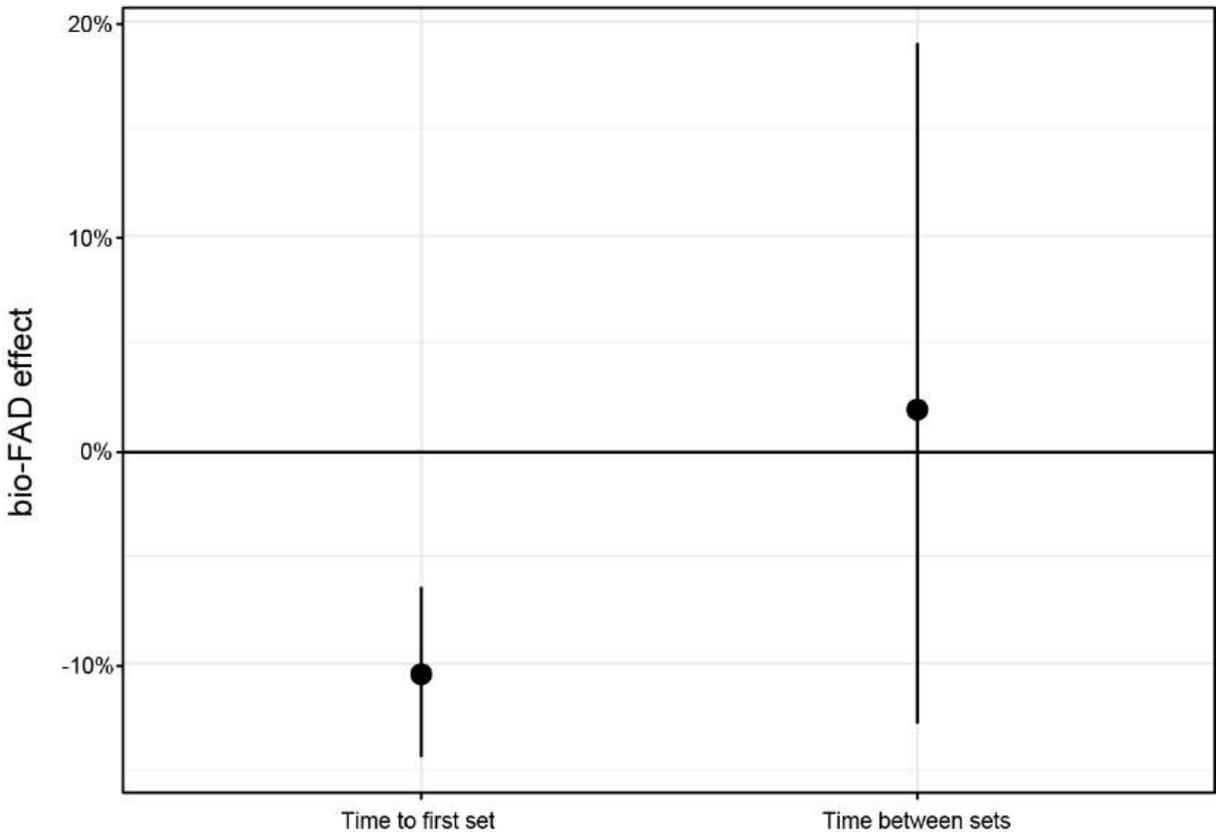


FIGURE 17. Estimated marginal difference in time to first set between biodegradable (bio-FAD) and conventional (con-FAD) FADs controlling for spatio-temporal effects and the capacity of the vessel deploying the FADs that were set on at least once.

FIGURA 17. Diferencia marginal estimada en el tiempo hasta el primer lance entre plantados biodegradables y convencionales controlando los efectos espaciotemporales y la capacidad del buque que sembró los plantados sobre los que se realizó al menos un lance.

Controlando el año y la ubicación de la siembra, la capacidad promedio de los buques y la condición de plantado biodegradable, los plantados biodegradables tuvieron en promedio una vida útil observada más corta que los plantados convencionales, aproximadamente -8 % (-5% a -17%) para todos los plantados y un resultado similar pero más incierto para el subconjunto de plantados que eventualmente se recuperaron (Figura 18). Controlando los mismos atributos, esta diferencia se propaga a la diferencia en el número total de lances durante la vida útil, estimándose que los plantados biodegradables tienen aproximadamente 13% menos lances que los plantados convencionales durante su vida útil, con intervalos de confianza del 95% entre -20 % y -6 % (Figura 19).

