



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**VARAMIENTOS DE CETÁCEOS DURANTE UN RÉGIMEN
FRÍO Y UNO CÁLIDO EN ISLA MAGDALENA B. C. S.,
MÉXICO DURANTE EL 2003 - 2022**

Tesis para obtener el título de:

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

Presenta:

IRÁN VIRIDIANA BALBUENA MARTÍNEZ

DIRECTORA: DRA. CLAUDIA JANETL HERNÁNDEZ CAMACHO

CODIRECTORA: DRA. MARÍA ALEJANDRA ROSA ESTEVES PONTE

PUEBLA, AGOSTO, 2024



AGRADECIMIENTOS

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por formarme como profesionista.

Al Instituto Politécnico Nacional y al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, por darme la oportunidad y apoyo de la realización de este trabajo. Así como al Laboratorio de Ecología de Pinnípedos por brindarme su asesoría y una base de datos

A mi directora de tesis, la Dra. Claudia Hernández Camacho, quien confió en mí, me proporcionó los datos, la ayuda y me apoyó a través de este proceso.

A mi codirectora de tesis, la Dra. María Alejandra R. Esteves Ponte, por haberme apoyado con sus conocimientos de estos maravillosos animales.

A la familia de la Toba por el esfuerzo en campo y la calidez de su recibimiento.

A los integrantes del Laboratorio de Ecología de Pinnípedos, Paty, Marlon, Oziel, Juanma, Bertha y Raúl.

A mis amigas que me han acompañado por muchos años: Jaky, Meli, Kacy, Arturo, Jack, Jair, Haz, Edwin. Gracias por cuidar de mí.

A Eloisa, por todo el amor que me dio.

A todo aquel con que pude establecer una amistad y me brindó su apoyo a lo largo de mi carrera.

DEDICATORIA

Esto es para mis padres; a mi mamá, por cuidarme, amarme y mimarme toda mi vida, por despertarme para llegar a tiempo a clases. A mi papá, por el ejemplo que me has brindado.

A mis preciosos bebés: Ringo, Benito, Lula y Tofi a quienes siempre llevaré en mi corazón y amaré como a nadie más.

A 1D, por acompañarme y animarme en las noches de trabajo.

ÍNDICE

Lista de figuras	6
Lista de tablas	8
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
JUSTIFICACIÓN	16
HIPÓTESIS	17
OBJETIVOS	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos.....	18
METODOLOGÍA.....	19
Área de Estudio	19
Registro de Varamientos.....	20
Descripción Del Patrón Espacial	22
Análisis De Datos.....	23
Frecuencia y Abundancia.....	23
Riqueza y Diversidad Alfa	23
Influencia de la Temperatura en los Varamientos.....	23
RESULTADOS.....	25
Descripción del Patrón Espacial	25
Frecuencia y Abundancia.....	27
Riqueza y Diversidad Alfa	31
Diversidad Según el Índice de Simpson.....	33
Influencia de la Temperatura en los Varamientos.....	34
DISCUSIÓN	37

CONCLUSIONES.....	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	54

Lista de figuras

Figura 1. Anomalías de la temperatura de la superficie del mar (TSM) que muestran la progresión de “La Mancha” desde diciembre de 2013 hasta enero de 2016 en el Océano Pacífico nororiental (NOAA, 2016) (Tomado de Cavole <i>et al.</i> , 2016).....	13
Figura 2. Playa occidental en Isla Magdalena B. C. S. y recorrido del registro de varamientos marcado en rojo.	21
Figura 3. Distribución de los varamientos de cetáceos en Isla Magdalena en el periodo junio 2003 a septiembre 2022.	26
Figura 4. Especies varadas de junio 2003 a septiembre 2022.	28
Figura 5. a) Registro de varamientos mensuales durante el periodo 2003 – 2022 . b) Registro de varamientos anuales durante el periodo 2003 – 2022.	30
Figura 6 a) Riqueza de varamientos mensual durante el periodo 2003 – 2022 b) Riqueza de varamientos anual durante el periodo 2003 – 2022.	32
Figura 7 a) Diversidad de varamientos mensual durante el periodo 2003 – 2022. b) Diversidad de varamientos anual durante el periodo 2003 – 2022	33
Figura 8. Correlación entre la TSM y el número de varamientos	35
Figura 9. Correlación entre la temperatura superficial del mar y el promedio de diversidad.....	34
Figura 10. Cambios de régimen y número de varamientos	36

Figura 11. Ejemplar de <i>Stenella coeruleoalba</i> con aleta caudal mutilada.....	57
<i>Figura 12. Ejemplar de Delphinus delphis delphis con aleta caudal y pectoral mutiladas</i>	58
Figura 13. Ejemplar de <i>Stenella</i> con aleta caudal mutilada.....	59
Figura 14. Ejemplar de <i>Tursiops truncatus</i> con hocico mutilado	60

Lista de tablas

Tabla 1. Estados de descomposición en cetáceos.....	22
Tabla 2. Estado de descomposición ilustrada.	54

RESUMEN

Los varamientos de cetáceos no solo permiten recolectar datos cruciales sobre especies poco observadas y su entorno, sino que también actúan como indicadores de la salud del ecosistema marino, señalando posibles disturbios ambientales. Este estudio se centró en analizar los patrones de varamientos en la costa occidental de Isla Magdalena durante periodos de temperaturas frías (2003-2013) y cálidas (2014-2022) para evaluar su conexión con la variabilidad ambiental. Se realizaron recorridos semanales durante junio 2003 hasta septiembre 2022 a través de los 54 km de la playa occidental de Isla Magdalena donde se obtuvieron datos con fotografía de localización geográfica, especie y estado de descomposición de cada ejemplar varado. Se utilizó el índice de diversidad de Simpson para evaluar la diversidad alfa y correlaciones de Spearman para analizar la relación entre los varamientos y la temperatura superficial del mar (TSM), con especial atención al fenómeno de “La Mancha” (2013-2015). Los datos de TSM se obtuvieron de Pelayo *et al.*, 2021. Se registraron 784 varamientos, principalmente en Cabo San Lázaro y el extremo nororiental de la isla. Las especies más afectadas fueron *Delphinus delphis delphis*, *Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis bairdii*. Hubo una variabilidad significativa en la riqueza y diversidad de especies a lo largo del tiempo, con picos en 2006 y 2007, y una disminución en 2013. Aunque no se encontró una correlación directa entre la TSM y los patrones de varamiento, el estudio resalta el aumento de varamientos durante “La Mancha” en 2015. Los resultados sugieren que las medidas de conservación para otras especies, como la tortuga amarilla, podrían haber contribuido a la disminución de varamientos de cetáceos.

INTRODUCCIÓN

Los varamientos de cetáceos son eventos en los cuales los organismos, ya sea vivos o muertos, se encuentran en la costa, fuera de su hábitat y sin capacidad para reintegrarse al mar o desenvolverse con normalidad. Estos acontecimientos requieren una respuesta enfocada en la protección y rehabilitación de los organismos afectados, además, representan una oportunidad para la recolección de datos y el entendimiento tanto de las dinámicas de estos eventos como de las especies implicadas (Perrin y Geraci, 2009). La información obtenida proporciona detalles sobre especies que rara vez se observan en su entorno natural y que no sobreviven en cautiverio. Además, estos varamientos pueden reflejar el estado de salud del ecosistema marino, sirviendo como indicadores biológicos de cambios o perturbaciones ambientales, como la contaminación, el ruido submarino y las alteraciones en las corrientes marinas. Por lo tanto, el análisis exhaustivo de estos eventos es fundamental para contribuir a la regulación de actividades antropogénicas que impactan negativamente a la vida marina, enfocándose en la conservación de los ecosistemas marinos (Moore, 2018).

Los varamientos proporcionan diferente información dependiendo de las condiciones en las que se encuentran. Por ejemplo, el varamiento de un animal vivo, en proceso de recuperación puede ofrecer datos significativos sobre su cognición y fisiología. En casos donde estos animales después de su liberación son monitoreados a través de telemetría, se puede recabar información sobre sus rutas migratorias, patrones de buceo, zonas de alimentación y comportamiento social (Danil *et al.*, 2010; Van Weelden *et al.*, 2021). Además, tanto los varamientos de individuos vivos como de muertos constituyen una fuente importante de información taxonómica. Estos eventos también son ideales para tomar muestras sobre patógenos, genética, contaminantes presentes en su medio, hábitos alimentarios y distintas afecciones, lo que resulta invaluable para la investigación científica y los esfuerzos de conservación (Perrin y Geraci, 2009). En este contexto, la información taxonómica adquiere mayor peso, ya que identificar con precisión a la especie varada favorece un manejo preciso del espécimen, así como de los datos obtenidos,

por consiguiente, asegura su correcta interpretación y catalogación (Ascencio, 2010).

Además, los varamientos nos permiten detectar la presencia de especies que no son comunes en ciertas zonas, así como cambios en su ambiente y distribución. Por ejemplo, avistamientos de especies de latitudes medias, típicas de zonas cálidas, que varan en latitudes más altas donde la temperatura suele ser inferior a la ideal para su desarrollo (Colin *et al.*, 2005; Simmonds e Isaac, 2007). Los varamientos de especies poco comunes o no nativas en ciertas zonas pueden atribuirse a factores como alteraciones en su hábitat, el arrastre por corrientes oceánicas, y la fuerza, duración y dirección de los vientos (Saavedra *et al.*, 2017; Small *et al.*, 2017; Alter *et al.*, 2010). Algunos son los avistamientos que indican cambios en la distribución del rorcual común (*Balaenoptera physalus*) hacia latitudes más altas de lo habitual y migraciones tempranas de la ballena azul (*Balaenoptera musculus*). Ambos casos se deben a alteraciones en los ciclos biológicos de estas especies, relacionados con la alimentación, lo que provoca el seguimiento de sus presas por parte de los cetáceos a diferentes latitudes y temporadas del año (Ramp *et al.*, 2005; Storrie, 2018).

Además, el amplio registro de varamientos de ciertas especies de cetáceos podría relacionarse con el hecho de que estas especies tienen grandes poblaciones y distribuciones cosmopolitas, habitando tanto en aguas templadas como tropicales. Por ejemplo, el delfín común (*Delphinus delphis*), presente en latitudes desde los 40° hasta los 50° S, y el tursiÓN (*Tursiops truncatus*), distribuido en aguas con temperaturas que varían entre los 10 °C y los 32 °C. Ambas especies se encuentran naturalmente en aguas mexicanas, formando parte de su hábitat primario (Jefferson *et al.*, 2015). En contraste, hay especies cuya presencia en los registros de varamientos es poco común, principalmente debido a su limitada distribución geográfica. Un ejemplo es el calderón de aleta larga (*Globicephala melas*) que usualmente no se encuentra en los mares de México, con un único registro en la Península de Baja California (Halpin *et al.*, 2009). Otro ejemplo es el zifio de Blainville (*Mesoplodon densirostris*) que ha sido reportado solamente en dos

ocasiones en el Golfo de California (MacLeod *et al.*, 2006), y un registro adicional al norte de la Península de Baja California en (1994) por Mangels y Gerrodette.

Los varamientos de cetáceos están influenciados por las oscilaciones en la temperatura superficial del mar (TSM), que alteran las condiciones ambientales, provocando cambios en la productividad primaria y secundaria, y, por ende, en el resto de la cadena trófica. Estos cambios pueden causar variaciones en la distribución de algunas poblaciones de cetáceos que, en la búsqueda de alimento, varíen su distribución (Cordes, 1982; Trenberth y Hurrell, 1994). Dichas oscilaciones pueden ser interanuales, como los fenómenos de El Niño y La Niña; multidecadales, como los regímenes cálidos y fríos; o anomalías térmicas, como el fenómeno de La Mancha. Los cambios en la TSM, en especial el aumento de la temperatura, pueden llevar a la reducción o desplazamiento del hábitat de cetáceos además de cambios en sus ciclos migratorios. Esto es especialmente notorio en especies de aguas frías, como las ballenas jorobadas y de aleta, mientras que las especies de aguas cálidas pueden no presentar cambios significativos en su distribución o experimentar aumentos en su hábitat (Lambert *et al.*, 2014; Van Weelden *et al.*, 2021).

