



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**VARIABILIDAD EN EL NICHOS ISOTÓPICO
(2013-2016) Y ANÁLISIS DEL
DESPLAZAMIENTO MEDIANTE TELEMETRÍA
EN EL LOBO FINO DE GUADALUPE
(*Arctocephalus philippii townsendi*)**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

MARÍA JOSÉ AMADOR CAPITANACHI

LA PAZ, B.C.S., JULIO 2018



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 24 del mes de Mayo del 2018 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**"VARIABILIDAD EN EL NICHU ISOTÓPICO (2013-2016) Y ANÁLISIS DEL DESPLAZAMIENTO
 MEDIANTE TELEMETRÍA EN EL LOBO FINO DE GUADALUPE (*Arctocephalus philippii townsendi*)"**

Presentada por el alumno:

AMADOR

Apellido paterno

CAPITANACHI

materno

MARIA JOSE

nombre(s)

Con registro:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B | 1 | 6 | 0 | 6 | 1 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|


Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA


Directores de Tesis


 DR. FERNANDO RICARDO ELORRIAGA VERPLANCKEN
 Director de Tesis


 M en C. TENAYA AMBER NORRIS
 2º. Director de Tesis


 DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA


 M en C. JOSÉ RICARDO PALOMARES GARCÍA

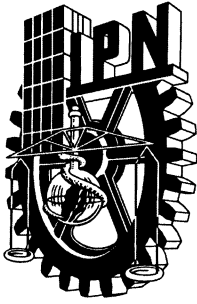

 DRA. CLAUDIA JANET L. HERNÁNDEZ CAMACHO

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


 DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
 CICIMAR
 DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 04 del mes de Junio del año 2018

El (la) que suscribe BM. MARÍA JOSÉ AMADOR CAPITANACHI Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B160619 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. FERNANDO RICARDO ELORRIAGA VERPLANCKEN Y M en C. TENAYA AMBER NORRIS

y cede los derechos del trabajo titulado:

"VARIABILIDAD EN EL NICHOS ISOTÓPICO (2013-2016) Y ANÁLISIS DEL DESPLAZAMIENTO

MEDIANTE TELEMETRÍA EN EL LOBO FINO DE GUADALUPE (*Arctocephalus philippii townsendi*)".

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: marijose892@gmail.com - elofe7@gmail.com - norrist@tmmc.org

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BM. MARÍA JOSÉ AMADOR CAPITANACHI

Nombre y firma del alumno

A mi abuelo Raúl y mi abuela Lilia

*A mi papá y mi mamá, todo lo que soy es gracias a
ustedes. Y también a Guanma, por el apoyo que siempre
me han brindado como familia*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, al Dr. Fernando Elorriaga Verplancken, a quien le agradezco infinitamente por permitirme ser parte de su equipo de trabajo, por involucrarme en proyectos con experiencias únicas, por toda la confianza que ha puesto en mí para la realización de este trabajo, salidas de campo y presentaciones en congresos. Y especialmente por el apoyo incondicional, motivación y tiempo que siempre me ha brindado, y lo caracteriza como un excelente profesor. ¡Gracias infinitas por todo Fer, me siento muy afortunada de ser tu alumna!

A mi Co-directora, Tenaya Norris, que sin ella la realización de esta tesis hubiera sido imposible. Por siempre tener buena disposición y una gran paciencia para ayudarme en el procesamiento de datos en este trabajo, así como todas las horas de su tiempo que me brindó para aclarar dudas y llevar a cabo de manera exitosa esta tesis. Tenaya, Thanks a lot for your time, your advice and your support, I feel the luckiest student with you and Fer as my advisors!!

A los integrantes de mi comité, la Dra. Claudia Hernández, M en C. Ricardo Palomares y Dr. Felipe Galván, por todas las observaciones y consejos realizados a mi trabajo y que ayudaron a incrementar la calidad de éste.

Al Dr. Eduardo González de CICESE, por toda su ayuda en la parte oceanográfica de mi tesis, ya que sin él esta parte no hubiera sido posible. Y también por toda la paciencia que me tuvo para que entendiera todos los procesos, así como la programación. Y por siempre hacerme sentir bienvenida en su laboratorio.

A CICIMAR por dejarme ser parte de su programa de estudios de maestría, y poder realizar este proyecto.

A CONACYT y a PIFI por los apoyos económicos otorgados.

A la Secretaria de Marina (SEMAR) de la Segunda Zona Naval de Ensenada, B.C., por su apoyo en el transporte y en la permanencia en Isla Guadalupe. Sin su apoyo éste trabajo no hubiera sido posible.

