

**Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico
(ICCAT CICTA CICAA)**

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL ATÚN ROJO PARA TODO EL ATLÁNTICO (GBYP)
**PROSPECCIÓN AÉREA PARA EL SEGUIMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE
REPRODUCTORES DE ATÚN ROJO EN EL MAR MEDITERRÁNEO**
MAR BALEAR (ÁREA A)



JULIO 2026

Elaborado por:

***Mónica Pérez-Gil
Enrique Pérez Gil***



Co-funded by the
European Union

Agradecimientos

This work was carried out under the provision of the ICCAT Atlantic-Wide Research Programme for Bluefin Tuna (GBYP). The contents of this document do not necessarily reflect the point of view of ICCAT, which has no responsibility over them, and in no way anticipate the Commission's future policy in this area.

This work was conducted with the funding support of the ICCAT GBYP budget and was partially funded by the European Union through the EU Grant Agreement No. 101320145.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA METODOLOGÍA	6
2.1.	Método de muestreo	6
2.2.	Equipo técnico y humano.....	8
2.3.	Toma de datos.....	11
2.4.	Validación de los datos	15
3.	RESULTADOS	15
3.1.	Datos de esfuerzo	15
3.2.	Avistamientos de atún rojo.....	17
3.3.	Avistamientos de otras especies	33
4.	COMENTARIOS Y PROPUESTAS	35
4.1.	Software de toma de datos	35
4.2.	Resultados: tortugas marinas	37
5.	BIBLIOGRAFÍA	38
6.	ANEXO I. FICHAS DE VUELO	40

RESUMEN

El Programa de Investigación sobre el Atún Rojo para todo el Atlántico (GBYP, *Atlantic-Wide Research Programme for Bluefin Tuna*) de la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (CICAA) -*International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas* (ICCAT)- tiene como objetivo principal mejorar la gestión y la conservación del atún rojo (*Thunnus thynnus*) en el océano Atlántico y el mar Mediterráneo. Para ello, desde su creación, ha financiado y desarrollado diversos programas y campañas de investigación orientados a mejorar el conocimiento científico de la especie y reducir la incertidumbre asociada a su evaluación. Entre estas actuaciones se encuentra la realización de campañas periódicas de prospección aérea para la obtención de estimas de abundancia de reproductores en el Mediterráneo mediante la aplicación de la metodología *Distance Sampling*. Estas campañas persiguen un doble objetivo: (i) reducir la incertidumbre en las evaluaciones del stock de atún rojo y (ii) proporcionar asesoramiento científico sólido para la gestión de la pesquería a partir de datos independientes de la actividad pesquera. El presente informe describe los trabajos realizados por Grup Air Med en el marco del «Servicio para la prospección aérea para el seguimiento de las concentraciones de reproductores de atún rojo en el mar Mediterráneo». La campaña se desarrolló entre los días 1 y 24 de junio en el mar Balear (Área A). Durante este periodo se realizaron 20 vuelos, con un total de 72:14:37 horas de vuelo, de las cuales 42:07:01 correspondieron a tiempo en esfuerzo y 31:35:18 a tiempo en transecto. El esfuerzo de muestreo permitió completar las cuatro réplicas previstas, integradas por 30 transectos. Como resultado de la campaña se registraron 804 avistamientos, de los cuales 83 correspondieron a atún rojo.

1. INTRODUCCIÓN

El Programa de Investigación sobre el Atún Rojo (*Thunnus thynnus*) para todo el Atlántico (GBYP, *Atlantic-Wide Research Programme for Bluefin Tuna*) es una iniciativa de investigación de la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (CICAA; *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas*, ICCAT), financiada por la Unión Europea y otros países contratantes. El programa fue establecido oficialmente por la Comisión de ICCAT en 2008 en respuesta a la necesidad de disponer de una base de datos amplia y robusta sobre el atún rojo, con el objetivo de mejorar el conocimiento científico de la especie y proporcionar la mejor base científica posible para su conservación y gestión sostenible en el océano Atlántico y el mar Mediterráneo.

El GBYP surgió para dar respuesta a las importantes incertidumbres existentes en relación con la biología, la ecología y la dinámica poblacional del atún rojo, cuya elevada movilidad y complejos patrones migratorios dificultaban la evaluación de sus poblaciones. Para ello, integra investigaciones coordinadas a escala internacional y desarrolla metodologías estandarizadas que contribuyen a mejorar la calidad de la información utilizada por el Comité Permanente de Investigación y Estadísticas (SCRS) de ICCAT en las evaluaciones de los stocks.

En la actualidad, la práctica totalidad de la información empleada en dichas evaluaciones procede de las pesquerías, por lo que puede estar influenciada por variaciones en los patrones de explotación y en las cuotas de captura establecidas anualmente. Esta dependencia puede introducir sesgos en las estimas, lo que pone de manifiesto la necesidad de disponer de fuentes de información complementarias e independientes de la actividad pesquera.

El GBYP desarrolla diversas líneas de investigación, entre las que se incluyen los programas de marcado y recaptura, la recopilación y análisis de muestras biológicas, la recuperación de series históricas de datos y las campañas de prospección aérea. Esta última constituye el objeto del presente informe.

Desde 2010 se realizan campañas de prospección aérea en diferentes áreas del Mediterráneo con el objetivo de detectar concentraciones de reproductores de atún rojo mediante la aplicación de la metodología *Distance Sampling*. Esta metodología permite obtener índices de abundancia y biomasa del stock reproductor de forma completamente independiente de la actividad pesquera.

A lo largo de su desarrollo, el programa de prospección aérea del GBYP ha afrontado diversos condicionantes logísticos y presupuestarios que han motivado modificaciones en el diseño del muestreo, principalmente en la delimitación de las áreas prospectadas. Durante las primeras campañas (2010-2011), los censos aéreos se centraron en cuatro zonas del Mediterráneo: mar Balear (Área A), mar Tirreno meridional (Área C), Canal de Sicilia (Área E) y mar de Levante (Área G). Entre 2013 y 2015, el esfuerzo de muestreo se amplió a la práctica totalidad de las principales áreas de reproducción del Mediterráneo, incorporándose el mar de Cerdeña (Área B), el mar Jónico (Área D) y el mar de Libia (Área F), además de las áreas previamente muestreadas.

Posteriormente, durante el periodo 2017-2019, el esfuerzo volvió a concentrarse en las cuatro principales áreas de desove. Sin embargo, debido a nuevas limitaciones presupuestarias y a los cambios observados en las condiciones ambientales, que afectaban negativamente a la detectabilidad de los reproductores mediante esta metodología, las campañas en el mar de Levante (Área G) fueron suspendidas a partir de 2019.

Finalmente, en 2025 el Grupo de Especies de Atún Rojo del SCRS decidió interrumpir también las campañas en las áreas del Mediterráneo central correspondientes al mar Tirreno meridional (Área C) y al Canal de Sicilia (Área E), manteniéndose el mar Balear (Área A) como única zona de prospección. Esta decisión permite garantizar la continuidad de la serie temporal de estimas de abundancia iniciada en 2010. El mar Balear constituye una de las principales áreas de reproducción del atún rojo en el Mediterráneo, por lo que el mantenimiento de un seguimiento continuado en esta zona contribuirá de forma significativa al conocimiento de la dinámica del stock reproductor y de la variación temporal de sus parámetros demográficos.

2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA METODOLOGÍA

Todas las actividades se realizan conforme al mandato de la licitación de ICCAT y los anexos contractuales. ICCAT proporciona previamente el diseño del bloque de muestreo y los transectos de las réplicas. Se dispone de un protocolo establecido y de fichas, tanto digitales como en formato físico, para el registro del esfuerzo y los avistamientos. Aunque el análisis de datos no forma parte del alcance de este contrato, se incluye una descripción general de la metodología en el apartado correspondiente para facilitar la comprensión de las tareas ejecutadas.

2.1. MÉTODO DE MUESTREO

Para la realización de la prospección aérea, como ya se comentó, se utiliza la metodología *Distance sampling* (Buckland *et al.*, 2015), un método de muestreo estadístico ampliamente empleado en ecología cuantitativa para estimar la densidad y el tamaño poblacional de una especie dentro de un área determinada y durante un periodo de estudio concreto. Esta metodología permite obtener estimas de abundancia a partir de un muestreo parcial del área de estudio, corrigiendo los sesgos por defectibilidades imperfectas los individuos, uno de los principales problemas en los censos de fauna silvestre.

Su fundamento radica en recorrer una serie de transectos lineales previamente diseñados, registrando todos los individuos o grupos de individuos detectados a ambos lados de la línea de vuelo. Para cada detección se registra la distancia perpendicular entre el animal y el transecto, información que constituye la base para modelizar la probabilidad de detección. Los transectos se agrupan en réplicas, que, en la medida de lo posible, deben ser muestreadas de forma consecutiva para minimizar la influencia de posibles cambios temporales en la distribución o abundancia de la especie durante el periodo de estudio.

El principio fundamental del método es que la probabilidad de detectar un individuo disminuye conforme aumenta su distancia al observador o a la línea del transecto. A

partir de las distancias registradas durante el muestreo, se ajusta una función de detección, que describe matemáticamente cómo varía la probabilidad de observación con la distancia. Esta función permite estimar el número de individuos que probablemente no fueron detectados, especialmente a mayores distancias del transecto, corrigiendo así el sesgo asociado a la detectabilidad imperfecta y obteniendo estimaciones de densidad y abundancia más precisas.

La calidad de estas estimaciones depende en gran medida de la precisión con la que se registran las distancias de detección, ya que cualquier error sistemático en su medición puede afectar al ajuste de la función de detección y, por tanto, a las estimaciones finales de abundancia. Por ello, uno de los aspectos más importantes durante el trabajo de campo es garantizar la máxima precisión en la obtención de las distancias perpendiculares.

En los estudios realizados desde aeronaves, la plataforma de observación se encuentra a una altura conocida sobre el nivel del mar, por lo que la distancia perpendicular horizontal entre el transecto y el animal no se mide directamente. En su lugar, se calcula a partir del ángulo de declinación (α), es decir, el ángulo formado entre la vertical de la aeronave y la línea visual hacia el individuo detectado, utilizando la altitud de vuelo y una relación trigonométrica sencilla. De este modo, la distancia perpendicular se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Distancia horizontal al punto} = \frac{\text{Altitud del avión}}{\tan(\alpha)}$$

Además, para que el método proporcione estimaciones válidas, deben cumplirse una serie de supuestos fundamentales. Aunque estos supuestos son comunes a cualquier aplicación de *Distance Sampling*, en las prospecciones aéreas presentan una serie de consideraciones específicas derivadas del empleo de avionetas como plataforma de observación.

- Detección segura en la línea de transecto ($g(0)=1$). Se asume que todos los individuos situados exactamente sobre la línea del transecto son detectados con una probabilidad del 100 %. Este es uno de los supuestos más importantes del método, ya que constituye el punto de referencia para modelizar la disminución de la detectabilidad con la distancia. Para favorecer su cumplimiento, las aeronaves utilizadas disponen de ventanillas tipo burbuja, que permiten a los observadores mantener una visión directa de la línea de vuelo sin que el fuselaje interfiera en el campo visual.
- Precisión en la medición de las distancias. Los ángulos de declinación (α) deben registrarse con la máxima exactitud posible, ya que pequeños errores pueden traducirse en desviaciones importantes en la estimación de las distancias perpendiculares.
- Ausencia de respuesta de los individuos antes de la detección. Se asume que los animales no modifican su comportamiento en respuesta a la aproximación de

la aeronave. Si los individuos reaccionaran antes de ser observados, la distribución de las distancias registradas quedaría alterada y las estimaciones podrían resultar sesgadas. En prospecciones realizadas desde avioneta, la elevada velocidad de desplazamiento y la altitud de vuelo reducen considerablemente la posibilidad de que los animales detecten la aeronave con suficiente antelación como para modificar su posición, por lo que este efecto suele considerarse despreciable.

- Independencia entre detecciones. Se asume que la detección de un individuo o grupo no influye sobre la probabilidad de detectar otros individuos, evitando sesgos por comportamiento grupal o efectos de atracción/evitación. Para garantizar este supuesto, en los análisis únicamente se consideran los avistamientos realizados durante el esfuerzo de muestreo y dentro de los transectos establecidos, excluyendo observaciones efectuadas durante giros, fuera de transecto y detecciones secundarias.
- Diseño aleatorio y representativo de los transectos. Los transectos deben distribuirse de forma que toda la población tenga la misma probabilidad de ser muestreada, evitando sesgos derivados de la selección subjetiva de las áreas de prospección. Para ello, el diseño de muestreo se realiza mediante el software *Distance 8.0* (Thomas *et al.*, 2010), que genera diseños aleatorios o sistemáticos con inicio aleatorio, asegurando una cobertura espacial homogénea del área de estudio y maximizando la representatividad de la muestra.

En conjunto, el cumplimiento de estos supuestos y la correcta aplicación del protocolo de muestreo permiten obtener estimaciones robustas de densidad y abundancia, haciendo de *Distance Sampling* una de las metodologías de referencia para el seguimiento de poblaciones de vertebrados marinos y grandes peces pelágicos mediante prospecciones aéreas.

2.2. EQUIPO TÉCNICO Y HUMANO

Los vuelos se llevan a cabo utilizando una avioneta Partenavia P-68 (Imagen 1), que cuenta con una autonomía de vuelo de más de 7 horas y cumple con todos los requisitos de seguridad y rescate establecidos por la legislación vigente. Dispone de suministro eléctrico de 220 voltios, que permite conectar un ordenador portátil, y de un sistema para aislar las comunicaciones entre el piloto y la torre de control del resto de la tripulación, para asegurar una correcta grabación de los datos de avistamientos durante el vuelo. Está equipada con dos ventanas laterales de burbuja (una en cada lado), que permiten observar en el área directamente debajo de la aeronave, en el eje vertical proyectado desde la base central de la avioneta hasta la superficie del mar.



Imagen 1. Avión Partenavia P-68 utilizada durante la prospección aérea de atún rojo en el mar Balear.

En cada vuelo, el equipo está conformado por un observador profesional (PS), dos observadores científicos (SS) y un piloto (P) (Imágenes 2, 3 y 4). Además, uno de los observadores científicos actúa de *Cruise Leader* (CL). Los observadores científicos se ubican en las ventanas de burbuja a ambos lados de la aeronave, y rotan las posiciones en cada vuelo, siendo uno de ellos el que ejerce de *data logger*. El observador profesional ocupa el asiento del copiloto.

El personal que ha trabajado en este servicio ha sido:

- Julià Armengol (Piloto)
- Xoan Aucante (Professional Spotter)
- Mónica Pérez-Gil (Scientific Spotter y Cruise Leader)
- Enrique Pérez-Gil (Scientific Spotter y Cruise Leader)
- Gara Goñi Godoy (Scientific Spotter)
- Antonella Servidio (Scientific Spotter)



Imagen 2. Integrantes del equipo de trabajo 1, de izquierda de derecha, Julià Armengol (P), Mónica Pérez-Gil (SS y CL), Enrique Pérez-Gil (SS) y Xoan Aucante (PS).



Imagen 3. Integrantes del equipo de trabajo 2, de izquierda de derecha, Xoan Aucante (PS), Gara Goñi (SS), Enrique Pérez-Gil (SS y CL) y Julià Armengol (P).



Imagen 4. Integrantes del equipo de trabajo 3, de izquierda de derecha, Xoan Aucante (PS), Enrique Pérez-Gil (SS y CL), Antonella Servidio (SS) y Julià Armengol (P).

2.3. TOMA DE DATOS

La toma de datos se realiza siguiendo el protocolo establecido por el ICCAT Atlantic-Wide Research Programme for Bluefin Tuna (GBYP), concretamente el documento Aerial Survey Protocol, que estandariza la metodología de las campañas aéreas desarrolladas en las diferentes zonas de reproducción del atún rojo del Atlántico y el Mediterráneo. La aplicación en el tiempo de un protocolo común garantiza la comparabilidad de los resultados entre campañas y años asegurando que las estimaciones obtenidas puedan integrarse en las evaluaciones poblacionales realizadas por el Comité Permanente de Investigación y Estadísticas (SCRS) de ICCAT.

Los vuelos se realizan siguiendo los transectos previamente diseñados mediante la metodología *Distance Sampling*, organizados en cuatro réplicas independientes. Durante las prospecciones se mantiene una altitud de vuelo constante de 1.000 pies (aproximadamente 305 m) y una velocidad de trabajo de 100 nudos (aproximadamente 185 km/h), parámetros establecidos por el protocolo para optimizar el equilibrio entre la cobertura espacial, la seguridad operacional y la capacidad de detección de los observadores.

Aunque el objetivo principal de la campaña es el registro de grupos de atún rojo, durante el esfuerzo de muestreo también se anotan los avistamientos de otras especies marinas de interés, como otros túnidos, grandes peces pelágicos, cetáceos y tortugas marinas. No obstante, estos registros son siempre secundarios y únicamente se realizan cuando no interfieren con la búsqueda activa de atún rojo, evitando que la atención de los observadores se desvíe del objetivo principal de la prospección y pueda afectar a la probabilidad de detección de la especie objetivo.

En el contexto de la metodología *Distance Sampling*, los transectos pertenecientes a una misma réplica deben ser sinópticos, es decir, completarse de manera simultánea o dentro de un intervalo temporal suficientemente corto como para asumir que ni las condiciones ambientales, ni la distribución espacial de la población, han experimentado cambios significativos. Este requisito resulta especialmente importante en especies altamente móviles como el atún rojo, cuya distribución puede variar en escalas temporales de pocas horas en respuesta a cambios oceanográficos o comportamentales.

Sin embargo, además del criterio de sinopticidad, la planificación diaria de los vuelos debe adaptarse a las condiciones meteorológicas existentes, ya que la detectabilidad de los animales depende en gran medida del estado de la superficie del mar y de la visibilidad. Por este motivo, se prioriza la ejecución de los transectos en aquellas zonas donde existe ausencia de nubosidad baja, buena visibilidad vertical y escasa presencia de calima. Asimismo, se procura realizar las prospecciones con intensidades de viento correspondientes a los estados 0 y 1 de la escala de *Beaufort*, ya que estas condiciones proporcionan una superficie marina relativamente lisa, favoreciendo la detección visual de los grupos. Cuando la intensidad del viento supera los 2.5 en esa escala, comienzan a formarse crestas espumosas o *borregos* sobre la superficie del mar. Estas estructuras generan patrones visuales que pueden confundirse con las salpicaduras o turbulencias producidas por los cardúmenes de atún en superficie, incrementando el número de

falsas detecciones y reduciendo la eficiencia del observador. Además, el aumento del oleaje produce un mayor rizado de la superficie, amplificando la extensión del reflejo del sol y ampliando las zonas de *glare* o deslumbramiento, donde la detectabilidad de los animales disminuye considerablemente e incluso puede llegar a ser nula.

Por último, la planificación de los vuelos también está condicionada por aspectos logísticos, como los horarios de apertura y cierre del aeropuerto base y su gasolinera.

Para el registro de la información se utiliza en software Logger 2010, desarrollado por IFAW (International Fund for Animal Welfare) con módulos diseñados expresamente para este proyecto. Este programa permite registrar de forma sincronizada la posición GPS de la aeronave, los eventos de esfuerzo de muestreo y todos los avistamientos realizados durante la campaña, generando una base de datos georreferenciada para su posterior análisis.

Estos módulos o plantillas son actualizados antes de cada campaña incorporando la composición del equipo de observadores y optimizando determinados campos de introducción de datos. Esta optimización busca reducir al mínimo el tiempo necesario para registrar cada avistamiento, permitiendo que el observador encargado del registro de datos (*data logger*) pueda dedicar la mayor parte de su atención a la búsqueda activa de animales y disminuir el riesgo de perder detecciones mientras introduce información en el ordenador.

El sistema informático instalado a bordo está constituido por un ordenador portátil conectado a una antena GPS externa con salida en formato NMEA (Imagen 5), que proporciona en tiempo real la posición, velocidad y rumbo de la aeronave, información que Logger 2010 incorpora automáticamente a cada registro de avistamiento. Adicionalmente, el ordenador se conecta al sistema de comunicaciones de la avioneta mediante un cable minijack–minijack de 3,5 mm (Imagen 6), lo que permite grabar de forma continua todas las comunicaciones durante el vuelo. Estas grabaciones constituyen un respaldo de seguridad que facilita la revisión posterior de los datos y la resolución de posibles dudas o errores detectados durante la validación de la información registrada en campo.



Imagen 5. Antena GPS conectada al ordenador para la toma automática de datos de posicionamiento.



Imagen 6. Cable minijack-minijack con adaptador de clavija para conectar el sistema de comunicaciones de la avioneta con el sistema de audio del ordenador.

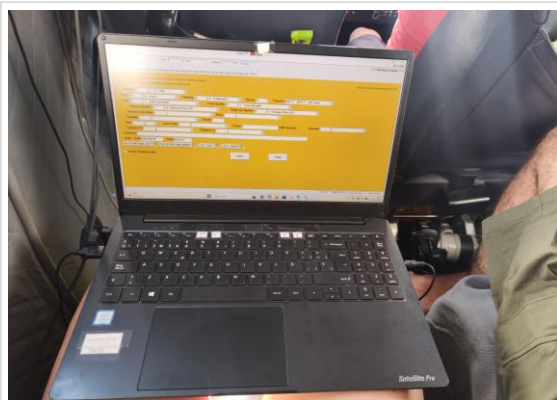


Imagen 7. Interface del programa Logger 2010 utilizado para la toma de datos.

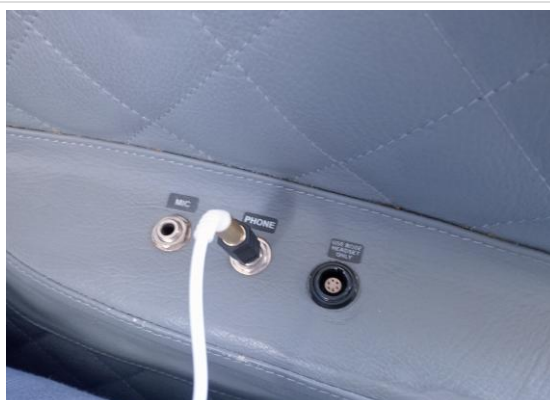


Imagen 8. Salida del micro de la avioneta que se conecta directamente al puerto 3.5 del ordenador para poder grabar las comunicaciones a bordo.

Desde el despegue hasta el aterrizaje, siempre que las condiciones ambientales y operativas lo permiten, ambos observadores permanecen en esfuerzo de búsqueda. Durante este periodo se registran las variables asociadas al esfuerzo de observación, incluyendo el estado de la mar (escala Beaufort), la intensidad y el ángulo del brillo solar, la turbidez del agua, la presencia de niebla, la cobertura de nubes y una evaluación cualitativa de las condiciones de detectabilidad (buena, moderada o pobre). Estos parámetros se actualizan siempre que se produce un cambio en las condiciones de observación y, en todo caso, al inicio de cada transecto o tramo de transecto.

Dado que el Logger no ofrece la posibilidad de registrar la altitud directamente en la base de datos, y tras realizar algunas pruebas descargando los tracks de la antena GPS del ordenador, de un GPS Garmin GPS73 externo (que se lleva para tener una copia de seguridad extra) y del GPS del avión, se decidió extraer la altitud de este último, por considerarse el más preciso de los disponibles.

Para eso se relacionó la hora y la posición de la antena conectada al Logger con la altitud en ese instante y en ese punto obtenida del GPS del avión. Debido a las diferencias en los intervalos de tiempo en que se recogen estos datos, en algunos puntos podría haber diferencias mínimas ya que la altitud es obtenida a partir del punto más cercano en el que existe información.

