

## **Estima del patrón de residencia y tamaño poblacional del delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*) en aguas de la isla de El Hierro (Islas Canarias)**

Residence pattern and population size estimates of rough toothed dolphin (*Steno bredanensis*) in waters around the island of El Hierro (Canary Islands)



Foto: Chloé Yzoard

Trabajo de Fin de Grado

**Valeria Marino**

Tutora: Covadonga Rodríguez González

Co-tutora: Patricia Arranz Alonso

Co-supervisora: Elisabet Badosa Clemente

Grado en Biología, junio 2023

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	1
<b>1- INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>2- OBJETIVOS</b> .....	5
<b>3- MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	6
3.1- Área de estudio.....	6
3.2- Registro de avistamientos desde tierra .....	7
3.3- Equipo de mar .....	8
3.4- Análisis de fotoidentificación.....	8
3.5- Estudio del patrón de residencia.....	12
3.6- Estima del tamaño poblacional .....	13
<b>4- RESULTADOS</b> .....	14
4.1- Esfuerzo fotográfico y fotoidentificación .....	14
4.2- Patrón de residencia .....	18
4.3- Tamaño poblacional .....	19
<b>5- DISCUSIÓN</b> .....	20
<b>6- CONCLUSIONES</b> .....	22
<b>7- CONCLUSIONS</b> .....	23
<b>8- BIBLIOGRAFÍA</b> .....	24
<b>9- AGRADECIMIENTOS</b> .....	28

## RESUMEN

El conocimiento de los parámetros demográficos de las poblaciones de cetáceos resulta fundamental con el fin de evaluar su estado de conservación y aplicar las correctas medidas de gestión. El delfín de dientes rugosos (*Steno bredaenensis*) es una especie muy poco estudiada, pero hay evidencias de la presencia de esta especie en el archipiélago canario. En el presente trabajo se investigan los patrones de residencia y la abundancia de delfines de dientes rugosos en las aguas de la isla de El Hierro utilizando datos de fotoidentificación recogidos entre los años 2008 y 2021. Utilizando las imágenes de mejor calidad se identificaron un total de 60 individuos de los cuales el 18,3% resultaron ser residentes, el 13,3% visitantes y el 68,3% transeúntes. La abundancia se estimó mediante la técnica de captura-recaptura bajo un modelo de población cerrada, siendo a mejor estima de 155 individuos (95% IC 106-256). Estos resultados contribuyen al conocimiento de la dinámica poblacional y patrón de distribución de la especie en Canarias con implicaciones en la mitigación de las posibles interacciones de este delfínido con actividades antrópicas como es el caso de la pesca del alto en la isla de El Hierro.

**Palabras clave:** delfín de dientes rugosos, fotoidentificación, captura-recaptura, población cerrada, estima de abundancia.

## ABSTRACT

Knowledge of the demographic parameters of cetacean populations is essential in order to assess their conservation status and implement appropriate management measures. The rough-toothed dolphin (*Steno bredaenensis*) is a species that has been poorly studied, but there is evidence of its presence in the Canary Islands archipelago. This study investigates the residency patterns and abundance of rough-toothed dolphins in the waters of El Hierro Island, using photo-identification data collected between 2008 and 2021. By utilizing the highest quality images, a total of 60 individuals were identified, of which 18.3% were found to be residents, 13.3% were visitors, and 68.3% were transients. Abundance was estimated using the capture-recapture technique under a closed population model, yielding the best estimate of 155 individuals (95% CI 106-256). These results contribute to our understanding of the population dynamics and distribution pattern of this species in the Canary Islands, with implications for mitigating potential interactions of this dolphin species with anthropogenic activities such as high-seas fishing off El Hierro Island.

**Key words:** rough-toothed dolphin, photo-identification, capture-recapture, closed population, abundance estimation.

## 1- INTRODUCCIÓN

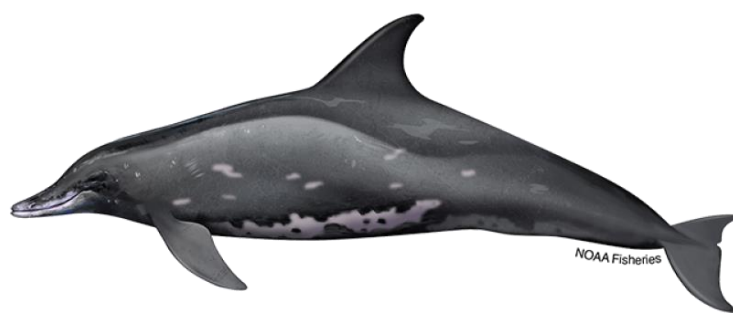
Los cetáceos desempeñan un papel clave en los ecosistemas marinos (van Weelden et al., 2021), siendo esenciales, por ejemplo, en la recirculación de nutrientes oceánicos (Albouy et al., 2020; Pauly et al., 1998; Roman et al., 2014; Roman y McCarthy, 2010). Como otros depredadores cúspide, sus poblaciones pueden verse afectadas por el cambio climático o las actividades antrópicas (Harwood, 2001; Simmonds y Elliott, 2009). Por ello, es importante realizar estimas sobre los parámetros demográficos de las poblaciones de cetáceos para comprender aspectos entorno a su ecología y dinámica poblacional (Fruet et al., 2015; Thompson et al., 1998). El seguimiento poblacional a largo plazo es fundamental para determinar estrategias de conservación para estas especies (Evans y Hammond, 2004).

La técnica de captura-recaptura mediante fotoidentificación es uno de los métodos no invasivos más utilizados para realizar estimaciones de densidad y abundancia de poblaciones de cetáceos. Esta consiste en capturar, mediante fotografía, a una porción de la población de estudio, y posteriormente, volver a capturarla (Hammond et al., 1990), pudiendo así evaluar los cambios sufridos por esa población. Para la captura, normalmente se utilizan las marcas naturales presentes en las aletas, como muescas, o patrones de pigmentación o cicatrices únicos del ejemplar (Hupman, 2016), que varían dependiendo de la especie. Al igual que otros métodos de captura, el fin de la fotoidentificación es llevar a cabo estudios estadísticos para determinar parámetros cuantitativos de poblaciones, como, por ejemplo: supervivencia, reclutamiento, tasa de crecimiento de la población, conectividad, estructura social etc. (Lettink y Armstrong, 2003; Urian et al., 2015). Se estima que con imágenes de suficiente calidad es posible identificar individualmente una porción representativa de la población de cualquier especie de cetáceo (Hammond et al., 1990).

Las Islas Canarias son consideradas un punto caliente de biodiversidad marina. Actualmente 31 especies de cetáceos de las 90 descritas en todo el mundo han sido registradas en estas aguas, pertenecientes a siete familias (Carrillo, 2007; Jefferson et al., 2015). Esto convierte las aguas del archipiélago en una de las áreas más diversas en cetáceos a nivel europeo (Herrera et al., 2021) y mundial. Las características oceanográficas de la zona son adecuadas tanto para cetáceos con afinidad por aguas tropicales como para aquellos con afinidad por aguas templadas. Las aguas típicamente oligotróficas del Océano Atlántico coexisten con las aguas ricas en nutrientes que afloran junto a la costa africana, originadas por la Corriente de Canarias (Barton et al., 1998). Además, el hecho de ser islas volcánicas con una plataforma insular muy

reducida determina la existencia de grandes profundidades cerca de la costa, y por ello es habitual la presencia de especies oceánicas (Correia et al., 2020) como es el caso del delfín de dientes rugosos.

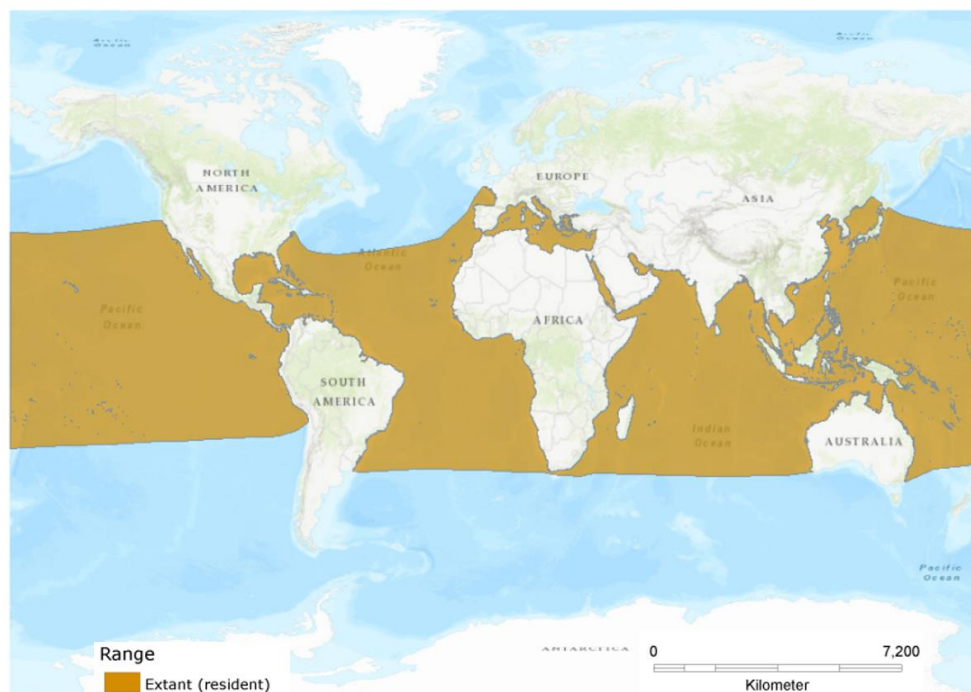
El delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*, G. Cuvier in Lesson, 1828) es una especie de cetáceo odontoceto de la familia Delphinidae, la única del género (Worms, 2023). Es una especie poco conocida y debe su nombre a las numerosas crestas verticales, o arrugas, que confieren una textura rugosa a los dientes de este delfínido (Jefferson, 2009). El delfín de dientes rugosos se caracteriza por ser fácilmente distinguible de otras especies al ser el único delfín que no presenta la demarcación que separa el melón y el rostro. Como resultado, presenta una frente gradualmente inclinada, que se fusiona en un rostro largo y delgado (Jefferson, 2009; West et al., 2011) (Figura 1). Otras características distintivas del delfín de dientes rugosos son los labios y la punta del pico que pueden presentar una coloración blanquecina y las aletas pectorales relativamente grandes y posicionadas más posteriormente respecto a otros pequeños cetáceos (Kerem et al., 2016). Poseen una constitución particularmente robusta y la aleta dorsal es alta y con una morfología falciforme. Este delfín presenta un patrón de coloración generalmente de tres tonos: una capa oscura bien delineada en el dorso, los flancos grises y la superficie ventral blanca (Jefferson et al., 2015). El delfín de dientes rugosos presenta dimorfismo sexual, los machos suelen ser ligeramente más grandes que las hembras, con tallas que oscilan entre 209 y 275 cm para los machos y 212 y 255 cm para las hembras. El peso de los adultos oscila entre 90 y 155 kg (West et al., 2011).