Entre los eventos extraordinarios que impactan en la TSM se encuentra “La Mancha”, un fenómeno ocurrido entre octubre de 2013 y el verano de 2015. Este evento se originó en el Pacífico nororiental de Alaska, caracterizado por bajas tasas de pérdida de calor en el océano, lo que resultó en temperaturas anormalmente altas que persistieron por al menos ocho meses (Bond *et al.*, 2015; Leising *et al.*, 2015). Los efectos de La Mancha se extendieron hasta las costas de Baja California Sur, incluyendo Isla Magdalena, donde se observó un incremento significativo en los varamientos de cetáceos desde octubre de 2014 hasta enero de 2016 (Carvole *et al.*, 2013; Figura 1). Un ejemplo notable de los efectos de este fenómeno es la presencia del delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*) en Isla Magdalena, una especie que no había sido reportada en esta área antes de los efectos de La Mancha en 2014 (Committee on Taxonomy, 2022).

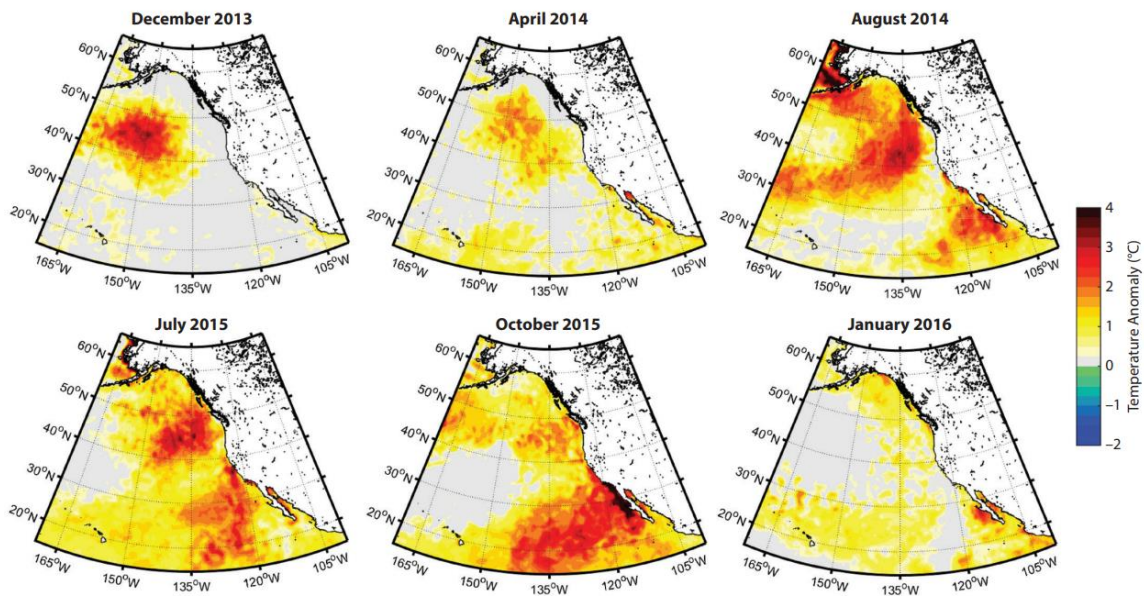


Figura 1. Anomalías de la temperatura de la superficie del mar (TSM) que muestran la progresión de “La Mancha” desde diciembre de 2013 hasta enero de 2016 en el Océano nororiental (NOAA, 2016) (Tomado de Cavole et al., 2016).

Los cambios anómalos en la temperatura oceánica, en especial el aumento de la temperatura, producen modificaciones en la distribución de cetáceos, como reducción o desplazamiento de su hábitat y cambios en los ciclos migratorios, sobre todo en especies de aguas frías como las ballenas jorobadas y de aleta, mientras las especies de aguas cálidas tiene aumentos en su hábitat o pueden no presentar cambios de distribución (Lambert *et al.*, 2014; Van Weelden *et al.*, 2021).

Isla Magdalena, en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur es un sitio único en México por la elevada incidencia de varamientos de reptiles y mamíferos marinos que ocurren cada año (Cervantes-Duarte *et al.*, 2013). La Isla Magdalena, que colinda directamente con el Océano Pacífico, se encuentra en la Zona de transición templado-tropical donde el Sistema de Corriente de California (SCC) se une en su límite sur con la Corriente Norecuatorial. Este sistema de corrientes forma un sistema oceanográfico dinámico y complejo que

fluye hacia el sur a lo largo de la costa oeste de América del Norte (Cervantes-Duarte *et al.*, 2013; Gonzáles, 2008). La Corriente de California, componente central del SCC, se caracteriza por un flujo hacia el sur que se intensifica en septiembre, con una productividad más alta en el norte que disminuye hacia el sur (Lluch-Belda *et al.*, 2003; Hickey, 1979). Estas condiciones generan una alta productividad biológica y altas surgencias que atraen a gran diversidad y abundancia de especies marinas (Funes *et al.*, 2007; Lluch-Belda *et al.*, 2003). Las corrientes internas que se generan facilitan la introducción de animales marinos muertos en el océano hacia las costas de Bahía e Isla Magdalena (Mercuri, 2007), lo que representa una oportunidad excepcional para ahondar en el conocimiento de las especies marinas de la zona y entender el patrón temporal de varamientos y su relación con el ambiente.

En el presente estudio se analizó el patrón temporal de varamientos durante un régimen frío (2003-2013) y uno cálido (2014-2022) en la costa de Isla Magdalena, BCS, México. Se utilizaron los datos de varamientos obtenidos por el personal del laboratorio de Ecología de Pinnípedos del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) desde junio de 2003 a septiembre de 2022.

Se han realizado análisis preliminares de esos datos para comprender la relación entre los patrones de varamientos y las condiciones ambientales, además de determinar las posibles causas de la mortalidad de estos individuos. Mercuri (2007) encontró que durante el periodo de 2003 a 2006, se registró un promedio anual de 150 varamientos (± 55.2), con un 34.55% correspondiente a cetáceos y 65.45% a pinnípedos. En cuanto a los pinnípedos, se observó una mayor incidencia de varamientos en mayo, seguida de un ligero incremento en noviembre, con el 2% de los ejemplares presentando marcas relacionadas con la pesca. Respecto a los cetáceos, la mayoría de los varamientos se produjo en julio. Las especies con mayor número de registros fueron *Delphinus delphis bairdii* (23%), *Tursiops truncatus* (10.5%) y *Delphinus delphis delphis* (8.6%) (Committee on Taxonomy, 2022). El 8% de los individuos presentaron evidencia de interacción antropogénica, como mutilaciones de aleta y marcas de redes (Ascencio, 2010; Mercuri, 2007). Es

importante señalar que los registros no reflejan la totalidad de las interacciones antropogénicas en la naturaleza, ni pueden probarse como la causa directa de los varamientos o la muerte de los animales, ya que al incrementar el estado de descomposición se dificulta la detección de las marcas y en la mayoría de los casos se carece de necropsia (Mercuri, 2007).

JUSTIFICACIÓN

Isla Magdalena es un sitio poco estudiado con un alto número de varamientos que ameritan estudios más profundos sobre el tema. El análisis de estos fenómenos en la isla podría ayudar a determinar la diversidad de cetáceos en el área y conocer el estado de sus poblaciones lo que contribuirá a implementar medidas para su conservación.

El registro y análisis de los varamientos en relación con los cambios de la TSM, puede proporcionar información sobre el grado de vulnerabilidad de estas especies ante los cambios en la distribución y abundancia de sus presas.

HIPÓTESIS

Se espera una mayor incidencia de varamientos en cetáceos residentes a lo largo del año, en contraste con especies migratorias, cuya presencia se intensifica durante la temporada invernal, acorde con sus patrones migratorios estacionales.

Adicionalmente, en los períodos fríos se presentará un aumento en la diversidad y riqueza de las especies varadas. Esto se debe a que las alteraciones en las condiciones ambientales influyen los ciclos biológicos de los cetáceos, afectando especialmente la disponibilidad de alimento y, por lo tanto, su comportamiento alimenticio y rutas migratorias se modifican.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar el patrón temporal de varamientos de cetáceos durante un régimen frío (2003 - 2013) y uno cálido (2014-2022) de la costa occidental de Isla Magdalena, B. C. S.

Objetivos Específicos

- Describir el patrón espacial de los varamientos de cetáceos en la playa occidental de Isla Magdalena 2003-2022.
- Describir la frecuencia y abundancia de los varamientos de cetáceos en la playa occidental de Isla Magdalena de 2003-2022.
- Determinar la riqueza y diversidad alfa de las especies de cetáceos varados de 2003-2022.
- Determinar la influencia de la TSM en la frecuencia de varamientos y diversidad de cetáceos en Isla Magdalena de 2003 a 2019.

METODOLOGÍA

Área de Estudio

El área de estudio, Isla Magdalena, se encuentra dentro del complejo lagunar Magdalena-Almejas, en cuya zona más occidental se encuentra Cabo San Lázaro, zona que colinda directamente con el Océano Pacífico, y se encuentra en interacción con el Sistema de Corrientes de California (SCC). Esta zona se caracteriza por una alta productividad biológica y surgencias, en especial, en la temporada invernal (Funes *et al.*, 2007; Cervantes-Duarte *et al.*, 2013). Durante los primeros tres meses del año, la TSM media de la Isla es de 20°C mientras que en el tercer trimestre la temperatura llega a 26.9°C (Lluch *et al.*, 2000). Las aguas más frías y menos salinas se encuentran en las regiones cuyas profundidades son mayores a 10 metros, mientras que las aguas más cálidas y salinas se ubican en aguas menores a 10 metros (Cervantes-Duarte *et al.*, 2010).

A partir de 2009, se ha desarrollado un Programa de Ordenamiento y un Plan de Manejo Pesquero en la región, con el fin de identificar todas las artes de pesca y promover el desarrollo de técnicas de pesca selectivas. En 2014, se inició un Programa de Observadores Científicos para supervisar las actividades de pesca en embarcaciones menores y evaluar la interacción con las tortugas marinas. En el siguiente año, para fortalecer las medidas previas, se impusieron restricciones pesqueras como la designación de un área de 848.2 km² en la playa occidental de Isla Magdalena como zona de refugio pesquero parcial temporal, la suspensión de la pesca comercial con redes de enmalle, cimbras o palangres si se sobrepasan 90 individuos de la tortuga amarilla (Diario Oficial de la Federación, 2016; SAGARPA, 2015).

Registro de Varamientos

Se registraron los varamientos ocurridos a lo largo de los 54 km de la playa occidental de Isla Magdalena al menos una vez a la semana durante el periodo junio 2003-septiembre 2022 por un técnico capacitado. Para fines prácticos, la zona norte de la playa fue considerada el kilómetro 0 ($25^{\circ}11'49.3''\text{N}$, $112^{\circ}08'15.8''\text{O}$) y Cabo San Lázaro el 54 ($24^{\circ}48'50.2''\text{N}$ $112^{\circ}17'15.7''\text{O}$) (Figura 2). El recorrido en auto es de aproximadamente tres horas tomando en cuenta las paradas para observación y toma de datos.

Se tomaron fotografías de cada ejemplar varado junto con una ficha técnica con los datos de fecha en la que el ejemplar fue localizado, coordenadas tomadas por un GPS, kilómetro de la playa para optimizar la localización, especie varada determinada mediante una guía de identificación, sexo del animal (en caso de ser distinguible), estado de descomposición (Tabla 1), longitud corporal en metros, edad inferida por la longitud de las especies y observaciones que incluyeron marcas de interacción antropogénica, número de dientes o acompañamiento de otro ejemplar. Posterior a la toma de datos, para evitar repeticiones en el registro, cada animal fue marcado con pintura y fotografiado con dichas marcas. Debido al avanzado estado de descomposición de la mayoría de los individuos, no fue posible identificar el sexo ni se pudo medir de forma precisa, por lo que no se presentó esta información en el presente estudio.