Durante el esfuerzo de búsqueda, ambos observadores científicos ocupan su posición de trabajo con la cabeza situada en el interior de las ventanas de burbuja (Imágenes 9 y 10). Ante cada detección, se registra el ángulo de declinación respecto al individuo o grupo de individuos detectado, así como el tamaño del grupo, utilizando para ello un clinómetro SUUNTO modelo PM-5 (Imagen 11).

Cuando la detección corresponde a la especie objetivo (*Thunnus thynnus*), el esfuerzo de muestreo se interrumpe temporalmente y la aeronave abandona el transecto para realizar maniobras de orbitación sobre el grupo. Estas maniobras permiten estimar con mayor precisión el tamaño del grupo, la composición por clases de talla y el peso medio de los individuos. Durante este proceso se obtienen además fotografías destinadas a apoyar la identificación de la especie y la estimación del número de ejemplares observados.



Imagen 9. Observadora con la cabeza dentro de la ventana tipo burbuja, en la posición correcta a la hora de tomar un ángulo.



Imagen 10. Observadora tomando un ángulo desde la ventana tipo burbuja.

Cuando la detección es realizada por el observador profesional, este comunica inmediatamente el avistamiento al resto de la tripulación para activar el protocolo de registro correspondiente. En ese momento se consignan los datos iniciales de la detección, que incluyen la hora y la posición geográfica del avistamiento, el ángulo de declinación y la indicación de si la detección se produjo en la perpendicular al transecto.

La información relativa al tamaño del grupo, la composición por clases de talla y el peso medio estimado de los individuos se registra una vez interrumpido temporalmente el esfuerzo de muestreo y abandonado el transecto para realizar las maniobras de orbitación sobre el cardumen.

Para la toma de las fotos durante los vuelos se utiliza una cámara réflex Canon EOS 5D (Imagen 12), con un objetivo Sigma estabilizado 18-200mm. Las fotografías se realizan dando prioridad a la velocidad y utilizando el modo ráfaga.



Imagen 11. Clinómetro SUUNTO modelo PM5 utilizado durante los vuelos para medir los ángulos.



Imagen 12. Cámara Canon EOS 5D utilizada para la realización de fotografías durante el muestreo aéreo.

2.4. VALIDACIÓN DE LOS DATOS

Al finalizar cada vuelo, los datos registrados se validan mediante las aplicaciones Logger ShowData y QGIS 4.0.3 "Norrköping". En caso de detectarse errores o inconsistencias, o cuando existen dudas sobre algún registro, se revisan las grabaciones efectuadas durante el vuelo con el fin de corregir, completar o verificar la información recopilada. Asimismo, se descargan las imágenes obtenidas por las cámaras y se almacenan de forma ordenada para su posterior consulta y análisis.

Siempre que fue posible, se calculó la distancia entre el punto de la detección y el centro de las órbitas realizadas por la aeronave durante la recogida de datos. Este cálculo únicamente puede realizarse en aquellos casos en los que es posible identificar visualmente el centro de las órbitas, correspondiente al punto en el que se estableció el contacto con el grupo de atunes. La estimación de las distancias se lleva a cabo mediante el software QGIS (versión 4.0.3). Para ello, en primer lugar, se genera una capa de puntos con los centros de las órbitas y, posteriormente, se crea una capa de líneas que conecta cada centro con el punto de avistamiento correspondiente. Cuando se dispone de una posición *abeam*, ésta se utiliza como referencia para el cálculo; en los demás casos, se emplea la posición correspondiente al *first sighting*.

3. RESULTADOS

3.1. DATOS DE ESFUERZO

Durante este periodo se realizaron 20 vuelos, con un total de 72:14:37 horas de vuelo, de las cuales 42:07:01 correspondieron a tiempo en esfuerzo y 31:35:18 a tiempo en transecto. El esfuerzo de muestreo permitió completar las cuatro réplicas previstas, integradas por de 30 transectos. Como resultado de la campaña se registraron 804 avistamientos, de los cuales 83 correspondieron a atún rojo.

La campaña se desarrolló entre los días 1 y 24 de junio de 2026 en el mar Balear, utilizando como base de operaciones el Aeródromo de Son Bonet (Mallorca). Durante este periodo se completaron las cuatro réplicas previstas. El esfuerzo total de prospección fue de 4439,59 millas náuticas, de las que 3149,30 se recorrieron en transecto.

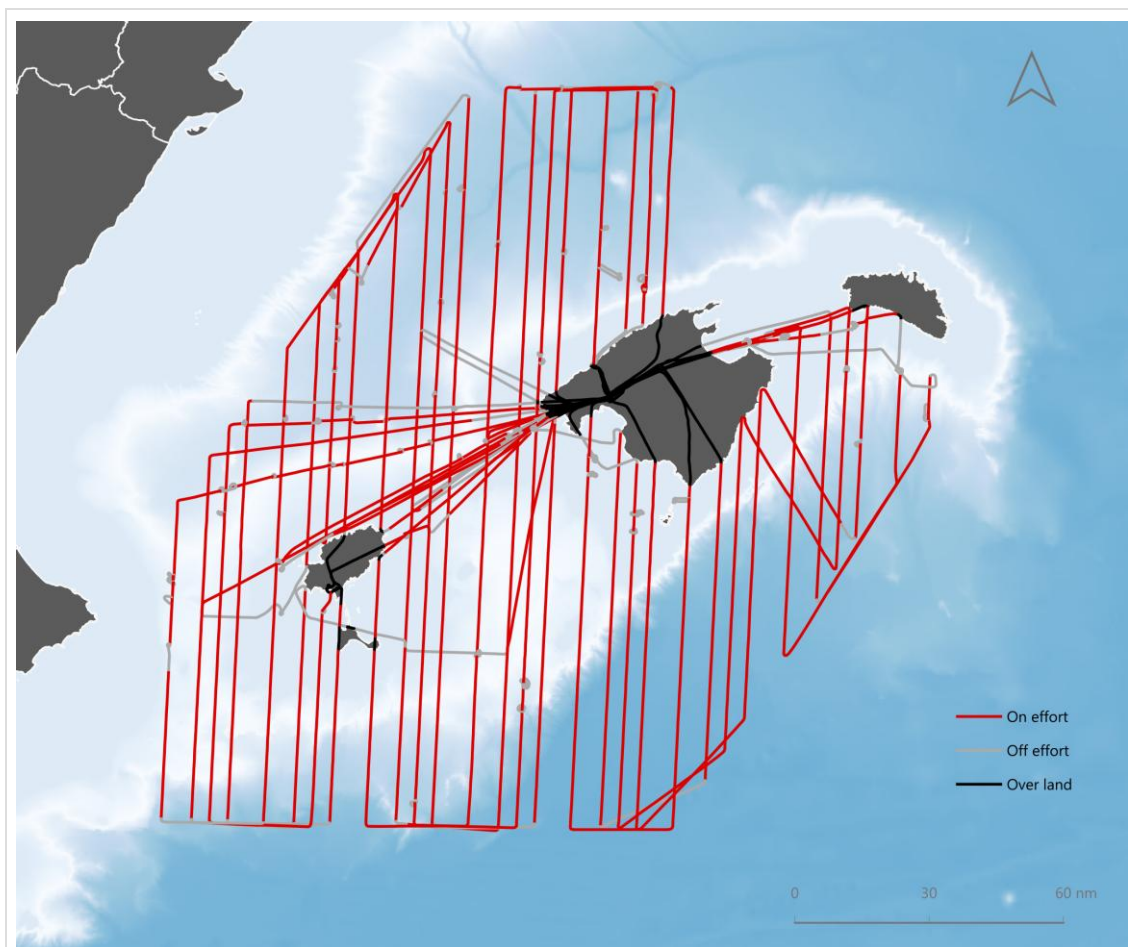
La Tabla 1 presenta un resumen de los vuelos realizados y de los días en los que no fue posible volar, incluyendo, cuando procede, los motivos que impidieron el desarrollo de la actividad.

Tabla 1. Resumen de los vuelos realizados con sus respectivos tiempos de vuelo y réplicas prospectadas.

Fecha	Actividad	Motivo	Salida	Llegada	Esfuerzo
31/05/2026	Vuelo 0	Posicionamiento en Mallorca	13:31	14:28	0:00
01/06/2026	Vuelo 1	Réplica 1	7:45	11:30	2:22
02/06/2026	Vuelo 2	Réplica 1	11:00	14:25	2:11
03/06/2026	Vuelo 3	Réplica 1	11:45	14:30	1:48
04/06/2026	Vuelo 4	Réplica 1	6:50	9:10	1:06

Fecha	Actividad	Motivo	Salida	Llegada	Esfuerzo
05/06/2026	Standby	Mala meteorología			
06/06/2026	Vuelo 5	Réplica 1	7:05	10:55	3:00
07/06/2026	Standby	Mala meteorología			
08/06/2026	Vuelo 6	Réplica 3	8:05	11:50	3:08
	Vuelo 7	Réplica 3	13:50	16:45	1:22
09/06/2026	Standby	Mala meteorología			
10/06/2026	Standby	Mala meteorología			
11/06/2026	Vuelo 8	Réplica 3	14:05	16:15	1:21
12/06/2026	Vuelo 9	Réplica 2	7:15	10:45	2:31
13/06/2026	Vuelo 10	Réplica 3	11:50	15:20	2:52
14/06/2026	Vuelo 11	Réplica 2	6:40	9:15	2:07
	Vuelo 12	Réplica 2	10:35	13:50	1:54
15/06/2026	Vuelo 13	Réplica 2	13:10	15:30	1:26
16/06/2026	Vuelo 14	Réplica 2	8:10	12:00	2:54
17/06/2026	Vuelo 15	Réplica 4	7:40	10:40	2:11
	Standby	Traslado a Reus para revisión de 50h del motor	13:25	14:15	0:00
18/06/2026	Standby	Mala meteorología			
19/06/2026	Standby	Vuelta desde Reus	10:30	11:30	0:00
	Vuelo 16	Réplica 4	12:10	14:55	2:07
20/06/2026	Standby	Mala meteorología			
21/06/2026	Vuelo 17	Réplica 4	7:50	10:10	1:40
22/06/2026	Vuelo 18	Réplica 4	7:00	10:05	1:48
23/06/2026	Vuelo 19	Réplica 4	12:05	14:55	1:50
24/06/2026	Vuelo 20	Réplica 4	6:30	10:15	2:13

El Mapa 1 representa los recorridos realizados resaltando los tramos por colores en función de las condiciones de esfuerzo: en esfuerzo, fuera de esfuerzo y sobre tierra.



Mapa 1. Recorridos realizados en las prospecciones aéreas de 2026, en el mar Balear.

3.2. AVISTAMIENTOS DE ATÚN ROJO

Durante la campaña se registraron un total de 83 avistamientos de atún rojo, de los cuales 25 correspondieron a avistamientos en esfuerzo y en transecto, 16 se realizaron en esfuerzo, pero fuera del transecto y los 42 restantes ocurrieron fuera de esfuerzo. De estos últimos 42, 18 fueron avistamientos secundarios (Tabla 2 y Mapa 2).

A partir de la información disponible se estimó un total de 20 889 individuos, con una biomasa total de 2 074 580 kg. Estas estimas corresponden a la suma de los valores obtenidos por el observador profesional (PS) en aquellos avistamientos en los que fue posible localizar el grupo y mantener el contacto visual durante el tiempo suficiente para obtener estimaciones fiables del tamaño del grupo y de la composición por clases de peso.

Según esta información, el 21,65 % de los individuos correspondieron a la categoría de pequeños (<25 kg), el 45,93 % a la categoría de medianos (26–150 kg) y el 32,42 % a la categoría de grandes (150–300 kg). No se registró ningún grupo compuesto por individuos de la categoría de gigantes (>300 kg). La distribución de los avistamientos por réplica y transecto se presenta en la Tabla 3. Además, se incluyen los Mapas Mapa 3 a Mapa 7 con la distribución de los atunes por réplica y categoría de tamaño y los Mapas Mapa 8 a Mapa 11, resumen los avistamientos de atún rojo de cada semana,

también por categoría de tamaño. Por último, los Mapas 12 Mapa 13 incluyen cuadros comparativos por réplica y semana.

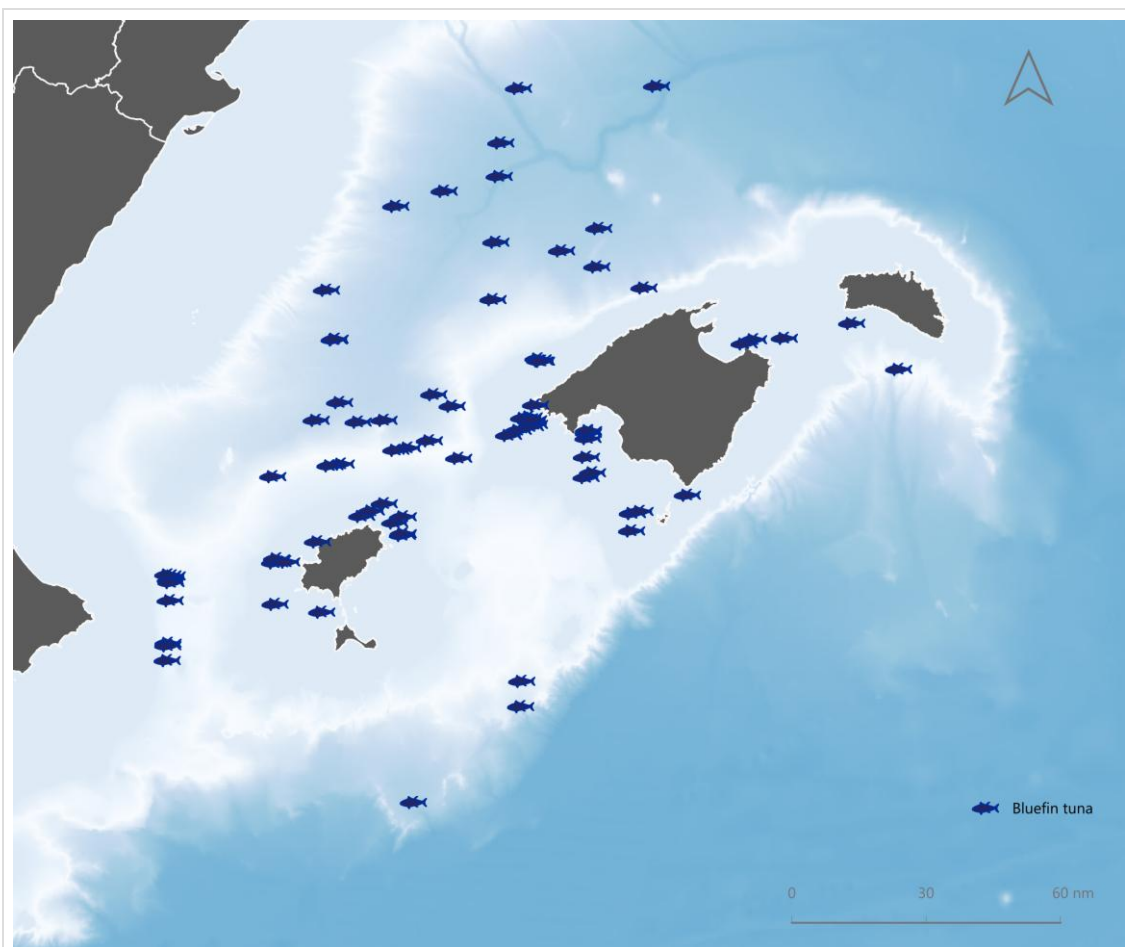
Tabla 2. Avistamientos de atún rojo registrados en las prospecciones aéreas de 2026 en el mar Balear. Los datos de tamaño de grupo, clases de edad y estimas de peso son los proporcionados por el observador profesional. No se incluye la clase de edad gigantes, al no haberse registrado esa categoría. El guión (-) indica falta de datos.

N av	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Tamaño de grupo	Peso total (kg)	% pequeños	% medianos	% grandes
52	02/06/2026	12:19:56	38,8111954	1,08968103	1387	80000	0	100	0
58	02/06/2026	13:08:38	39,9817009	1,3024261	800	40000	0	100	0
261	08/06/2026	16:06:36	39,5679665	1,38007653	100	2000	100	0	0
262	08/06/2026	16:21:42	39,5606613	1,92232084	200	4000	100	0	0
263	11/06/2026	14:34:49	40,1436348	2,44490266	150	3900	0	100	0
275	11/06/2026	15:11:29	40,7591515	2,90560389	1624	300000	0	40	60
309	12/06/2026	8:28:08	39,8058586	1,34826052	50	1300	0	100	0
310	12/06/2026	8:30:04	39,8040924	1,35249949	30	780	0	100	0
327	12/06/2026	8:57:18	40,3074875	1,64094591	70	1820	0	100	0
334	12/06/2026	9:20:25	40,3621902	1,8707875	30	780	0	100	0
354	12/06/2026	9:53:03	39,6030312	1,83322799	50	2500	0	100	0
358	13/06/2026	12:09:44	39,8132515	3,3758657	-	-	-	-	-
391	14/06/2026	7:02:31	39,5045776	1,59518301	300	7800	0	100	0
392	14/06/2026	7:07:03	39,4958534	1,46355188	100	2600	0	100	0
396	14/06/2026	7:14:16	39,5002174	1,2686497	15	390	0	100	0
421	14/06/2026	9:10:15	38,7851295	1,3127774	-	-	100	0	0
422	14/06/2026	10:46:37	39,0787697	1,69797647	80	800	0	100	0
423	14/06/2026	10:48:07	39,0827713	1,69555509	-	-	-	-	-
433	14/06/2026	11:29:35	38,0807686	1,76157916	1270	250000	0	0	100
455	14/06/2026	12:30:24	38,4489899	2,26328826	-	-	-	-	-
459	14/06/2026	12:33:27	38,536953	2,26845813	20	2600	0	100	0
476	14/06/2026	13:35:26	39,5678329	2,32401681	-	-	100	0	0
479	15/06/2026	13:24:29	39,7402458	2,33416748	2196	450000	0	0	100
480	15/06/2026	13:29:09	39,7326546	2,34260702	1076	200000	0	0	100
481	15/06/2026	13:31:40	39,7316895	2,35115457	944	140000	0	50	50
516	15/06/2026	15:00:41	40,0066643	2,84564924	20	220	100	0	0
643	16/06/2026	11:21:02	39,1001434	2,7884593	40	440	100	0	0
644	16/06/2026	11:29:49	39,1654587	2,79216313	350	3850	100	0	0
645	16/06/2026	11:29:49	39,1654587	2,79216313	200	2200	100	0	0
646	16/06/2026	11:29:49	39,1654587	2,79216313	100	1100	100	0	0
647	17/06/2026	7:50:38	39,4699783	2,23458815	100	1100	100	0	0
648	17/06/2026	7:55:21	39,4515343	2,18885732	100	2000	100	0	0
649	17/06/2026	8:02:06	39,3667259	1,95686519	845	120000	0	50	50
684	17/06/2026	10:10:27	39,1259575	1,6601969	-	-	100	0	0
685	17/06/2026	10:15:04	39,2202415	1,82079542	500	5500	100	0	0
692	19/06/2026	14:33:57	39,4956856	2,3196075	-	-	-	-	-
693	19/06/2026	14:37:52	39,487278	2,30054188	-	-	-	-	-
697	21/06/2026	8:08:53	40,0892143	2,61670327	700	7700	100	0	0
699	21/06/2026	8:24:10	40,2281914	2,62538028	40	440	100	0	0
702	21/06/2026	8:56:32	40,7485352	2,22891355	100	1100	100	0	0
704	21/06/2026	9:07:09	40,5444412	2,14489293	1	20	100	0	0
705	21/06/2026	9:11:58	40,4148102	2,13812685	2	40	100	0	0

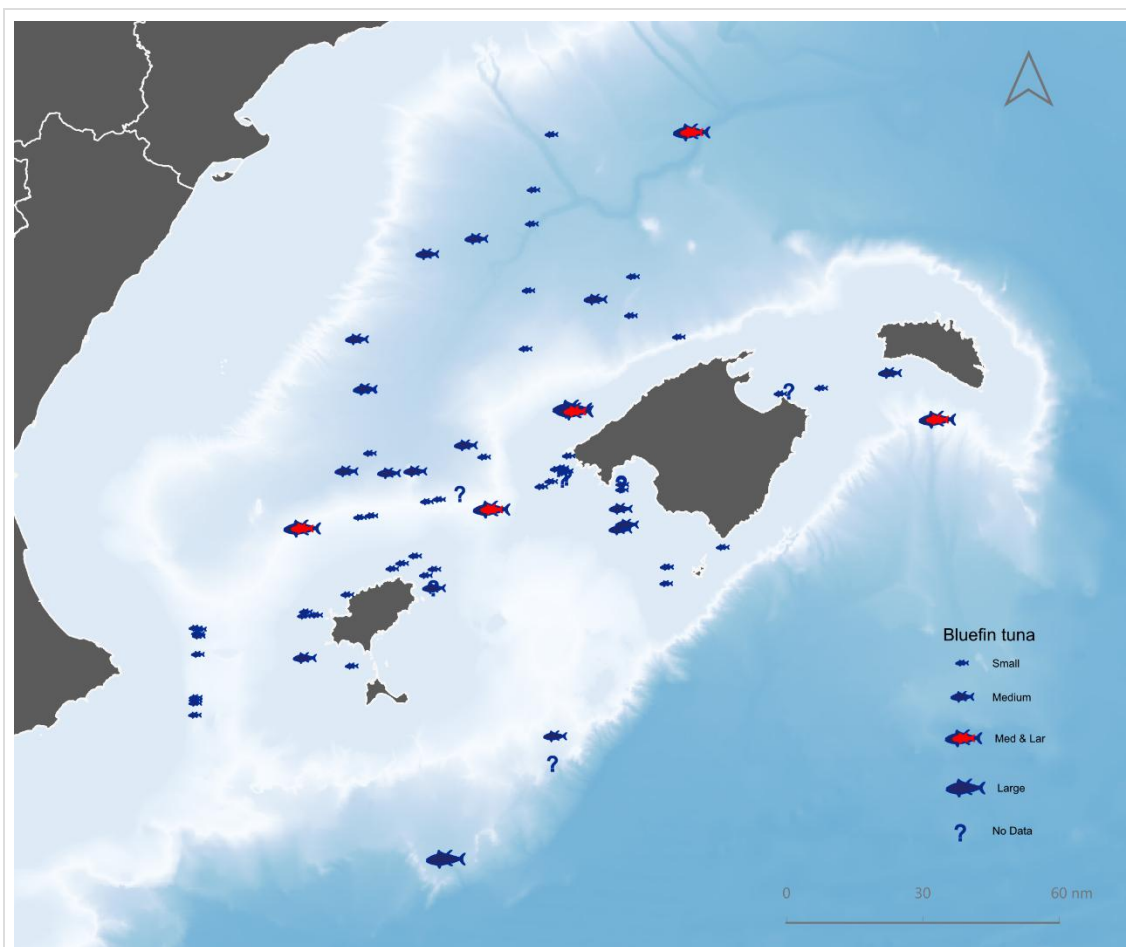
N av	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Tamaño de grupo	Peso total (kg)	% pequeños	% medianos	% grandes
711	21/06/2026	9:20:43	40,1693954	2,12512612	60	660	100	0	0
716	21/06/2026	9:32:49	39,9598846	2,11409116	20	200	100	0	0
733	22/06/2026	8:47:18	39,698246	4,07564545	949	160000	0	30	70
736	22/06/2026	9:14:02	39,8713722	3,8513	214	30000	0	100	0
738	22/06/2026	9:33:34	39,8173561	3,51955366	30	540	100	0	0
739	22/06/2026	9:42:48	39,7977219	3,33052325	-	-	100	0	0
740	23/06/2026	12:27:40	39,2245827	3,05500031	630	6930	100	0	0
757	23/06/2026	14:16:40	39,3051376	2,56984973	1852	50000	0	100	0
758	23/06/2026	14:21:30	39,3152122	2,60687685	370	10000	0	100	0
759	23/06/2026	14:33:00	39,3745499	2,57054067	978	30000	0	100	0
760	23/06/2026	14:44:07	39,4443512	2,57780051	20	220	100	0	0
761	23/06/2026	14:44:43	39,4640694	2,57895994	50	550	100	0	0
762	23/06/2026	14:44:57	39,4689598	2,57930827	-	-	-	-	-
763	23/06/2026	14:45:01	39,4738197	2,57965183	-	-	-	-	-
764	24/06/2026	6:39:02	39,5235977	2,29371905	-	-	100	0	0
765	24/06/2026	6:40:32	39,5101662	2,22757769	-	-	100	0	0
767	24/06/2026	6:50:22	39,4310341	1,80183256	-	-	-	-	-
770	24/06/2026	6:55:13	39,4024734	1,71164882	15	165	100	0	0
771	24/06/2026	6:56:53	39,4008865	1,66493177	150	1650	100	0	0
776	24/06/2026	7:04:54	39,3445702	1,39224005	40	440	100	0	0
777	24/06/2026	7:06:46	39,3307533	1,33177173	25	275	100	0	0
779	24/06/2026	7:14:44	39,286911	1,06595564	966	130000	0	20	80
783	24/06/2026	7:48:53	38,8896065	0,58217818	250	4500	100	0	0
784	24/06/2026	7:48:00	38,8875275	0,58309299	400	7200	100	0	0
785	24/06/2026	7:59:21	38,9191513	0,57605946	20	360	100	0	0
786	24/06/2026	8:02:34	38,8777847	0,58391082	70	1260	100	0	0
787	24/06/2026	8:06:48	38,8065262	0,58726215	20	360	100	0	0
788	24/06/2026	8:16:28	38,6545334	0,57877666	20	360	100	0	0
789	24/06/2026	8:17:36	38,6503639	0,5767532	30	540	100	0	0
790	24/06/2026	8:20:32	38,6356087	0,58371496	10	180	100	0	0
791	24/06/2026	8:21:19	38,5919342	0,58299887	60	660	100	0	0
793	24/06/2026	9:32:32	38,974102	1,09444153	50	550	100	0	0
794	24/06/2026	9:32:00	38,9740372	1,08444107	-	-	100	0	0
795	24/06/2026	9:36:31	38,9697418	1,14087725	-	-	100	0	0
796	24/06/2026	9:40:46	39,0469933	1,28641617	-	-	100	0	0
798	24/06/2026	9:46:57	39,150898	1,50817156	-	-	100	0	0
799	24/06/2026	9:47:55	39,1656113	1,54149675	-	-	100	0	0
800	24/06/2026	9:49:37	39,1934967	1,60243499	-	-	100	0	0
802	24/06/2026	10:09:37	39,5298691	2,35128331	-	-	100	0	0
803	24/06/2026	10:09:22	39,5249557	2,34061122	-	-	100	0	0
804	24/06/2026	10:09:54	39,5332451	2,35887599	-	-	100	0	0

Tabla 3. Número de avistamientos de atún rojo en las distintas réplicas y transectos realizados.