**Figura 1.** Ilustración del delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*) (Imágen: NOAA Fisheries).

Su dieta es relativamente poco conocida, pero gracias a estudios del contenido estomacal de individuos varados se sabe que incluye peces oceánicos y costeros, y cefalópodos (Lodi y Hetzel, 1999). En algunas regiones, se les ha observado alimentándose de grandes peces pelágicos, en particular de dorado (*Coryphaena hippurus*) (Pitman y Stinchcomb, 2002).

Además, la escasez de estudios sobre la ecología y la biología de esta especie hace difícil establecer una distribución exacta del delfín de dientes rugosos. Esto es debido también a que se considera una especie difícil de observar en el mar (Baird et al., 2008). El delfín de dientes rugosos presenta una distribución mundial, principalmente en aguas tropicales, subtropicales y templadas entre 40°N y 35°S (Figura 2). Se suele encontrar en aguas oceánicas profundas, aunque en algunas zonas se puede observar cerca de la costa (Jefferson et al., 2015; Kiszka et al., 2019; West et al., 2011), como por ejemplo en la Polinesia Francesa, Hawái y las Islas Canarias. Esto parece estar relacionado con la abundancia de presas debido a fenómenos de upwelling generados por procesos hidrodinámicos relacionados con el efecto masa de las islas (Baird et al., 2008; Oremus et al., 2012; Ritter, 2002). En estos lugares, la especie se observa sobre todo a profundidades entre 500 y 2000 m y a distancias de 2-5,5 km de la costa (Baird et al., 2008; Gannier y West, 2005; Ritter, 2002). Esta especie se distribuye en grupos relativamente pequeños, principalmente de entre 5 y 15 individuos (Gannier y West, 2005; Jefferson, 2018), aunque han sido registrados grupos de más de 100 individuos (Baird, 2016).



**Figura 2.** Mapa mundial de distribución del delfín de dientes rugosos (Kiszka et al., 2019).

En cuanto a su estado de conservación, el delfín de dientes rugosos está incluido en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y en el Catálogo Español de Especies Amenazadas bajo la categoría de “Régimen de Protección Especial” (Real Decreto 139/2011,

de 4 de febrero). En la Lista Roja de especies amenazadas de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) aparece como especie de menor preocupación (Kiszka et al., 2019).

Las Islas Canarias parecen ser una zona de alimentación y reproducción para el delfín de dientes rugosos y se conocen datos sobre la presencia de la especie tanto en las islas occidentales (Tenerife, La Palma, La Gomera y El Hierro) como en las orientales (Gran Canaria) (Carrillo et al., 2010; Morales-Herrera, 2015; Pérez-Vallazza et al., 2008; Ritter, 2004). Principalmente, han sido estudiados en la isla de La Gomera donde los resultados sugieren que se trata de una especie residente debido al avistamiento de los mismos individuos a lo largo de los años (Ritter, 2002). Al final del estudio se llegaron a registrar 63 individuos mediante la técnica de fotoidentificación (Mayr y Ritter, 2005). También en la isla de Tenerife parece haber una población residente, al menos estacionalmente, existiendo avistamientos durante todo el año excepto en los meses de octubre, noviembre y diciembre (Carrillo et al., 2010). En la isla de El Hierro existen indicios de un patrón de residencia de la especie, en base a estudios de fotoidentificación (Sánchez-Mora, 2016). Se conoce así mismo la existencia de otras poblaciones residentes de cetáceos más estudiadas en El Hierro, como por ejemplo el Zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris*), el Zifio de Blainville (*Mesoplodon densirostris*) y el delfín mular (*Tursiops truncatus*), con tamaños poblacionales en torno a 100 individuos cada una (Reyes-Suárez, 2018; Tobeña et al., 2014). En los últimos años se han descrito interacciones de delfín de dientes rugosos y delfín mular con la pesca del alto en El Hierro (Badosa et al., in prep.; Morales et al., 2015), dirigida a la pesca principalmente de alfonsiño (*Beryx splendens*) y la tableta (*Beryx decadactylus*). Este método de pesca artesanal se realiza con un palangre vertical constituido por una línea de alambre que se une a un aparejo que puede albergar de 9 a 35 anzuelos en fondos desde 400 hasta 1200 metros (m) de profundidad. Es relevante, por ello, continuar el estudio de esta especie protegida para poder determinar su abundancia y distribución en el archipiélago, con especial atención en la Isla de El Hierro donde se ha observado una elevada interacción de estos delfines con el sector pesquero artesanal.

## **2- OBJETIVOS**

El objetivo de este estudio es describir el grado de residencia de la población de delfín de dientes rugosos en la isla de El Hierro, así como cuantificar el tamaño de la población residente, con implicaciones en la conservación de la especie y mitigación de la interacción de estos delfínidos

con actividades antrópicas como es el caso de la pesquería del alto en la isla. Así mismo, a partir de los datos obtenidos en este estudio, se pretende establecer un catálogo de fotoidentificación que va a ser publicado en el Repositorio Digital de Datos de Investigación de la Universidad de La Laguna (<https://www.ull.es/servicios/biblioteca/servicios/datos-de-investigacion/>).

### **3- MATERIAL Y MÉTODOS**

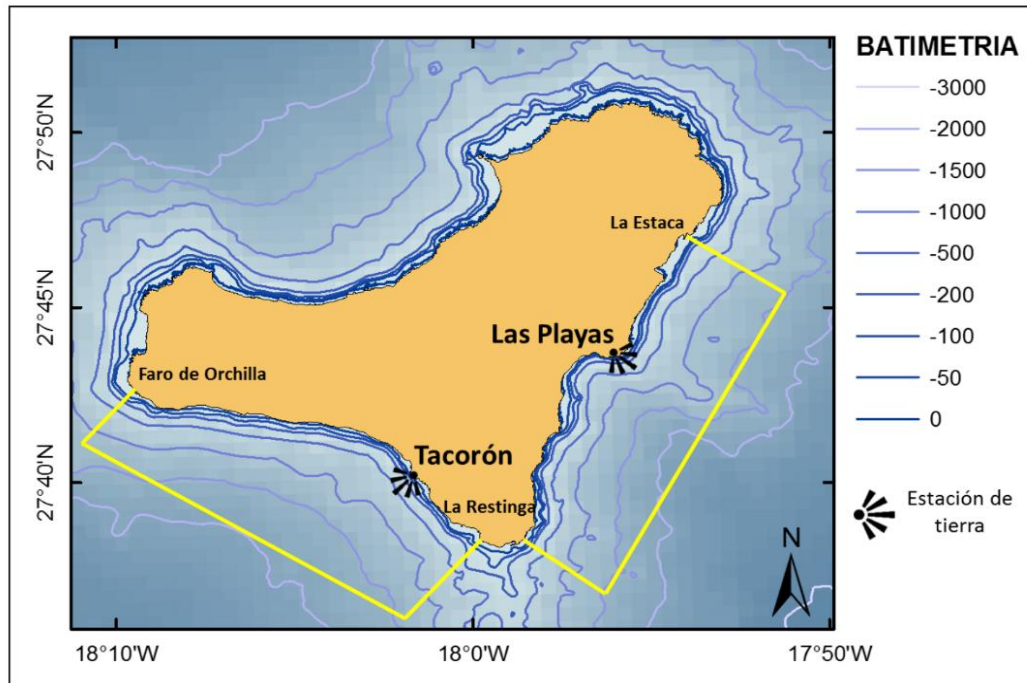
#### **3.1- Área de estudio**

El presente estudio se ha realizado en la isla de El Hierro, localizada en la parte más occidental del archipiélago canario. La isla presenta una superficie de 287 km<sup>2</sup> y una altitud de 1.501 m en su zona central (Fuster et al., 1993). Se trata de la isla más joven del archipiélago (1,2 Ma) y esto comporta la ausencia de una plataforma continental (Guillou et al., 1996). Como resultado es posible encontrar grandes profundidades cerca de la costa, lo que facilita el avistamiento de cetáceos de hábitos oceánicos desde la orilla (Arranz et al., 2013). Los muestreos en la isla de El Hierro se llevaron a cabo en dos zonas (Figura 3):

*i) Mar de Las Calmas (27°40'23.52" N, 18°01'26.4" W):* en la vertiente suroeste, abarcando desde la Punta de La Restinga hasta el faro de Orchilla, incluyendo la Reserva Marina de interés pesquero "Punta de La Restinga-Mar de Las Calmas". La estación de observación de cetáceos en tierra se localiza en la costa de Tacorón, a 119 m de altura sobre el nivel del mar.