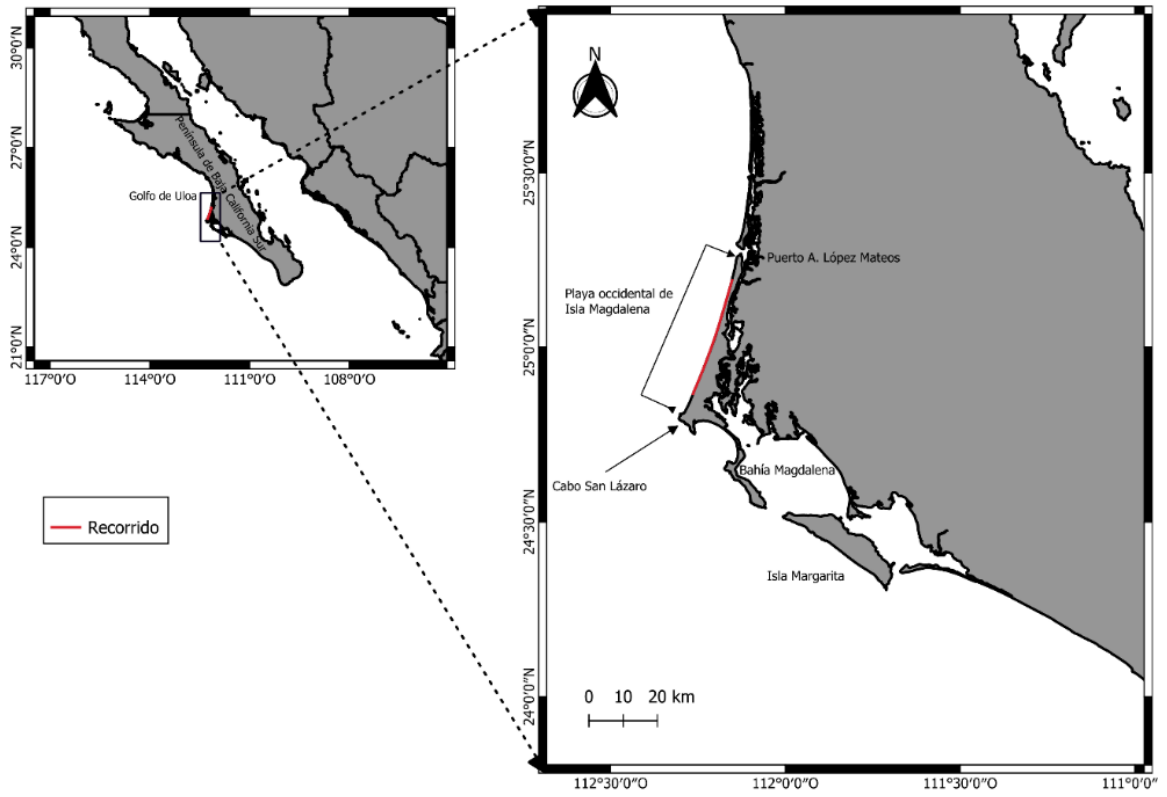


Figura 2. Playa occidental en Isla Magdalena B. C. S. y recorrido del registro de varamientos marcado en rojo.

q1. Estados de descomposición en cetáceos.

Estado de descomposición	Descripción
1	Animal vivo.
2	De 0 a 3 días después de la muerte. Cuerpo aparentemente fresco en el exterior y presencia de moscas.
3	De 4 a 10 días después de la muerte. Inflamación en el cuerpo, liberación de fluidos y presencia de moscas y gusanos.
4	De 10 a 20 días después de la muerte. Cuerpo colapsado, color negro en las partes expuestas, presencia de fluidos corporales en el suelo circundante. Cuerpo mayormente ingerido por insectos o animales carroñeros
5	Restos momificados (remanentes de tejido seco, exposición de huesos)

En algunos casos se recolectaron los cráneos de cetáceos para llevarlos a la colección en el CICIMAR para futuras consultas. Los datos obtenidos (fotografía, muestras y bitácora) fueron enviados al Laboratorio de Ecología de Pinnípedos "Burney J. Le Boeuf" del CICIMAR.

Descripción Del Patrón Espacial

Se revisó la densidad de varamientos mediante la realización de un mapa de calor por medio del software "QGis" (versión "3.30.1") para localizar los sitios donde los varamientos ocurrían con mayor frecuencia. Cada varamiento se representó mediante un punto con radio de 6000 m a escala para mejorar la visualización. Además, se realizó un conteo de animales varados por secciones en la isla. Para esto, la isla se dividió de forma equitativa en cinco secciones de aproximadamente

10.8 km y se procedió al conteo y cálculo del porcentaje de varamientos por zona. Esta metodología también fue realizada mediante el software “QGis” (versión “3.30.1”).

Análisis De Datos

Frecuencia y Abundancia

Se llevó a cabo un análisis de la frecuencia de varamientos tanto a nivel anual como mensual, utilizando los registros de varamientos comprendidos entre junio de 2003 y septiembre de 2022.

Riqueza y Diversidad Alfa

Para calcular la riqueza de especies, se realizó un recuento mensual y anual de los varamientos por especie a lo largo del período mencionado. Además, se estimó la diversidad alfa de los varamientos para cada mes y año del período de estudio. Para ello, se utilizó el índice de diversidad de Simpson mediante el software “RStudio” (versión ‘2023.3.0.386’), aplicando la fórmula:

$$D = \frac{\sum n(n - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde:

- D= índice de Simpson.
- n= número total de organismos de una especie.
- N= número total de organismos de todas las especies.

Influencia de la Temperatura en los Varamientos

Para analizar la influencia de la (TSM) en los varamientos de cetáceos, se realizaron dos correlaciones utilizando datos de TSM del período 2003-2019. Estos datos se obtuvieron a través del promedio mensual de la temperatura oceánica, utilizando imágenes globales diarias del nivel de TSM a partir de satélites de la NOAA, observaciones de barcos, boyas de TSM y la interpolación óptima (OISST) (Reynolds *et al.*, 2007). Los datos de TSM fueron obtenidos del estudio de Pelayo *et al.* (2021).

La primera correlación se centró en determinar la relación entre la TSM y el número de varamientos registrados mensualmente en la zona durante el mismo periodo. La segunda correlación examinó la relación entre la TSM y la diversidad de especies varadas, utilizando los datos de TSM y el promedio de diversidad de Simpson de cada año del periodo 2003-2019.

Para llevar a cabo las correlaciones, se eligió la prueba no paramétrica de Spearman en el software "RStudio". La fórmula de correlación de Spearman es la siguiente:

$$p = 1 - \frac{6(\sum d^2)}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

- d = diferencia entre los rangos de las variables.
- n = número total de observaciones.
- p = Correlación de Spearman

Además, se analizaron los regímenes de temperatura utilizando datos del estudio de Pelayo *et al.* (2021). Para la identificación de regímenes cálidos o fríos, se aplicó el Detector de Cambio de Régimen (RSD) en cada serie de tiempo para evaluar la existencia de un cambio de régimen temporal en ambas series (Rodionov, 2004; Rodionov y Overl, 2005).

También, se realizó una serie temporal en RStudio para examinar la relación entre la TSM y el número de varamientos registrados durante el periodo de 2003 a 2019, resaltando los regímenes de temperatura durante el periodo.

RESULTADOS

Descripción del Patrón Espacial

A partir de julio 2003 hasta septiembre de 2022 se registraron 784 organismos varados. La distribución de varamientos mostró una concentración notable en ambos extremos de la isla. El análisis reveló que el extremo sur, específicamente en Cabo San Lázaro, fue la zona con la mayor frecuencia de varamientos, registrando el 30.3% de los casos. En segundo lugar, el extremo nororiental presentó el 22.8% de los varamientos. Las áreas centrales de la isla mostraron una densidad más uniforme de varamientos, con porcentajes que variaron entre el 15 y el 16.2% (Figura 3).

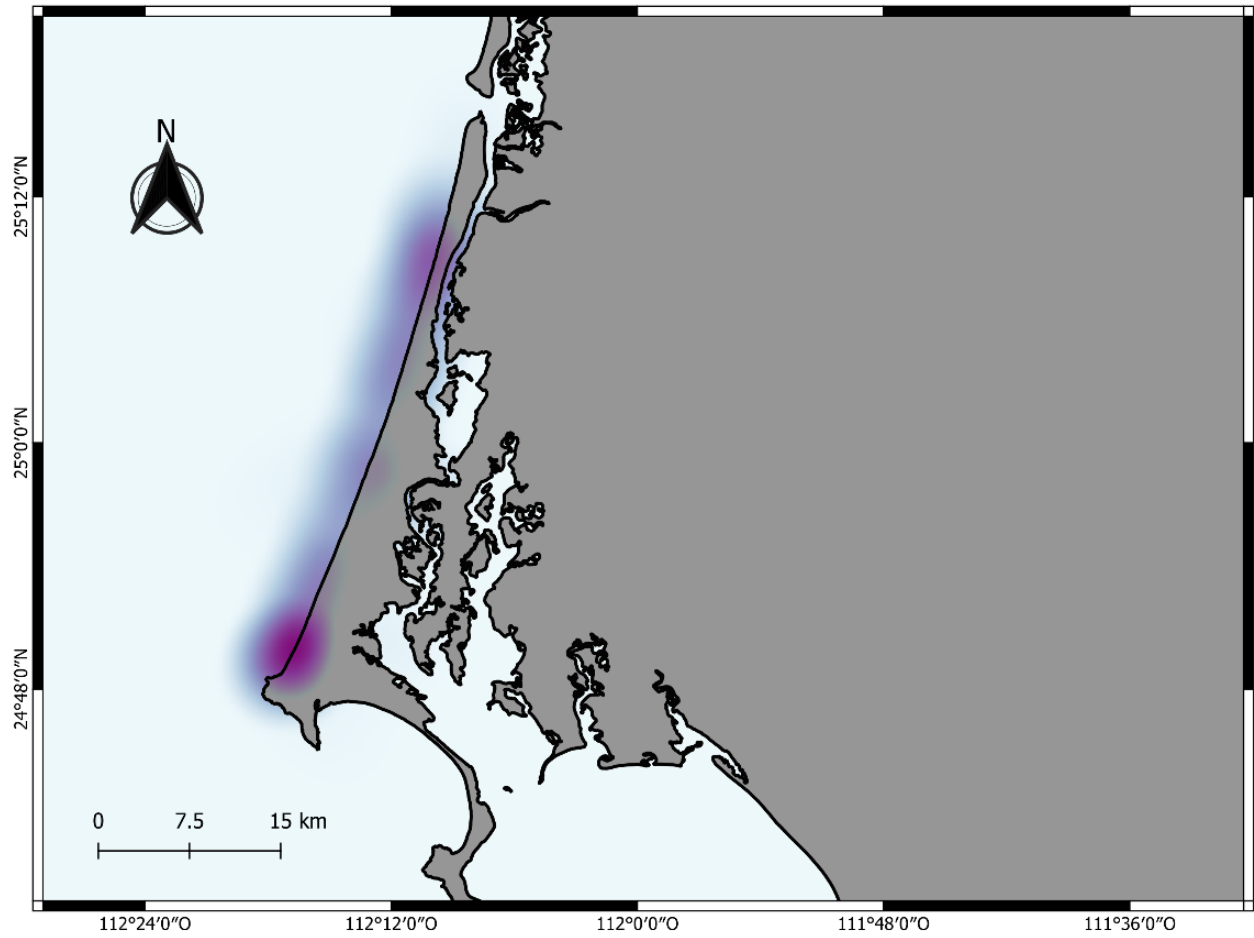


Figura 3. Distribución de los varamientos de cetáceos en Isla Magdalena en el periodo junio 2003 a septiembre 2022.

Frecuencia y Abundancia

De los 784 ejemplares, se identificaron 655 en seis familias, 14 géneros, 20 especies y dos subespecies. Los 129 organismos no identificados incluyeron seis ballenas y 123 delfines. Las especies con mayor representación fueron *Delphinus delphis delphis*, *Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis bairdii*; tan solo estas tres especies suman más del 60% del total de registros varamientos (Figura 4).