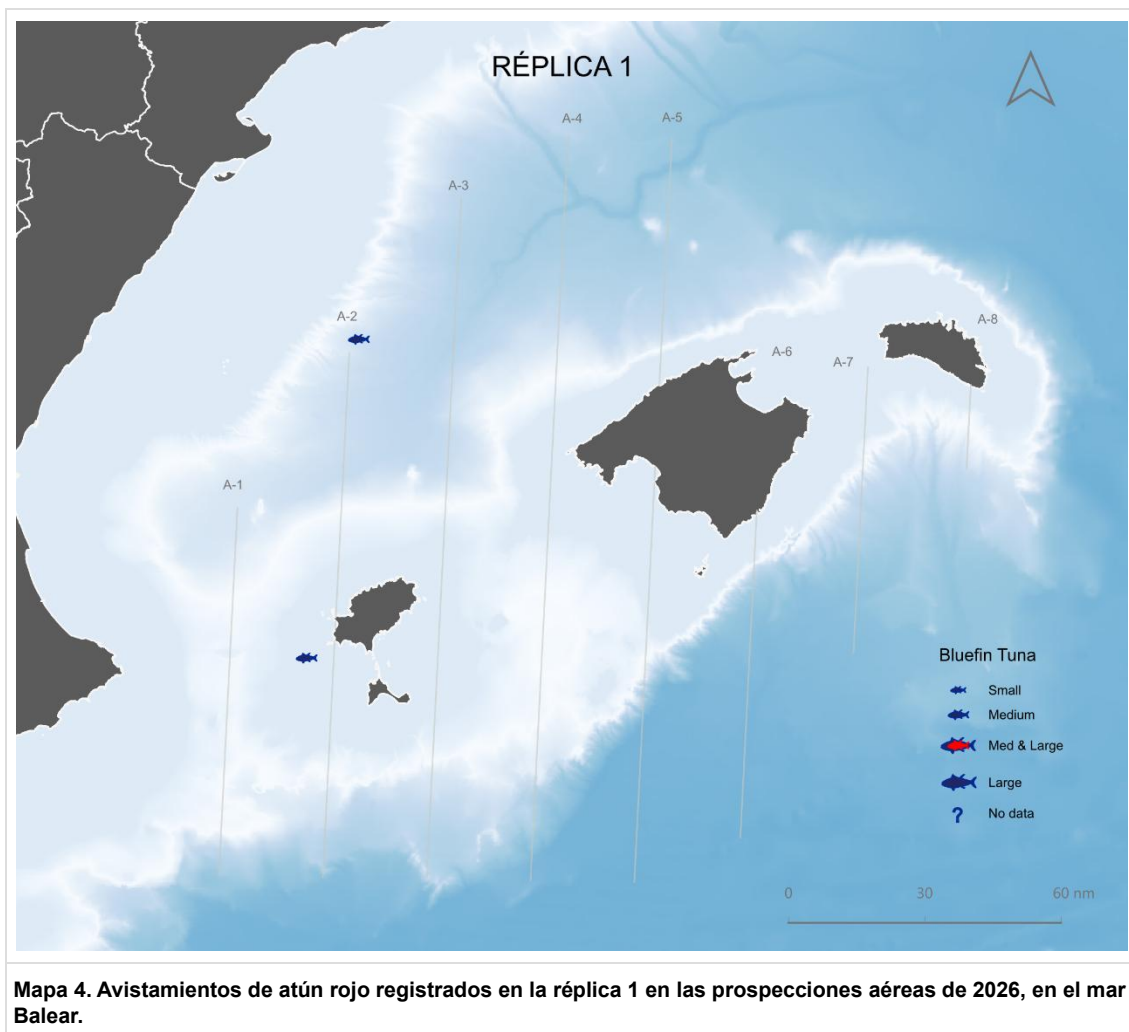
TRANSECTO	1	2	3	4	5	6	7	8
RÉPLICA 1	0	0	0	0	0	0	0	0
RÉPLICA 2	0	2	3	6	5	0	0	
RÉPLICA 3	0	0	0	1	0	0	0	
RÉPLICA 4	9	2	0	4	9	1	0	1

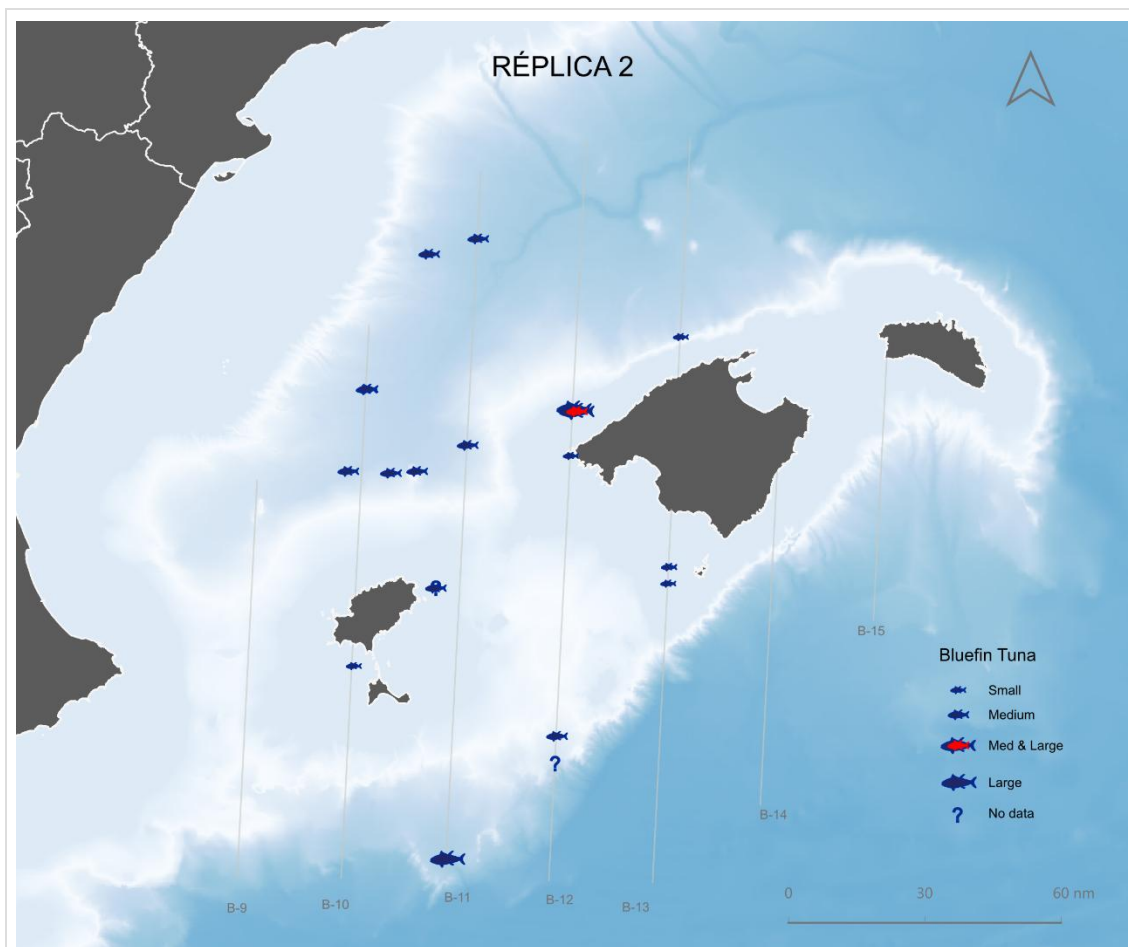


Mapa 2. Avistamientos de atún rojo registrados en las prospecciones aéreas de 2026, en el mar Balear.

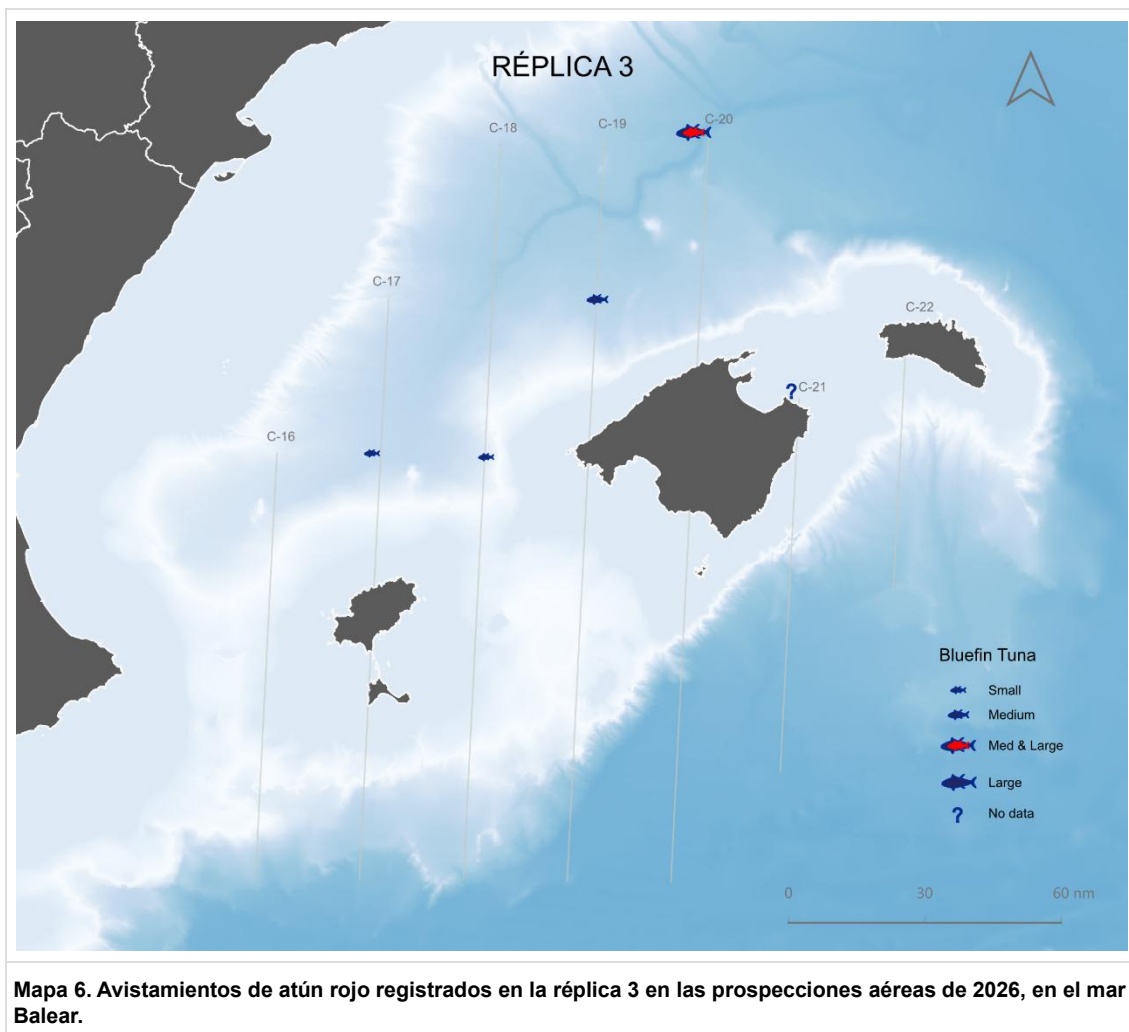


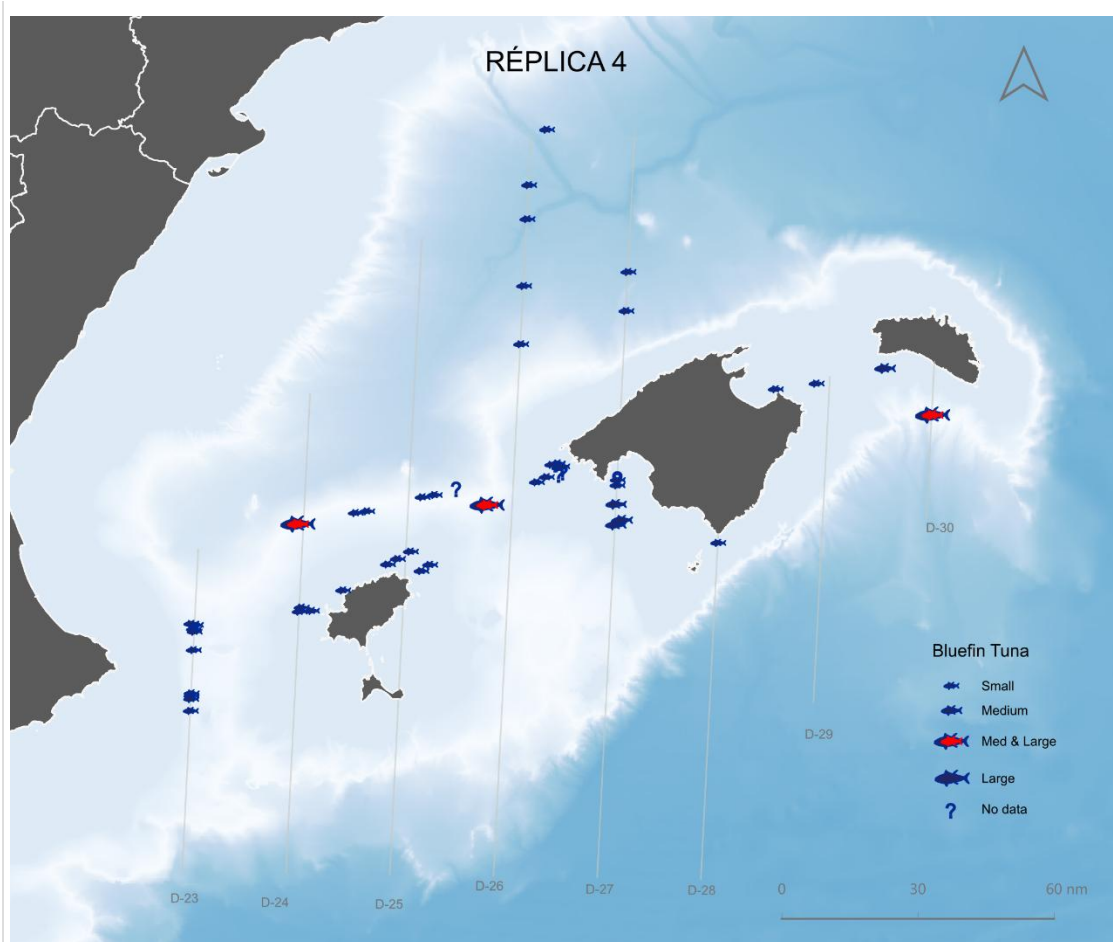
Mapa 3. Avistamientos de atún rojo registrados en las prospecciones aéreas de 2026, por categoría de tamaño, en el mar Balear.



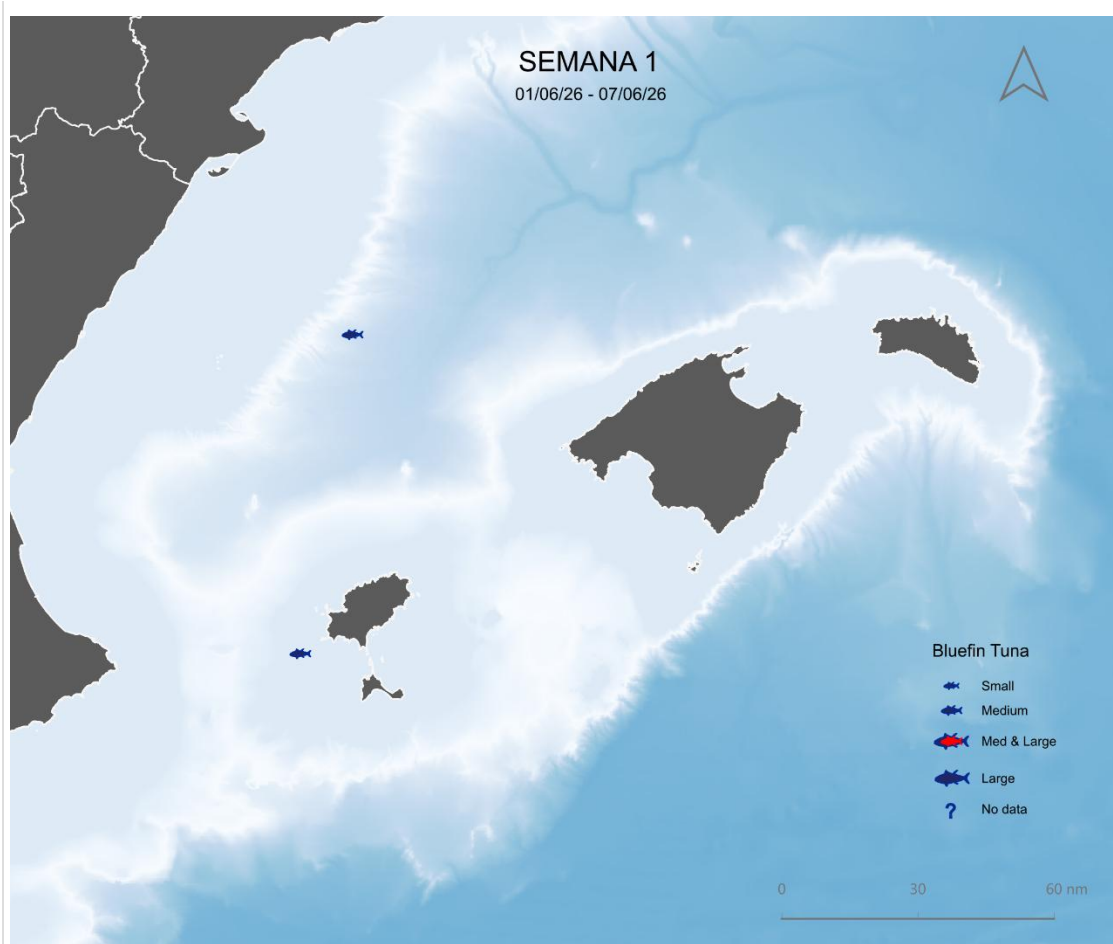


Mapa 5. Avistamientos de atún rojo registrados en la réplica 2 en las prospecciones aéreas de 2026, en el mar Balear.