*ii) Bahía de Las Playas (27°43'49.346" N, 17°56'29.221" W):* en la vertiente sureste, abarcando desde el puerto de La Estaca hasta la Punta de la Restinga. La estación de tierra se sitúa en la Punta de la Bonanza, a 92 m de altura sobre el nivel del mar.





**Figura 3.** Área de estudio y estaciones de observación desde tierra para las campañas de avistamiento en la isla de El Hierro (Sánchez-Mora, 2016).

### 3.2- Registro de avistamientos desde tierra

La estación de tierra (Figura 4) estuvo compuesta por un mínimo de cuatro observadores, trabajando en turnos de 30 minutos. Dos observadores utilizaron prismáticos de  $7 \times 50$  con brújula y retículas. Simultáneamente, un observador central cubrió todo el horizonte visible con unos prismáticos Fujinon de  $15 \times 80$  montados sobre un trípode, también equipados con brújula y retícula ocular (Arranz et al., 2013). La cuarta persona registró los datos de los avistamientos en un ordenador con un software específico (*Logtool*, M. Johnson, Univ. St. Andrews), programado en *Matlab*. Este software permite tomar datos en tiempo real de los avistamientos, como por ejemplo hora de inicio y fin, rumbo, retícula, número de animales en el grupo, composición social y comportamiento. Además, proporciona herramientas que ayudan a predecir el momento y la localización aproximada de la nueva emersión de cada grupo. Al principio de cada turno se registraron los siguientes datos ambientales: estado del mar dentro de la zona de estudio, oleaje, condiciones meteorológicas, visibilidad y presencia, número y tipo de embarcaciones (Arranz et al., 2023).



**Figura 4.** Estación de tierra localizada en la bahía de Las Playas, al sureste de El Hierro (fotografía de BIOECOMAC-Cetáceos ULL).

### **3.3- Equipo de mar**

La embarcación Punta Ballena, propiedad de la Universidad de La Laguna, trabajó de forma coordinada con la estación de tierra, mediante la comunicación por radio VHF, con el objetivo de confirmar la especie y la composición social de los grupos, además de tomar fotografías identificativas de los animales (Figura 5). El equipo en mar estuvo constituido por 2 observadores y un patrón. Un observador cubrió el área de proa y estribor de la embarcación y el otro se encargó de cubrir el área correspondiente a proa y babor. El avistamiento de animales desde la embarcación se realizó tanto a simple vista como mediante el uso de dos prismáticos Fujinon (7x50), equipados con compás y retícula. Las fotografías se tomaron utilizando dos cámaras réflex digitales (Canon EOS 80D y Canon 60D) equipadas con objetivos zoom 75x300 y estabilizador de imagen.

Cabe mencionar que las especies objetivo de las campañas financiadas de monitoreo que se realizan en la isla de El Hierro son el zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris*) y el zifio de Blainville (*Mesoplodon densirostris*). Por esta razón, en caso de que se produzca más de un avistamiento a la vez, se debe dar prioridad al muestreo de estas dos especies. Es importante entonces destacar que el esfuerzo fotográfico realizado para los delfines de dientes rugosos no fue homogéneo a lo largo de los años de estudio.

### **3.4- Análisis de fotoidentificación**





Durante cada avistamiento se realizó el mayor número de fotografías posible, principalmente de la aleta dorsal y, cuando esto fue posible, también de ambos lados del animal. Las marcas presentes en las aletas permitieron la identificación de los diferentes individuos a partir de sus

cicatrices, patrones de pigmentación, entre otros. Las imágenes obtenidas se analizaron siguiendo los siguientes pasos:





1. *Clasificación*: las fotografías fueron separadas en carpetas según el día y el grupo de avistamiento. Se procedió a eliminar las imágenes inutilizables para la fotoidentificación, ya sea por la baja calidad o por la ausencia de la aleta caudal en la fotografía.
2. *Identificación*: dentro de cada carpeta se eligieron las fotografías de mejor calidad de cada uno de los individuos, las cuales se caracterizaron por presentar buen enfoque, luz, contraste, ángulo paralelo con respecto a la lente de la cámara y un alto porcentaje de la aleta dorsal expuesta. A cada individuo se le asignó un código identificativo provisional. Se procedió a realizar un PowerPoint por cada día de avistamiento con las mejores fotografías de los individuos registrados.
3. *Comparación*: se compararon las mejores fotografías de cada individuo con las otras carpetas. Cuando se encontraron individuos ya avistados en precedencia se asignó el código existente correspondiente, mientras que, a los identificados por primera vez, se les asignó un nuevo código.

Los datos se almacenaron en una base de datos en Microsoft Excel. En esta se incluyó la siguiente información: código de la foto, código del individuo, fecha, calidad de la foto, cantidad de marcas y lado por el que se tomaron las fotografías. Para ello se asignaron a cada imagen los siguientes parámetros: la calidad de la fotografía “Q” y la calidad de marcas o rasgos distintivos que presentaba la aleta del animal “M”. El parámetro “Q” consiste en un rango entre 1 y 4 (siendo Q = 4 la mejor calidad), donde se consideraron enfoque, ángulo de la fotografía, contraste, la exposición y el porcentaje de aleta dorsal visible (Baird et al., 2008; Oremus et al., 2012), siguiendo las descripciones de la Tabla 1. El parámetro “M” tuvo en cuenta el número, el tamaño y la disposición de las marcas en la aleta dorsal. El rango está comprendido entre 1 y 4 (siendo M = 1 un individuo sin ninguna marca apreciable y M = 4 un ejemplar con marcas que lo hacen inconfundible), como se describe en la Tabla 2.

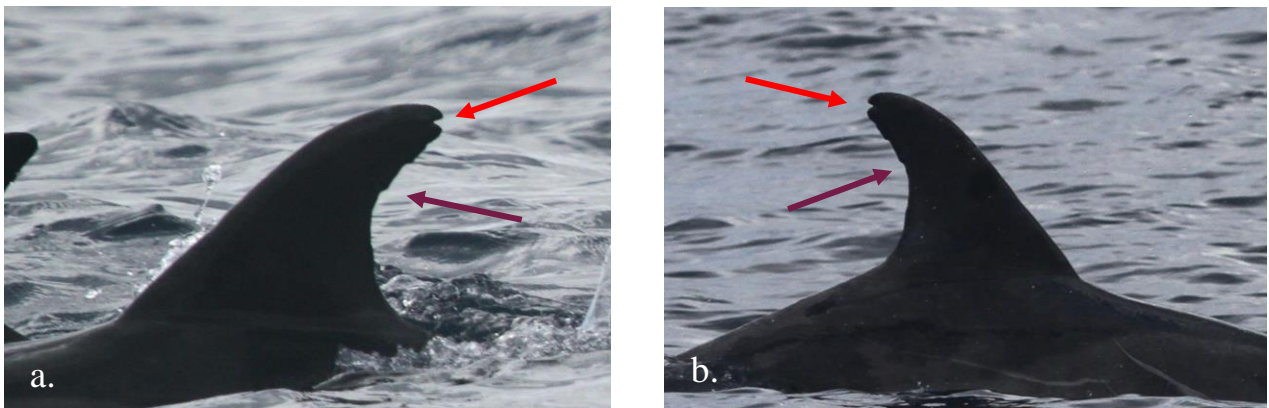
**Tabla 1.** Criterios y clasificación de la calidad de la fotografía (Q). En la columna izquierda se especifican las características incluidas para cada rango de Q y en la derecha se proponen ejemplos de aletas para cada nivel.

Calidad de la fotografía (Q)	Ejemplo
<p><b>Q = 1 “Pobre”</b></p> <p>Imagen muy borrosa y/o no paralela, solo se observa una parte de la aleta.</p>	
<p><b>Q = 2 “Regular”</b></p> <p>Se aprecian solo las marcas más evidentes, pero no se distinguen las marcas pequeñas al estar la imagen desenfocada y/o no completamente paralela.</p>	
<p><b>Q = 3 “Buena”</b></p> <p>Casi todas las marcas son reconocibles, imagen enfocada, aunque no del todo nítida.</p>	
<p><b>Q = 4 “Excelente”</b></p> <p>Se reconocen todas las marcas, imagen enfocada, paralela, buena exposición e individuo cercano.</p>	

**Tabla 2.** Criterios y clasificación de la calidad de las marcas (M). En la columna izquierda se especifican las características incluidas para cada rango de M y en la derecha se proponen ejemplos de aletas para cada nivel.

Calidad de las marcas (M)	Ejemplo
<p><b>M = 1 “Sin marcas”</b></p> <p>Aleta completamente lisa, sin marcas o muescas que permitan identificar al individuo.</p>	
<p><b>M = 2 “Pocas marcas”</b></p> <p>Aleta muy poco marcada o con marcas y muescas que no son permanentes.</p>	
<p><b>M = 3 “Muy marcado”</b></p> <p>Aleta con muchas marcas o muescas que facilitan reconocer al animal.</p>	
<p><b>M = 4 “Con marcas que lo hacen inconfundible”</b></p> <p>Aleta muy marcada que presentan marcas o muescas inconfundibles y que permiten reconocer el individuo.</p>	

La comparación con fines identificativos de las mejores imágenes de cada individuo fue realizada visualmente. Los delfines de dientes rugosos presentan rasgos distintivos adecuados para la identificación de individuos, como patrones de muescas en la aleta, forma global de la aleta, pigmentación y cicatrices distintivas (Mayr y Ritter, 2005) (Figuras 6a y 6b). En el caso de cicatrices y pigmentaciones, para una correcta identificación y evitar una sobrestima, es necesario tener fotos de ambos lados de la aleta. Finalmente se asignó a cada individuo una clave identificativa única compuesta por la abreviatura del nombre científico de la especie “Sb” más el número correspondiente a dicho ejemplar (p. ej. Sb\_001).