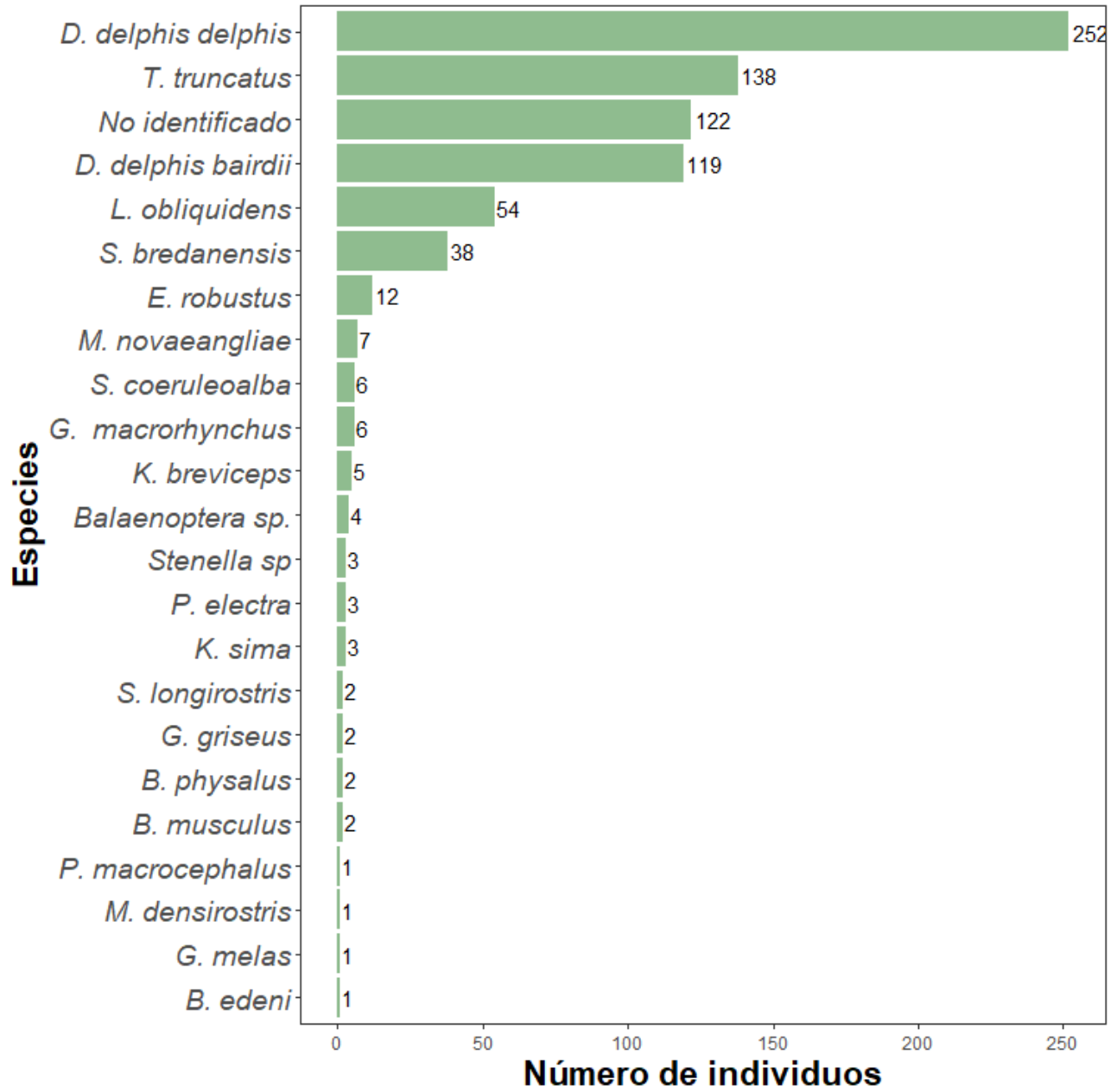


Figura 4. Especies de cetáceos varadas de junio 2003 a septiembre 2022.

La presencia de las especies migratorias varió dependiendo de la especie. *Eschrichtius robustus* estuvo presente de diciembre a inicios de marzo, *Megaptera novaeangliae* tuvo apariciones desde septiembre hasta abril y *Balaenoptera musculus* tuvo solo dos apariciones, ambas en abril de 2007 y 2011.

Sobresalen los registros de *Steno bredanensis* ya que previo a 2014, no había registros de esta especie en Isla Magdalena, pero a partir de este año comenzaron a aparecer anualmente en la playa, principalmente en diciembre de 2015 con 24 apariciones hasta diciembre de 2016 donde fue su última aparición. En agosto de 2023, ocurrió la única aparición de *Mesoplodon densirostris*. De forma similar, en agosto de 2022 se presentó el único varamiento de *Globicephala melas*.

Al analizar la tendencia mensual, se encontraron dos picos en los varamientos, el primero en mayo, junio y julio, con 109, 158 y 121 eventos respectivamente y el segundo pico hacia el final del año, con 56 casos en noviembre y 43 en diciembre (Figura 5a).

Al analizar la frecuencia anual se localizaron dos picos de varamientos durante el periodo de estudio. El primer pico se observó en 2006 con 128 casos, el número más alto registrado durante el estudio, seguido por 121 eventos en 2007. En 2013 se registró la cifra más baja, con solo seis individuos. En 2015 se presentó el segundo pico con 66 casos. Desde 2017, la cantidad de varamientos ha fluctuado entre 10 y 17 casos anualmente (Figura 5b).

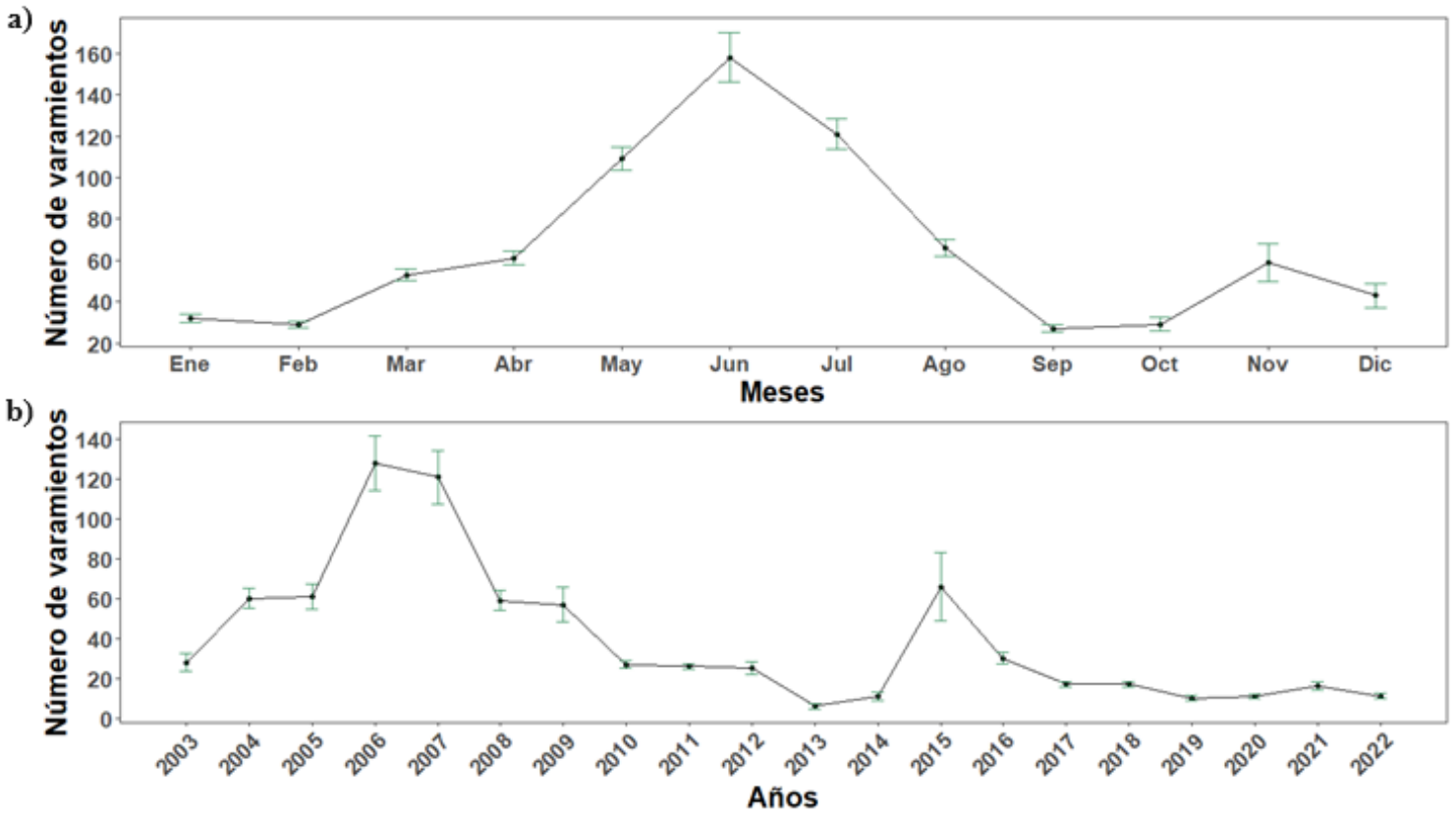


Figura 5.

a) Registro de varamientos mensuales durante el periodo 2003 – 2022.

b) Registro de varamientos anuales durante el periodo 2003 – 2022.

Riqueza y Diversidad Alfa

La riqueza de especies mostró una oscilación moderada a nivel mensual, variando entre seis y 10 especies a lo largo del año. Abril y julio presentaron la mayor diversidad con 10 especies cada uno, mientras que junio registró el mínimo con seis especies. Mayo, agosto, septiembre y octubre también mostraron una riqueza ligeramente menor, con siete especies en cada mes (Figura 6a).

En contraste, la riqueza anual mostró mayor variabilidad. De 2003 a 2007 y de 2015 a 2018 se presentó la mayor riqueza de especies. En el resto de los años, la riqueza se mantuvo en cinco y siete especies (Figura 6b).

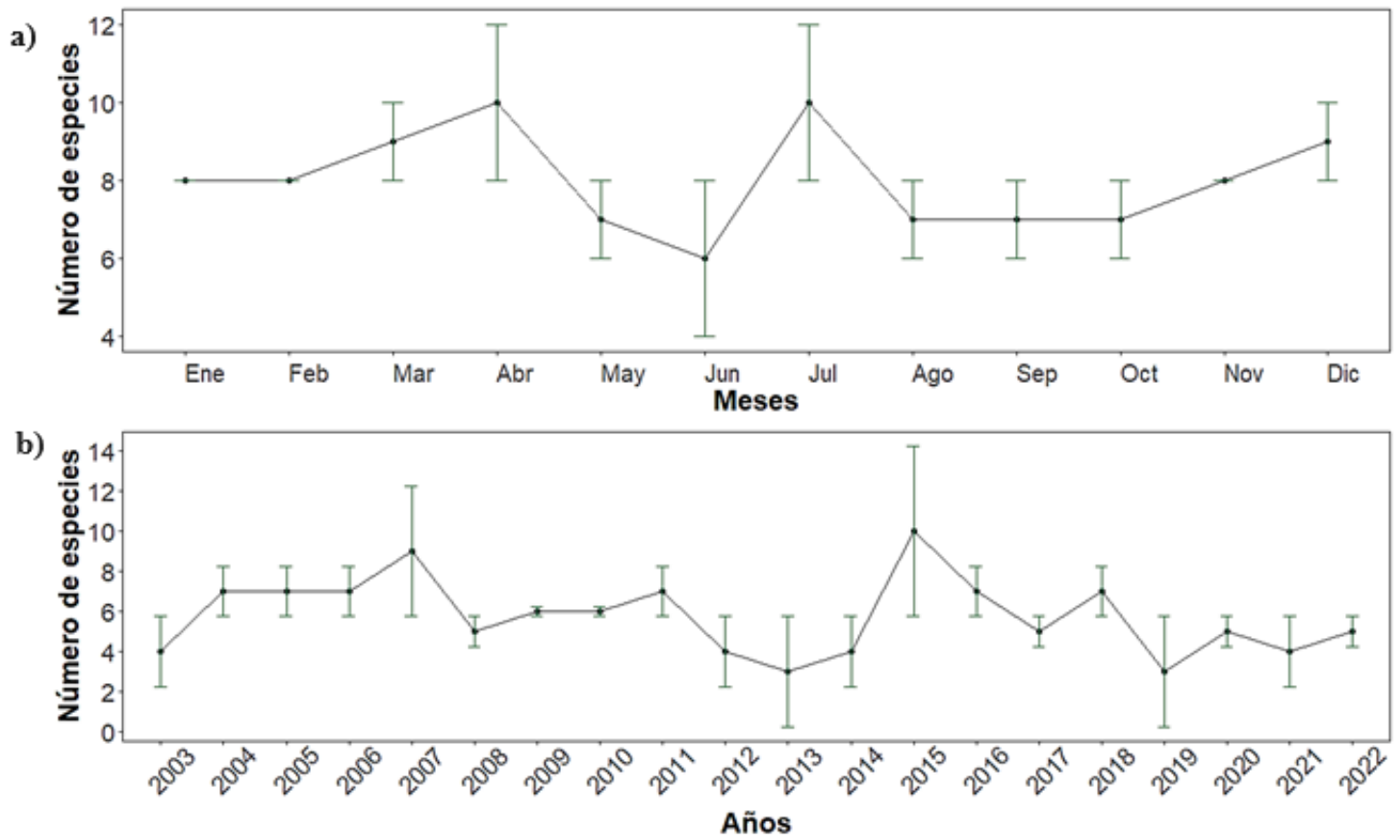


Figura 6.