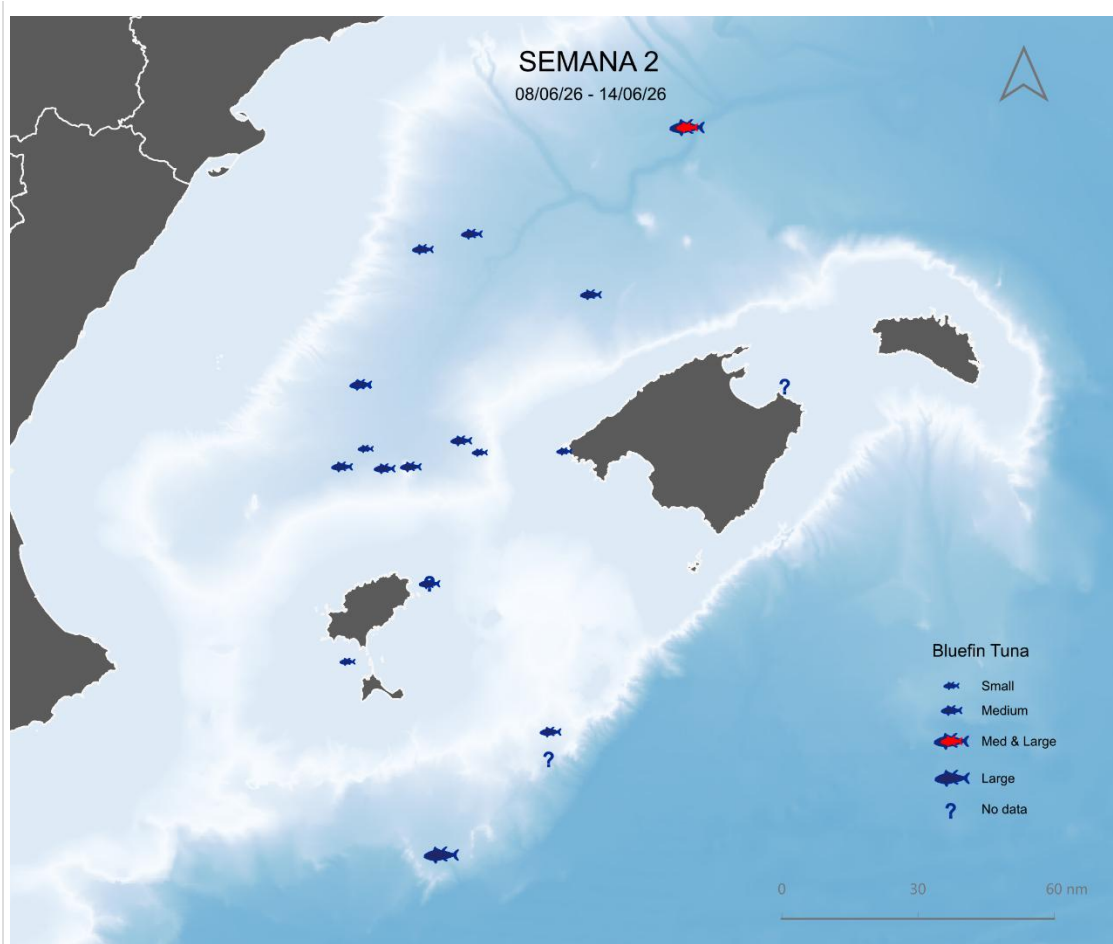




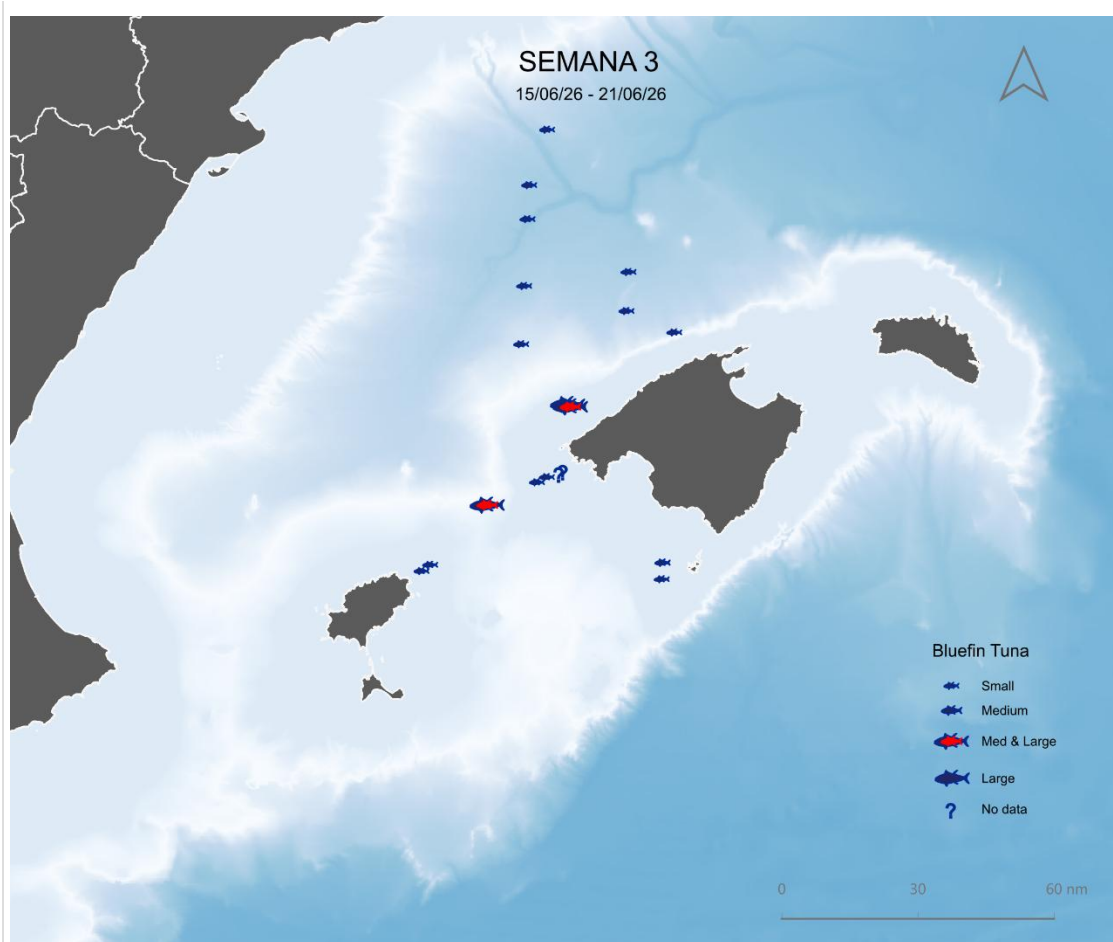
Mapa 7. Avistamientos de atún rojo registrados en la réplica 4 en las prospecciones aéreas de 2026, en el mar Balear.



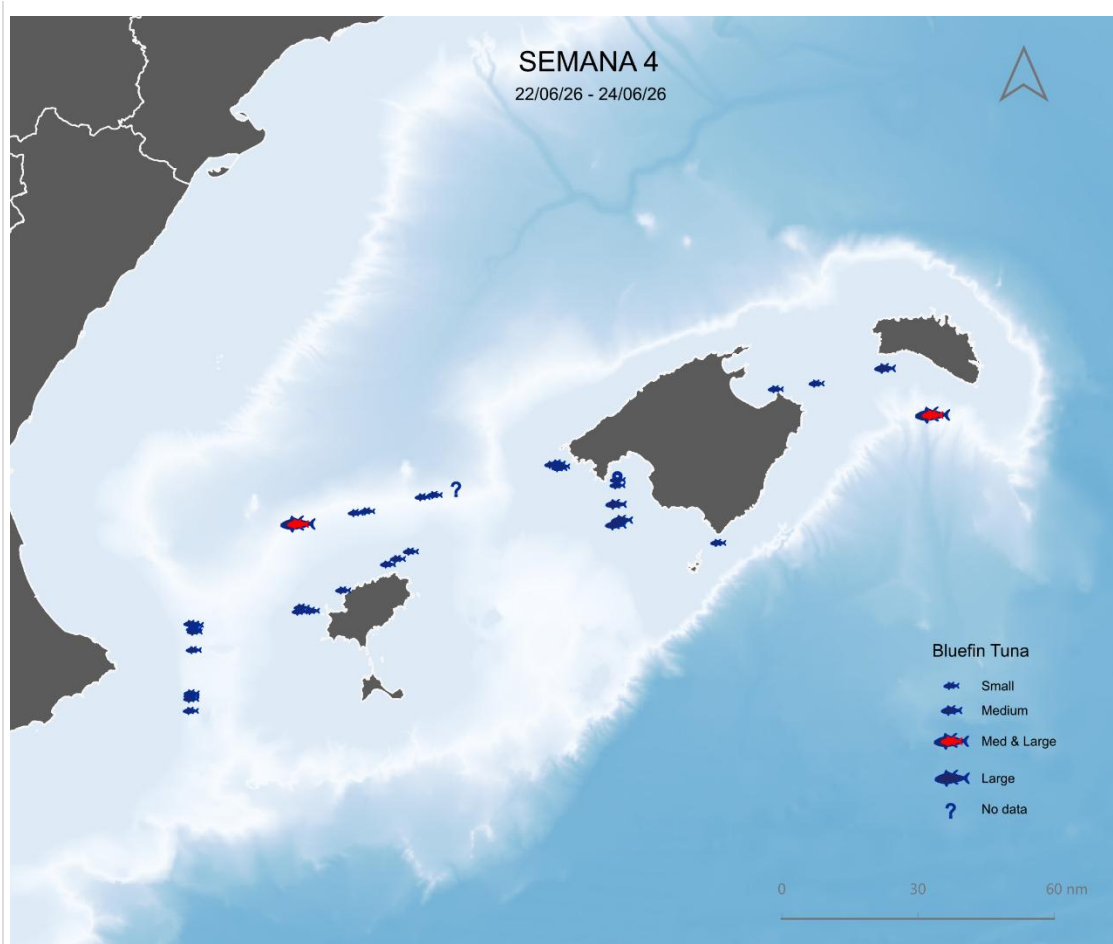
Mapa 8. Avistamientos de atún rojo registrados en la semana 1 en las prospecciones aéreas de 2026, en el mar Balear.



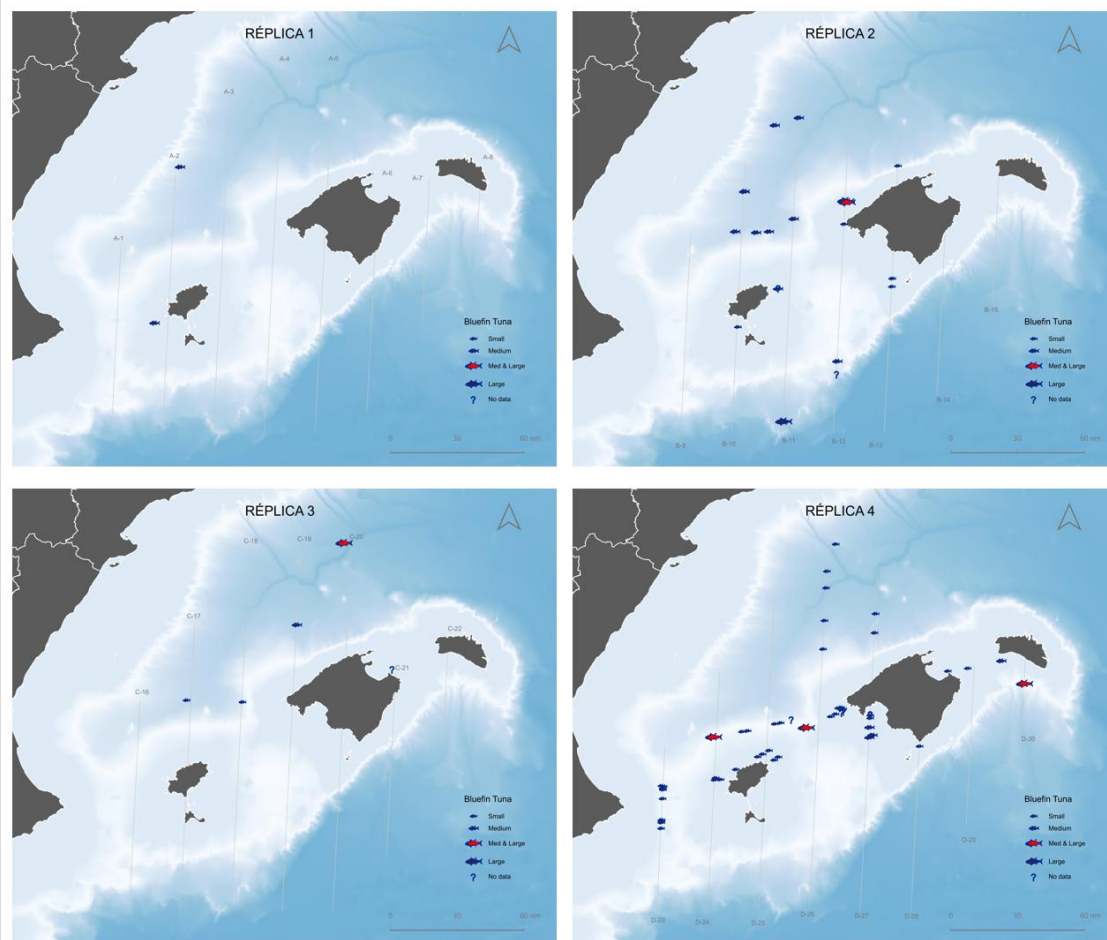
Mapa 9. Avistamientos de atún rojo registrados en la semana 2 en las prospecciones aéreas de 2026, en el mar Balear.



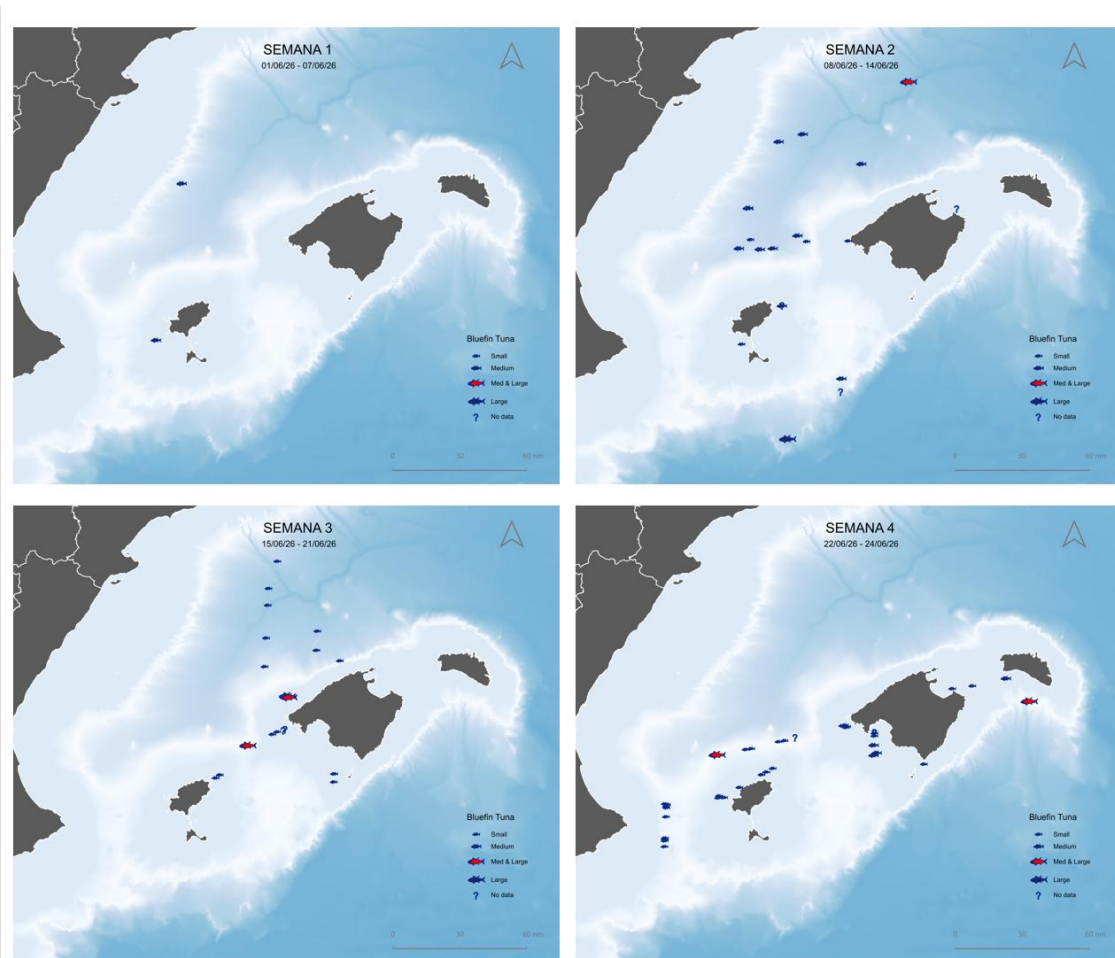
Mapa 10. Avistamientos de atún rojo registrados en la semana 3 en las prospecciones aéreas de 2026, en el mar Balear.



Mapa 11. Avistamientos de atún rojo registrados en la semana 4 en las prospecciones aéreas de 2026, en el mar Balear.



Mapa 12. Resumen de los avistamientos de atún rojo registrados en cada una de las 4 réplicas, en las prospecciones aéreas de 2026, en el mar Balear.



Mapa 13. Resumen de los avistamientos de atún rojo registrados en cada una de las 4 semanas, en las prospecciones aéreas de 2026, en el mar Balear.

De los 83 avistamientos registrados, se logró obtener el ángulo de declinación en 69 ocasiones. El Gráfico 1 muestra la distribución de los avistamientos según el ángulo de declinación. Se observa una mayor frecuencia de observaciones en ángulos intermedios, con los máximos registrados a 35° y 40° (8 avistamientos en cada caso), seguidos de 45° (7 avistamientos). Al transformar estos registros en distancias y agruparlos en intervalos (Gráfico 2), se observa una mayor concentración de avistamientos a distancias inferiores a 330 m (35 avistamientos), seguida del intervalo de 330–660 m (21 avistamientos). A partir de los 660 m, el número de avistamientos disminuye notablemente, con entre 4 y 5 observaciones por intervalo.

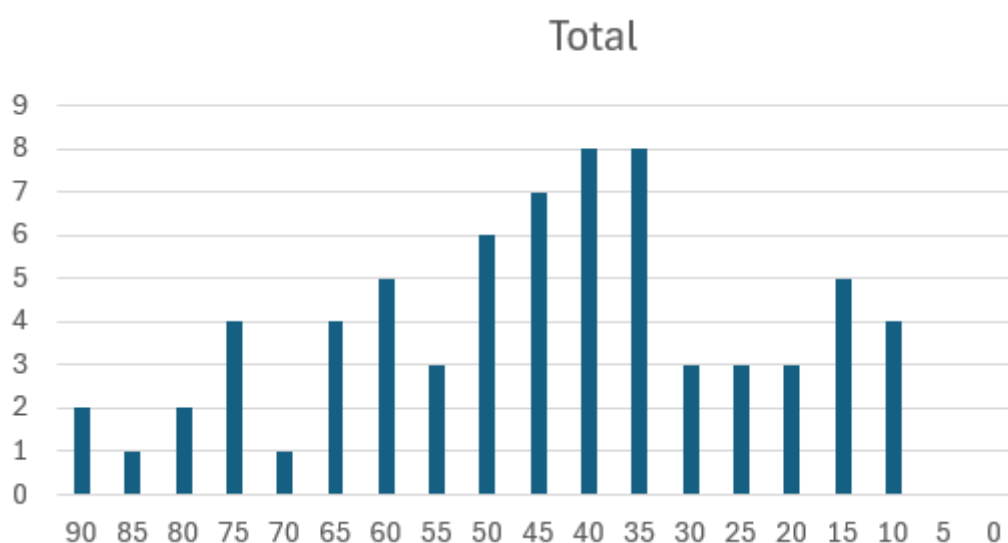


Gráfico 1. Distribución del número de avistamientos de atunes según el ángulo de declinación registrado durante el censo aéreo.

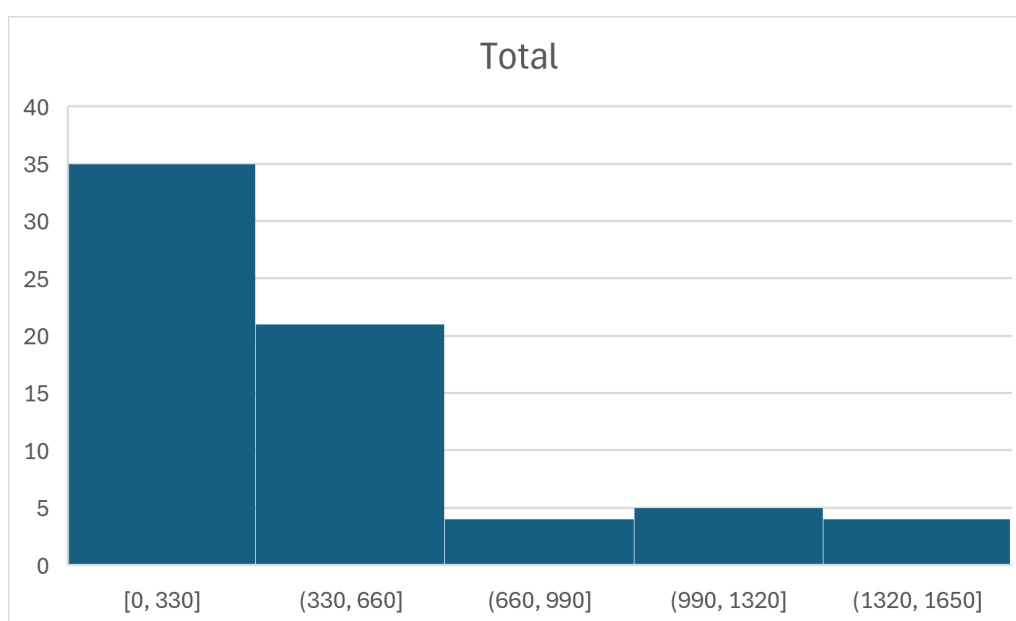


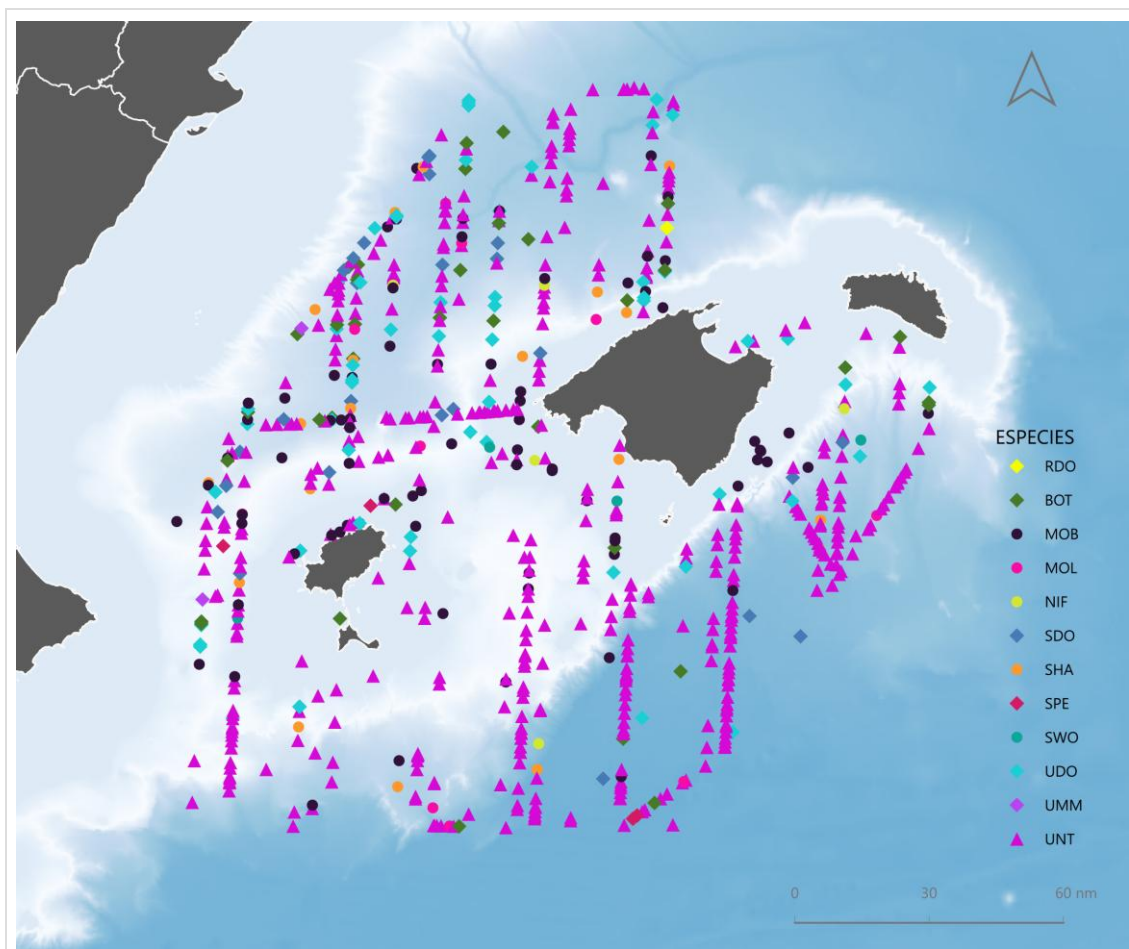
Gráfico 2. Distribución del número de avistamientos de atunes según el ángulo de declinación registrado durante el censo aéreo.

3.3. AVISTAMIENTOS DE OTRAS ESPECIES

En lo que respecta a otros taxones, se obtienen 721 avistamientos, que se resumen en la Tabla 4 y Mapa 14. El registro más común fue el de tortugas de la familia Cheloniidae, sin que sea posible determinar a nivel de especie. Se incluye una explicación al respecto en el capítulo 4.