**Figuras 6a y 6b.** Ejemplo de marcas utilizadas para identificar al ejemplar Sb\_005 conocido con el nombre de Piquito.

### 3.5- Estudio del patrón de residencia

Con el fin de evitar sesgos causados por una identificación incorrecta, se realizó el análisis exclusivamente de los individuos con  $Q \geq 3$  (buena calidad de la fotografía) y  $M \geq 3$  (individuos muy marcados), siguiendo la literatura (Chilvers y Corkeron, 2003). De este modo, se reduce considerablemente el tamaño de muestra, pero se evita la presencia de errores causados por imágenes de baja calidad y marcas poco reconocibles.

A partir de los datos procedentes del análisis de fotoidentificación, se realizó una matriz de avistamientos donde se representaron todos los individuos con  $Q$  y  $M \geq 3$ , frente a los días de esfuerzo realizado. Con el fin de realizar el análisis del patrón de residencia se clasificaron las imágenes en tres categorías:

- 1) **Residentes:** individuos avistados tres o más veces a lo largo del período de estudio.
- 2) **Visitantes:** individuos observados dos veces a lo largo del período de estudio.
- 3) **Transeúntes:** individuos observados en una sola ocasión.

### 3.6- Estima del tamaño poblacional

Para estimar la abundancia de población se utiliza la técnica de captura y recaptura que se basa en identificar, a lo largo del tiempo, individuos reconocibles por la presencia de marcas. El análisis de la estima poblacional se realizó mediante el software MARK, desarrollado por Gary White (<http://www.phidot.org/software/mark/>). Este es un programa basado en Windows que proporciona estimas en base a parámetros relativos al número de animales recapturados.

Para el presente análisis se consideró un modelo de población cerrada. Los modelos cerrados asumen la inexistencia de cambios demográficos o geográficos en la población y se emplean en una población cuando el periodo de estudio es relativamente corto (White et al., 1982; Otis et al., 1978). Estos modelos se rigen bajo los siguientes supuestos (Otis et al., 1978):

- a) La población es cerrada, es decir que permanece constante durante el periodo de estudio (no hay inmigración y emigración, muertes o nacimientos).
- b) Los animales no pierden sus marcas a lo largo del período de estudio.
- c) Se realiza una correcta identificación de los individuos recapturados.
- d) Todos los animales tienen la misma probabilidad de ser fotoidentificados.

En realidad, sabemos que ninguna población es completamente cerrada en el sentido de que, a lo largo de los años de estudio, es imposible que no se hayan producido muertes o nacimientos. Aun así, debido a que son necesarios más datos para valorar el grado de aislamiento y el nivel de emigración e inmigración, se utiliza un modelo sencillo asumiendo que se trata de una población cerrada. A continuación, se recogen los modelos estándar de población cerrada descritos por Otis et al. (1978):

**M0:** La probabilidad de captura y recaptura son iguales, es decir que no hay influencia en el comportamiento de los animales (no existe dependencia a las capturas). Este modelo asume que el esfuerzo de muestreo ha sido constante en el tiempo.

**Mt:** La probabilidad de captura y recaptura son iguales (no existe dependencia a las capturas) dentro de un evento de muestreo, aunque puede variar entre eventos distintos ( $t$ =time). Esto implica que el esfuerzo no ha sido constante en todos los periodos de muestreo.

**Mb:** La probabilidad de captura y recaptura son distintas, es decir, se considera que el proceso de foto-identificación provoca un cambio conductual ( $b$ =behaviour) en los delfines (dependencia a las capturas). Tanto la probabilidad de captura como la de recaptura son

constantes en el tiempo, esto significa que el esfuerzo ha sido el mismo durante todos los periodos de muestreo.

**Mh:** La probabilidad de captura y recaptura es distinta (h=heterogeneity), hay influencia del comportamiento de los individuos (dependencia a las capturas). Tanto la probabilidad de captura como la de recaptura son variables en el tiempo, esto significa que el esfuerzo fotográfico es distinto en los diferentes eventos de muestreo.

Cabe mencionar que, además de los cuatro modelos mencionados, el programa ofrece la posibilidad de utilizar combinaciones de estos. A partir de los datos obtenidos mediante fotoidentificación, se realizó el análisis exclusivamente con los individuos con Q y  $M \geq 3$ . Para ello, se procedió a crear un historial de captura. Este corresponde a una serie de caracteres binarios, donde cada carácter representa un día de avistamiento. Se indicó con 1 el avistamiento de un individuo y con 0 la ausencia de registro. Por ejemplo, el historial (01001) indica que un animal fue avistado por primera vez en la ocasión 2 y no fue visto hasta la ocasión 5. Para ello se utilizó una tabla dinámica construida en Excel. Los datos se almacenaron, usando el programa Notepad ++, en un documento de texto con extensión (.inp), siendo este último el archivo de entrada usado por MARK. En éste, se seleccionó el modelo “Closed captures”, el cual se basa en las diferentes combinaciones entre los parámetros p (probabilidad de captura) y c (probabilidad de recaptura) para realizar el cálculo, y se realizó en análisis mediante la herramienta CAPTURE (White et al., 1982; White, 2008).

Para seleccionar el modelo que mejor se ajusta se realizó la comparación utilizando el cociente de Criterios de Información de Akaike (AIC), el cual mide la bondad del ajuste de un modelo estadístico. Entre ellos se eligió el modelo con el AIC más bajo. Se considera significativo el ajuste de un modelo respecto a otro cuando la diferencia entre sus puntuaciones AIC es superior a dos unidades (Burnham y Anderson, 2004).

## **4- RESULTADOS**

### **4.1- Esfuerzo fotográfico y fotoidentificación**

Se analizaron un total de 2.694 fotografías de delfín de dientes rugosos, obtenidas en 31 avistamientos llevados a cabo a lo largo de 13 años, entre 2008 y 2021. Cabe destacar que el esfuerzo fotográfico no fue homogéneo a lo largo del período de estudio (Tabla 3).