(a) Riqueza de varamientos mensual durante el periodo 2003 – 2022.

(b) Riqueza de varamientos anual durante el periodo 2003 – 2022.

Diversidad Según el Índice de Simpson

La diversidad mensual acumulada, medida por el índice de Simpson desde 2003 hasta 2022 fue prácticamente la misma a lo largo del año, variando de 0.7011 a 0.8281.

A nivel anual, el índice de Simpson varió entre 0.4076 (2004, 2009 y 2017) y 0.8235 (2018). Se observó una disminución en la diversidad cada cinco años en el periodo 2004 a 2014, interrumpido por una disminución consecuente del fin de La Mancha. Los años con menor diversidad indican que los individuos se concentran en pocas especies o una dominancia de ciertas especies. En cambio, los años con mayor diversidad reflejaron una distribución más equitativa entre las especies.

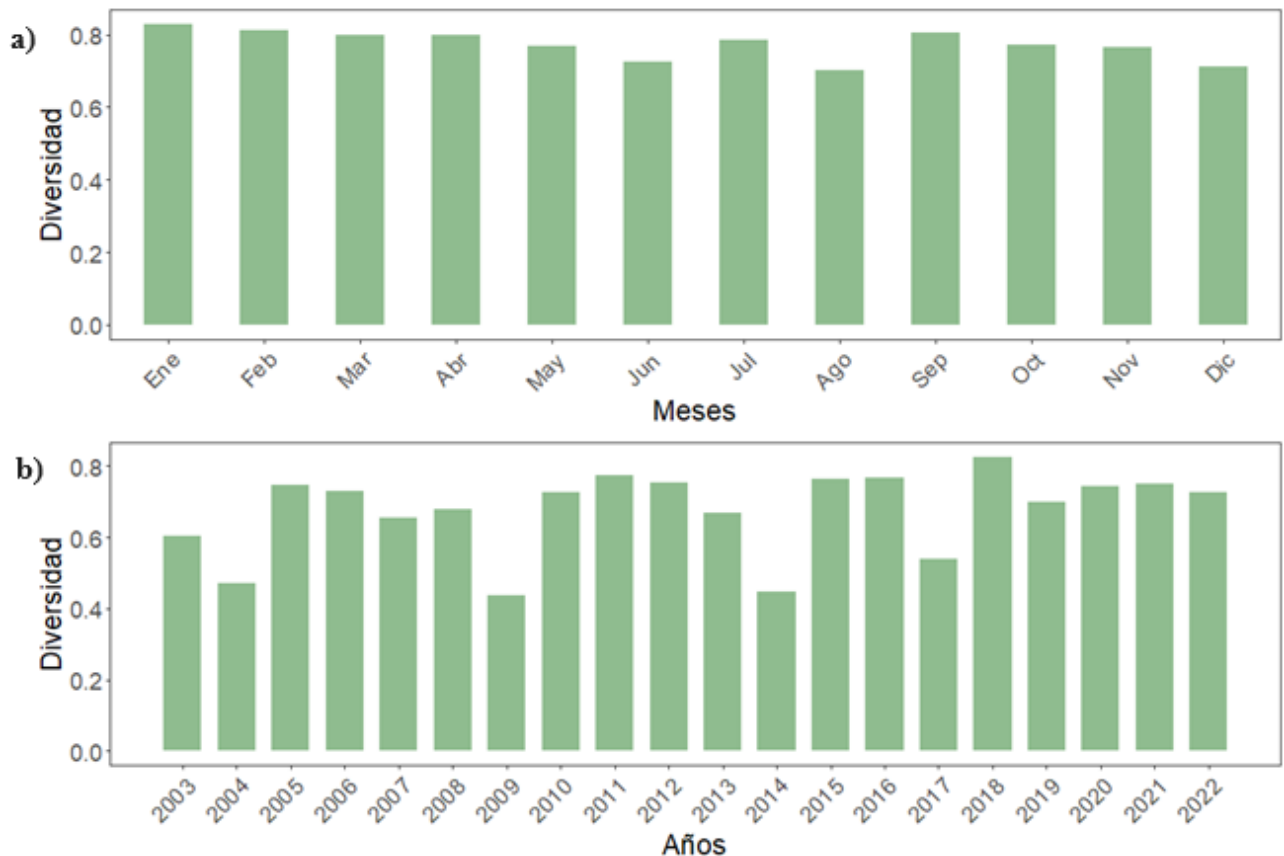


Figura 7.

a) Diversidad de varamientos mensual durante el periodo 2003 – 2022.

b) Diversidad de varamientos anual durante el periodo 2003 – 2022

Influencia de la Temperatura en los Varamientos

No se encontró una correlación entre la TSM y el número de varamientos ($R=0.027$ y $p=0.76$) (Figura 8). Con respecto a la TSM y el número de especies varadas, tampoco se encontró una correlación significativa ($R= 0.037$ y $p= 0.89$) (Figura 9).

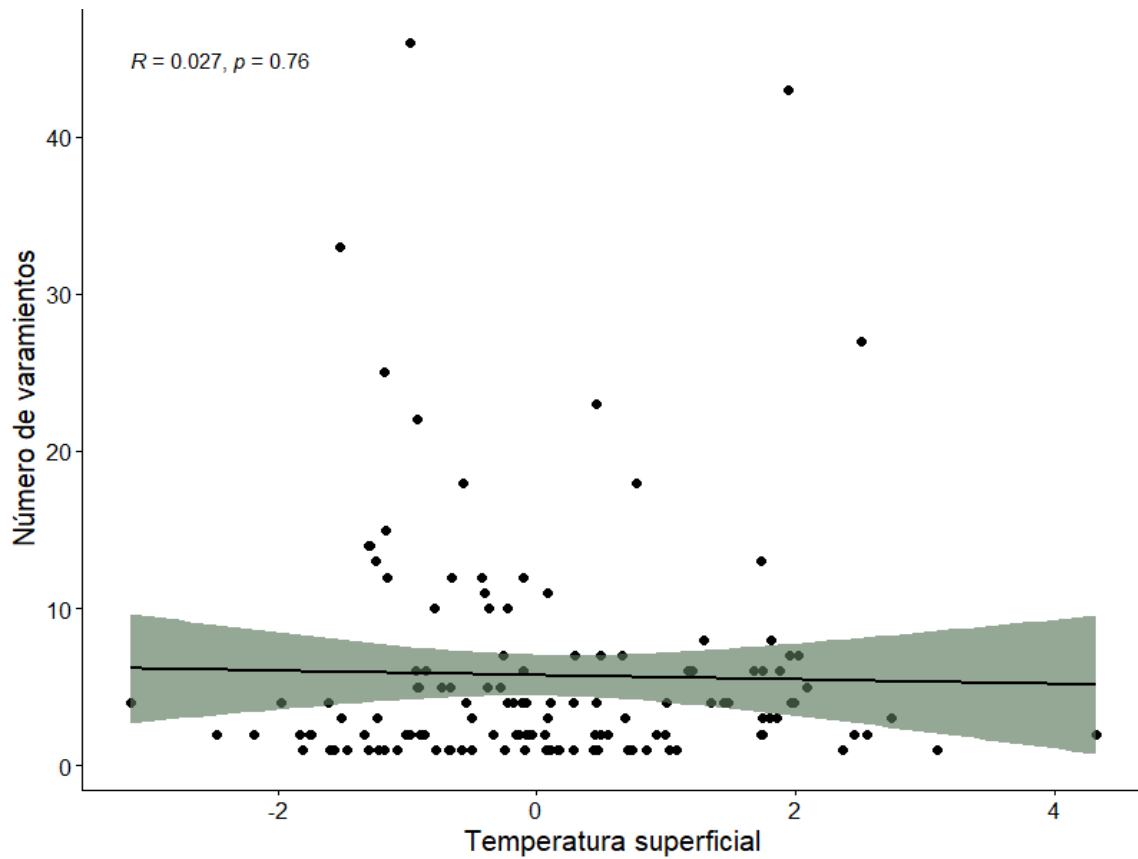


Figura 8. Correlación entre la temperatura superficial del mar y el número de varamientos.

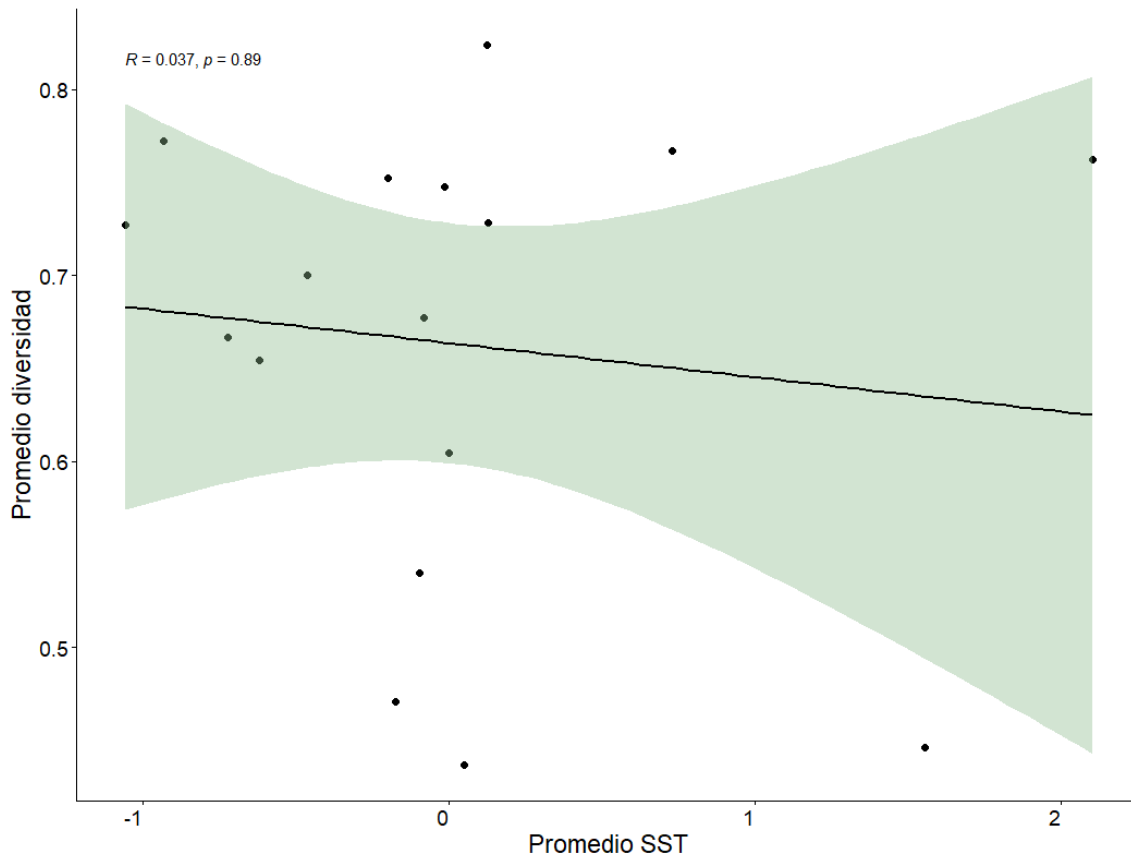


Figura 9. Correlación entre la temperatura superficial del mar y el promedio de diversidad.