Tabla 4. Número de avistamientos registrados de los distintos taxones en las prospecciones aéreas de 2026 en el mar Balear.

CÓDIGO	NOMBRE COMÚN	TAXÓN	Nº de avistamientos
BOT	Delfín mular	<i>Tursiops truncatus</i>	36
MOB	Manta	<i>Mobula</i> spp.	78
CUV	Zifio de Cuvier	<i>Ziphius cavirostris</i>	3
MOL	Pez luna	<i>Mola mola</i>	10
NIF	Pez no identificado		5
RDO	Delfín de dientes rugosos	<i>Steno bredanensis</i>	1
RIS	Calderón gris	<i>Grampus griseus</i>	5
SDO	Delfín listado	<i>Stenella coeruleoalba</i>	27
SHA	Tiburón		19
SPE	Cachalote	<i>Physeter macrocephalus</i>	5
SWO	Pez espada	<i>Xiphias gladius</i>	4
WHA	Ballena no identificada	Balaenopteridae	5
UDO	Delfín no identificado	Delphinidae	57
UMM	Cetáceo no identificado	Cetacea	2
UNT	Tortuga no identificada	Cheloniidae	464
TOTAL			721



Mapa 14. Avistamientos de otras especies registrados en las prospecciones aéreas de 2026, en el mar Balear.

4. COMENTARIOS Y PROPUESTAS

4.1. SOFTWARE DE TOMA DE DATOS

Para el registro de los datos de la campaña se utilizó Logger 2010. Aunque este software ofrece una elevada capacidad de personalización para la captura y visualización de la información, su diseño está orientado principalmente a contextos de muestreo en barco, donde el *data logger* puede dedicarse de forma exclusiva a la introducción de la información y no existen limitaciones temporales estrictas. En los muestreos aéreos, por el contrario, la dinámica operativa es considerablemente más exigente, ya que las observaciones se suceden con rapidez y el registro debe realizarse sin comprometer la continuidad del esfuerzo de observación. En este contexto, los censos aéreos son especialmente susceptibles a errores de no detección, recuento e identificación, por lo que la selección de herramientas adecuadas para la adquisición y validación de datos tiene una influencia directa sobre la calidad de la base de datos resultante (Davis *et al.*, 2022).

Como alternativa, específicamente diseñado para este tipo de campañas, SAMMOA se perfila como un software de código abierto desarrollado para la adquisición de datos en muestreos aéreos de megafauna marina, diseñado por Observatoire Pelagis, una unidad de apoyo a la investigación (UAR 3462) dependiente conjuntamente del CNRS y de La Rochelle Université (Francia). Este centro está especializado en el seguimiento, investigación y conservación de la megafauna marina (cetáceos, aves marinas, tortugas, etc.) y desarrolla protocolos, software y herramientas de análisis para campañas aéreas y marítimas. Entre estas herramientas se encuentran SAMMOA y PelaSIG.

SAMMOA es un programa que integra la recepción automática de datos GPS y un sistema de grabación de audio sincronizada, que permite completar durante la fase de posvalidación aquella información que no haya podido registrarse íntegramente en tiempo real durante el vuelo (Nivière *et al.*, 2024). De forma complementaria, PelaSIG constituye la extensión geoespacial que organiza el flujo de trabajo previo y posterior al vuelo. Este complemento para QGIS fue desarrollado para estandarizar las diferentes fases de los muestreos con metodología *Distance Sampling* e integra herramientas para preparar el diseño de muestreo, realizar controles automáticos de calidad, visualizar el esfuerzo y los avistamientos, generar cartografía y exportar los datos para su posterior análisis (Panigada *et al.*, 2024a; Panigada *et al.*, 2024b). En términos operativos, PelaSIG permite preparar los archivos de estratos y transectos en el formato requerido por SAMMOA, ejecutar comprobaciones automáticas de coherencia sobre los archivos de esfuerzo y observación, linearizar el esfuerzo, segmentarlo para análisis espaciales o de muestreo por distancias y exportar los resultados en formatos interoperables (Nivière *et al.*, 2024).

Además, permite la integración completa con el programa Distance (Thomas *et al.*, 2010). El flujo metodológico entre Distance, SAMMOA y PelaSIG puede entenderse como una secuencia integrada de diseño, adquisición, validación y análisis de datos. Distance se emplea en las fases de diseño del muestreo y análisis estadístico mediante metodologías de muestreo por distancias, basadas en el registro de la distancia a las

detecciones para estimar densidad y abundancia. El software incorpora motores analíticos como CDS, MCDS y MRDS, además de herramientas para el diseño de surveys y modelización espacial (Thomas *et al.*, 2010). A partir de este diseño, PelaSIG adapta los archivos de estratos y transectos para su utilización en SAMMOA antes de cada campaña. Durante el vuelo, con SAMMOA, que cuenta con integración de datos GPS, se registran las observaciones en tiempo real y se obtienen grabaciones de audio sincronizadas, para facilitar la validación posterior de los datos. Finalizado el muestreo, PelaSIG procesa directamente los archivos generados por SAMMOA, ejecuta controles automáticos de calidad, relaciona el esfuerzo con los avistamientos y prepara los datos para su explotación cartográfica y análisis posteriores (Nivière *et al.*, 2024; Thomas *et al.*, 2010).

Por todo ello, se considera que la combinación SAMMOA–PelaSIG constituye un sistema más robusto y mejor adaptado a las exigencias del muestreo aéreo que herramientas de propósito general desarrolladas para otros contextos operativos. Su utilización reduce la carga manual asociada al registro y depuración de datos, mejora la trazabilidad de los eventos registrados y favorece la estandarización de los procesos de validación, análisis y generación de productos. Sin embargo, para adaptar estas herramientas al muestreo de túnidos, se deberán implementar cambios menores en la interface de toma de datos, sobre todo en lo que respecta a la plantilla de avistamiento. Dichos cambios deben ser realizados por los diseñadores de las herramientas (Observatoire Pelagis y La Rochelle Université).

Estas herramientas se han incorporado a diversos programas internacionales de seguimiento aéreo de megafauna marina y campañas europeas a gran escala, entre ellas ACCOBAMS Survey Initiative (ASI), ObSERVE II y SCANS IV.

En caso de mantenerse el uso de Logger 2010 en futuras campañas, se recomienda revisar y optimizar el protocolo de adquisición de datos con el objetivo de minimizar el tiempo que el *data logger* debe dedicar al registro de información durante el vuelo. Dado que la plantilla de esfuerzo ya registra los eventos asociados al estado del esfuerzo y del transecto, convendría evaluar la necesidad de registrar de forma redundante, en las plantillas de avistamiento de Bluefin tuna, eventos operativos como la salida del transecto (LE), el reinicio del transecto (RE) y el inicio de los círculos (SC).

Esta información puede reconstruirse posteriormente mediante el análisis de las trayectorias GPS en un entorno SIG, obteniendo una delimitación más precisa y consistente de estos eventos. Esto reduciría la carga de trabajo del *data logger* durante los avistamientos de la especie objetivo, momento crucial, máxime si se tienen detecciones secundarias de otros grupos. Así, se contribuiría a mejorar la eficiencia en la toma de datos, así como su calidad y precisión.

4.2. RESULTADOS: TORTUGAS MARINAS

Con respecto a los registros de tortugas marinas, la identificación desde plataformas aéreas presenta limitaciones para discriminar entre las distintas especies de la familia *Cheloniidae*, tal como señalan DiMatteo *et al.* (2022). Por este motivo, todos los avistamientos se registraron como UNT (*unidentified turtle*). Este criterio coincide con el adoptado en otros programas de muestreo aéreo centrados en cetáceos y tortugas marinas, como la *Aerial Survey Initiative* (ASI) de ACCOBAMS (Panigada *et al.*, 2021; Panigada *et al.*, 2024b), y los programas de seguimiento de las Estrategias Marinas, que aplican el *Protocolo Nacional de muestreo aéreo de cetáceos mediante Distance Sampling* (IEO, 2022). En ambos casos se considera que la identificación de los individuos de esta familia a nivel de especie no es suficientemente fiable. Cabe destacar que estos programas se desarrollan a una altitud de vuelo de 600 pies, es decir, 400 pies por debajo de la altitud estándar utilizada en los muestreos aéreos de ICCAT, lo que, en principio, favorecería una identificación más precisa.

No obstante, la tortuga boba (*Caretta caretta*) es, con diferencia, la especie de tortuga marina más abundante y ampliamente distribuida del Mediterráneo (Casale *et al.*, 2018; Girard *et al.*, 2021; Mariani *et al.*, 2023; Serra *et al.*, 2023). Por ello, en ausencia de caracteres diagnósticos claramente visibles, resulta razonable considerar que la mayoría de los avistamientos registrados como UNT corresponden a esta especie, al ser la principal esperable en aguas oceánicas mediterráneas. Esta interpretación es coherente con el patrón de abundancia, distribución y reproducción de *C. caretta* en la cuenca mediterránea (DiMatteo *et al.*, 2022; Omeyer *et al.*, 2021). En consecuencia, estos registros pueden tratarse como correspondientes a tortuga boba en análisis posteriores, siempre que este supuesto se indique de forma explícita y se reconozca la incertidumbre asociada a la identificación taxonómica.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Casale, P., Broderick, A. C., Camiñas, J. A., Cardona, L., Carreras, C., Demetropoulos, A., Fuller, W. J., Godley, B. J., Hochscheid, S., & Kaska, Y. (2018). Mediterranean sea turtles: current knowledge and priorities for conservation and research. *Endangered Species Research*, 36, 229-267.
- Davis, K. L., Silverman, E. D., Sussman, A. L., Wilson, R. R., & Zipkin, E. F. (2022). Errors in aerial survey count data: Identifying pitfalls and solutions. *Ecology and evolution*, 12(3), e8733.
- DiMatteo, A., Cañadas, A., Roberts, J., Sparks, L., Panigada, S., Boisseau, O., Moscrop, A., Fortuna, C. M., Lauriano, G., & Holcer, D. (2022). Basin-wide estimates of loggerhead turtle abundance in the Mediterranean Sea derived from line transect surveys. *Frontiers in Marine Science*, 9, 930412.
- Girard, F., Catteau, S., Gambaiani, D., Gérigny, O., Sénégas, J. B., Moisson, P., & Claro, F. (2021). Shift in demographic structure and increased reproductive activity of loggerhead turtles in the French Mediterranean Sea revealed by long-term monitoring. *Scientific Reports*, 11(1), 23164.
- IEO. (2022). Protocolo Nacional de muestreo aéreo de cetáceos mediante distance sampling. Versión 1.0. . *Centro Nacional Instituto Español de Oceanografía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IEO-CSIC). Estrategias Marinas Españolas*.
- Mariani, G., Bellucci, F., Cocumelli, C., Raso, C., Hochscheid, S., Roncari, C., Nerone, E., Recchi, S., Di Giacinto, F., & Olivieri, V. (2023). Dietary preferences of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in two Mediterranean feeding grounds: does prey selection change with habitat use throughout their life cycle? *Animals*, 13(4), 654.
- Nivière, M., Blanchard, A., Jraifi, O., Van Canneyt, O., Dorémus, G., Spitz, J., Mansoux, B., Panigada, S., & Laran, S. (2024). PelaSIG, a QGIS plugin for marine megafauna census: application to the aerial ACCOBAMS Survey Initiative dataset. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1270335.
- Omeyer, L. C. M., Stokes, K. L., Beton, D., Çiçek, B. A., Davey, S., Fuller, W. J., Godley, B. J., Sherley, R. B., Snape, R. T. E., & Broderick, A. C. (2021). Investigating differences in population recovery rates of two sympatrically nesting sea turtle species. *Animal Conservation*, 24(5), 832-846. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/acv.12689>
- Panigada, S., Bejaoui, N., Boisseau, O., Amaha Öztürk, A., & Ridoux, V. (2024a). The ACCOBAMS Survey Initiative (ASI): implementing large scale surveys for marine megafauna in the Mediterranean and Black Seas. In (Vol. 11, pp. 1503350): Frontiers Media SA.
- Panigada, S., Boisseau, O., Canadas, A., Lambert, C., Laran, S., McLanaghan, R., & Moscrop, A. (2021). Estimates of abundance and distribution of cetaceans, marine mega-fauna and marine litter in the Mediterranean Sea from 2018-2019 surveys. *Monaco: ACCOBAMS-ACCOBAMS Survey Initiative Project, Monaco*, 177.

- Panigada, S., Pierantonio, N., Araújo, H., David, L., Di-Méglio, N., Dorémus, G., Gonzalvo, J., Holcer, D., Laran, S., & Lauriano, G. (2024b). The ACCOBAMS survey initiative: the first synoptic assessment of cetacean abundance in the Mediterranean Sea through aerial surveys. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1270513.
- Serra, F., Iaccarino, D., Fiorito, F., Di Nocera, F., Esposito, M., Cerracchio, C., Esposito, E., Lambiase, S., Degli Uberti, B., Lucifora, G., De Carlo, E., Fusco, G., & Amoroso, M. G. (2023). Investigation on anthropogenic and opportunistic factors relevant to the incidence of stranded loggerhead sea turtle *Caretta caretta* along South Tyrrhenian coasts [Original Research]. *Frontiers in Marine Science*, Volume 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1116804>
- Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Hedley, S. L., Bishop, J. R., Marques, T. A., & Burnham, K. P. (2010). Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology*, 47(1), 5-14.

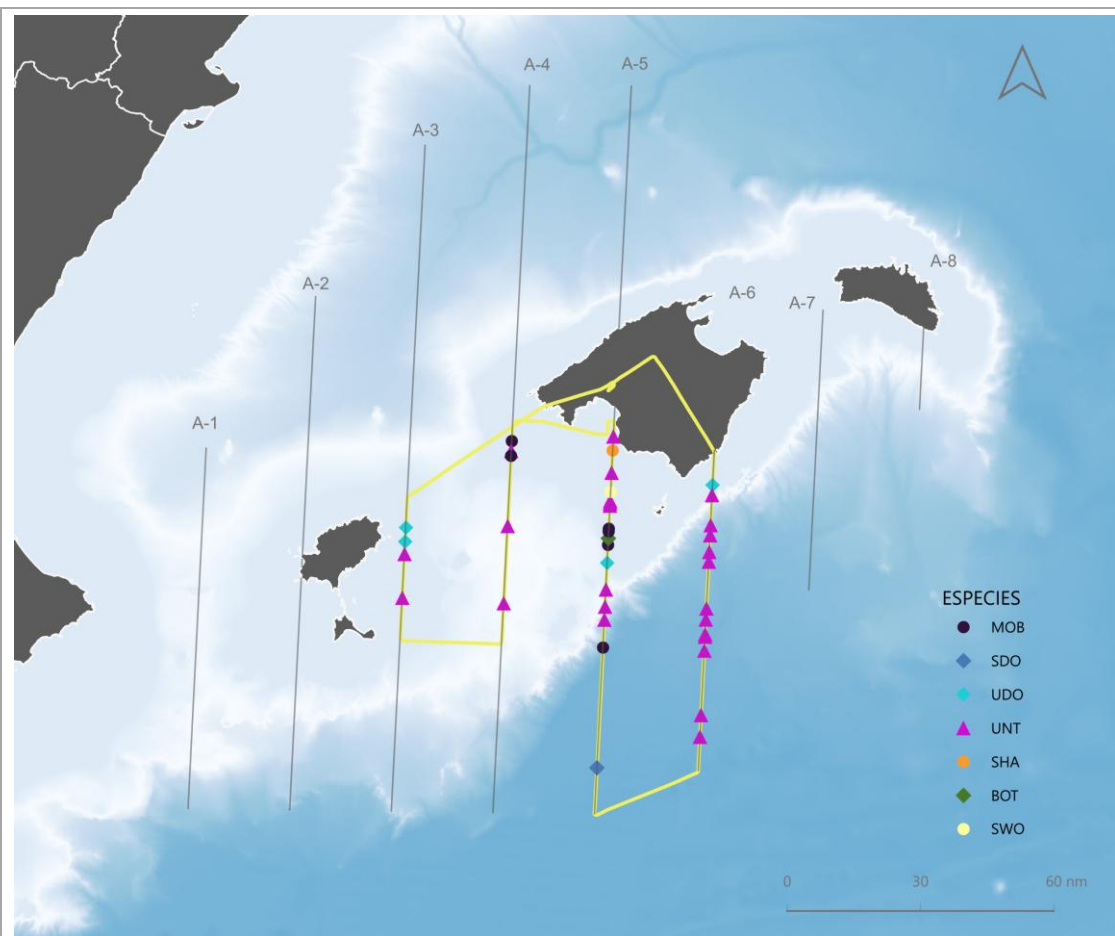
6. ANEXO I. FICHAS DE VUELO

VUELO 1

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY	
Date	01-jun-26	ALB	0
Survey	1	BFT	0
Departure Time	07:45	BOT	1
Landing Time	11:30	CAR	0
Total Time	03:45	COD	0
On effort Time	02:22	CUV	0
Off effort Time	01:23	FIN	0
		KIL	0
		LEA	0
		MIN	0
		MOB	6
		MOL	0
		MOS	0
		NIF	0
		OTH	0
		PIL	0
		RDO	0
		RIS	0
		SDO	1
		SHA	1
		SPE	0
		SWO	1
		UDO	4
		UMM	0
		UNT	25
		WHA	1
		TOTAL	40

Recorrido y avistamientos

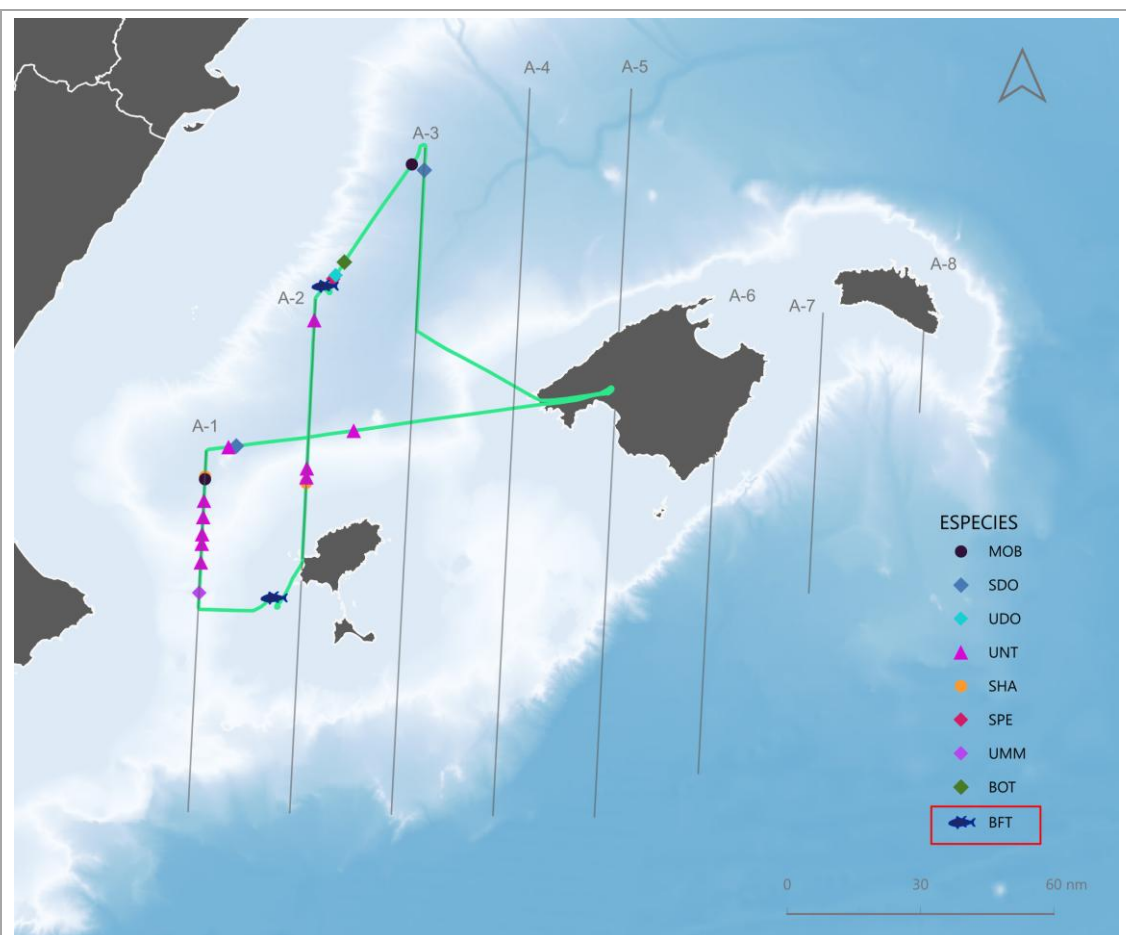


VUELO 2

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY	
Date	02-jun-26	ALB	0
Survey	2	BFT	2
Departure Time	11:00	BOT	1
Landing Time	14:25	CAR	0
Total Time	03:25	COD	0
On effort Time	02:11	CUV	0
Off effort Time	01:14	FIN	0
		KIL	0
		LEA	0
		MIN	0
		MOB	2
		MOL	0
		MOS	0
		NIF	0
		OTH	0
		PIL	0
		RDO	0
		RIS	1
		SDO	2
		SHA	2
		SPE	1
		SWO	0
		UDO	1
		UMM	1
		UNT	10
		WHA	0
		TOTAL	23

Recorrido y avistamientos



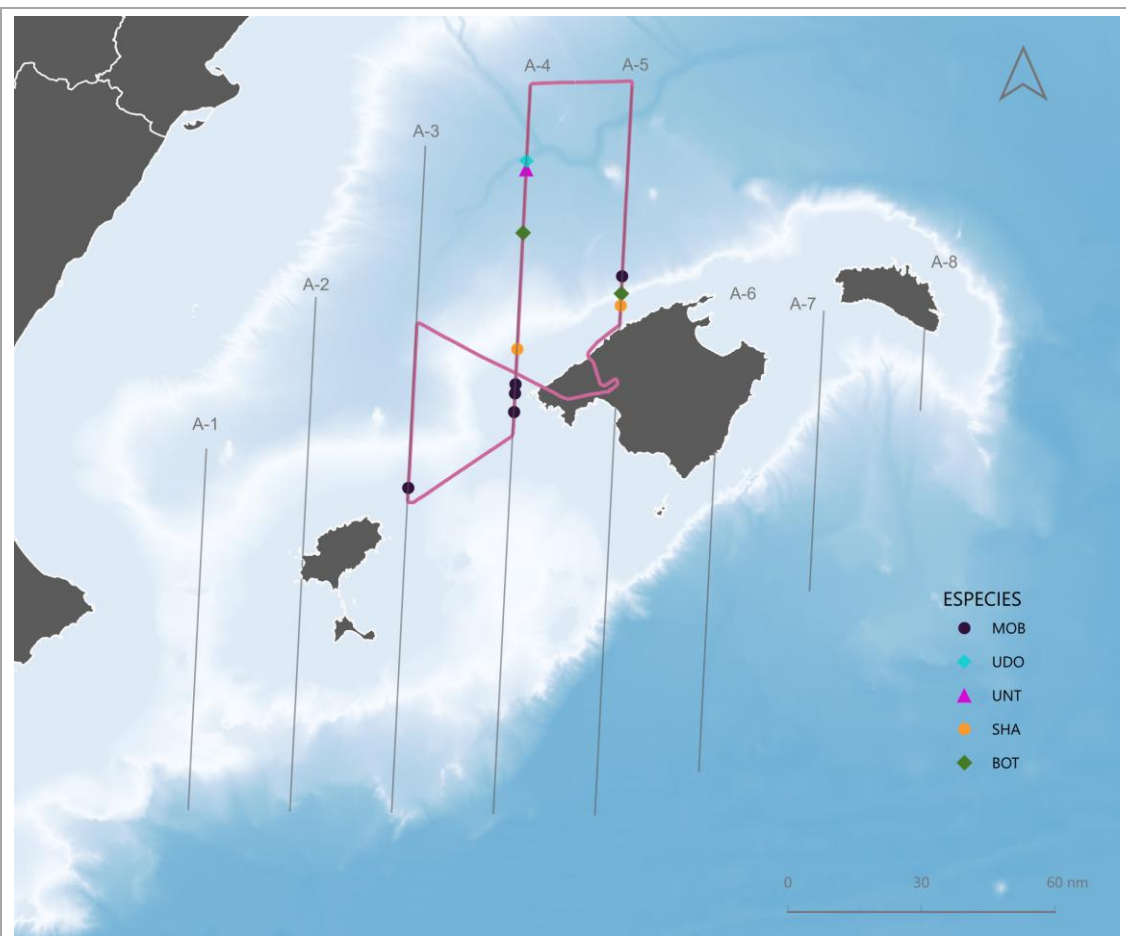
Mapa 16. Vuelo 2 realizado el día 02 de junio de 2026.