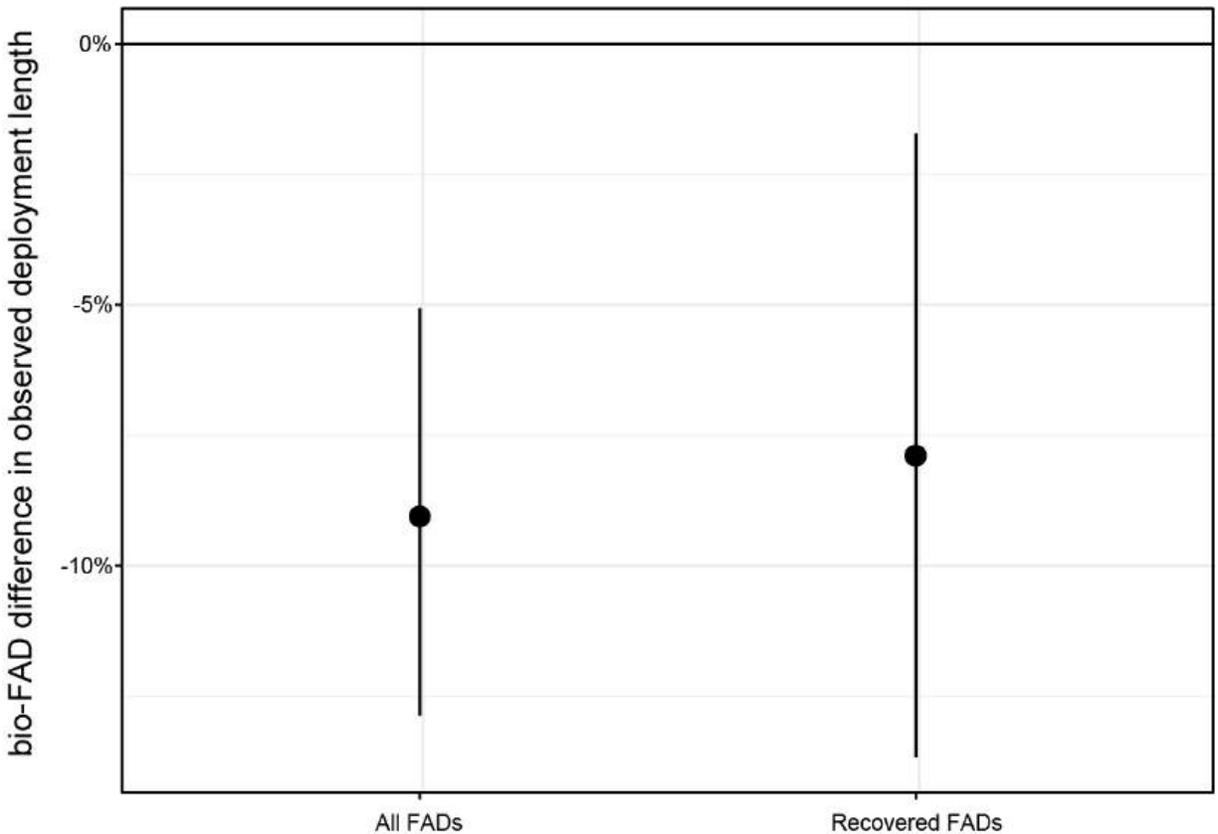


FIGURE 18. Estimated marginal difference in lifespan length between biodegradable (bio-FAD) and conventional (con-FAD) FADs for recovered (A) and all deployed (B) FADs. Note that in order to have a lifespan value a FAD must be interacted with at least twice (i.e., deployment and another activity). Marginal effects control year and location of deployment, the total capacity of the interacting vessels, and bio-FAD status.

FIGURA 18. Diferencia marginal estimada en la duración de la vida útil entre plantados biodegradables y convencionales para plantados recuperados (A) y todos los plantados sembrados (B). Cabe señalar que para tener un valor de vida útil, un plantado debe tener al menos dos interacciones (es decir, la siembra y otra actividad). Los efectos marginales controlan el año y la ubicación de la siembra, la capacidad total de los buques que interactúan con los plantados y la condición de plantado biodegradable.