Durante el periodo de estudio, se encontró una relación entre las anomalías térmicas positivas y los picos en el número de varamientos. Por ejemplo, entre el 2006 y 2007 se observó un incremento en el número de varamientos, coincidiendo con un aumento en la TSM. De igual forma, durante los efectos tardíos de la Mancha, en 2015 y 2016, se observó un pico de varamientos. Además, en 2009 se observó pico de varamientos que, pese a no coincidir con una anomalía en la TSM, sí coincide con el fenómeno del niño (Figura10).

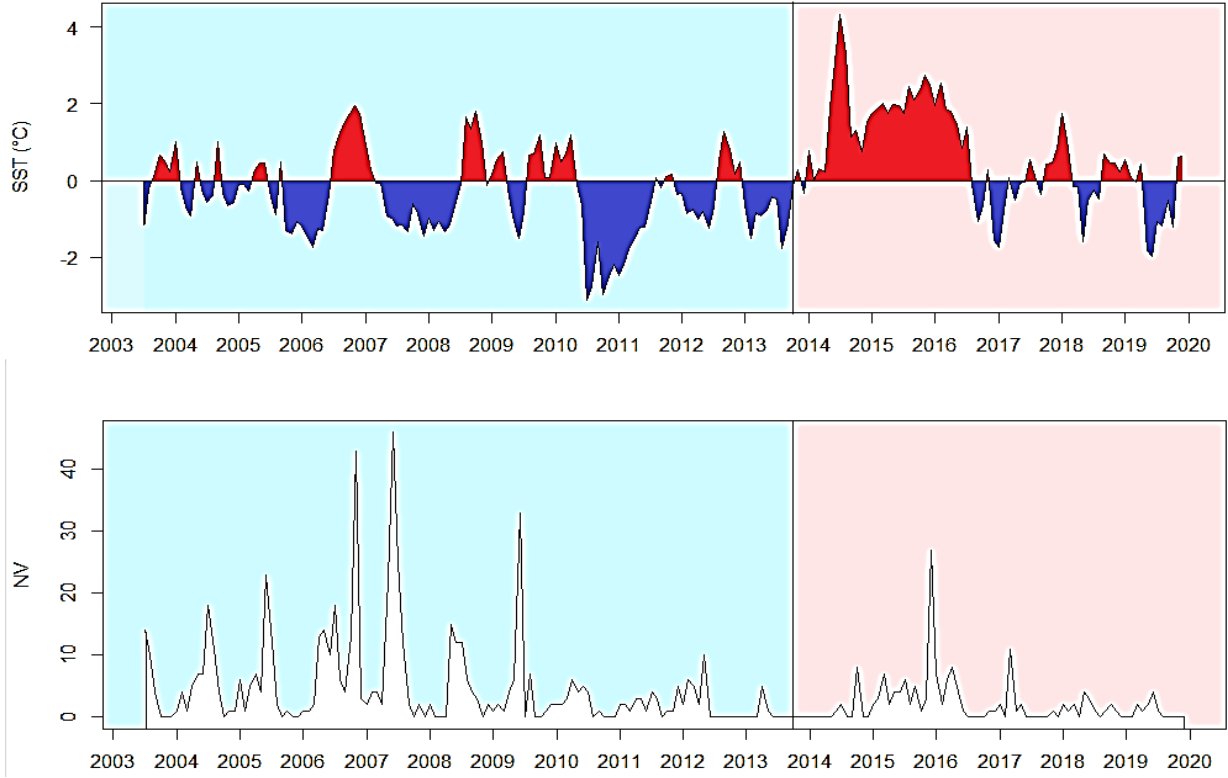


Figura 10. Cambios de régimen y número de varamientos.

DISCUSIÓN

Entre julio de 2003 y septiembre de 2022, se documentaron 784 varamientos en Isla Magdalena, equivalente a 41 eventos en promedio por año. La mayoría de estos sucesos se concentró en los extremos de la isla, principalmente en Cabo San Lázaro. Este punto, está situado en el extremo sur occidental de la isla, no tiene barreras geográficas que lo separen del mar, exponiéndolo directamente a las corrientes marinas, esto podría ser la razón por la cual la mayor parte de los varamientos ocurren en esta zona, particularmente si los animales mueren cerca de la isla.

La alta frecuencia de varamientos en Isla Magdalena podría estar vinculada a la densa población de especies marinas en la región, impulsada por la alta productividad del ecosistema. Factores como las surgencias estacionales y la interacción del Sistema de Corrientes de California crean un ambiente rico en nutrientes, favoreciendo la presencia de diversas especies marinas (Gonzales, 2018; Luch-Belda *et al.*, 2000; Mercuri, 2007). Por lo tanto, la ocurrencia de cetáceos varados sugiere que son atraídos por esta riqueza alimentaria.

Al contrastar estos hallazgos con datos de otras regiones del Pacífico, se observa una mayor frecuencia de varamientos en Isla Magdalena. En el archipiélago de Nueva Caledonia, al noreste de Australia, se reportaron 72 varamientos de 16 especies diferentes en 128 años (Borsa, 2006), mientras que en el Pacífico guatemalteco se registraron 39 eventos en quince años (Ortíz-Wolford *et al.*, 2021). Esto contrasta con el Golfo de México, donde se contabilizaron 774 varamientos en 41 años (Russell *et al.*, 2022), resaltando la singularidad de Isla Magdalena en términos de frecuencia de varamientos.

El análisis de frecuencia intraanual, señaló que, durante el verano, específicamente de mayo a julio, se registró el pico más alto de varamientos en Isla Magdalena, alcanzando un máximo en junio con 158 casos. Estudios similares, como el realizado en San Diego, California (Danil *et al.*, 2005), en la Bahía de Todos Santos, BCS (Bravo *et al.*, 2005) y en un estudio previo en Isla Magdalena (Mercuri, 2007) reportaron un incremento en los varamientos durante temporadas cálidas,

particularmente entre marzo y agosto. El incremento en varamientos durante esta temporada podría estar relacionado con los vientos provenientes del ecuador, que generan surgencias de aguas frías y ricas en nutrientes, atrayendo a una mayor concentración de fauna marina (Checkley y Barth, 2009). Asimismo, esta temporada coincide con el periodo de mayor actividad pesquera, donde predomina la captura de especies como el lenguado (*Paralichthys californicus*), jurel (*Seriola* spp., *Caranx* spp.) y sierra (*Scomberomorus sierra*) (Diario Oficial de la Federación, 2016).

Pese a coincidir con la principal temporada pesquera, solo 1.27% de los varamientos de esta temporada presentaron marcas de actividad antropogénica, incluyendo amputaciones de la aleta caudal o marcas de cuchillo. Las especies que presentaron marcas fueron cuatro ejemplares de *Delphinus delphis bairdii*, un *Tursiops truncatus truncatus*, un *Lagenorhynchus obliquidens* y dos ejemplares de *Stenella coeruleoalba*. El tipo de marcas y las especies que las presentaban fueron similares a otros estudios; mientras que, el porcentaje de animales con marcas relacionadas con la pesca es menor en comparación con otros trabajos. Por ejemplo, en un trabajo de Delgado *et al.* (1994) en Laguna de Términos, Campeche, encontró marcas mutilación de la aleta caudal en el 4% de los ejemplares varados. En otro estudio de Ortíz-Wolford *et al.* (2021), en Guatemala, se describe que el 10% de los ejemplares de *Tursiops truncatus* y *Stenella attenuata* presentaron amputación de aleta caudal. En los reportes de Bárcenas (2013) en Isla Magdalena, BCS, México, y Danil *et al.* (2010) en San Diego, California, señalan que las dos subespecies de *Delphinus delphis* fueron quienes más presentaron causadas por enmalle. En el estudio de Ortíz-Wolford *et al.* (2021) los ejemplares varados presentaron amputación de la aleta caudal.

Es importante destacar que la cantidad de varamientos con evidencia de interacciones antropogénicas puede ser subestimada. Esto se debe a que muchos de los cetáceos que varan llegan a la costa en estados avanzados de descomposición. Además, la presencia de especies carroñeras puede alterar los restos de los animales, lo que dificulta la identificación precisa de las marcas

antropogénicas. Por lo tanto, el número real de varamientos relacionados con la actividad humana puede ser mayor de lo que se observa.

Un segundo incremento en los varamientos se observa durante los últimos tres meses del año, lo que coincide con la temporada de migración de la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y la ballena gris (*Eschrichtius robustus*). El pico de varamientos en temporada invernal también coincide con un aumento en la productividad biológica, marcado por el afloramiento de fitoplancton y krill. Esta abundancia nutricional atrae a fauna de diferentes niveles tróficos, convirtiendo estas áreas en zonas idóneas para la pesca de langosta (*Panulirus* spp.) y sardina (*Opisthonema* spp.) (Checkley y Barth, 2009; Zuria *et al.*, 1995).

En el análisis de frecuencia interanual, señala un notable aumento en el número de varamientos durante junio de 2006 a julio de 2007, esto coincide con un incremento significativo en la TSM, posterior a un año con temperaturas notoriamente bajas, adicionalmente, este aumento de varamientos coincide con los efectos del fenómeno del Niño. Este patrón sugiere un posible desplazamiento térmico de los individuos en respuesta a su entorno, destacando cómo fenómenos extremos de temperatura pueden desencadenar ajustes en la distribución de especies marinas (Jacox *et al.*, 2020; Richardson y Schoeman, 2019; Golden Gate Weather Services, 2024). Un segundo pico se observó durante el 2009, coincidiendo con un ligero aumento en la TSM y los efectos del Niño en este año (GGWS, 2024). A partir de 2010, se observó una disminución en la frecuencia de varamientos, prolongándose hasta 2013, lo que se ha asociado con las acciones de conservación dirigidas hacia la tortuga amarilla, además de coincidir con una disminución en la TSM. En 2015, un segundo pico en varamientos coincidió con los efectos intensificados de La Mancha, afectando principalmente a las latitudes entre 25 y 30°, áreas que incluyen el Golfo de Uloa e Isla Magdalena (Cavole *et al.*, 2016; NOAA Fisheries, 2020).

Respecto a la diversidad, Isla Magdalena alcanzó sus niveles más altos en febrero, marzo y octubre, lo que coincidió con la migración estacional de la ballena

azul hacia el Golfo de California en octubre, cambios en los patrones de viento y el paso de corrientes cálidas hacia el norte (González, 2008; SEMARNAT, 2018). Respecto a la diversidad anual, se encontró un patrón en la disminución de la diversidad de especies varadas, la relación se observó cada cinco años durante el 2004 hasta el 2014, coincidiendo esta disminución con los años correspondientes al fenómeno del Niño (GGWS, 2024).

Las especies dominantes en nuestro estudio, *Delphinus delphis delphis*, *Delphinus delphis bairdii*, *Tursiops truncatus* y *Lagenorhynchus obliquidens*, representan el 70% de los casos y coinciden con las encontradas en la investigación de Danil *et al.* (2010) en San Diego, cuyo estudio, que abarcó desde 1851 hasta 2008; donde se determinó que el 77.8% de los cetáceos varados correspondían a las dos subespecies de *Delphinus delphis* y a *Tursiops truncatus*. Esta consistencia en los datos sugiere una estabilidad en las poblaciones de estos delfines a lo largo del tiempo.

Delphinus delphis, incluyendo sus dos subespecies, constituye el 39% del total de registros, con una presencia mayor entre mayo y agosto, y un incremento en noviembre. Su alta incidencia en verano se debe a que es la especie de delfín más abundante en las zonas cálidas del Pacífico, con hábitos gregarios y preferencia por aguas más cálidas (Würsig *et al.*, 2018). Por otro lado, *Tursiops truncatus*, representa el 17.6% y se observó principalmente de mayo a julio. Su presencia global y la estimación de una población mundial de 600,000 ejemplares (en 2018), explican su máxima presencia en verano (Würsig *et al.*, 2018).

Lagenorhynchus obliquidens, que representa el 6.8% de los registros, es una especie pelágica abundante en el Pacífico Norte. Aunque no es migratoria, muestra variaciones estacionales, siendo más común en las costas de California durante el invierno (Forney y Barlow 2006; Würsig, *et al.*, 2018). Sin embargo, esta especie se presentó de manera uniforme a lo largo del año, excepto en septiembre, mes donde ningún ejemplar varó.