A la dirección general de la vida silvestre por emitir los permisos de colecta correspondientes y a la Comisión Nacional de Áreas Naturales protegidas (CONAMP) por emitir la documentación de no objeción para acudir a los muestreos de este estudio.

A todas las personas que ayudaron en la recolecta de muestras de este trabajo en las temporadas reproductivas en Isla Guadalupe del 2013-2016.

A The Marine Mammal Center por proporcionar las marcas satelitales utilizadas en esta tesis, y al equipo en campo para colocarlas en 2017: Tenaya Norris, Fernando Elorriaga, Jeff Harris, Alissa Deming, Toño Morcego y Tony Orr.

A mi familia, especialmente mi mamá, mi papá y Juan por siempre sentir su apoyo a pesar de la distancia. Y al resto del clan Amador-Capitanachi por todos los comentarios tan bonitos sobre mi carrera y que siempre me han inspirado a seguir adelante.

A las lobesnas (Juls y Karen) que además de ser amigas desde el principio de la carrera nos ha tocado vivir experiencias únicas y en su mayoría increíbles como compañeras de laboratorio, desde salidas de campo y viajes a congresos hasta horrible burocracia, pero eso si... siempre apoyándonos.

Al resto de mis amigos, Daleth, Carlos, Andy, Lafael, Salwa, José Luis, Eva, José y Cristian por siempre estar ahí para liberar los momentos de estrés y ser parte de la vida paceña que tanto me gusta. También a Juanca, que además de lo anterior, siempre me motivó y me dio muchos consejos nerds para mi tesis.

ÍNDICE

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE FIGURAS | i |
| LISTA DE TABLAS | iv |
| RESUMEN | vii |
| ABSTRACT | viii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| ANTECEDENTES | 8 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 13 |
| HIPÓTESIS | 14 |
| OBJETIVO GENERAL | 14 |
| OBJETIVOS PARTICULARES | 14 |
| ÁREA DE ESTUDIO | 15 |
| MÉTODOS | 16 |
| Comparación interanual por medio del análisis de isótopos estables | 16 |
| <i>Recolecta de muestras</i> | 16 |
| <i>Procesamiento de muestras de pelo</i> | 17 |
| Identificación de zonas de alimentación | 18 |
| Telemetría satelital | 18 |
| <i>Programación y colocación de dispositivos</i> | 18 |
| <i>Procesamiento de datos de telemetría satelital</i> | 20 |
| Identificación de zonas de alimentación | 23 |
| Isótopos estables | 23 |
| Relación entre ambas aproximaciones | 24 |
| Relación entre zonas de alimentación y frentes | 24 |
| Relación entre frentes y comparación isotópica interanual (2013-2016) | 25 |
| Comparación isotópica interanual | 26 |
| Identificación de zonas de alimentación | 28 |
| <i>Telemetría satelital</i> | 28 |
| <i>Isótopos estables en lobos finos de Guadalupe instrumentados</i> | 33 |
| Relación entre zonas de alimentación y frentes de clorofila y temperatura | 38 |
| Relación entre frentes y comparación interanual | 41 |
| DISCUSIÓN | 43 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Zonas de alimentación del lobo fino de Guadalupe | 43 |
| <i>Caracterización de las zonas de alimentación del lobo fino de Guadalupe</i> | 43 |
| <i>Valores isotópicos de sangre y pelo del lobo fino de Guadalupe</i> | 44 |
| <i>Relación entre valores isotópicos y zonas alimentación del lobo fino de Guadalupe</i> | 45 |
| <i>Zonas de alimentación por categoría de sexo y edad del lobo fino de Guadalupe y la relación con su nicho isotópico</i> | 47 |
| Relación entre zonas de alimentación y frentes oceanográficos | 49 |
| Comparación interanual 2013-2016 del nicho isotópico del lobo fino de Guadalupe | 51 |
| CONCLUSIONES | 58 |
| RECOMENDACIONES | 59 |
| BIBLIOGRAFÍA | 60 |

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Territorio de lobo fino de Guadalupe, en donde se observa el dimorfismo sexual. A) Macho adulto, B) Hembra adulta y C) Cría ... 6

Figura 2. Localización de Isla Guadalupe en el Pacífico Mexicano... 15

Figura 3. Captura de crías de lobo fino de Guadalupe y toma de muestra de pelo para posterior análisis de isótopos estables... 16

Figura 4. Marca satelital SPLASH-10F-297 manufacturada por Wildlife computers..19

Figura 5 Lobo fino de Guadalupe juvenil anestesiado con isofluorano mientras se le coloca la marca satelital con resistol epóxico en la zona dorsal y se recolecta muestra de sangre para análisis isotópico ... 20