VUELO 3

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY	
Date	03-jun-26	ALB	0
Survey	3	BFT	0
Departure Time	11:45	BOT	2
Landing Time	14:30	CAR	0
Total Time	02:45	COD	0
On effort Time	01:48	CUV	0
Off effort Time	00:57	FIN	0
		KIL	0
		LEA	0
		MIN	0
		MOB	5
		MOL	0
		MOS	0
		NIF	0
		OTH	0
		PIL	0
		RDO	0
		RIS	0
		SDO	0
		SHA	2
		SPE	0
		SWO	0
		UDO	1
		UMM	0
		UNT	1
		WHA	0
		TOTAL	11

Recorrido y avistamientos



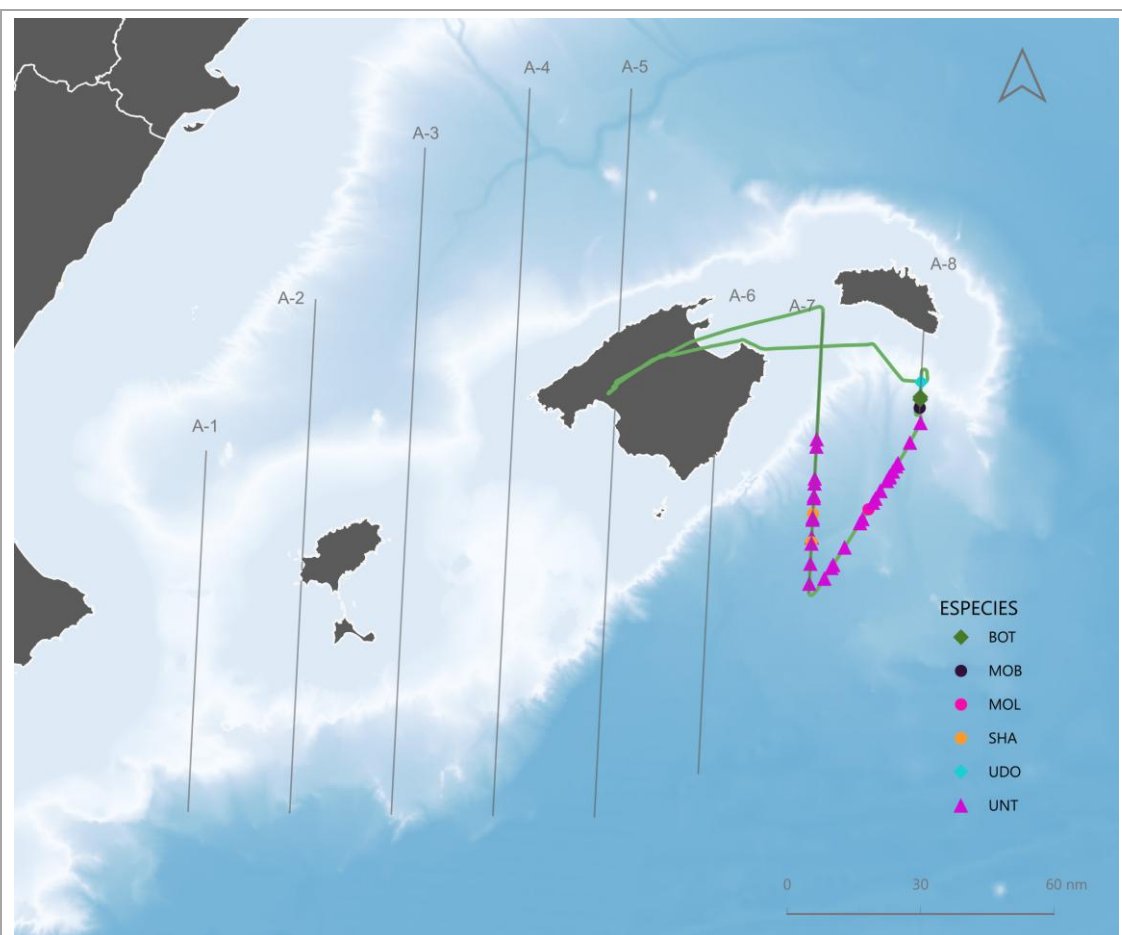
Mapa 17. Vuelo 3 realizado el día 3 de junio de 2026.

VUELO 4

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY	
Date	04-jun-26	ALB	0
Survey	4	BFT	0
Departure Time	06:50	BOT	2
Landing Time	09:10	CAR	0
Total Time	02:20	COD	0
On effort Time	01:06	CUV	0
Off effort Time	01:14	FIN	0
		KIL	0
		LEA	0
		MIN	0
		MOB	1
		MOL	1
		MOS	0
		NIF	0
		OTH	0
		PIL	0
		RDO	0
		RIS	0
		SDO	0
		SHA	2
		SPE	0
		SWO	0
		UDO	1
		UMM	0
		UNT	30
		WHA	0
		TOTAL	37

Recorrido y avistamientos



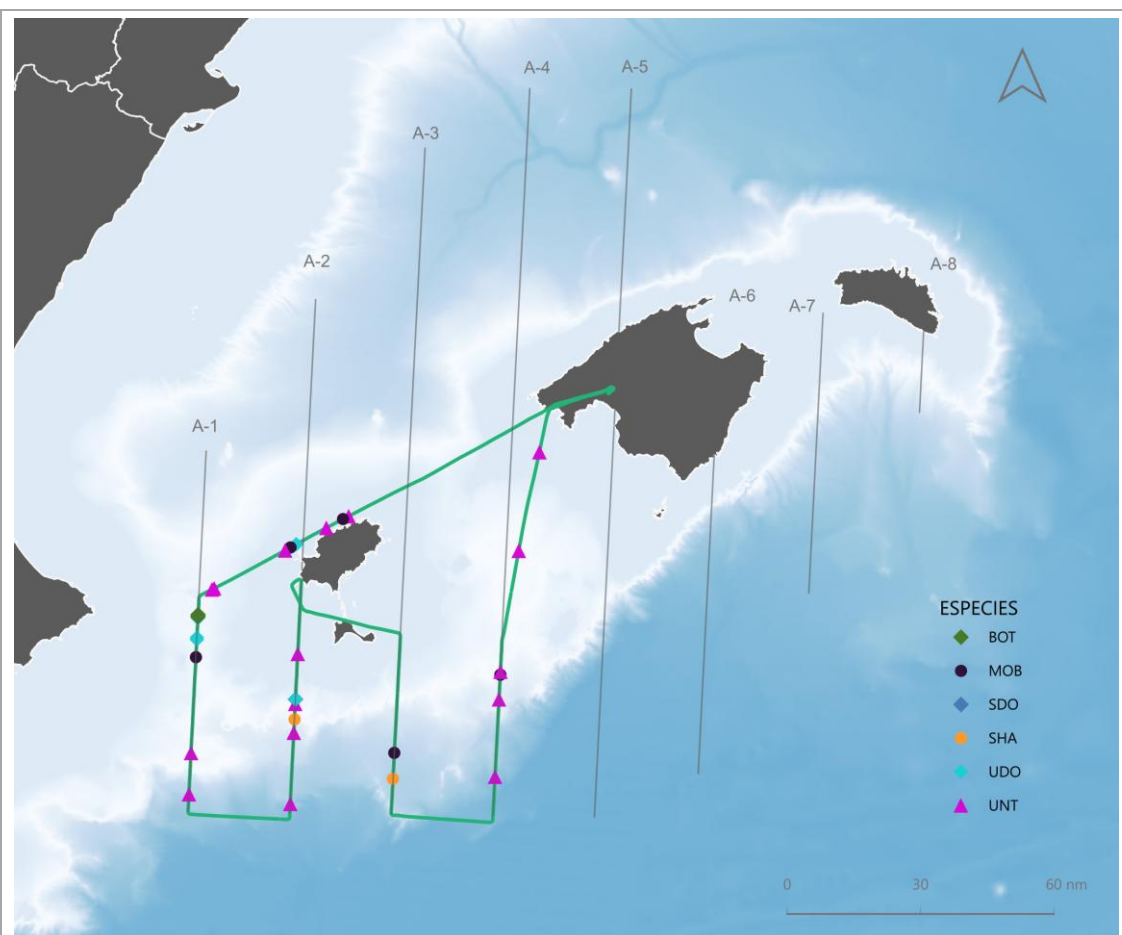
Mapa 18. Vuelo 4 realizado el día 4 de junio de 2026.

VUELO 5

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY	
Date	06-jun-26	ALB	0
Survey	5	BFT	0
Departure Time	07:05	BOT	2
Landing Time	10:55	CAR	0
Total Time	03:50	COD	0
On effort Time	03:00	CUV	0
Off effort Time	00:50	FIN	0
		KIL	0
		LEA	0
		MIN	0
		MOB	5
		MOL	0
		MOS	0
		NIF	0
		OTH	0
		PIL	0
		RDO	0
		RIS	0
		SDO	1
		SHA	2
		SPE	0
		SWO	0
		UDO	5
		UMM	0
		UNT	16
		WHA	0
		TOTAL	31

Recorrido y avistamientos



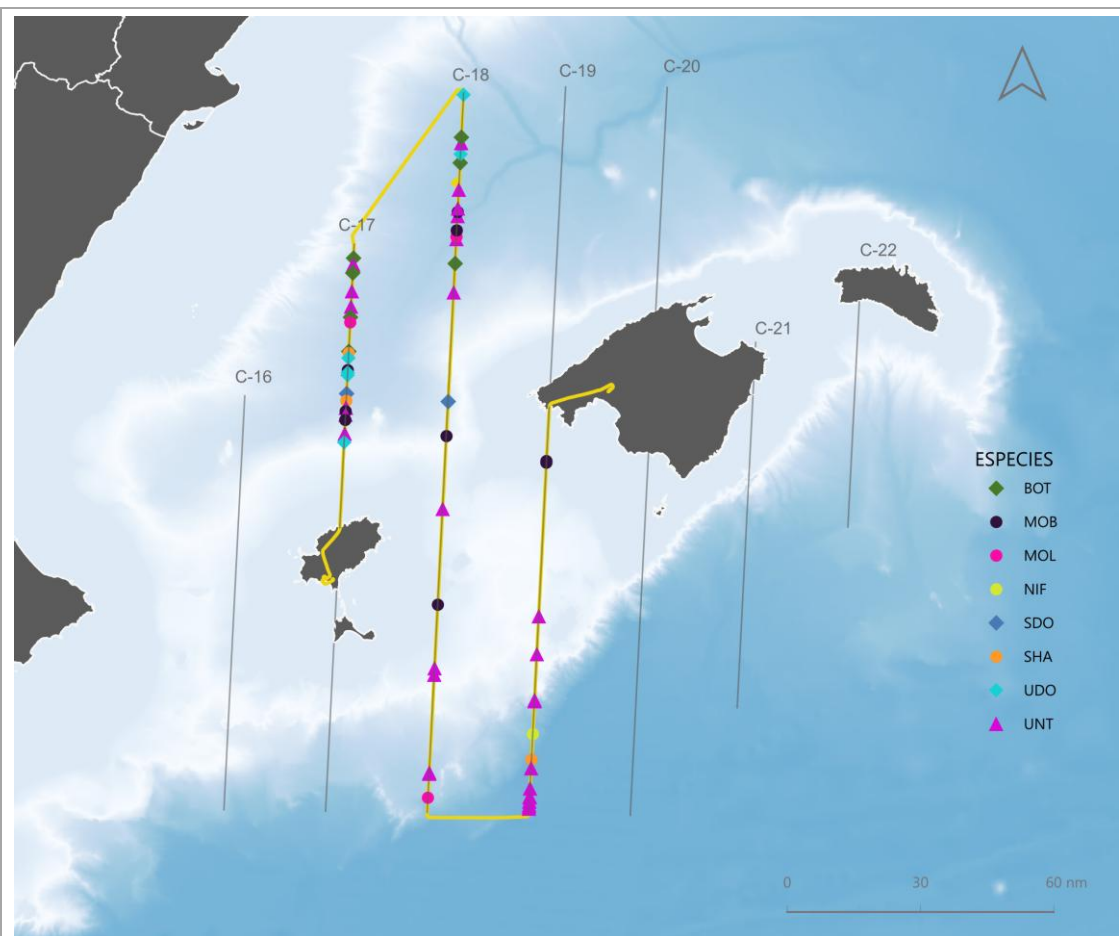
Mapa 19. Vuelo 5 realizado el día 6 de junio de 2026.

VUELO 6

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY	
Date	08-jun-26	ALB	0
Survey	6	BFT	0
Departure Time	08:05	BOT	7
Landing Time	11:50	CAR	0
Total Time	03:45	COD	0
On effort Time	03:08	CUV	1
Off effort Time	00:37	FIN	0
		KIL	0
		LEA	0
		MIN	0
		MOB	9
		MOL	3
		MOS	0
		NIF	1
		OTH	0
		PIL	0
		RDO	0
		RIS	1
		SDO	3
		SHA	3
		SPE	0
		SWO	0
		UDO	8
		UMM	0
		UNT	31
		WHA	0
		TOTAL	67

Recorrido y avistamientos

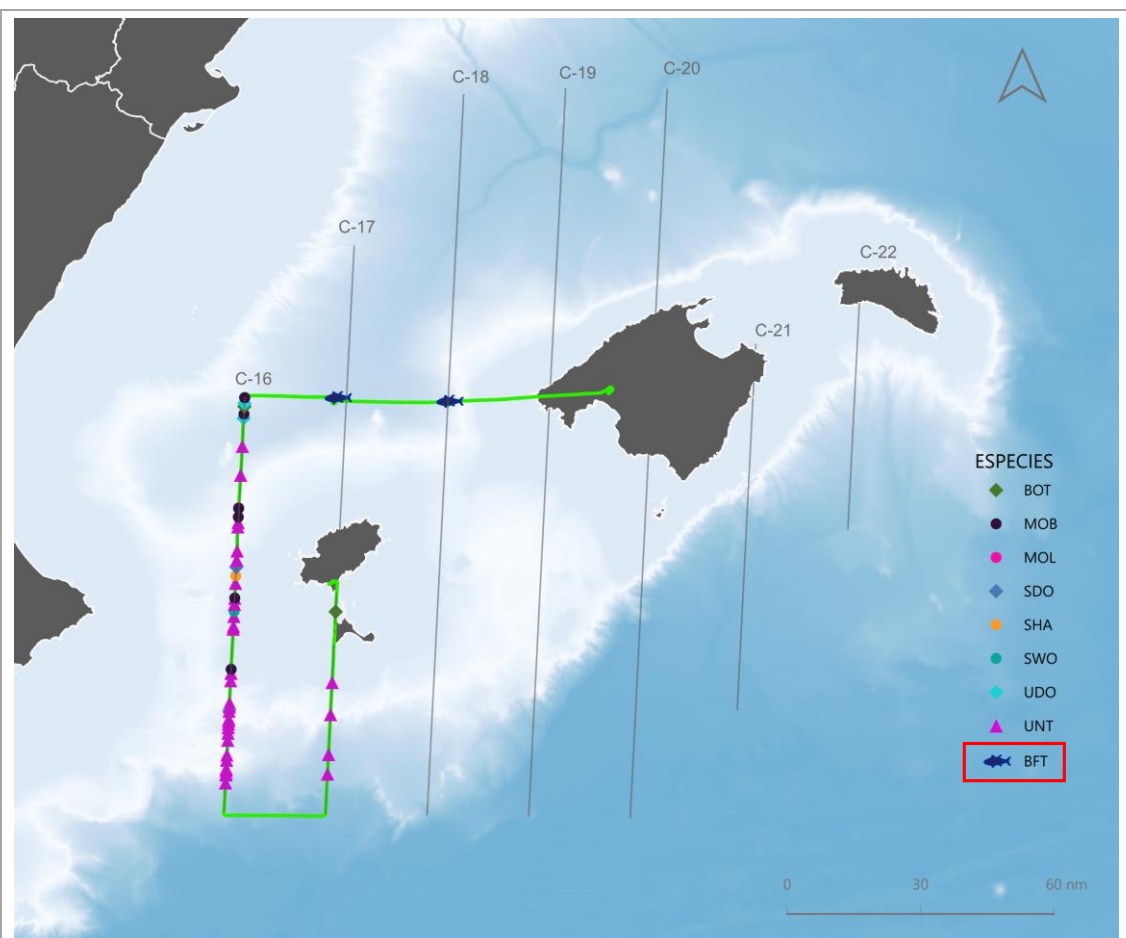


VUELO 7

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY			
Date	8 de jun de 26	ALB	0	NIF	0
Survey	7	BFT	2	OTH	0
Departure Time	13:50	BOT	2	PIL	0
Landing Time	16:45	CAR	0	RDO	0
Total Time	02:55	COD	0	RIS	0
On effort Time	01:22	CUV	0	SDO	1
Off effort Time	01:33	FIN	0	SHA	1
		KIL	0	SPE	0
		LEA	0	SWO	1
		MIN	0	UDO	3
		MOB	7	UMM	0
		MOL	1	UNT	34
		MOS	0	WHA	1
		TOTAL			53

Recorrido y avistamientos



Mapa 21. Vuelo 7 realizado el día 8 de junio de 2026.

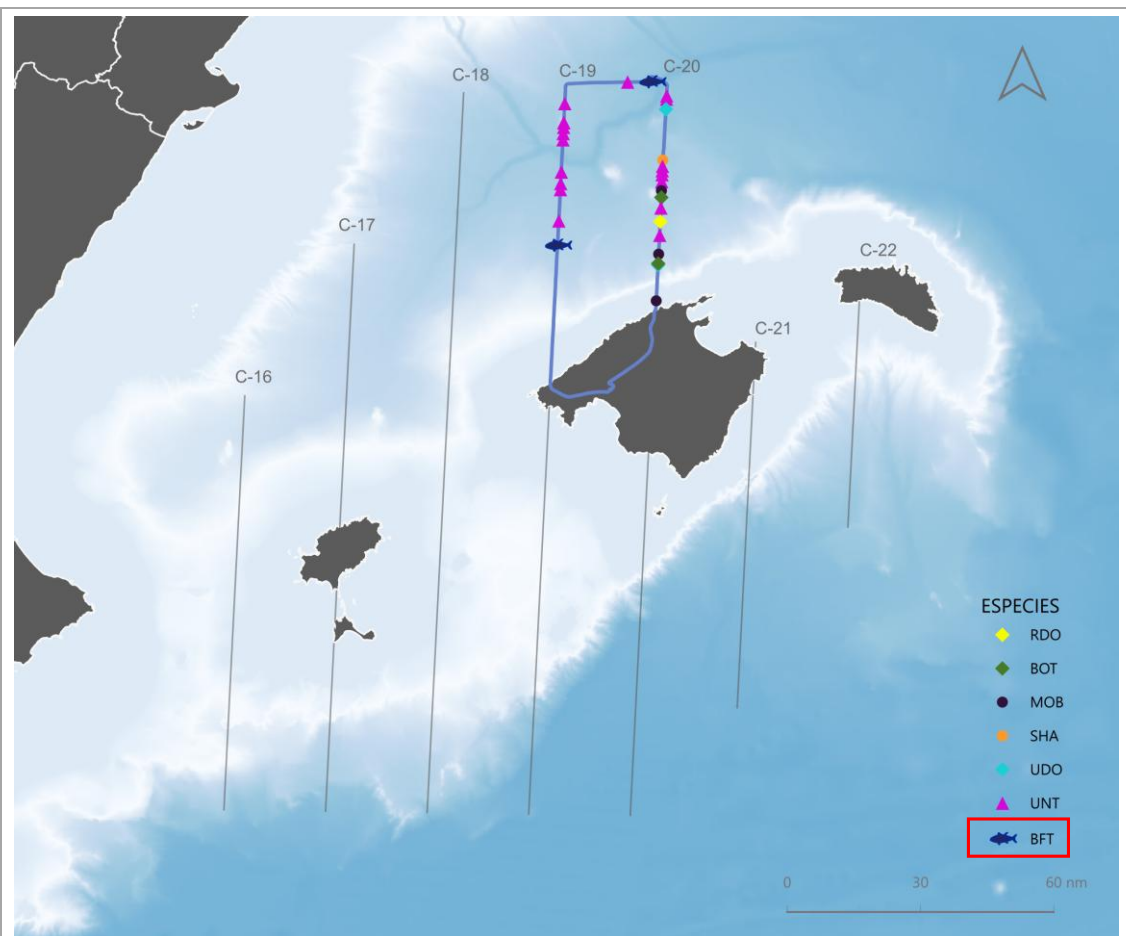
VUELO 8

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY	
Date	11 de jun de 26
Survey	8
Departure Time	14:05
Landing Time	16:15
Total Time	02:10
On effort Time	01:21
Off effort Time	00:49

SIGHTINGS DATA SUMMARY			
ALB	0	NIF	0
BFT	2	OTH	0
BOT	2	PIL	0
CAR	0	RDO	1
COD	0	RIS	0
CUV	0	SDO	0
FIN	0	SHA	1
KIL	0	SPE	0
LEA	0	SWO	0
MIN	0	UDO	2
MOB	3	UMM	0
MOL	0	UNT	19
MOS	0	WHA	1
TOTAL			31