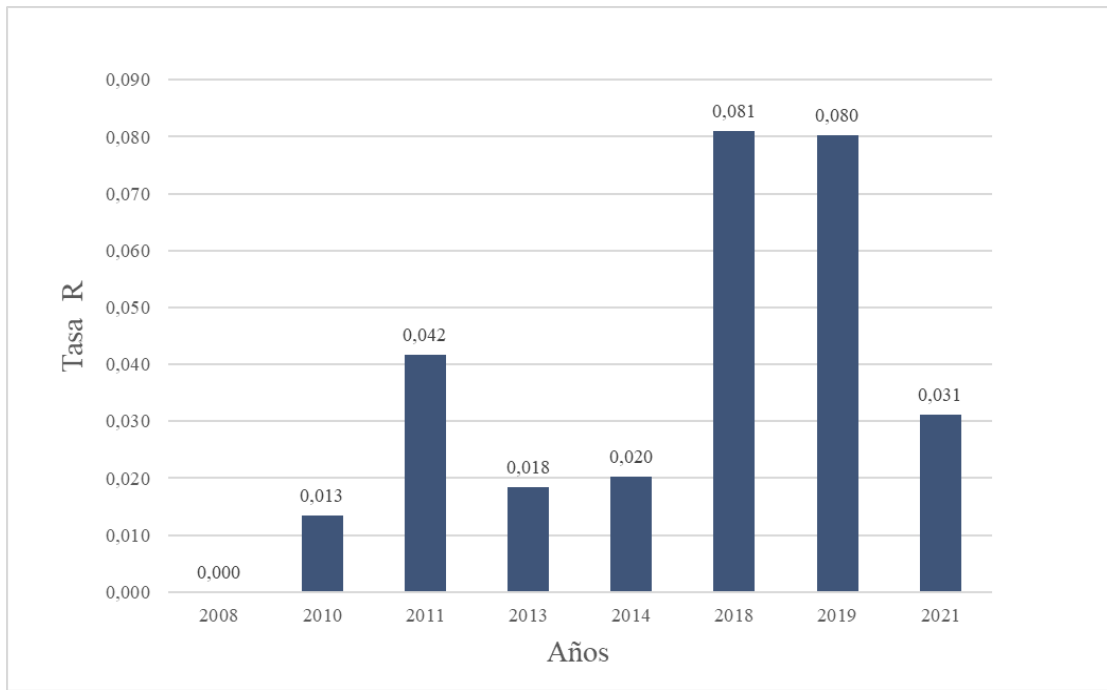


**Tabla 3.** Resumen de los días de avistamiento en los años del estudio.

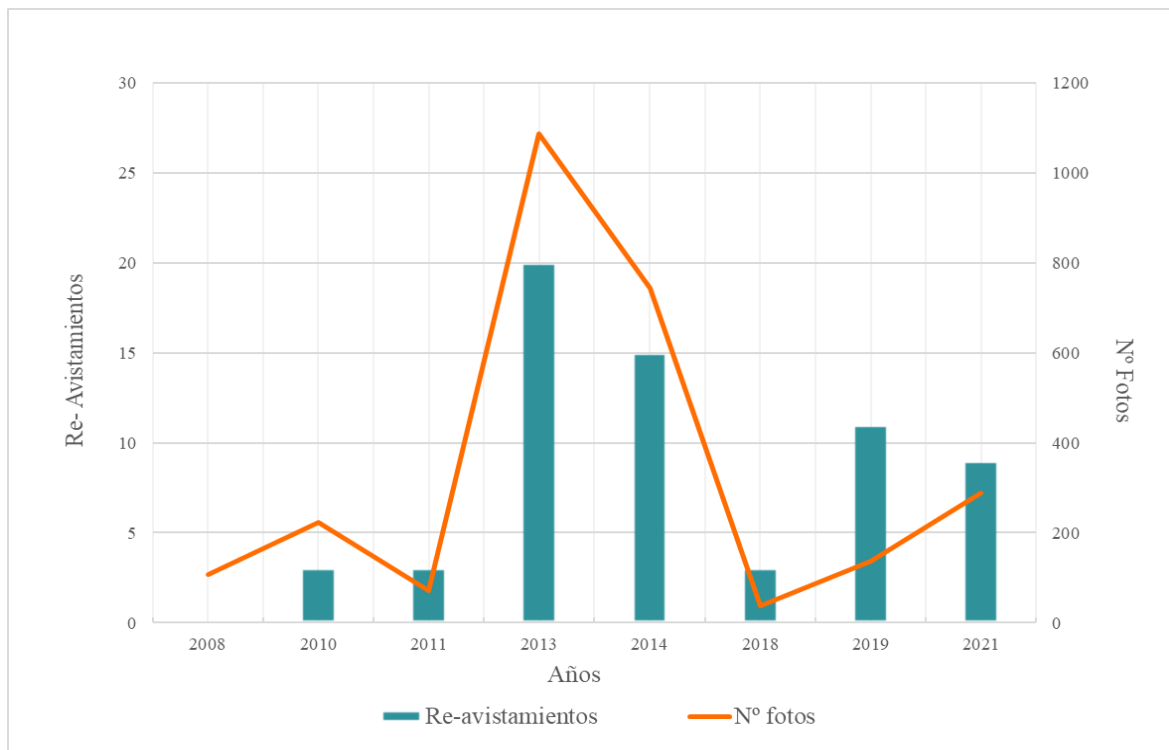
<b>Años</b>	<b>Meses</b>	<b>Días de avistamientos</b>
2008	Mayo	2
2010	Mayo	2
	Junio	3
2011	Mayo	1
2013	Febrero	6
	Mayo	3
	Agosto	4
	Septiembre	1
2014	Febrero	3
	Julio	1
2018	Octubre	1
2019	Mayo	2
2021	Mayo	2
		<b>Total 31</b>

En las imágenes analizadas se reconocieron 192 individuos distintos. A partir de estos datos se decidió realizar tanto un estudio intra anual (dentro del mismo año) como un estudio inter anual (entre distintos años).

El estudio intra anual puede ser útil para conocer el porcentaje de delfines de dientes rugosos que se re-avistan en cada año. Para ello se calcula la Tasa de Re-Avistamientos (Tasa R), dividiendo, por cada año, el número de individuos re-avistados entre el número total de fotografías realizadas ese mismo año. Se pueden observar las Tasas R de los distintos años de estudio en la figura 7. Así mismo se representa el esfuerzo fotográfico comparando el número de fotos totales que se han obtenido en un año frente el número de re-avistamientos por el mismo año. Como se observa en la figura 8 el esfuerzo fotográfico ha sido heterogéneo a lo largo del período de estudio. En particular, el 2013 resultó ser el año con mayor número de fotografías realizadas (y por lo tanto mayor número de animales avistados), con mucha diferencia respecto a los otros años. Aun así, si se hace una comparación con los datos obtenidos en la figura 7, se observa que la Tasa R para el año 2013 no es muy elevada.



**Figura 7.** Tasa de Re-Avistamiento de los individuos frente a los años de estudio.



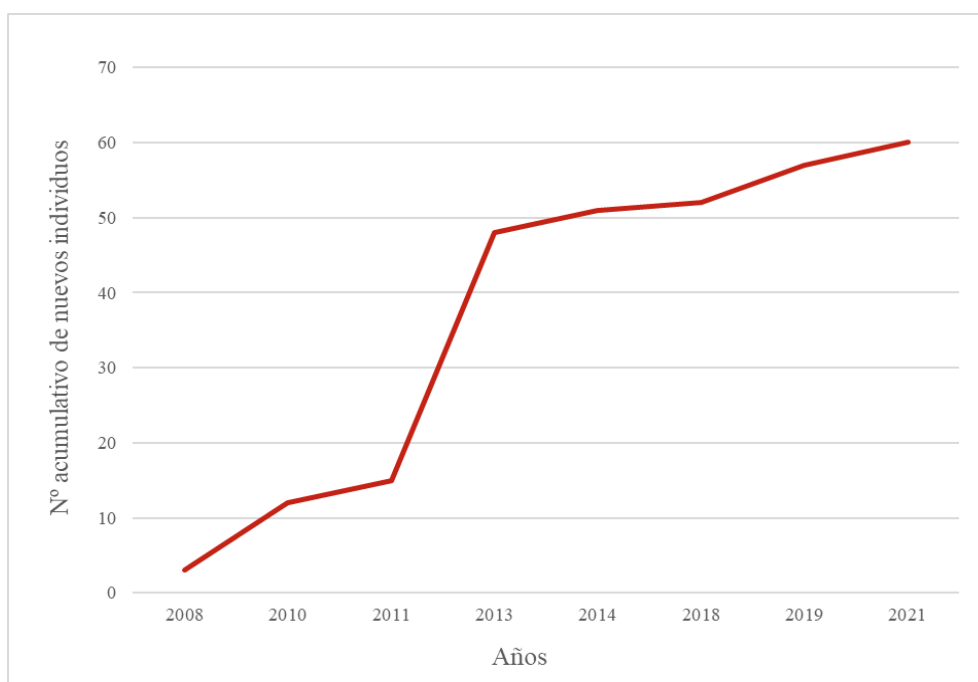
**Figura 8.** Comparación del esfuerzo fotográfico frente al número de re-avistamientos registrados en los distintos años de estudio.

Por otro lado, el estudio inter anual nos proporciona información acerca de la frecuencia temporal de residencia. Con este estudio se desea analizar cuántos individuos se han visto exclusivamente dentro de un mismo año y cuántos han sido avistados en años distintos (Tabla 4). Los resultados muestran que más de la mitad de los individuos re-avistados (66,1%) han sido observados en distintos años.

	Nº	Porcentaje
<b>Re-avist. 1 año</b>	20	33,9%
<b>Re-avist. &gt;1 año</b>	39	66,1%
<b>Total individuos Reavistados</b>	<b>59</b>	

**Tabla 4.** Número y porcentajes relativos de los individuos que han sido re-avistados exclusivamente dentro de un año y los que han sido re-avistado en distintos años.

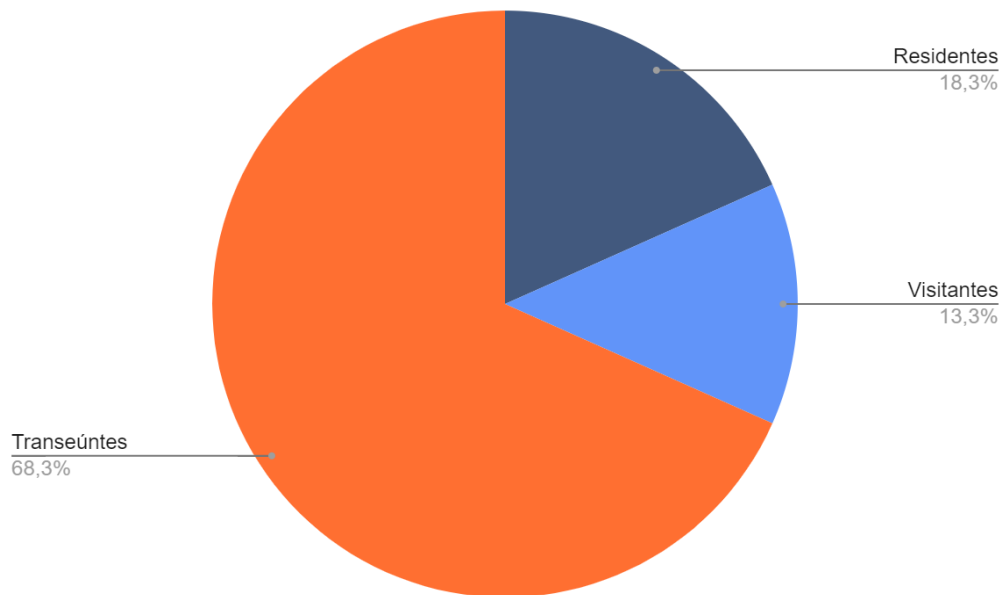
Para estudiar el número acumulativo de nuevos individuos avistados a lo largo de los años con  $Q$  y  $M \geq 3$ , se ha realizado una curva de encuentros (Figura 9). En el caso de una población cerrada, cabe esperar que el número de nuevos individuos aumente rápidamente al principio del período de estudio, siendo muy alta la probabilidad de capturar un individuo por primera vez. Si el esfuerzo de campo es suficiente, la curva debería llegar a estabilizarse y a alcanzar una asíntota representante la abundancia total de la población. En nuestro caso se puede observar que la curva no alcanza el plateau.