Figura 6. Promedio y desviación estándar de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del 2013 al 2016... 26

Figura 7. Rango de valores de $\delta^{15}\text{N}$ de hembras hipotéticas por año. A. 2013, B.2014, C.2015, D.2016...27

Figura 8. Rango de valores de $\delta^{13}\text{C}$ de hembras hipotéticas por año. A. 2013, B.2014, C.2015, D.2016... 27

Figura 9. Nicho isotópico interanual (2013-2016) durante la época reproductiva de hembras hipotéticas del lobo fino de Guadalupe...28

Figura 10. Cada polígono representa una zona de alimentación identificada para lobos finos de Guadalupe de Isla Guadalupe durante el periodo abril-julio de 2017. Las líneas negras horizontales representan el límite entre las áreas establecidas. Las isobatas de 200 y 2,000 m están representadas por líneas negras y gris...30

Figura 11. Zonas de alimentación y porcentaje (%) de tiempo en cada área de A. hembras adultas (Cara= polígonos amarillos, Aurora= polígono azul), B.hembras juveniles y C.machos juveniles. Las líneas negras horizontales representan el límite

entre las áreas establecidas. Las isobatas de 200 y 2,000 m están representadas por las líneas negras y grises..... 32

Figura 12. Promedio y desviación estándar de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de lobos finos de Guadalupe instrumentados por zonas de alimentación en A. Suero y B. Pelo.. 33

Figura 13. Frecuencias de $\delta^{15}\text{N}$ de A. pelo y B. suero de lobos finos de Guadalupe instrumentados por áreas de alimentación.... 34

Figura 14. Frecuencias de $\delta^{13}\text{C}$ de A. pelo y B. suero de lobos finos de Guadalupe instrumentados por áreas de alimentación ... 36

Figura 15. Promedio y desviación estándar de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de lobos finos de Guadalupe instrumentados por clase de edad de A. Suero y B. Pelo... 37

Figura 16. Nicho isotópico de suero por categoría y sexo de lobos finos de Guadalupe instrumentados ... 37

Figura 17. Nicho isotópico de pelo por categoría y sexo de lobos finos de Guadalupe instrumentados.... 38

Figura 18. Frentes de clorofila a se representan con líneas blancas, líneas negras representan el track filtrado e interpolado de cada LFG que estaba en su zona de alimentación durante el periodo establecido... 39

Figura 19. Frentes de tempera superficial del mar se representan con líneas blancas. Líneas negras representan el track filtrado e interpolado de cada LFG que estaba en su zona de alimentación durante el periodo establecido... 40

Figura 20. Número de pixeles asociados a frentes de clorofila del 1. 16 a 30 de abril, 2. 9 a 23 de mayo, 3. 31 de mayo a 14 de junio y 4. 24 de junio a 7 julio... 41

Figura 21. Número de pixeles asociados a frentes de temperatura del 1. 16 a 30 de abril, 2. 9 a 23 de mayo, 3. 31 de mayo a 14 de junio y 4. 24 de junio a 7 julio... 42

Figura 22. Mortalidad inusual del lobo fino de Guadalupe en 2015 y 2016 reportado por la NOAA y The Marine Mammal Center (tomado de <http://www.nmfs.noaa.gov/pr/health/mmume/guadalupefurseals2015.html>)... 56

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Clasificación de calidad de ubicaciones ARGOS ... 21

Tabla II. Áreas de elipse y polígono del nicho isotópico de hembras hipotéticas del 2013 al 2016...28

Tabla III. Porcentaje de tiempo que los animales estuvieron en su zona de alimentación (ZA) y en Isla Guadalupe...29

Tabla IV. Área de la zona de alimentación (Convex-Hull) por categoría de sexo y edad y zona de alimentación ... 32

Tabla V. Área de elipse y polígono de nicho isotópico de suero de animales instrumentados.... 37

Tabla VI. Área de elipse y polígono de nicho isotópico de pelo de animales instrumentados... 37

GLOSARIO

δ (Delta): Notación que expresa las diferencias relativas entre las razones de isótopos estables entre una muestra y un estándar. Se expresa en partes por mil (‰).

$\delta^{13}\text{C}$: Diferencia entre la razón de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de una muestra con respecto a la del estándar PeeDee Belemnita.

$\delta^{15}\text{N}$: Diferencia entre la razón de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de una muestra con respecto a la del estándar de nitrógeno atmosférico.

Desnitrificación. Proceso microbiano mediante el cual se da la reducción de nitratos para la producción de N molecular (N_2). El déficit de nitratos guarda una relación lineal positiva con los valores de $\delta^{15}\text{N}$.