Recorrido y avistamientos



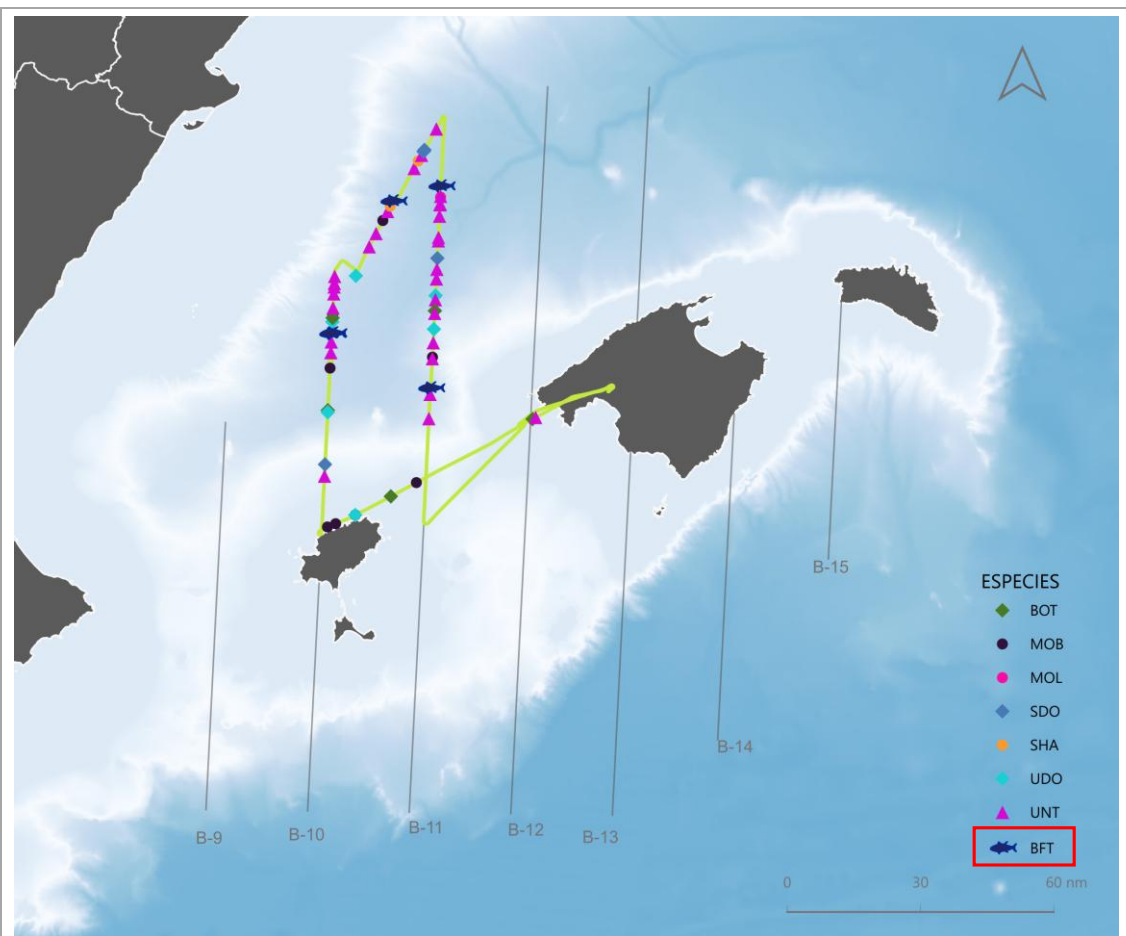
VUELO 9

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY	
Date	12 de jun de 26
Survey	9
Departure Time	07:15
Landing Time	10:45
Total Time	03:30
On effort Time	02:31
Off effort Time	00:59

SIGHTINGS DATA SUMMARY			
ALB	0	NIF	0
BFT	5	OTH	0
BOT	5	PIL	0
CAR	0	RDO	0
COD	0	RIS	1
CUV	0	SDO	4
FIN	0	SHA	2
KIL	0	SPE	0
LEA	0	SWO	0
MIN	0	UDO	6
MOB	8	UMM	0
MOL	1	UNT	30
MOS	0	WHA	1
TOTAL			63

Recorrido y avistamientos



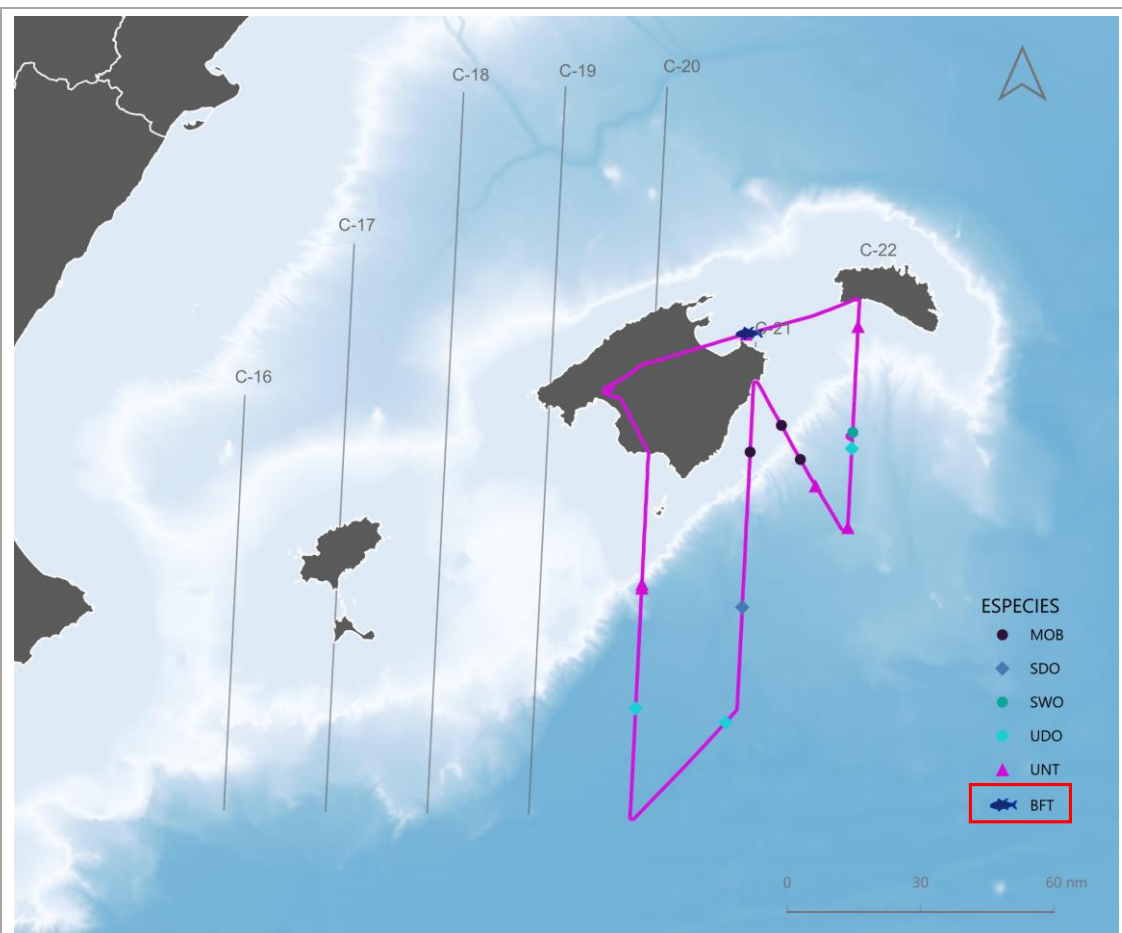
VUELO 10

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY	
Date	13 de jun de 26
Survey	10
Departure Time	11:50
Landing Time	15:20
Total Time	03:30
On effort Time	02:52
Off effort Time	00:38

SIGHTINGS DATA SUMMARY			
ALB	0	NIF	0
BFT	1	OTH	0
BOT	0	PIL	0
CAR	0	RDO	0
COD	0	RIS	0
CUV	0	SDO	1
FIN	0	SHA	0
KIL	0	SPE	0
LEA	0	SWO	1
MIN	0	UDO	3
MOB	3	UMM	0
MOL	0	UNT	6
MOS	0	WHA	0
TOTAL			15

Recorrido y avistamientos



Mapa 24. Vuelo 10 realizado el día 13 de junio de 2026.

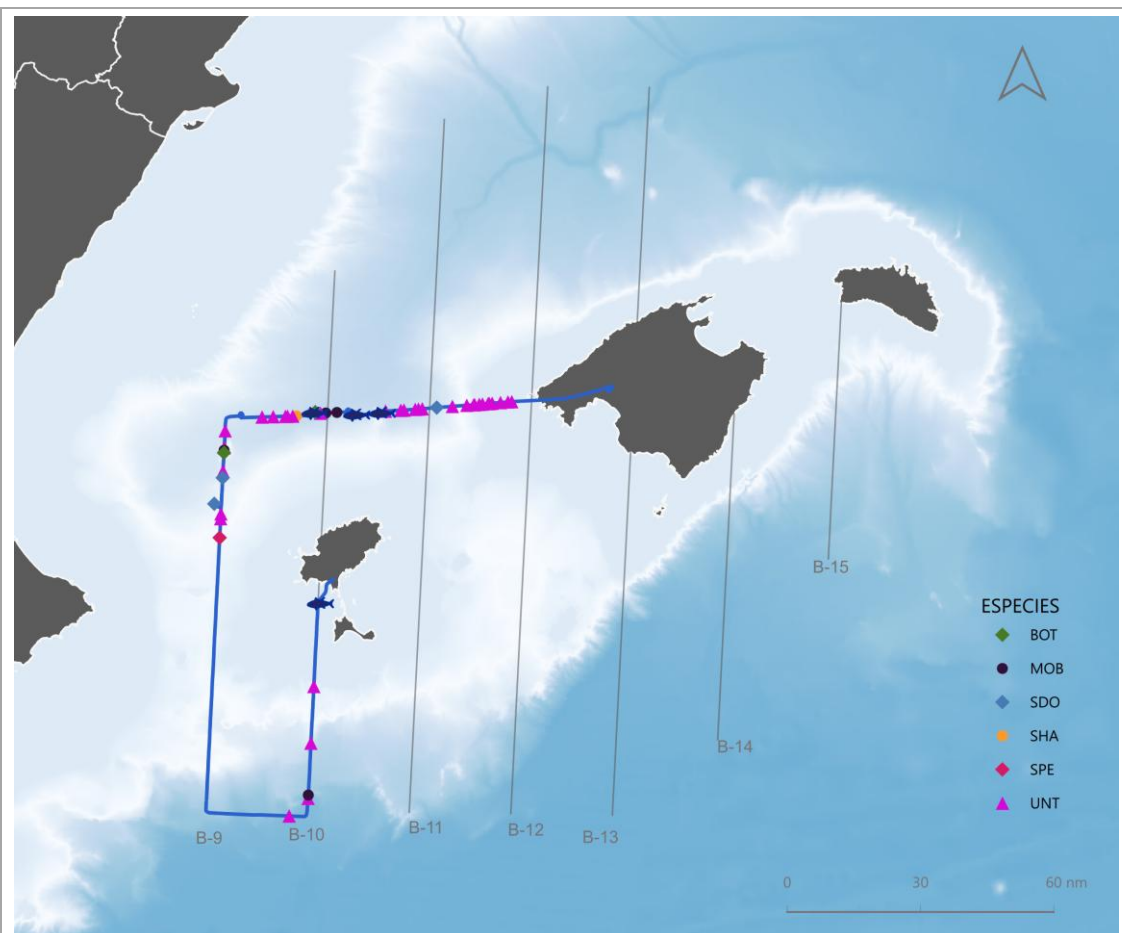
VUELO 11

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY	
Date	14 de jun de 26
Survey	11
Departure Time	06:40
Landing Time	09:15
Total Time	02:35
On effort Time	02:07
Off effort Time	00:28

SIGHTINGS DATA SUMMARY			
ALB	0	NIF	0
BFT	4	OTH	0
BOT	2	PIL	0
CAR	0	RDO	0
COD	0	RIS	1
CUV	0	SDO	3
FIN	0	SHA	1
KIL	0	SPE	1
LEA	0	SWO	0
MIN	0	UDO	0
MOB	4	UMM	0
MOL	0	UNT	33
MOS	0	WHA	1
TOTAL			50

Recorrido y avistamientos



Mapa 25. Vuelo 11 realizado el día 24 de junio de 2026.

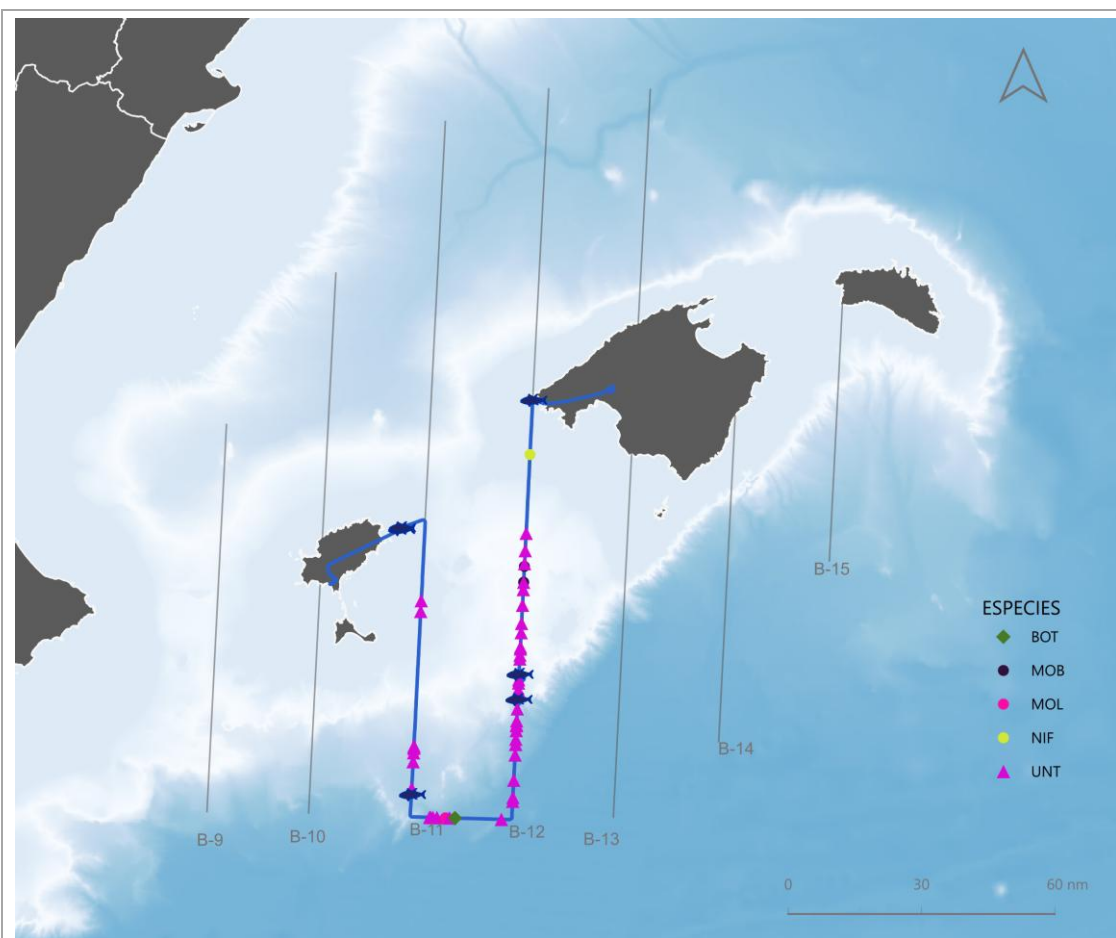
VUELO 12

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY	
Date	14 de jun de 26
Survey	12
Departure Time	10:35
Landing Time	13:50
Total Time	03:15
On effort Time	01:54
Off effort Time	01:21

SIGHTINGS DATA SUMMARY			
ALB	0	NIF	1
BFT	6	OTH	0
BOT	1	PIL	0
CAR	0	RDO	0
COD	0	RIS	1
CUV	1	SDO	0
FIN	0	SHA	0
KIL	0	SPE	0
LEA	0	SWO	0
MIN	0	UDO	0
MOB	2	UMM	0
MOL	1	UNT	42
MOS	0	WHA	0
TOTAL			55

Recorrido y avistamientos

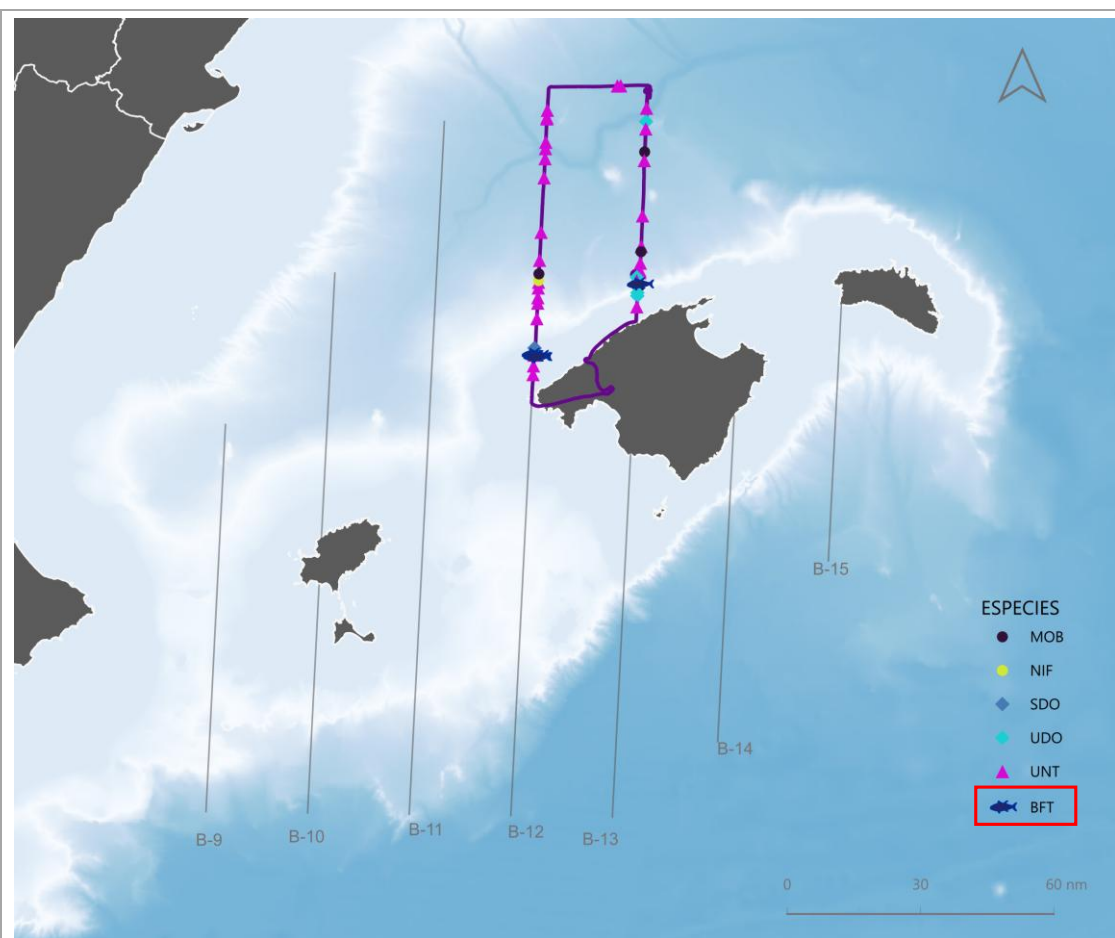


VUELO 13

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY	
Date	15 de jun de 26	ALB	0
Survey	13	BFT	4
Departure Time	13:10	BOT	0
Landing Time	15:30	CAR	0
Total Time	02:20	COD	0
On effort Time	01:26	CUV	0
Off effort Time	00:54	FIN	0
		KIL	0
		LEA	0
		MIN	0
		MOB	4
		MOL	0
		MOS	0
		NIF	1
		OTH	0
		PIL	0
		RDO	0
		RIS	0
		SDO	1
		SHA	0
		SPE	0
		SWO	0
		UDO	5
		UMM	0
		UNT	29
		WHA	0
		TOTAL	44

Recorrido y avistamientos



Mapa 27. Vuelo 13 realizado el día 15 de junio de 2026.

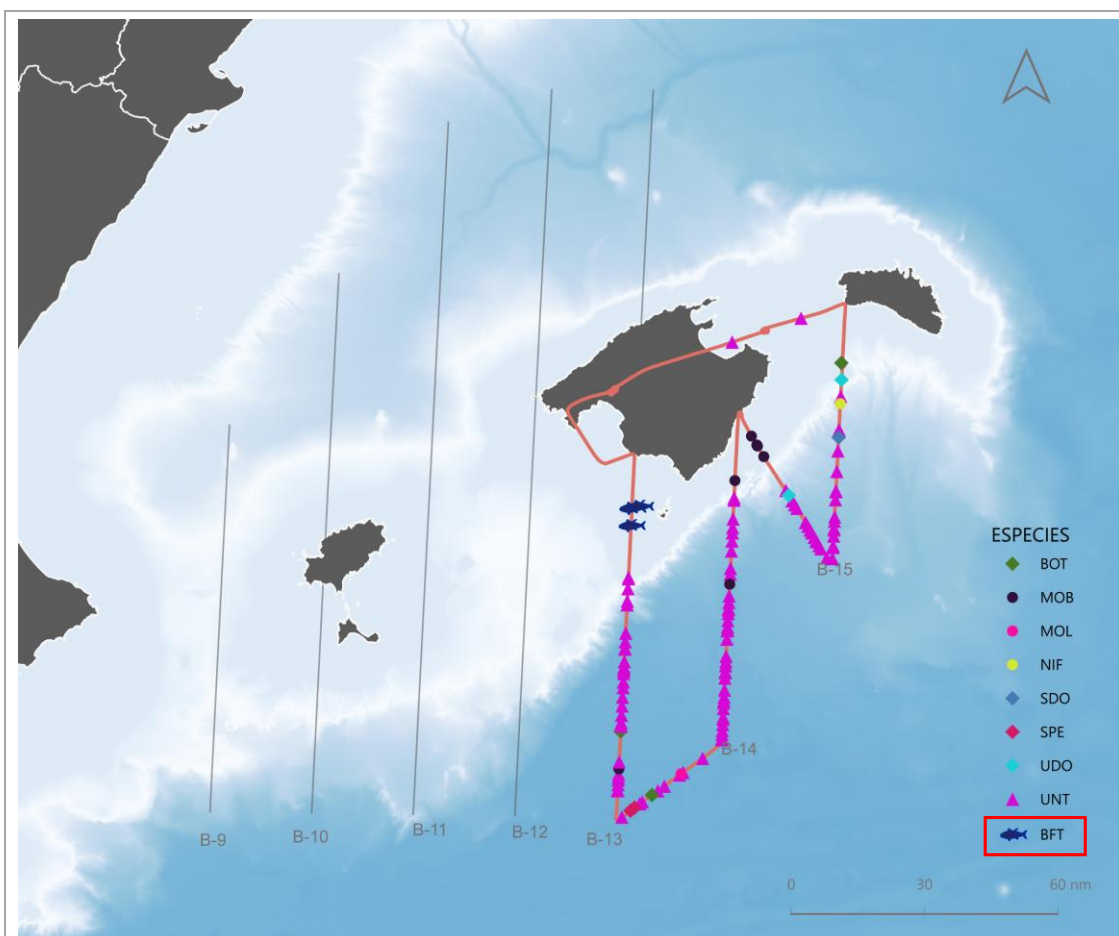
VUELO 14

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY	
Date	16 de jun de 26
Survey	14
Departure Time	08:10
Landing Time	12:00
Total Time	03:50
On effort Time	02:54
Off effort Time	00:56

SIGHTINGS DATA SUMMARY			
ALB	0	NIF	1
BFT	4	OTH	0
BOT	3	PIL	0
CAR	0	RDO	0
COD	0	RIS	0
CUV	0	SDO	1
FIN	0	SHA	0
KIL	0	SPE	2
LEA	0	SWO	0
MIN	0	UDO	2
MOB	7	UMM	0
MOL	1	UNT	105
MOS	0	WHA	0
TOTAL			126

Recorrido y avistamientos



Mapa 28. Vuelo 14 realizado el día 16 de junio de 2026.