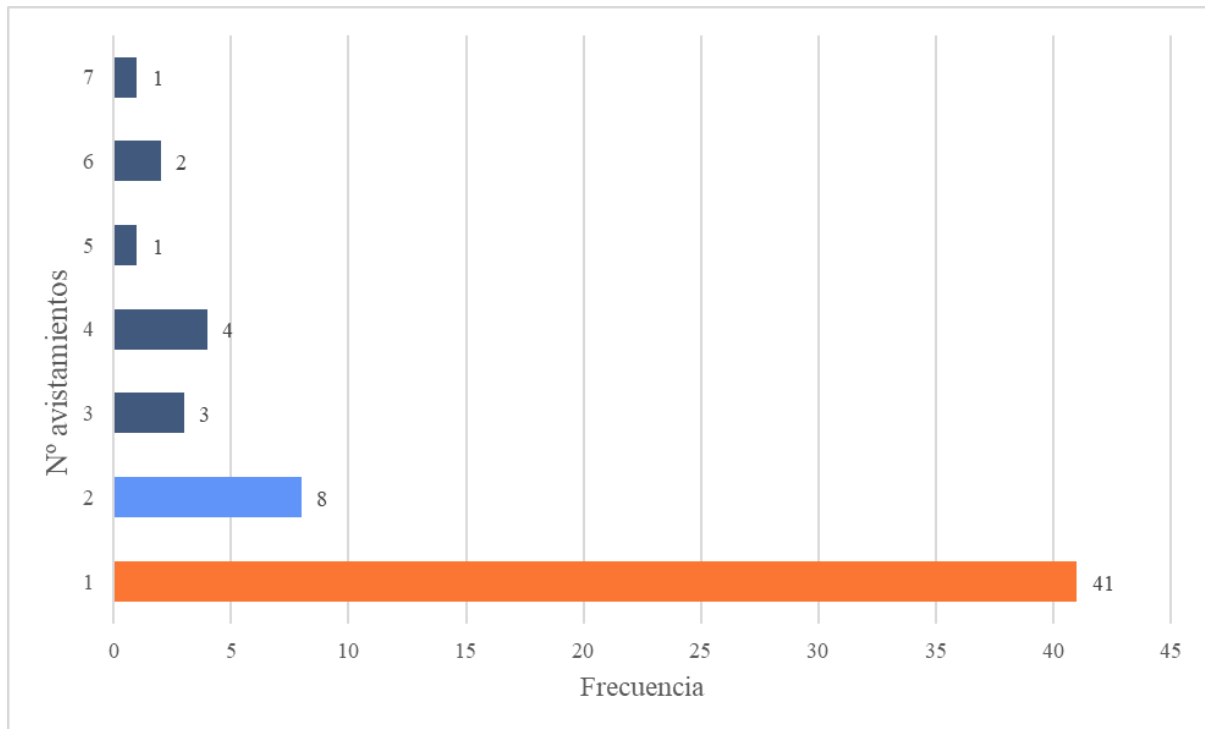
**Figura 9.** Curva de encuentros de individuos avistados durante el periodo de estudio con  $Q$  y  $M \geq 3$ .

#### 4.2- Patrón de residencia

Se obtuvieron 106 fotografías con Q y M mayores o iguales a 3 (3,9% de las fotografías totales) y entre estas se reconocieron, mediante el análisis de fotoidentificación, 60 individuos distintos. En la figura 10 se muestran los resultados del estudio de residencia en el que 11 ejemplares han resultado ser residentes (18,3%), 8 visitantes (13,3%) y 41 transeúntes (68,3%). Dentro de los delfínidos residentes se llegó a re-avistar un mismo individuo en 7 distintas ocasiones (Figura 11).



**Figura 10.** Porcentajes de los individuos residentes, visitantes y transeúntes.



**Figura 11.** Frecuencia de los avistamientos de los individuos con  $Q$  y  $M \geq 3$ . Se señalan en azul oscuro los ejemplares residentes, en azul claro los visitantes y en naranja los transeúntes.

### 4.3- Tamaño poblacional

Para estudiar el tamaño poblacional se utilizó el historial de captura de los 60 individuos con  $Q$  y  $M \geq 3$ . Tras haber realizado el análisis mediante la herramienta MARK: Capture y considerando una población cerrada, el modelo más apropiado resultó ser el modelo Mth, con un  $AIC = 336,79$  (Figura 12). Este modelo tiene en cuenta tanto la variación temporal como la heterogeneidad del esfuerzo fotográfico. El software ofreció una estima de 155 individuos (95% IC 106-256).

Model	AICc	Delta AICc	AICc Weight	Model Likelihood	No. Par.	Deviance	-2Log(L)	Time Stamp
{Mth2}	336.7913	0.0000	0.98639	1.0000	28	264.3270	279.6873	23:05:14:11:46:09
{Mh2}	345.3605	8.5692	0.01359	0.0138	4	321.9734	337.3338	23:05:14:11:46:08
{Mtb}	360.1844	23.3931	0.00001	0.0000	26	291.8709	307.2312	23:05:14:11:46:07
Check Par. Cnt. {Mtbh2}	362.2584	25.4671	0.00000	0.0000	27	291.8709	307.2312	23:05:14:11:46:10
{Mt}	363.6854	26.8941	0.00000	0.0000	26	295.3719	310.7322	23:05:14:11:46:06
Check Par. Cnt. {Mb}	363.6915	26.9002	0.00000	0.0000	3	342.3151	357.6754	23:05:14:11:46:07
Check Par. Cnt. {Mbh2}	363.6915	26.9002	0.00000	0.0000	3	342.3151	357.6754	23:05:14:11:46:10
{M0}	370.3531	33.5618	0.00000	0.0000	2	350.9848	366.3451	23:05:14:11:46:06

**Figura 12.** Resultados proporcionados por el software MARK para la elección del modelo de población cerrada

## 5- DISCUSIÓN

El presente estudio estima la abundancia y el patrón de residencia del delfín de dientes rugosos en las aguas de El Hierro, centrándose en las zonas de Mar de Las Calmas y Bahía de Las Playas. Los resultados confirman que existe una población residente entorno a las aguas de la isla. A partir de las fotografías tomadas durante las campañas realizadas entre los años 2008 y 2021, se pudieron diferenciar 192 ejemplares distintos. Estos datos amplían los resultados obtenidos por Sánchez en su estudio, realizado en la misma área de muestreo en el que se llegó a identificar 91 individuos entre los años 2013 y 2015 (Sánchez-Mora, 2016). En el mismo estudio, se empezó además a analizar la conectividad de las poblaciones entre las islas del archipiélago, particularmente con la isla de Tenerife. Sería interesante utilizar los datos obtenidos a partir del presente TFG para compararlos con los estudios realizados en el resto del archipiélago, como es el caso del trabajo realizado por Mayr y Ritter en la isla de La Gomera. En dicho trabajo, mediante fotoidentificación, los autores obtuvieron un catálogo de 63 individuos de delfín de dientes rugosos (Mayr y Ritter, 2005). Se destaca de todas formas el hecho de que se trata de estudios preliminares y se resalta la necesidad de esfuerzo ulterior para poder tener una comprensión general de la distribución y abundancia de las poblaciones de esta especie.

Con el fin de realizar análisis de residencia y abundancia de los delfínidos en la isla, se analizaron exclusivamente las fotografías de muy buena calidad ( $Q$  y  $M \geq 3$ ), utilizando por lo tanto solamente 106 imágenes de las 2.694 totales. Esto equivale al 3,9% de las fotografías tomadas durante el período de estudio, siendo este un valor muy bajo si se comparan los porcentajes de imágenes de alta calidad obtenidas en otros estudios (Fruet et al., 2011). El reducido número de imágenes de buena calidad podría explicarse de diferentes maneras, por ejemplo: i) el carácter más esquivo del delfín de dientes rugosos con respecto a otras especies de delfínidos (e.g. el delfín mular), convirtiéndolo en un animal de difícil aproximación, y comprometiendo la calidad y cantidad de fotografías utilizables; ii) estado del mar adverso, lo que hace que las fotografías sean más difíciles de tomar; iii) la experiencia del fotógrafo.

Analizando estas 106 fotografías de muy buena calidad, pudieron identificarse 60 individuos diferentes. De estos, el 68,3% representa los individuos considerados transeúntes (avistados exclusivamente una vez). No obstante, este dato podría verse afectado por la eficacia de la identificación, pudiéndose por ejemplo señalar como individuos diferentes, siendo el mismo

ejemplar. Por otro lado, este porcentaje tan alto, podría sugerir la ocurrencia de frecuentes eventos de migración entre otras poblaciones, incluyendo las propias del archipiélago canario. Para comprobar esto sería necesaria la comparación con datos de otras eventuales poblaciones presentes en las zonas limítrofes (e.g. otras islas del archipiélago canario, Madeira, Azores, Cabo Verde, etc.).

Entre los individuos analizados mediante fotoidentificación, un 66,1% del total de delfines recapturados, se observan durante más de un año. Esto coincide con las observaciones en La Gomera, donde los ejemplares re-avistados más de un año corresponden a un 65% de los delfines recapturados (Mayr y Ritter, 2005). Analizando la curva de encuentros (Figura 8), no es posible establecer visualmente si la curva se estabiliza alcanzando el plateau, pudiendo esto indicar que la población podría considerarse abierta, o que no todos los individuos de la población han sido identificados. Esto podría ser debido a la existencia de conectividad con poblaciones cercanas, hecho justificado por el alto número de ejemplares transeúntes, como se detalla anteriormente.

En cuanto a la abundancia de la población de El Hierro, tras el análisis mediante el software MARK de las fotografías con  $Q$  y  $M \geq 3$ , la mejor estima del tamaño de población fue de 155 individuos (95% IC 106-256). Debido al solape del periodo de muestreo, este dato sustituye a la anterior estima de 60 (95% IC 57-69) individuos realizada aplicando también en este caso, el modelo de población cerrada (Sánchez-Mora, 2016). Cabe destacar que ambas estimas podrían estar sobreestimadas, debido a la inclusión de los individuos transeúntes a la hora de realizar el historial de captura. A raíz de la falta de información de abundancia de población en otros estudios en Canarias (Carrillo et al., 2010; Mayr y Ritter, 2005) y la ausencia de estudios poblacionales de delfín de dientes rugosos en otras zonas de la Macaronesia, resulta difícil establecer si el dato de abundancia de la población del presente estudio es coherente con el tamaño de otras poblaciones con las cuales podría estar relacionada. En cualquier caso, se trata de una población formada por pocos individuos y esto debe tenerse en cuenta a efectos de su gestión y conservación.