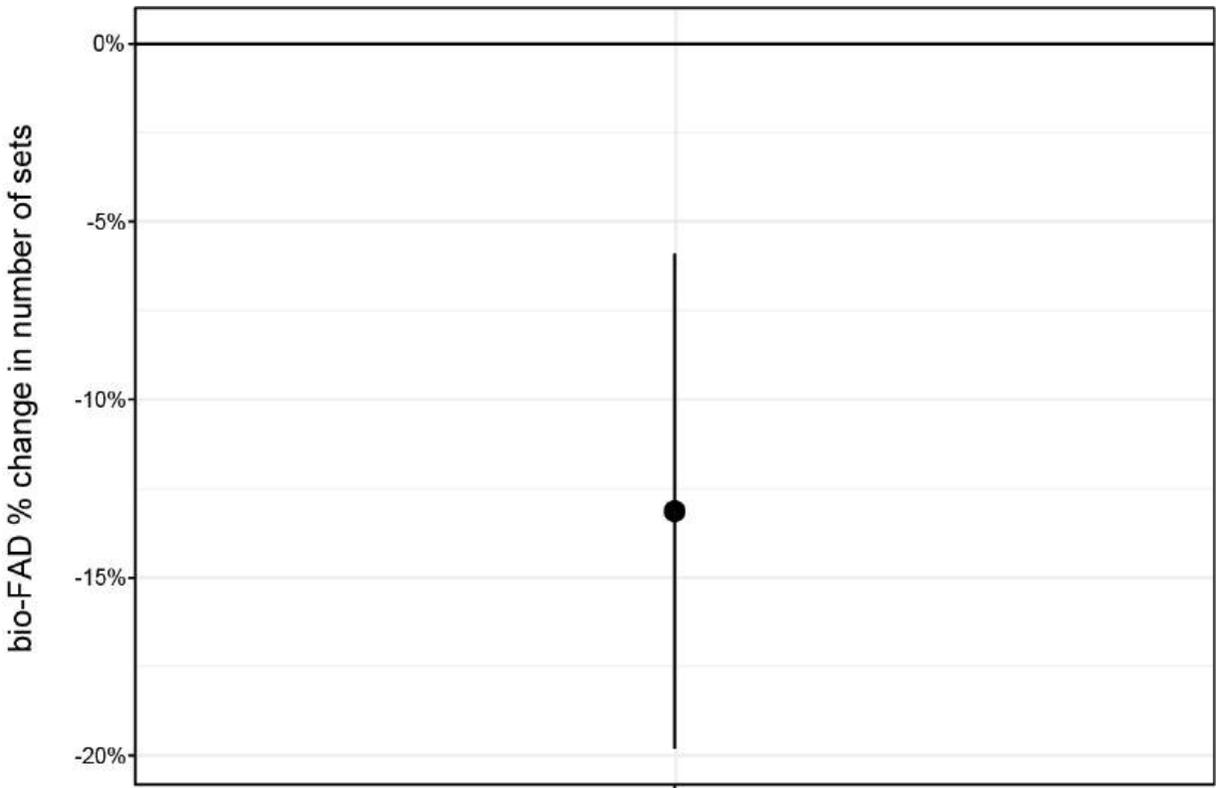


FIGURE 19. Marginal effect of bio-FADs on the total number of sets per FAD lifespan, relative to con-FADs. Marginal effects control year and location of deployment, the total capacity of the interacting vessels, and bio-FAD status.

FIGURA 19. Efecto marginal de los plantados biodegradables sobre el número total de lances por vida útil de plantado, en relación con los plantados convencionales. Los efectos marginales controlan el año y la ubicación de la siembra, la capacidad total de los buques que interactúan con los plantados y la condición de plantado biodegradable.

Los datos sin procesar muestran una captura por lance y una captura total durante la vida útil sustancialmente menores en los plantados biodegradables en comparación con los plantados convencionales. Sin embargo, las diferencias sistémicas entre el proceso de siembra y el de lance de los plantados biodegradables y los convencionales podrían explicar esta diferencia. Para tener esto en cuenta, se estimó el efecto marginal de los plantados biodegradables sobre la captura durante la vida útil y la captura por lance por especie de atún y captura total, controlando la capacidad de los buques que sembraron los plantados, el mes de siembra y los efectos aleatorios espaciotemporales subyacentes. Después de controlar estas variables, los plantados biodegradables no tuvieron, en promedio, capturas durante la vida útil estadísticamente significativas más bajas para ninguna de las especies de atunes o para la captura combinada, con intervalos de confianza del 95% generalmente entre 8% y -15%. (Figura 20). En total, estas estimaciones sugieren que las diferencias en la captura total durante la vida útil sin procesar, observadas entre los plantados biodegradables y los plantados convencionales, se explican mejor por diferencias en otras covariables, como el momento y la ubicación de siembra, y la capacidad del buque.