La interacción con el Sistema de Corrientes de California en una zona de transición templado-tropical favorece la coexistencia de especies tropicales,

templadas y cosmopolitas, creando un ecosistema marino único (Luch-Belda *et al.*, 2003). Además, la presencia de especies migratorias como *Eschrichtius robustus*, *Megaptera novaeangliae* y *Balaenoptera musculus* es consistente con las expectativas, y su presencia varía según la temporada (Heckel *et al.*, 2014; Sears y Perrin, 2009; Urban y Aguayo, 1987).

En contraste, destacan registros inesperados de cuatro especies: *Steno bredanensis*, *Stenella longirostris*, *Mesoplodon densirostris* y *Globicephala melas*. En el caso de *Steno bredanensis* pese a representar el 4.8% de los varamientos, no se tenía registro de dicha especie antes del 2014. Se presentó del 2014 hasta el 2016, principalmente en temporada invernal, mayormente en diciembre, con solo tres apariciones en julio. No se conoce mucho de esta especie, ni se sabe de sus movimientos migratorios. Sin embargo, el registro de esta especie en Isla Magdalena representa los límites geográficos de su distribución común. Se sugiere una extensión temporal de su territorio ocasionada por el aumento de TSM causado por La Mancha, dado que su periodo de aparición ocurrió durante la llegada de La Mancha a la Península de Baja California (Würsig *et al.*, 2018).

En nuestro estudio, se documentaron únicamente dos varamientos de *Stenella longirostris*, ambos en 2005, un periodo caracterizado por temperaturas frías. Estos varamientos, que tuvieron lugar en los límites de su distribución pantropical (desde el norte de Chile hasta parte de Baja California Sur, cerca de 24° N), podrían ser el resultado de anomalías dentro de su rango de distribución. Otra posibilidad es que reflejen nuestro conocimiento limitado de la especie, el cual se ve obstaculizado por las dificultades inherentes a su estudio (Perrin *et al.*, 1993; Würsig *et al.*, 2018).

En nuestro estudio, solo se registró un ejemplar de *Mesoplodon densirostris* y *Globicephala melas* respectivamente. Aunque no se conocen hábitos migratorios de *Mesoplodon densirostris*, se han documentado movimientos estacionales hacia zonas más cálidas en invierno en algunas especies del mismo género. Además de estos dos registros, existe un registro adicional para cada una de las dos especies en la misma latitud, ambas dentro del Golfo de California, en la costa de Los Mochis,

Sinaloa. Por lo tanto, su presencia en Isla Magdalena podría ser una anomalía o reflejar un desconocimiento de la distribución de la especie (Halpin *et al.*, 2009; Ortega-Ortiz *et al.*, 2021; Würsig *et al.*, 2018).

Además del único ejemplar varado, se tiene un registro de *Globicephala melas* dentro del Golfo de California a una latitud mayor que Bahía Magdalena. Este registro fuera del rango de distribución normal puede deberse a una mala identificación o una anomalía (Halpin *et al.*, 2009; Würsig *et al.*, 2018).

En 2013 se observó el punto más bajo de varamientos con seis casos. Esta disminución coincide con la implementación de medidas de conservación enfocadas en la tortuga amarilla (*Caretta caretta*), comenzando con el Programa de Ordenamiento y el Plan de Manejo Pesquero en 2009, en busca de promover prácticas de pesca más selectivas (Diario Oficial de la Federación, 2016; SAGARPA, 2015). Aunque estas medidas estaban dirigidas principalmente a la tortuga amarilla, es posible que hayan tenido un impacto indirecto en la reducción de los varamientos de cetáceos, dada la coincidencia temporal y la ubicación geográfica común. El repunte en el número de varamientos, sucedido en 2015 con 66 varamientos podría explicarse por los efectos tardíos de la Mancha, puesto que las temperaturas anómalas tienden a influenciar en la salud y distribución de especies, provocando un alza en el número de varamientos (Carvole *et al.*, 2013; Cordes, 1982; Small *et al.*, 2017). La introducción del Programa de Observadores Científicos en 2014 y las restricciones pesqueras de 2015 en la playa occidental de Isla Magdalena, como la designación de zonas de refugio, podrían haber contribuido a la disminución en el número de varamientos registrado a partir de entonces. Estos hallazgos sugieren una interconexión entre las políticas de conservación dirigidas a una especie y su posible influencia positiva en otras especies marinas, lo que resalta la importancia de una gestión ambiental integrada y cuidadosa en áreas de biodiversidad crítica.

Los resultados obtenidos en este estudio acerca de la relación entre el número de varamientos y la TSM no fueron los esperados ya que no se encontró una correlación significativa entre estos factores. Esto contrasta con investigaciones

previas que señalan la relación entre el aumento de la TSM con alteraciones en el ecosistema, lo que conlleva al aumento de varamientos (Alter *et al.*, 2010; Rojas, 2013). Por ejemplo, Pizarro (2010) encontró relación entre los varamientos de cachalotes (*Physeter macrocephalus*) con anomalías positivas de la TSM. Una posible explicación para esta discrepancia puede ser la influencia de la Corriente de California, que según Zaytsev *et al.*, (2003), cambia su intensidad y velocidad de desplazamiento en función de la temperatura: a temperaturas más bajas, la corriente aumenta en densidad y velocidad, lo que le permite arrastrar y desplazar organismos a mayores distancias. Este fenómeno podría resultar en un incremento de los varamientos en la zona, independientemente de si las temporadas son cálidas o frías, lo que explicaría los resultados inesperados de mantener un número similar de varamientos en diferentes condiciones de temperatura.

CONCLUSIONES

El estudio ha demostrado que los varamientos de cetáceos son fenómenos complejos influenciados por una variedad de factores ambientales, aunque no existe una correlación directa entre la TSM y la frecuencia o diversidad de los varamientos. Sin embargo, eventos anómalos como "La Mancha" han mostrado un impacto en la cantidad de varamientos, sugiriendo que las variaciones extremas en las condiciones del océano pueden alterar los patrones de varamiento.

La alta incidencia de varamientos en ciertas áreas de Isla Magdalena, como Cabo San Lázaro, resalta la importancia de estas regiones como puntos clave para el estudio de la biodiversidad marina y la salud ecológica del océano. En particular, las especies más comunes que se encuentran varadas, *Delphinus delphis* y *Tursiops truncatus*, juegan un papel crucial en estos estudios. Además, la variabilidad en la riqueza y diversidad de especies a lo largo del tiempo, incluyendo a estas especies dominantes, proporciona una visión amplia para comprender mejor la ecología de estos mamíferos marinos y sus respuestas a los cambios ambientales.

Los varamientos son indicadores biológicos valiosos, que ofrecen información crucial para la conservación de los cetáceos y la gestión de sus hábitats. La evidencia de interacciones antropogénicas en algunos casos de varamientos enfatiza la necesidad de políticas de conservación más efectivas y medidas de gestión ambiental integrada, especialmente en zonas de alta biodiversidad y actividad humana.

Los varamientos de cetáceos no solo reflejan el estado del ecosistema marino, sino que también brindan oportunidades fundamentales para la investigación científica y la conservación. A través de un enfoque interdisciplinario y colaborativo, podemos aspirar a una mejor comprensión y protección de estos seres majestuosos y de los océanos que habitan.

BIBLIOGRAFÍA

Alter, S. E., Simmonds, M. P., y Brandon, J. R. (2010). *Predicción de las consecuencias de los cambios climáticos en el comportamiento humano sobre los cetáceos*. *Política Marina*, 34(5), 943-954.

Ascencio, E. H. (2010). *Evaluación de la mortalidad del lobo marino de California *Zalophus californianus* en Isla Magdalena, BCS, México* (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas). Pag. 67.

Aurioles, D. (1993). *Biodiversidad y estado actual de los mamíferos marinos en México*. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat XLIV*: 397-412.

Bárcenas De la C, D. (2013). *Exploración de las causas de mortalidad del lobo marino de California *Zalophus californianus* en Isla Magdalena, B.C. S., México*. Maestría en Manejo de Recursos Marinos Tesis, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas La Paz, B. C. S., México xiii,87 h.

Ballance, L. T., y R. L. Pitman. (1998). *Cetaceans of the western tropical Indian Ocean: distribution, relative abundance, and comparisons with cetacean communities of two other tropical ecosystems*. *Marine Mammal Science* 14:429-459.

Borsa, P. (2006). *Marine mammal strandings in the New Caledonia region, Southwest Pacific*. *Comptes Rendus Biologies*, 329(4), 277-288.

Bravo, E., Heckel, G., Schramm, Y., y Escobar-Fernández, R. (2005). Occurrence and distribution of marine mammal strandings in Todos Santos Bay, Baja California, Mexico, 1998-2001. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 4(1), 15-25. <https://doi.org/10.5597/lajam00066>

Bibby, C. J. (1981). *An experiment on the recovery of dead birds from the North Sea*. *Ornis Scandinavica*, 261-265.

Cavole, L. M., Demko, A. M., Diner, R. E., Giddings, A., Koester, I., Pagniello, C. M., y Franks, P. J. (2016). *Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: winners, losers, and the future*. *Oceanography*, 29(2), 273-285.

Ceballos, G., Arroyo-Cabrales, J., Medellín, R. A., y Domínguez-Castellanos, Y. (2005). *Lista actualizada de los mamíferos de México*. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 9, 21-71.

Cervantes-Duarte, R., López-López, S., González-Rodríguez, E., y Futema-Jiménez, S. (2010). *Ciclo estacional de nutrientes, temperatura, salinidad y clorofila a en Bahía Magdalena, BCS, México (2006-2007)*. *CICIMAR Océánides*, 25(2), 111-120.

Cervantes-Duarte, R., Prego, R., López-López, S., Aguirre-Bahena, F., y Ospina-Alvarez, N. (2013). *Annual patterns of nutrients and chlorophyll in a subtropical coastal lagoon under the upwelling influence (SW of Baja-California Peninsula)*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 120, 54-63.

Cetáceos y Navegación. (s.f.). *Cachalote – Physeter macrocephalus*. Recuperado el 25/05/2023 de <https://www.cetaceosynavegacion.com/fauna-marina/cetaceos/cachalote-physeter-macrocephalus/>

Checkley Jr, D. M., y Barth, J. A. (2009). *Patterns and processes in the California Current System*. *Progress in Oceanography*, 83(1-4), 49-64.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (s.f.). *Ficha Monitoreo SIMEC*. Recuperado el 25/05/2023 de: https://simec.conanp.gob.mx/ficha_monitoreo.php?id=5&menu=1

Committee on Taxonomy. (2022). *List of marine mammal species and subspecies*. Society for Marine Mammalogy, www.marinemammalscience.org, consulted on 20/03/2023.

Cordes, D. O. (1982). *The causes of whale strandings*. *New Zealand Veterinary Journal*, 30(3), 21–24. doi:10.1080/00480169.1982.34865

Danil, K., Chivers, S. J., Henshaw, M. D., Thieleking, J. L., Daniels, R., y Leger, J. A. S. (2010). *Cetacean strandings in San Diego County, California, USA: 1851–2008*. *J. Cetacean Res. Manage.*, 11(2), 163-184.

De Weerd, J., Ramos, E. A., Pouplard, E., Kochzius, M., y Clapham, P. (2021). *Cetacean strandings along the Pacific and Caribbean coasts of Nicaragua from 2014 to 2021*. *Marine Biodiversity Records*, 14(1), 1-9.

Diario Oficial de la Federación. (23 de junio de 2016). *Acuerdo por el que se dan a conocer las Notas Explicativas de la Tarifa Arancelaria* (Continúa en la Séptima Sección) (No. DOF: 23/06/2016). Recuperado el [21-05-2021] https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5442227&fecha=23/06/2016#gsc.tab=0

Estrella, A. D., Ortiz, J. G. O., y Ríos, A. S. (1994). *Varamientos de mamíferos marinos durante primavera y otoño, y su relación con la actividad humana en el norte del Golfo de California*. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología*, 65(2), 287-295.

Félix, F., Haase, B., Denking, J., y Falconí, J. (2010). *Varamiento de mamíferos marinos registrados en la costa continental de Ecuador entre 1996 y 2009*.