Por otro lado, los resultados obtenidos en este estudio indican una densidad entorno a 0,43 delfines por  $\text{km}^2$ , en base a una estima del área de estudio de  $358 \text{ km}^2$ , considerando las bahías

de Las Playas y Las Calmas (Arranz et al., 2023). De esta manera se puede hacer una comparación con otros estudios de abundancia. Por ejemplo, en el trabajo de Fulling et al. de 2003, realizado en el Golfo de Méjico, la extensión del área de estudio de 245.800 km<sup>2</sup> y la estima de abundancia de 1.238 individuos, resultan en una densidad de 0,005 delfines por km<sup>2</sup>. Otros trabajos realizados para estudiar la abundancia del delfín de dientes rugosos se han llevado a cabo en el este del Pacífico tropical, con una densidad de 0,007 de animales por km<sup>2</sup> (Wade y Gerrodette, 1993); Norte de Golfo de Méjico, con una densidad de 0,004 (Mullin, 2007), y Hawái, con una densidad de 0,004 (Baird et al., 2008). Cabe mencionar que los anteriores estudios han sido realizados en áreas de muestreo muy amplias (véase por ejemplo el caso de Fulling et al., 2003) y que la densidad obtenida del presente trabajo podría considerarse sobrestimada debido a la inclusión de los individuos transeúntes en el cálculo de abundancia. Aun así, estos resultados indican que la densidad de delfines de dientes rugosos es elevada en las aguas de El Hierro, lo cual es consistente con la existencia de una población estable entorno a la isla.

El patrón de residencia encontrado para la especie en El Hierro es consistente con la presencia de interacciones de delfines de dientes rugosos con la pesca del alto, involucrando principalmente a los individuos residentes. Estos habrían aprendido culturalmente la oportunidad trófica que representa el pescado que es capturado en los anzuelos de los palangres utilizados en la pesca del alto y la forma de extraerlos (Badosa et al., in prep.), resultando en una interacción de la especie con este tipo de pesca artesanal. Los resultados de este estudio representan un avance en el conocimiento del tamaño poblacional de cetáceos residentes en la isla de El Hierro, en concreto de pequeños delfínidos, y de su patrón de residencia a lo largo del año entorno a la isla. Los datos son por tanto altamente relevantes a efectos de poder desarrollar medidas de gestión y mitigación de interacciones humanas con esta especie a nivel local. A nivel global, los datos indican que se trata de una especie que probablemente presenta poblaciones locales de pequeño tamaño, con una elevada conectividad con poblaciones cercanas y gran plasticidad en cuanto a dieta y distribución.

## **6- CONCLUSIONES**

1. El delfín de dientes rugosos presenta un patrón de residencia en las aguas de la Isla de El Hierro a lo largo del año. La mejor estima de abundancia ha resultado ser de 155 individuos (95% IC 106-256).



2. El análisis de fotoidentificación ha dado como resultado un catálogo de 60 individuos que presentan fotografías de buena calidad. Este va a ser publicado en el repositorio de base de datos de investigación de la Universidad de La Laguna.
3. El presente trabajo resalta la necesidad de realizar ulteriores estudios con el fin de ampliar los conocimientos acerca de la distribución y alimentación del delfín de dientes rugosos, siendo esta una especie muy poco estudiada.
4. El conocimiento del tamaño poblacional y patrón de residencia de la especie permite desarrollar medidas de gestión enfocadas a mitigar la interacción de esta especie con actividades antrópicas, como es el caso de la pesca de alto en la isla de El Hierro.
5. Deben realizarse estudios de conectividad dentro del archipiélago canario, así como con el resto de la Macaronesia para poder comprender mejor los patrones de migración de esta especie.

## **7- CONCLUSIONS**

1. The rough-toothed dolphin exhibits a residency pattern in the waters of El Hierro Island throughout the year. The best estimate of abundance is 155 individuals (95% CI 106-256).
2. The photo-identification analysis has resulted in a catalog of 60 individuals with high-quality photographs. This catalog will be published in the research database repository of the University of La Laguna.
3. This study highlights the need for further research to expand our knowledge about the distribution and feeding habits of the rough-toothed dolphin, as this species has been poorly studied.
4. Understanding the population size and residency pattern of the species enables the development of management measures aimed at mitigating the interaction of this species with anthropogenic activities, such as high-seas fishing off El Hierro Island.
5. Connectivity studies should be conducted within the Canary Islands archipelago, as well as with the rest of Macaronesia, in order to better understand the migration patterns of this species.

## 8- BIBLIOGRAFÍA

- Albouy, C., Delattre, V., Donati, G., Frölicher, T. L., Albouy-Boyer, S., Rufino, M., Pellissier, L., Mouillot, D., & Leprieur, F. (2020). Global vulnerability of marine mammals to global warming. *Scientific Reports*, *10*(1), 548. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57280-3>
- Arranz, P., Borchers, D. L., de Soto, N. A., Johnson, M. P., & Cox, M. J. (2013). A new method to study inshore whale cue distribution from land-based observations. *Marine Mammal Science*, *30*(2), 810-818. <https://doi.org/10.1111/mms.12077>
- Arranz, P., Miranda, D., Gkikopoulou, K. C., Cardona, A., Alcazar, J., Aguilar de Soto, N., Thomas, L., & Marques, T. A. (2023). Comparison of visual and passive acoustic estimates of beaked whale density off El Hierro, Canary Islands. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *153*(4), 2469. <https://doi.org/10.1121/10.0017921>
- Badosa, E., Sabuco, A., Rodríguez, A., Escánez, A., & Aguilar de Soto, N. (in prep). *Evaluación de las interacciones con cetáceos en la pesquería del alto de La Restinga (El Hierro)*. Informe de la Universidad de La Laguna para la Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca del Gobierno de Canarias.
- Baird, R. W. (2016). *The lives of Hawai'i's dolphins and whales: Natural history and conservation*. University of Hawai'i Press.
- Baird, R. W., Webster, D. L., Mahaffy, S. D., McSweeney, D. J., Schorr, G. S., & Ligon, A. D. (2008). Site fidelity and association patterns in a deep-water dolphin: Rough-toothed dolphins (*Steno bredanensis*) in the Hawaiian Archipelago. *Marine Mammal Science*, *24*(3), 535-553. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2008.00201.x>
- Barton, E. D., Aristegui, J., Tett, P., Cantón, M., García-Braun, J., Hernández-León, S., Nykjaer, L., Almeida, C., Almunia, J., Ballesteros, S., Basterretxea, G., Escánez, J., García-Weill, L., Hernández-Guerra, A., López-Laatzén, F., Molina, R., Montero, M. F., Navarro-Pérez, E., Rodríguez, J. M., ... Wild, K. (1998). The transition zone of the Canary Current upwelling region. *Progress in Oceanography*, *41*(4), 455-504. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(98\)00023-8](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(98)00023-8)
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods & Research*, *33*(2), 261-304. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>
- Carrillo, M. (2007). Cetaceans in the Macaronesia region (Eastern Central Atlantic Ocean) and threats faced in the Canary Islands. *Conserving cetaceans and manatees in the western African region*, *41*.
- Carrillo, M., Pérez-Vallazza, C., & Álvarez-Vázquez, R. (2010). Cetacean diversity and distribution off Tenerife (Canary Islands). *Marine Biodiversity Records*, *3*, E97. <https://doi.org/10.1017/S1755267210000801>
- Chilvers, B. L., & Corkeron, P. J. (2003). Abundance of indo-pacific bottlenose dolphins, *Tursiops aduncus*, off point lookout, Queensland, Australia. *Marine Mammal Science*, *19*(1), 85-095. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2003.tb01094.x>
- Correia, A. M., Gil, Á., Valente, R. F., Rosso, M., Sousa-Pinto, I., & Pierce, G. J. (2020). Distribution of cetacean

- species at a large scale - Connecting continents with the Macaronesian archipelagos in the eastern North Atlantic. *Diversity and Distributions*, 26(10), 1234-1247. <https://doi.org/10.1111/ddi.13127>
- Evans, P. G. H., & Hammond, P. S. (2004). Monitoring cetaceans in European waters. *Mammal Review*, 34(1-2), 131-156. <https://doi.org/10.1046/j.0305-1838.2003.00027.x>
- Fruet, P. F., Secchi, E. R., Di Tullio, J. C., & Kinan, P. G. (2011). Abundance of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus* (Cetacea: Delphinidae), inhabiting the Patos Lagoon estuary, southern Brazil: implications for conservation. *Zoologia (Curitiba)*, 28(1), 23-30. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702011000100004>
- Fruet, P. F., Daura-Jorge, F. G., Möller, L. M., Genoves, R. C., & Secchi, E. R. (2015). Abundance and demography of bottlenose dolphins inhabiting a subtropical estuary in the Southwestern Atlantic Ocean. *Journal of Mammalogy*, 96(2), 332-343. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyv035>
- Fulling, G. L., Mullin, K. D., & Hubard, C. W. (2003). Abundance and distribution of cetaceans in outer continental shelf waters of the U.S. Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, 101(4), 923-932.
- Fuster, J. M., Hernán, F., Cendrero, A., Coello, J., Cantagrel, J. M., Ancochea, E., & Ibarrola, E. (1993). Geocronología de la isla de El Hierro (Islas Canarias). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 88, 85-97.
- Gannier, A., & West, K. L. (2005). Distribution of the Rough-Toothed Dolphin (*Steno bredanensis*) around the Windward Islands (French Polynesia). *Pacific Science*, 59(1), 17-24. <https://doi.org/10.1353/psc.2005.0007>
- Guillou, H., Carracedo, J. C., Torrado, F. P., & Badiola, E. R. (1996). K-Ar ages and magnetic stratigraphy of a hotspot-induced, fast grown oceanic island: El Hierro, Canary Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 73(1-2), 141-155. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(96\)00021-2](https://doi.org/10.1016/0377-0273(96)00021-2)
- Hammond, P. S., Mizroch, S. A., & Donovan, G. P. (1990). *Individual recognition of cetaceans: Use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters: Incorporating the proceedings of the symposium and workshop on individual recognition and the estimation of cetacean population parameters*. International Whaling Commission.
- Harwood, J. (2001). Marine mammals and their environment in the twenty-first century. *Journal of Mammalogy*, 82(3), 630-640. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2001\)082<0630:MMATEI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2001)082<0630:MMATEI>2.0.CO;2)
- Herrera, I., Carrillo, M., Cosme de Esteban, M., & Haroun, R. (2021). Distribution of Cetaceans in the Canary Islands (Northeast Atlantic Ocean): Implications for the Natura 2000 Network and Future Conservation Measures. *Frontiers in Marine Science*, 8, 669790. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.669790>
- Hupman, K. E. (2016). *Photo-identification and its application to gregarious delphinids: Common dolphins (Delphinus sp.) in the Hauraki Gulf, New Zealand: A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Marine Ecology at Massey University, Albany, New Zealand* (Tesis). Massey University.
- Jefferson, T. A. (2009). Rough-Toothed Dolphin. En *Encyclopedia of Marine Mammals* (pp. 990-992). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373553-9.00227-3>