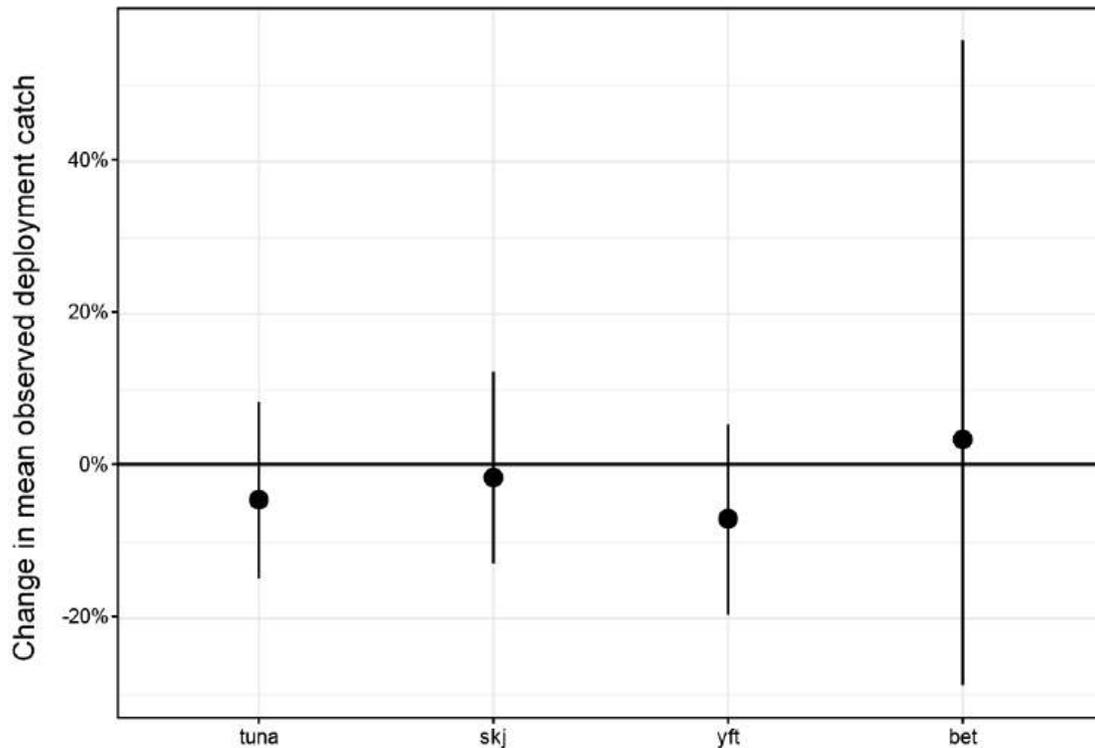


FIGURE 20. Marginal effect of biodegradable (bio-FAD) FADs on total lifespan catch of tropical tuna, relative to conventional (con-FAD) FADs. Marginal effects control for year and average fishing locations, the average capacity of the interacting vessels and the capacity of the deploying vessel and bio-FAD status. The category “tuna” refers to the total lifespan catch of all three tropical tuna species.

FIGURA 20. Efecto marginal de los plantados biodegradables sobre la captura total de atunes tropicales durante la vida útil, en relación con los plantados convencionales. Los efectos marginales controlan el año y las ubicaciones promedio de pesca, la capacidad promedio de los buques que interactúan con los plantados, la capacidad del buque que siembra el plantado y la condición de plantado biodegradable. La categoría “atunes” se refiere a la captura total de las tres especies de atunes tropicales durante la vida útil.

Al ejecutar el mismo procedimiento del modelo delta espaciotemporal sobre la captura por lance en lugar de la captura total durante la vida útil, los plantados biodegradables solo tuvieron una captura por lance estadísticamente significativa menor para el atún aleta amarilla (promedio -10%, intervalos de confianza del 95 % entre -3% y -17%). Sin embargo, para las demás especies de atunes tropicales o la captura combinada, los modelos no estimaron diferencias significativas ni un efecto cero preciso. Al igual que en el caso de la captura total durante la vida útil, estos resultados sugieren que las grandes diferencias en la captura por lance sin procesar entre los plantados biodegradables y los plantados convencionales se explican mejor por otras variables de confusión (por ejemplo, la ubicación del lance y la capacidad del buque) que por la construcción de los plantados biodegradables en sí ([Figura 21](#)). Estos resultados son en cierto modo consistentes con los hallazgos de Schaefer et al. (2021), aunque ellos no examinaron las diferencias entre los plantados convencionales y los biodegradables, sino entre los plantados de profundidad estándar y los someros. Sin embargo, como se señaló anteriormente, los plantados biodegradables evaluados en este estudio son sistemáticamente menos profundos que los plantados convencionales. Por lo tanto, nuestro resultado de que no hay diferencias significativas en la captura por lance entre los plantados biodegradables y los plantados convencionales respalda el hallazgo de Schaefer et al. (2021) de que no hay diferencias entre los lances someros y los de profundidad estándar.