Funes, R., R., Gómez G., J., y Palomares G., R. (2007). *Estudios ecológicos en bahía Magdalena*. Dirección de Publicaciones. PAG. XXI-XXVI, 62-66

Gobierno de México. (s.f.). *Normas Oficiales Mexicanas*. Recuperado el 15/05/2023 de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>

Gobierno de México. (2023). *Carta Nacional Pesquera 2023*. Diario Oficial de la Federación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/842686/Carta_Nacional_Pesquera_2023.pdf

González, R., E. (2008). *Variabilidad de la productividad primaria en el Golfo de Ulloa, costa occidental de Baja California* (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas). PAG. 155.

González-Rodríguez, E., Trasviña-Castro, A., Gaxiola-Castro, G., Zamudio, L., y Cervantes-Duarte, R. (2012). *Net primary productivity, upwelling and coastal currents in the Gulf of Ulloa, Baja California, México*. *Ocean Science*, 8(4), 703-711.

Halpin, P.N., A.J. Read, E. Fujioka, B.D. Best, B. Donnelly, L.J. Hazen, C. Kot, K. Urian, E. LaBrecque, A. Dimatteo, J. Cleary, C. Good, L.B. Crowder, y K.D. Hyrenbach. 2009. OBIS-SEAMAP: *The world data center for marine mammal, sea bird, and sea turtle distributions*. *Oceanography* 22(2):104-115.
<http://www.jstor.org/stable/24860963>

Hickey, B. M. (1979). *El sistema actual de California: hipótesis y hechos*. *Progreso en Oceanografía*, 8(4), 191-279.

Hilario, A., Cunha, M. R., Génio, L., Marçal, A. R., Ravara, A., Rodrigues, C. F., y Wiklund, H. (2015). *First clues on the ecology of whale falls in the deep Atlantic Ocean: results from an experiment using cow carcasses*. *Marine Ecology*, 36(S1), 82-90. DOI: [10.1111/maec.12246](https://doi.org/10.1111/maec.12246)

Jacox, M. G., Alexander, M. A., Bograd, S. J., y Scott, J. D. (2020). *Thermal displacement by marine heatwaves*. *Nature*, 584(7819), 82-86.

Lambert, E., Pierce, G. J., Hall, K., Brereton, T., Dunn, T. E., Wall, D., ... y MacLeod, C. D. (2014). *Cetacean range and climate in the eastern North Atlantic: future predictions and implications for conservation*. *Global Change Biology*, 20(6), 1782-1793.

Leising, A. W., Schroeder, I. D., Bograd, S. J., Abell, J., Durazo, R., Gaxiola-Castro, G., y Warybok, P. (2015). *State of the California Current 2014-15: Impacts of the Warm-Water" Blob"*. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 56.

Lluch-Belda, D., Hernández-Rivas, M., Saldierna-Martínez, R., y Guerrero-Caballero, R. (2000). *Sea surface temperature variability at Magdalena Bay, Baja California Sur, México*. *Océanides*, 15, 1-23.

Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D. B., y Lluch-Cota, S. E. (2003). *Baja California's biological transition zones: refuges for the California sardine*. *Journal of Oceanography*, 59, 503-513.

MacLeod, C. D., W. F. Perrin., R. Pitman., J. Barlow., L. Ballance., A. D'Amico., T. Gerrodette., G. Joyce., K. D. Mullin., D. L. Palka. y G. T. Waring. (2006). *Known and inferred distributions of beaked whale species (Cetacea: Ziphiidae)*. *J. Cetacean Res. Manage.* 7(3): 271-286.

MacLeod, C. D., Bannon, S. M., Pierce, G. J., Schweder, C., Learmonth, J. A., Herman, J. S., y Reid, R. J. (2005). *Climate change and the cetacean community of north-west Scotland*. *Biological Conservation*, 124(4), 0–483. doi:10.1016/j.biocon.2005.02.004

Mangels, K. F. y Gerrodette, T. (1994). *Report on cetacean sightings during a marine mammal survey in the eastern tropical Pacific aboard the NOAA ships McArthur and David Starr Jordan, July 28-November 2, 1992*.

Meager, J. J., y Limpus, C. (2014). *Mortality of inshore marine mammals in eastern Australia is predicted by freshwater discharge and air temperature*. *PLoS One*, 9(4), e94849.

Marine Mammal Anatomy & Pathology Library. (n.d.). *Intro to Condition Codes*. Retrieved [22/05/2023], from <https://mmapl.ucsc.edu>.

Mercuri, M. (2007). *Varamiento de mamíferos marinos en isla Magdalena, BCS, México y su relación con factores físicos y biológicos*, Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 106 p.

Moore, M. J., Hammar, T., Arruda, J., Cramer, S., Dennison, S., Montie, E., y Fahlman, A. (2011). *Hyperbaric computed tomographic measurement of lung*

compression in seals and dolphins. Journal of Experimental Biology, 214(14), 2390-2397.

Moore, K. M. (2018). *Encyclopedia of Marine Mammals || Strandings*, (), 945–951. doi:10.1016/B978-0-12-804327-1.00249-1

Moore, M. J., Mitchell, G. H., Rowles, T. K., y Early, G. (2020). *Dead cetacean? Beach, bloat, float, sink*. Frontiers in Marine Science, 7, 333.

Moser, H.G., P.E. Smith y L.E. Eber. (1987). *Larval fish assemblages in the California Current region, 1954-1960, a period of dynamic environmental change*. CalCOFI Rep., 28, pp 97-124.

OBIS-SEAMAP. (s. f.). *The world data center for marine mammal, sea bird, and sea turtle distributions*. Duke University. Retrieved [02/05/2023], from [https://seamap.env.duke.edu/]

Ortega-Ortiz, C. D., Díaz-Torres, E. R., Llamas-González, M., Cuevas-Soltero, A. B., Martínez-Romero, A. G., Meza-Yáñez, R., ... y Bachara, W. (2021). *Sightings and strandings of beaked whales from the Mexican Central Pacific*. Aquatic Mammals, 47(2), 114-126.

Ortiz-Wolford, J., Corona-Figueroa, M. F., Dávila, V., y Cabrera, A. A. (2021). *Cetacean stranding records along the Pacific coastline of Guatemala, 2007–2021: Implications for management, conservation and research*. Marine Policy, 134, 104827.

Pelayo-González, L., González-Rodríguez, E., Ramos-Rodríguez, A., y Hernández-Camacho, C. J. (2021). *California sea lion population decline at the southern limit of its distribution during warm regimes in the Pacific Ocean*. Regional Studies in Marine Science, 48, 102040.

Perrin, W. F. (1983). *Distribution of four dolphins (Stenella spp. and Delphinus delphis) in the eastern tropical Pacific, with an annotated catalog of data sources* (NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFC-38). Southwest Fisheries Center (U.S.). <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/5573>

Perrin, W. F., y Geraci, J. R. (2009). *Stranding*. In Encyclopedia of marine mammals (pp. 1118-1123). Academic Press.

Pizarro-Neyra, J. (2010). *Varamientos de cetáceos en el litoral de Tacna, Perú*. Revista Peruana de Biología, 17(2), 287-292.

Ramp, C., Delarue, J., Palsbøll, P. J., Sears, R., y Hammond, P. S. (2015). *Adapting to a warmer ocean—seasonal shift of baleen whale movements over three decades*. PLoS One, 10(3), e0121374.

Reynolds, R.W., Smith, T.M., Liu, C., Chelton, D.B., Casey, K.S., Schlax, M.G., 2007. *Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature*. J. Clim. 20 (22), 5473–5496. <http://dx.doi.org/10.1175/2007JCLI1824.1>.

Richardson, A. J., y Schoeman, D. S. (2019). *Sea animals are more vulnerable to warming than are land ones*.

Russell, M., Bloodgood, J. y Carmichael, R. (2022). *Patrones espaciales, temporales y demográficos de varamientos de cetáceos en el centro-norte del Golfo de México*. J. Cetacean Res. Manage., 23(1), 171-182.

Saavedra, C., Pierce, G. J., Gago, J., Jusufovski, D., Cabrero, Á., Cerviño, S., ... y Santos, M. B. (2017). *Factors driving patterns and trends in strandings of small cetaceans*. Marine biology, 164, 1-17.

Sanderson, C. E., y Alexander, K. A. (2020). *Unchartered waters: Climate change likely to intensify infectious disease outbreaks causing mass mortality events in marine mammals*. Global Change Biology, 26(8), 4284-4301.

SAGARPA. (2018). *Fortalece SAGARPA medidas de protección a las tortugas marinas en Baja California Sur*. Recuperado el 21/02/2021, de <https://www.gob.mx/agricultura/bajacaliforniasur/articulos/fortalece-sagarpa-medidas-de-proteccion-a-las-tortugas-marinas-en-baja-california-sur?idiom=es>.

SEMARNAT. (2018). *Programa de Acción para la Conservación de la Especie Ballena Azul (Balaenoptera musculus)*, SEMARNAT/ CONANP, México (Año de edición 2018)

SEMARNAT. (2018). *Programa de Acción para la Conservación de la Especie Ballena Jorobada (Megaptera novaeangliae)*, SEMARNAT/ CONANP, México (Año de edición 2018).

Simmonds, M. P., y Isaac, S. J. (2007). *The impacts of climate change on marine mammals: early signs of significant problems*. *Oryx*, 41(1), 19-26.

Small, R. J., Brost, B., Hooten, M., Castellote, M., y Mondragon, J. (2017). *Potential for spatial displacement of Cook Inlet beluga whales by anthropogenic noise in critical habitat*. *Endangered Species Research*, 32, 43-57.

Society for Marine Mammalogy. (s.f.). *Balaenoptera edeni*. Recuperado 25/05/2023 de <https://marinemammalscience.org/facts/balaenoptera-edeni/>

Storrie, L., Lydersen, C., Andersen, M., Wynn, R. B., y Kovacs, K. M. (2018). *Determining the species assemblage and habitat use of cetaceans in the Svalbard Archipelago, based on observations from 2002 to 2014*. *Polar Research*, 37(1), 1463065.

Trenberth, K. E., y Hurrell, J. W. (1994). *Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific*. *Climate Dynamics*, 9(6), 303-319.

University of Michigan Museum of Zoology. (s.f.). *Balaenoptera musculus*. Recuperado el 25/03/2023 de https://animaldiversity.org/accounts/Balaenoptera_physalus/

University of Michigan Museum of Zoology. (s.f.). *Lagenorhynchus obliquidens*. Recuperado el 25/03/2023 de https://animaldiversity.org/accounts/Lagenorhynchus_obliquidens/

Van, W., C., Towers, J. R., y Bosker, T. (2021). *Impacts of climate change on cetacean distribution, habitat and migration*. *Climate Change Ecology*, 1, 100009.

Würsig, B., y Kovacs, K. M. (3ra ed.). (2018). *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press.

Zaytsev, O., Cervantes-Duarte, R., Montante, O., y Gallegos-Garcia, A. (2003). *Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula*. *Journal of oceanography*, 59(4), 489-502.

Zuria-Jordan, I. L., Álvarez-Borrego, S., Santamaría-del-Ángel, E., y Müller-Karger, F. E. (1995). *Satellite-derived estimates of phytoplankton biomass off Southern Baja California*. *Ciencias Marinas*, 21(3), 265-280.

ANEXOS

Tabla 2. Estado de descomposición ilustrada.

Estado de descomposición	Descripción	
1	Animal vivo.	
2	De 0 a 3 días después de la muerte. Cuerpo aparentemente fresco en el exterior y presencia de moscas.	
3	De 4 a 10 días después de la muerte. Inflamación en el cuerpo, liberación de fluidos y presencia de moscas y gusanos.	

4

De 10 a 20 días después de la muerte. Cuerpo colapsado, color negro en las partes expuestas, presencia de fluidos corporales en el suelo circundante. Cuerpo mayormente ingerido por insectos o animales carroñeros



5

Restos momificados (remanentes de tejido seco, exposición de huesos)





Figura 11. Ejemplar de *Stenella coeruleoalba* con aleta caudal mutilada.



Figura 12. Ejemplar de *Delphinus delphis delphis* con aleta caudal y pectoral mutiladas.



Figura 13. Ejemplar de *Stenella coeruleoalba* con aleta caudal mutilada.



Figura 14. Ejemplar de *Tursiops truncatus* con hocico mutilado.