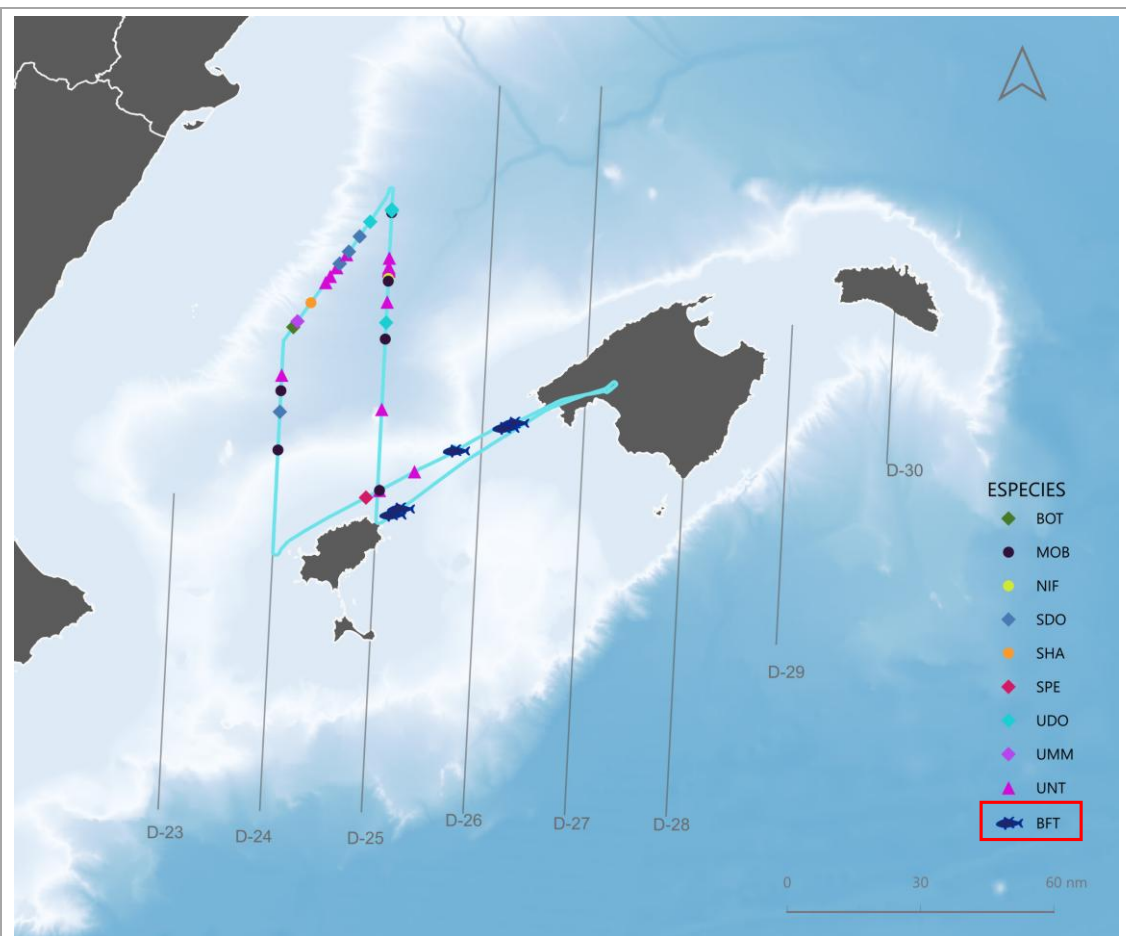
VUELO 15

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY	
Date	17 de jun de 26
Survey	15
Departure Time	07:40
Landing Time	10:40
Total Time	03:00
On effort Time	02:11
Off effort Time	00:49

SIGHTINGS DATA SUMMARY			
ALB	0	NIF	1
BFT	5	OTH	0
BOT	1	PIL	0
CAR	0	RDO	0
COD	0	RIS	0
CUV	0	SDO	5
FIN	0	SHA	1
KIL	0	SPE	1
LEA	0	SWO	0
MIN	0	UDO	4
MOB	6	UMM	1
MOL	0	UNT	14
MOS	0	WHA	0
TOTAL			39

Recorrido y avistamientos



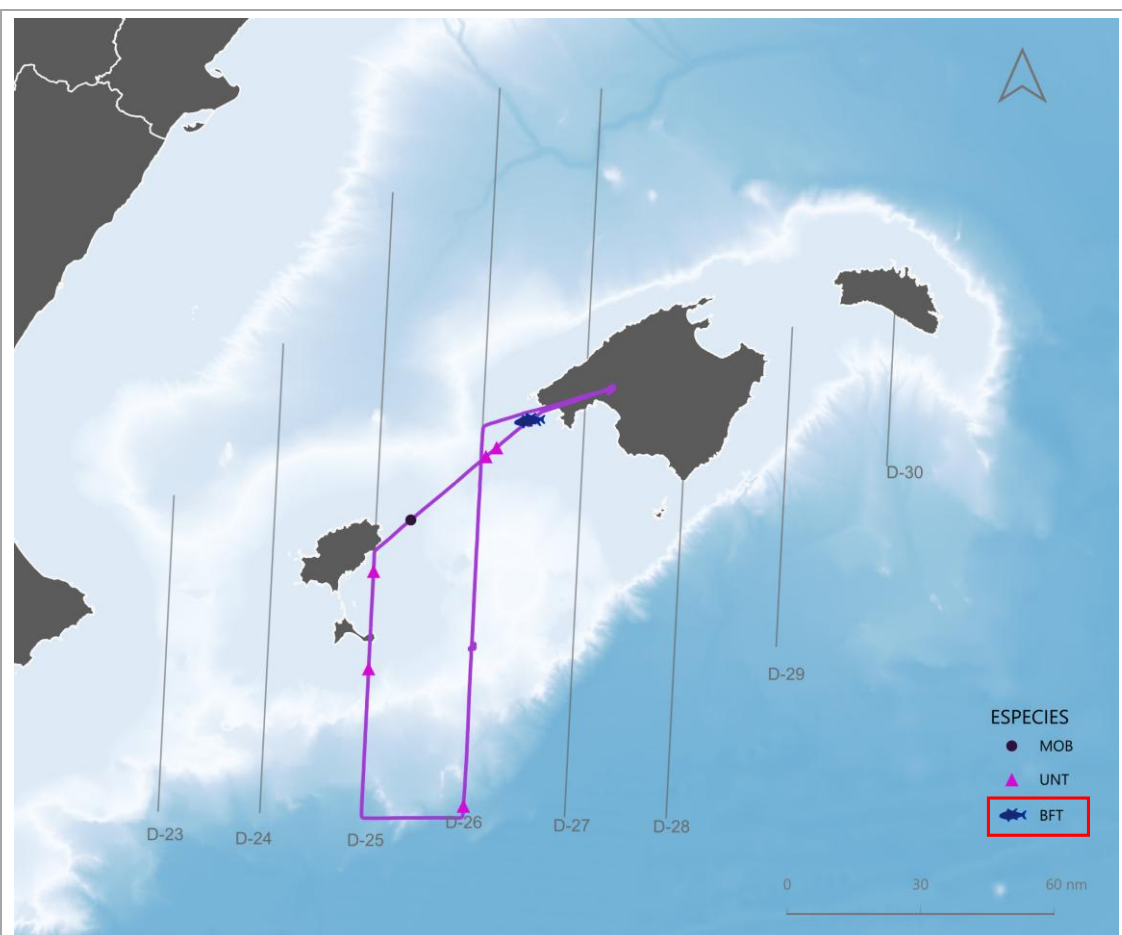
Mapa 29. Vuelo 15 realizado el día 17 de junio de 2026.

VUELO 16

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY			
Date	19 de jun de 26	ALB	0	NIF	0
Survey	16	BFT	2	OTH	0
Departure Time	12:10	BOT	0	PIL	0
Landing Time	14:55	CAR	0	RDO	0
Total Time	02:45	COD	0	RIS	0
On effort Time	02:07	CUV	0	SDO	0
Off effort Time	00:38	FIN	0	SHA	0
		KIL	0	SPE	0
		LEA	0	SWO	0
		MIN	0	UDO	0
		MOB	1	UMM	0
		MOL	0	UNT	5
		MOS	0	WHA	0
		TOTAL			8

Recorrido y avistamientos



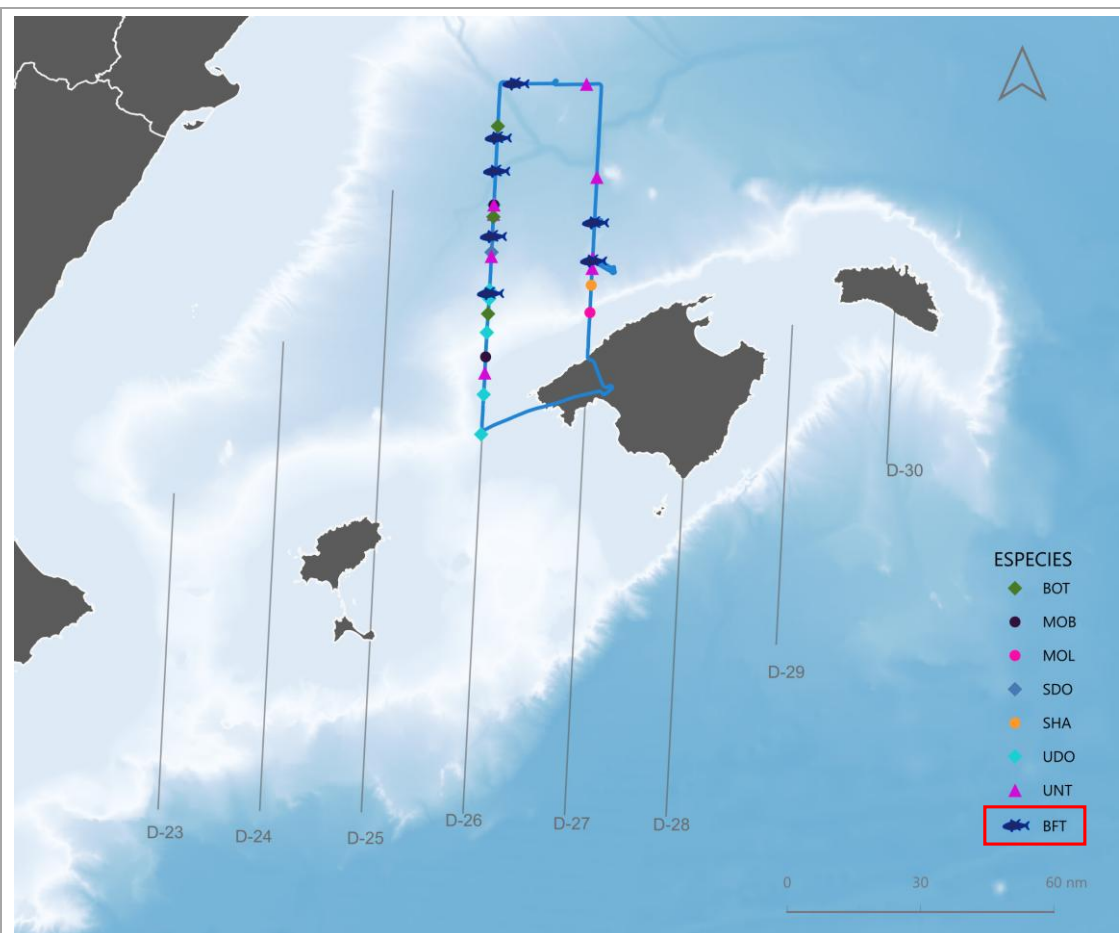
Mapa 30. Vuelo 16 realizado el día 19 de junio de 2026.

VUELO 17

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY			
Date	21 de jun de 26	ALB	0	NIF	0
Survey	17	BFT	7	OTH	0
Departure Time	07:50	BOT	3	PIL	0
Landing Time	10:10	CAR	0	RDO	0
Total Time	02:20	COD	0	RIS	0
On effort Time	01:40	CUV	0	SDO	2
Off effort Time	00:40	FIN	0	SHA	1
		KIL	0	SPE	0
		LEA	0	SWO	0
		MIN	0	UDO	6
		MOB	2	UMM	0
		MOL	1	UNT	8
		MOS	0	WHA	0
		TOTAL			30

Recorrido y avistamientos



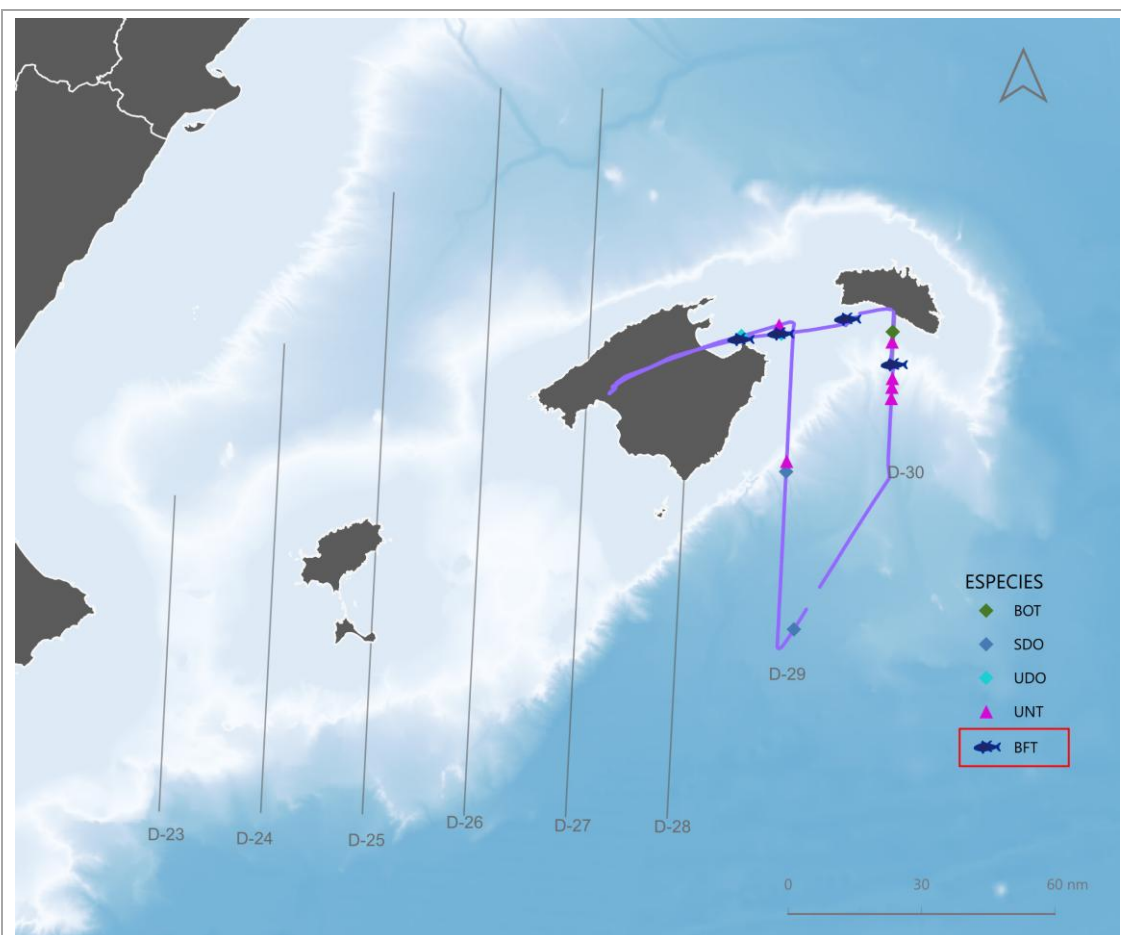
Mapa 31. Vuelo 17 realizado el día 21 de junio de 2026.

VUELO 18

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY			
Date	22 de jun de 26	ALB	0	NIF	0
Survey	18	BFT	4	OTH	0
Departure Time	07:00	BOT	1	PIL	0
Landing Time	10:05	CAR	0	RDO	0
Total Time	03:05	COD	0	RIS	0
On effort Time	01:48	CUV	1	SDO	2
Off effort Time	01:17	FIN	0	SHA	0
		KIL	0	SPE	0
		LEA	0	SWO	0
		MIN	0	UDO	2
		MOB	0	UMM	0
		MOL	0	UNT	6
		MOS	0	WHA	0
		TOTAL			16

Recorrido y avistamientos

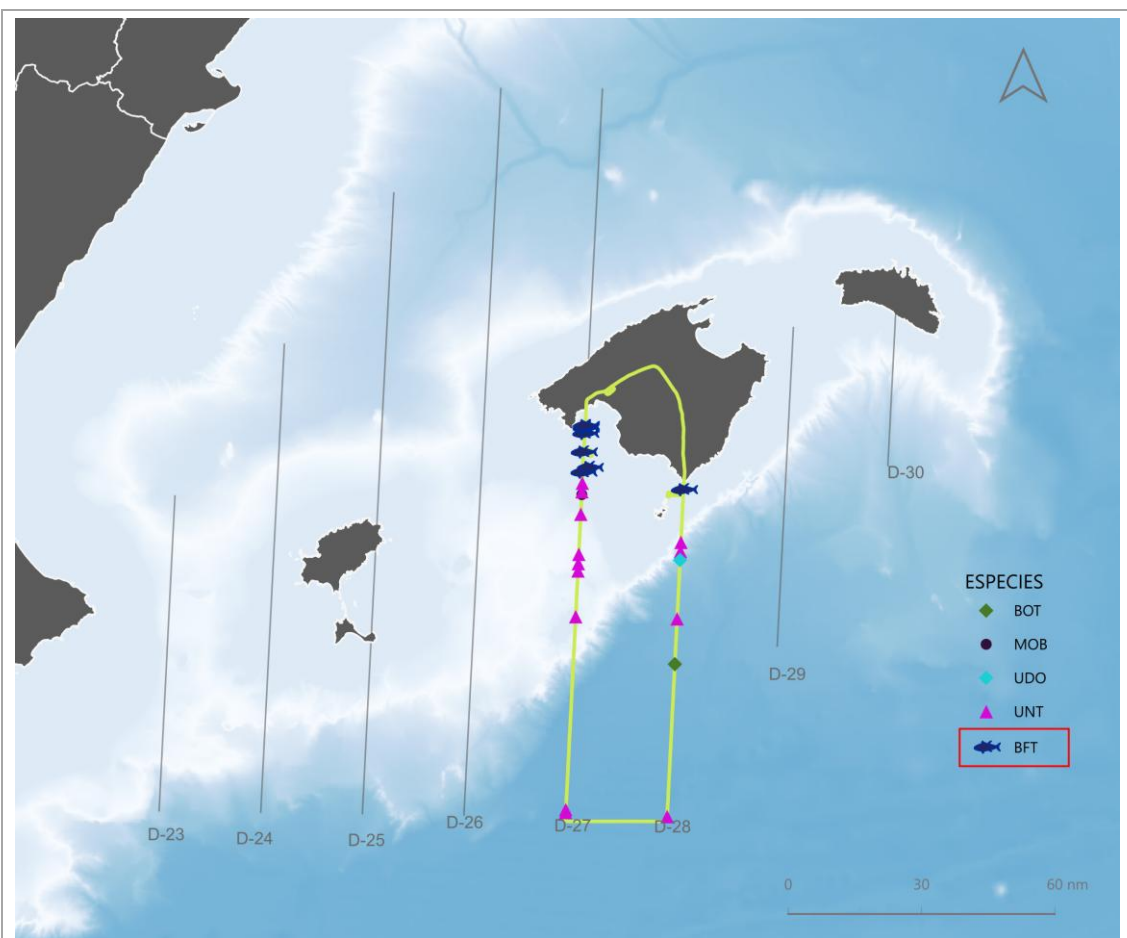


VUELO 19

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY	
Date	23-jun-26	ALB	0
Survey	19	BFT	8
Departure Time	12:05	BOT	1
Landing Time	14:55	CAR	0
Total Time	02:50	COD	0
On effort Time	01:50	CUV	0
Off effort Time	01:00	FIN	0
		KIL	0
		LEA	0
		MIN	0
		MOB	1
		MOL	0
		MOS	0
		NIF	0
		OTH	0
		PIL	0
		RDO	0
		RIS	0
		SDO	0
		SHA	0
		SPE	0
		SWO	0
		UDO	1
		UMM	0
		UNT	13
		WHA	0
		TOTAL	24

Recorrido y avistamientos



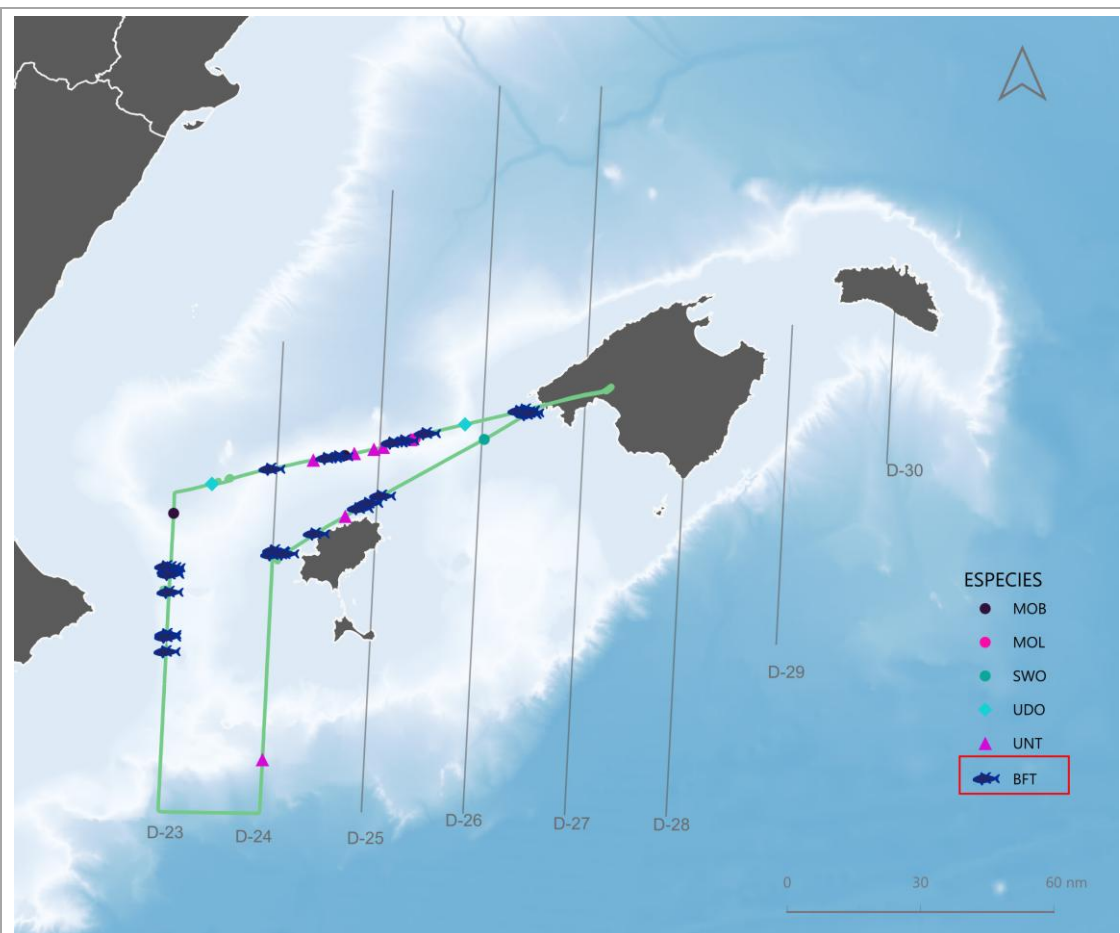
Mapa 33. Vuelo 19 realizado el día 23 de junio de 2026.

VUELO 20

Datos del muestreo

SURVEY DATA SUMMARY		SIGHTINGS DATA SUMMARY	
Date	24-jun-26	ALB	0
Survey	20	BFT	27
Departure Time	06:30	BOT	0
Landing Time	10:15	CAR	0
Total Time	03:45	COD	0
On effort Time	02:13	CUV	0
Off effort Time	01:32	FIN	0
		KIL	0
		LEA	0
		MIN	0
		MOB	2
		MOL	1
		MOS	0
		NIF	0
		OTH	0
		PIL	0
		RDO	0
		RIS	0
		SDO	0
		SHA	0
		SPE	0
		SWO	1
		UDO	3
		UMM	0
		UNT	7
		WHA	0
		TOTAL	41

Recorrido y avistamientos



Mapa 34. Vuelo 20 realizado el día 24 de junio de 2026.