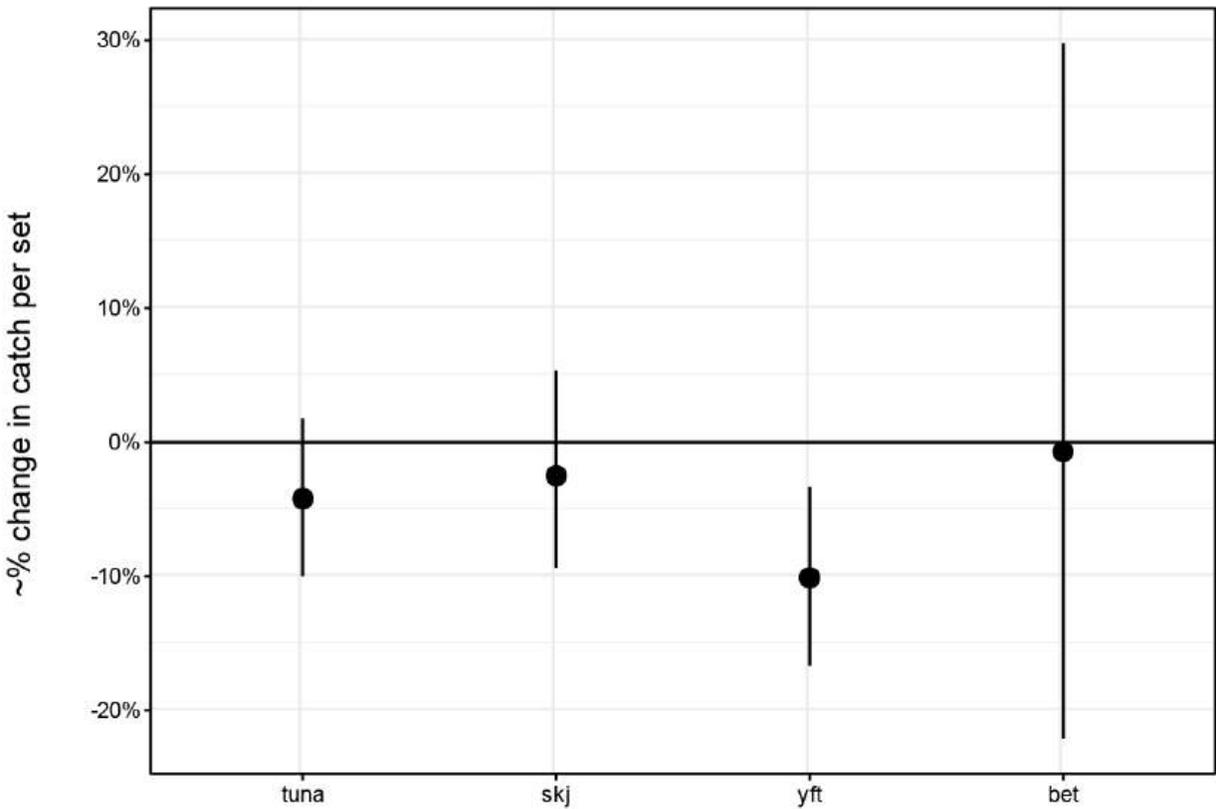


FIGURE 21. Marginal effect of biodegradable construction (bio-FAD) on catch per set of tropical tunas, relative to conventional (con-FAD) FADs. Marginal effects control for year and fishing locations, the capacity of the setting vessels, and bio-FAD status. The category “tunas” refers to the combined total catch of all three tropical tuna species.

FIGURA 21. Efecto marginal de la construcción biodegradable (plantados biodegradables) sobre la captura por lance de atunes tropicales, en relación con los plantados convencionales. Los efectos marginales controlan el año y las ubicaciones de pesca, la capacidad de los buques que realizan los lances y la condición de plantado biodegradable. La categoría “atunes” se refiere a la captura total combinada de las tres especies de atunes tropicales.

Encuestas de capitanes

La encuesta se centró en la dinámica pesquera de los plantados biodegradables (2024-2025) y de los plantados en general (2020-2023), e incluyó preguntas sobre las estrategias de siembra de plantados, las razones y áreas de pérdida, la duración de los plantados, los plantados no recuperados, el efecto del tiempo de inmersión y las mejoras en la construcción de plantados.

Los capitanes notificaron una tendencia decreciente en el número total de plantados perdidos entre 2020 y 2023, y el número de plantados biodegradables perdidos por año y por buque notificado fue similar al de la pérdida total de plantados en 2023 (Figura 22). En 2020, la respuesta más común al número de plantados perdidos por buque y año fue “más de 100”, mientras que en 2023 la respuesta más común fue “20-50”. En 2024, la respuesta más común al número de plantados biodegradables perdidos por buque y por año fue “1-20”. En ambos periodos, alrededor del 50% de los participantes afirmaron perder un máximo de 50 plantados al año, y el 20% más de 50 plantados al año.

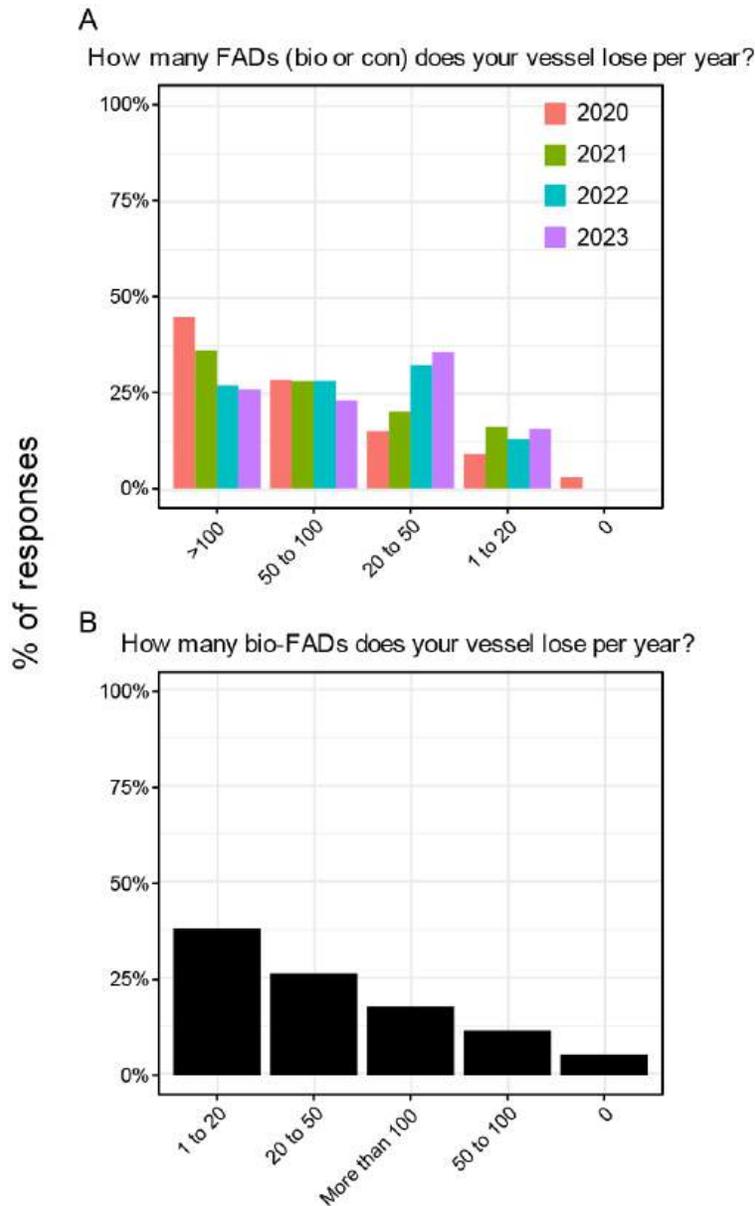


FIGURE 22. A) Number of FADs lost per vessel per year, self-reported by participants in skipper surveys conducted during skippers workshops from 2020 to 2023. B) Number of bio-FADs lost per vessel per year, self-reported by participants in the skipper survey conducted in 2024-2025.