- Jefferson, T. A. (2018). Rough-Toothed Dolphin: *Steno bredanensis*. En *Encyclopedia of Marine Mammals* (pp. 838-840). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804327-1.00223-5>
- Jefferson, T. A., Webber, M. A., Pitman, R. L., & Jarrett, B. (Eds.). (2015). *Marine mammals of the world: A comprehensive guide to their identification*. Elsevier.
- Kerem, D., Goffman, O., Elasar, M., Hadar, N., Scheinin, A., & Lewis, T. (2016). The Rough-Toothed Dolphin, *Steno bredanensis*, in the Eastern Mediterranean Sea. En *Advances in Marine Biology* (Vol. 75, pp. 233-258). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2016.07.005>
- Kiszka, J., Baird, R., & Braulik, G. (2019). *Steno bredanensis*. En *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T20738A50376703.en>
- Lettink, M., & Armstrong, D. P. (2003). An introduction to using mark-recapture analysis for monitoring threatened species. *Department of Conservation Technical Series A*, 28, 5-32.
- Lodi, L., & Hetzel, B. (1999). Rough-toothed dolphin, *Steno bredanensis*, feeding behaviors in Ilha Grande Bay. *Biociências*, 7, 29-42.
- Mayr, I., & Ritter, F. (2005). *Photo-identification of rough-toothed dolphins (Steno bradanensis) off La Gomera (Canary Islands) as a basis for long-term monitoring with new insights into social organisation*.
- Morales, E., Adern, N., Alduán, M., Reyes, B. y Aguilar de Soto, N. Interacciones pesca artesanal y delfines. En Bécaraes, J.; Gil-Velasco, M.; Morales, E. y Aguilar, N. (2015). *Canarias con la Mar. Conservación de cetáceos y Aves marinas en Canarias (Memoria Técnica)*.
- Morales-Herrera, T. (2015). *Cetacean seasonal distribution in the Canary Islands* (Tesis). Universidad de La Laguna.
- Mullin, K. D. (2007). *Abundance of cetaceans in the oceanic northern Gulf of Mexico from 2003 and 2004 ship surveys*. NOAA National Marine Fisheries Service, Southeast Fisheries Science Center. <http://hdl.handle.net/1834/30916>
- NOAA Fisheries. (2023). Recuperado el 9 de abril de 2023, de <https://www.fisheries.noaa.gov/>
- Oremus, M., Poole, M. M., Albertson, G. R., & Baker, C. S. (2012). Pelagic or insular? Genetic differentiation of rough-toothed dolphins in the Society Islands, French Polynesia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 432-433, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2012.06.027>
- Otis, D. L., Burnham, K. P., White, G. C., & Anderson, D. R. (1978). Statistical Inference from Capture Data on Closed Animal Populations. *Wildlife Monographs*, 62, 3-135.
- Pauly, D., Trites, A. W., Capuli, E., & Christensen, V. (1998). Diet composition and trophic levels of marine mammals. *ICES journal of Marine Science*, 55(3), 467-481. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1997.0280>
- Pérez-Vallazza, C., Álvarez-Vázquez, R., Cardona, L., Pintado, C., & Hernández-Brito, J. (2008). Cetacean diversity at the west coast of La Palma Island (Canary Islands). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88(6), 1289-1296. <https://doi.org/10.1017/S0025315408001239>

- Pitman, R. L., & Stinchcomb, C. (2002). Rough-Toothed Dolphins (*Steno bredanensis*) as Predators of Mahimahi (*Coryphaena hippurus*). *Pacific Science*, 56(4), 447-450. <https://doi.org/10.1353/psc.2002.0043>
- Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. *Boletín Oficial del Estado*, número 46, 23 de febrero de 2011.
- Reyes-Suárez, C. (2018). *Abundance estimate, survival and site fidelity patterns of Blainville's (Mesoplodon densirostris) and Cuvier's (Ziphius cavirostris) beaked whales off El Hierro (Canary Islands)* (Tesis). University of St Andrews.
- Ritter, F. (2002). Behavioural observations of rough-toothed dolphins (*Steno bredanensis*) off La Gomera, Canary Islands (1995-2000), with special reference to their interactions with humans. *Aquatic Mammals*, 28(1), 46-59.
- Ritter, F. (2004). 21 cetacean species off La Gomera (Canary Islands): Possible reasons for an extraordinary species diversity. *European Research on Cetaceans: Proceedings of the Annual Conference of the European Cetacean Society*.
- Roman, J., & McCarthy, J. J. (2010). The Whale Pump: Marine Mammals Enhance Primary Productivity in a Coastal Basin. *PLoS ONE*, 5(10), e13255. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013255>
- Roman, J., Estes, J. A., Morissette, L., Smith, C., Costa, D., McCarthy, J., Nation, J., Nicol, S., Pershing, A., & Smetacek, V. (2014). Whales as marine ecosystem engineers. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(7), 377-385. <https://doi.org/10.1890/130220>
- Sánchez-Mora, A. (2016). *Estima de la abundancia del delfín de dientes rugosos (Steno bredanensis) en la isla de El Hierro* (Tesis). Universidad de La Laguna.
- Simmonds, M. P., & Elliott, W. J. (2009). Climate change and cetaceans: Concerns and recent developments. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89(1), 203-210. <https://doi.org/10.1017/S0025315408003196>
- Thompson, W. L., White, G. C., & Gowan, C. (1998). *Monitoring vertebrate populations*. Academic Press.
- Tobeña, M., Escáñez, A., Rodríguez, Y., López, C., Ritter, F., & Aguilar, N. (2014). Inter-island movements of common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* among the Canary Islands: Online catalogues and implications for conservation and management. *African Journal of Marine Science*, 36(1), 137-141. <https://doi.org/10.2989/1814232X.2013.873738>
- Urian, K., Gorgone, A., Read, A., Balmer, B., Wells, R. S., Berggren, P., Durban, J., Eguchi, T., Rayment, W., & Hammond, P. S. (2015). Recommendations for photo-identification methods used in capture-recapture models with cetaceans. *Marine Mammal Science*, 31(1), 298-321. <https://doi.org/10.1111/mms.12141>
- van Weelden, C., Towers, J. R., & Bosker, T. (2021). Impacts of climate change on cetacean distribution, habitat and migration. *Climate Change Ecology*, 1, 100009. <https://doi.org/10.1016/j.ecochg.2021.100009>
- Wade, P. R., & Gerrodette, T. (1993). Estimates of cetacean abundance and distribution in the eastern tropical

Pacific. *Report of the International Whaling Commission*, 43, 477-493.

West, K. L., Mead, J. G., & White, W. (2011). *Steno bredanensis* (Cetacea: Delphinidae). *Mammalian Species*, 43, 177-189. <https://doi.org/10.1644/886.1>

White, G. C., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Otis, D. L. (1982). *Capture-recapture and removal methods for sampling closed populations*. Los Alamos National Laboratory.

White, G. C. (2008). Closed population estimation models and their extensions in Program MARK. *Environmental and Ecological Statistics*, 15(1), 89-99. <https://doi.org/10.1007/s10651-007-0030-3>

WoRMS Editorial Board. (2023). *World Register of Marine Species*. Recuperado el 3 de marzo de 2023, de <https://www.marinespecies.org>

#### **SOFTWARE:**

White, G. (2023). *Program MARK*. <http://www.phidot.org/software/mark/>

## **9- AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis tutoras la Dra. Patricia Arranz Alonso y la Dra. Covadonga Rodríguez González por el compromiso y la implicación mostrada durante el desarrollo del trabajo de final de grado. Un agradecimiento especial a Elisabet Badosa Clemente, por haberme seguido y apoyado durante la realización del estudio, así como a Chloé Yzoard por la enorme ayuda a la hora de seleccionar las fotografías.

Quiero agradecer a todos los compañeros y amigos que me han apoyado a lo largo de este período. En particular a Alexis, Lucía y Lidia, que me han acompañado desde cerca, pero también a Nico, Giacomo y Alessandro, que me han respaldado a distancia. Darles las gracias también a mi madre Cinzia y mi padre Michele.

Por último, pero no menos importante, agradecerle a mi pareja Dario que ha tenido que soportarme cada día y sin el cual no habría conseguido realizar este trabajo.