FIGURA 22. A) Número de plantados perdidos por buque y año, notificados por los participantes en las encuestas de capitanes realizadas durante los talleres para capitanes entre 2020 y 2023. B) Número de plantados biodegradables perdidos por buque y año, notificados por los participantes en la encuesta de capitanes realizada en 2024-2025.

Hubo una tendencia consistente, tanto a lo largo del tiempo como entre todos los plantados y los plantados biodegradables, de que las razones más comunes para la pérdida de plantados fueron, en orden de importancia, haber sido tomados por otro buque, haber abandonado los caladeros o haber sido destruidos (Figura 23). Curiosamente, cuando se centró la atención en los plantados biodegradables, “destruidos/hundidos” fue la segunda opción más seleccionada en 2024-2025.

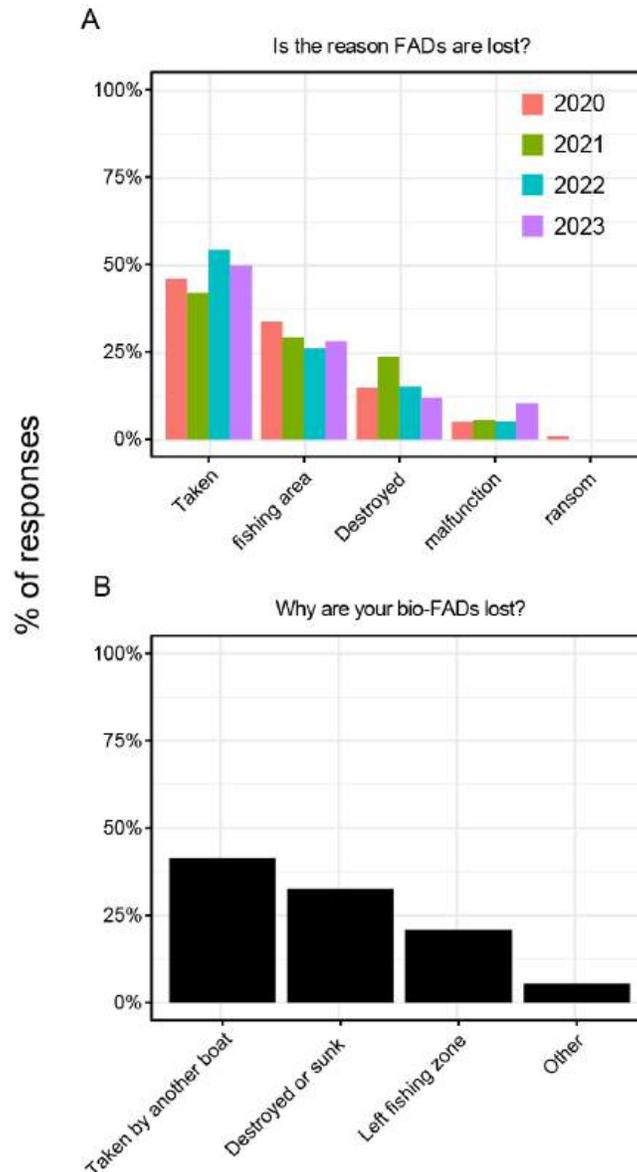


FIGURE 23. A) Reasons for FAD loss self-reported by participants in skipper surveys conducted during skippers workshops from 2020 to 2023. B) Reasons for bio-FAD loss self-reported by participants in skipper survey workshops from 2024 through 2023.

FIGURA 23. A) Razones de la pérdida de plantados notificadas por los participantes en las encuestas de capitanes realizadas durante los talleres para capitanes entre 2020 y 2023. B) Razones de la pérdida de plantados biodegradables notificadas por los participantes en las encuestas de capitanes entre 2024 y 2023.

Cuando se les preguntó sobre las áreas donde se pierden los plantados, se observaron patrones similares en 2024-2025 (plantados biodegradables) y 2020-2023 (todos los plantados), y la mayoría de los participantes afirmaron que la mayoría de los plantados se pierden alrededor de las Galápagos y entre 100-120W, seguidos por el área al oeste de 120W y el área de Perú.

Cuando se les preguntó sobre la duración de los plantados, alrededor del 75% de los participantes en 2024-2025 mencionaron que los plantados biodegradables duran menos de 6 meses, mientras que

entre el 50% y el 70% de los participantes en 2020-2021 y más del 70% en 2024-2025 afirmaron que los plantados convencionales duran más de 6 meses (el 30 % de los participantes en 2020-2025 afirma que los plantados convencionales duran más de 12 meses).

Cuando se les preguntó sobre los plantados no recuperados, >80% de los participantes en la encuesta de 2024-2025 notificaron que se dejan a la deriva en el agua 20 plantados biodegradables o menos por año y por buque. En las encuestas de 2020-2023, alrededor del 50% de los participantes afirmaron dejar 20 plantados o menos por año y buque a la deriva en el agua, mientras que el otro 50% dejó un mínimo de 20 plantados por año y buque sin recuperar en el agua. Esto sugiere que es posible que los capitanes estén actualmente más motivados para recuperar los plantados en el mar a fin de evitar posibles pérdidas.

En 2024-2025, también se preguntó a los capitanes sobre el tiempo necesario actualmente para realizar un lance sobre un plantado, en comparación con hace cinco años. Los resultados son inclusivos, con un ~25% que respondió “más rápido que antes”, un 40% que respondió “más lento que antes” y un 25% que respondió “sin diferencia”.

De manera similar, en 2024-2025, se preguntó a los capitanes sobre las mejoras en los plantados biodegradables en los últimos 2-3 años. Esta pregunta tuvo respuestas mixtas e inconclusas, ya que los capitanes seleccionaron “sin diferencia” en el 18% de los casos, “más eficaces y duraderos” en el 28-24% de los casos, y “menos eficaces y menos duraderos” en el 24-29% de los casos. Este resultado sugiere que, en algunos casos, es posible que la flota esté mejorando el uso y la estrategia de pesca de los plantados biodegradables.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La base de datos derivada de datos de observadores que se presenta en este documento ofrece una visión completa y valiosa de la dinámica de la vida útil de los plantados en el OPO. Este trabajo identificó “puntos álgidos” de siembra de plantados ([Figura 6](#)), recuperación de plantados ([Figura 7](#)) y realizó un seguimiento de la frecuencia relativa de diferentes resultados y métricas asociados a la vida útil de un plantado ([Figura 5](#)). Además, el estudio reveló que la mayoría de los plantados (>70%) se siembran y nunca se observan ni se interactúa con ellos de nuevo, y que el 80% de las interacciones con plantados se producen en los primeros 50 días tras la siembra. Escalle et al. (2019) y Gómez et al. (2020) notificaron una tasa muy similar de plantados no utilizados o con los que no se interactuó tras su siembra en otras partes del mundo (es decir, el Océano Pacífico occidental y central). A pesar de esta alta tasa de plantados no utilizados, el plantado promedio —entre todos los plantados con y sin pesca, biodegradables y convencionales— capturó aproximadamente 6.65 t de atunes tropicales por siembra. El precio actual promedio por tonelada de atún en 2025 es de \$1,500 a \$2,000, lo que da como resultado un ingreso promedio por vida útil de un plantado de \$9,975 a \$13,300. Este ingreso promedio por vida útil de un plantado es sustancialmente más alto que el costo promedio de construcción de un solo plantado. Si bien hay muchos otros costos que afectan la rentabilidad final de la vida útil de un solo plantado, el amplio margen entre los ingresos promedio por plantado y los costos promedio de construcción de los plantados puede ayudar a explicar cómo es posible que una tasa tan alta de pérdida de plantados sea económicamente viable.

Este trabajo también examinó las diferencias entre los plantados biodegradables y los plantados convencionales. Aunque los plantados biodegradables tienen una captura por lance promedio sin procesar y una captura total durante la vida útil promedio más bajas que los plantados convencionales, la mayor parte de esta diferencia parece explicarse por diferencias sistémicas en los atributos de los plantados biodegradables y los plantados convencionales y los buques de pesca asociados. Controlando estas variables de confusión, no se estimaron diferencias significativas en la captura por lance (excepto para YFT) o en la captura total durante la vida útil entre los plantados biodegradables y los plantados convencionales ([Figuras 20-21](#)). Sin embargo, esto no significa que el efecto de la construcción de los

plantados biodegradables sobre la captura total durante la vida útil se estime en precisamente cero; las estimaciones presentadas aquí sugieren que el efecto puede estar entre +8% y -15%, lo que incluye cero.

Como se mencionó anteriormente, estos efectos marginales estimados controlan posibles factores de confusión, tales como diferencias en la estrategia o capacidad de pesca de los buques que pescan sobre plantados biodegradables frente a los que pescan sobre plantados convencionales, y diferencias en los atributos espaciotemporales de la variable en cuestión (por ejemplo, captura por lance de diferentes especies en el espacio y el tiempo). Sin embargo, sin un experimento solo se pueden controlar las variables observadas, lo que afecta a la estrategia para aislar de forma robusta el efecto causal de la condición de plantado biodegradable. Por lo tanto, es posible que los tamaños de los efectos marginales notificados sigan viéndose afectados por el sesgo de variables omitidas debido a la omisión de alguna variable no observada que esté correlacionada con el tratamiento (condición de plantado biodegradable) y el resultado (por ejemplo, captura por lance). Por ejemplo, si los buques que utilizan o no utilizan principalmente plantados biodegradables tienen un acceso sistemáticamente mayor o menor a los datos acústicos bajo los plantados pescados, la omisión de esta variable en el modelo podría sesgar los resultados. Sin embargo, los resultados presentados en este documento controlan muchas de las diferencias sistémicas obvias entre los plantados biodegradables y los plantados convencionales y, como tales, representan una mejora con respecto al análisis de las diferencias sin procesar entre estos dos grupos.

Los resultados aquí presentados han sido posibles gracias al trabajo de los observadores de cerco en el Área de la CIAT. Si bien estos datos son increíblemente valiosos, como se muestra aquí, y permiten un monitoreo riguroso de la dinámica del uso de plantados en el mar, son limitados en el sentido de que los plantados pueden salirse de las áreas donde operan los observadores o buques que no cuentan con un observador de la CIAT pueden recogerlos o interactuar con ellos. Junto con esta base de datos de observadores, el personal de la CIAT tiene ahora acceso, desde 2022, a una base de datos robusta de seguimiento de boyas satelitales asociadas a estos plantados (resoluciones [C-21-04](#) y [C-24-01](#)). Estos datos, idealmente complementados con los datos históricos de boyas satelitales que aún no están disponibles para el personal, podrían utilizarse para informar programas eficientes de recuperación de plantados, sistemas de incentivos y opciones de ordenación espacial para la pesquería sobre plantados. Dichas iniciativas podrían desempeñar un papel clave en la reducción de las pérdidas de plantados en el mar, disminuyendo en última instancia los eventos de varamiento y apoyando la ordenación basada en la ciencia del número de plantados. Estudios futuros podrían complementar y mejorar los datos de observadores utilizados aquí para comprender mejor el destino de los plantados que no son observados por los observadores del CIAT, de manera similar a lo descrito en Escalle et al. (2019). Dado que es posible que los plantados se desplacen entre Áreas de Convención en el Océano Pacífico, es deseable la colaboración a escala del Océano Pacífico entero entre las OROP atuneras y sus comités científicos.

Con base en lo anterior, el personal de la CIAT recomienda que:

Que la CIAT tome medidas para asegurar los datos y recursos necesarios para comprender mejor el destino final de los plantados no recuperados, y promulgue esfuerzos de ordenación, según proceda, para mitigar los impactos de los varamientos de plantados y promover programas de recuperación de plantados, incluyendo mediante el uso de sistemas de incentivos y opciones de ordenación espacial.

5. REFERENCIAS

- Anderson, Sean C., Eric J. Ward, Philina A. English, Lewis A. K. Barnett, and James T. Thorson. 2024. "sdmTMB: An r Package for Fast, Flexible, and User-Friendly Generalized Linear Mixed Effects Models with Spatial and Spatiotemporal Random Fields." <https://doi.org/10.1101/2022.03.24.485545>.
- Duffy, Leanne, Vogel N., Griffiths S., Román M., and Lennert-Cody C. 2022. "History of the IATTC bycatch data collection and description of the 'bycatch database' for use in ecosystem and bycatch research". IATTC: Special Report 25. Available at: <https://www.iattc.org/GetAttachment/c1d18b01-16e5-4974-98e7-8bb25101d665/No-25-2022-Multiple-History-of-the-IATTC-Bycatch-Data-Collection.pdf>
- Escalle, L., Scutt Phillips, J., Brownjohn, M., Brouwer, S., Sen Gupta, A., Van Sebille, E., Hampton, J., & Pilling, G. (2019). Environmental versus operational drivers of drifting FAD beaching in the Western and Central Pacific Ocean. *Scientific Reports*, 9(1), 14005. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50364-0>
- Gomez, G., Farquhar ,Samantha, Bell ,Henry, Laschever ,Eric, & and Hall, S. (2020). The IUU Nature of FADs: Implications for Tuna Management and Markets. *Coastal Management*, 48(6), 534–558. <https://doi.org/10.1080/08920753.2020.1845585>
- Hartig, F. (2024). *DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models* (Version R package version 0.4.7) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>
- IATTC, 1980. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission. 1979. La Jolla, California. Available at: [IATTC-Annual-Report_1979.pdf](https://www.iattc.org/GetAttachment/c1d18b01-16e5-4974-98e7-8bb25101d665/No-25-2022-Multiple-History-of-the-IATTC-Bycatch-Data-Collection.pdf)
- Joseph, J. 1994. The tuna-dolphin controversy in the eastern Pacific Ocean: Biological, economic, and political impacts *Ocean Development & International Law* 25: 1-30.
- Lennert-Cody, C. E., J. J. Roberts and R. J. Stephenson (2008). "Effects of gear characteristics on the presence of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the catches of the purse-seine fishery of the eastern Pacific Ocean." *ICES Journal of Marine Science* 65(6): 970-978.
- Lopez, J., C. Lennert-Cody, M. Maunder, H. Xu, S. Brodie, M. Jacox and J. Hartog (2019). Developing alternative conservation measures for bigeye tuna in the Eastern Pacific Ocean: a dynamic ocean management approach. Scientific Advisory Committee. DOCUMENT SAC-10 INF-D.
- R Core Team. (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- Schaefer, Kurt M., Daniel W. Fuller, and Milani Chaloupka. 2021. "Performance Evaluation of a Shallow Prototype Versus a Standard Depth Traditional Design Drifting Fish-Aggregating Device in the Equatorial Eastern Pacific Tuna Purse-Seine Fishery." *Fisheries Research* 233 (January): 105763. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105763>.
- Thorson, James T. 2017. "Three Problems with the Conventional Delta-Model for Biomass Sampling Data, and a Computationally Efficient Alternative." *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, October, 1–14. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2017-0266>.