Enriquecimiento isotópico: Cantidad comparativa de ^{13}C o ^{15}N respecto a una cantidad determinada, donde una sustancia enriquecida, estará disminuida isotópicamente en ^{12}C o ^{14}N .

Ecología trófica: Rama de la ecología dedicada al estudio de hábitos alimentarios. A partir de ella se hacen inferencias sobre interacciones tróficas (competencia, depredación, canibalismo, entre otras).

Fenómeno del Niño-ENSO: Es un fenómeno atmosférico- oceánico de gran escala caracterizado por un calentamiento anómalo de las aguas que se forman a lo largo del Pacífico central y ecuatorial.

Fidelidad al sitio. Patrón conductual a partir del cual un individuo regresa a un mismo sitio, natal o no.

Fraccionamiento isotópico: Diferencia en la concentración de un isótopo estable que presenta un consumidor respecto a su presa.

Frente oceánico: Es una zona relativamente estrecha donde ocurre un cambio marcado de alguna propiedad del mar (incremento en un gradiente horizontal) como la temperatura, salinidad o densidad, la cual depende de la escala de proceso responsable de la formación del frente.

Hábitos alimentarios: Referente a la alimentación. Comportamiento que despliegan los organismos para conseguir alimento.

Isótopo. Átomo de un mismo elemento con igual número de protones (Z+) y electrones (e-) pero diferente número de neutrones (N).

Nicho isotópico: Está compuesto por dos ejes. El bionómico, el cual brinda información sobre los recursos usados por los individuos por medio del $\delta^{15}\text{N}$. El eje scenopético, nos brinda información del escenario bioclimático dónde se desarrollan los organismos por medio del $\delta^{13}\text{C}$

Nivel trófico: Posición que ocupa una determinada especie dentro de una red alimenticia con respecto a los productores primarios o la fuente de energía; varía según la región donde se estudie.

Otárido. Pinnípedo que se engloba dentro del grupo de los lobos marinos y los lobos finos o de pelo fino.

Pinnípedo: (Del latín *pinna* aleta y *pedís* pie). Grupo de mamíferos marinos, carnívoros, donde se incluyen a los lobos marinos, focas y morsas. Sus extremidades tienen forma de aleta.

Productividad primaria. Esta se mide por el crecimiento y la reproducción de algas y otras plantas. Este desarrollo es el resultado de una combinación de recursos disponibles, luz y temperatura, los cuales forman parte de condiciones locales. La producción primaria es solo la primera de las varias etapas por las que pasa la transformación de los nutrientes y el dióxido de carbono en los elementos constitutivos de células vivas. Este tipo de productividad se mide en gramos de carbono por unidad de área, por unidad de tiempo.

Surgencia: Ascenso de aguas superficiales, más frías y con mayor concentración de nutrientes, que reemplazan las aguas superficiales en zonas restringidas del océano.

Teutófago: Organismo que se alimentan en su mayoría de cefalópodos.

Viaje de alimentación: Patrón conductual a partir del cual el consumidor realiza viajes de distinta magnitud para la obtención de alimento.

RESUMEN

El lobo fino de Guadalupe (LFG), *Arctocephalus philippii townsendi*, es una especie en recuperación después de su casi extinción. Mientras continua su recuperación es indispensable entender como su éxito alimentario podría verse afectado por anomalías ambientales en el Pacífico Noreste. El objetivo de este trabajo es estudiar la ecología trófica del LFG en un periodo con anomalías oceanográficas. Por medio del análisis de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) en pelo de crías ($n=200$) se determinaron los hábitos alimentarios del LFG en las temporadas reproductivas de 2013-2016 en su única colonia reproductiva, Isla Guadalupe. Adicionalmente, se determinaron zonas de alimentación por medio de marcaje satelital (5 hembras adultas, 10 hembras juveniles y 10 machos juveniles) de abril a julio del 2017. A estos también se les colectó suero y pelo para análisis isotópico. Las zonas de alimentación se relacionaron con frentes de temperatura superficial del mar y clorofila a, y se calculó el número de pixeles con frentes en el año de marcaje y en años anteriores (2013-2016), para inferir cómo las anomalías pudieron afectar las zonas de alimentación. Se identificaron tres áreas de alimentación principales: Área 1 (32.7°N- 41.08°N), Área 2 alrededor de Isla Guadalupe (26° y 32. 7°N), y Área 3 (20.15°N-26°N). El área principal fue el Área 1; en ésta y en el Área 3 se observó una coincidencia estrecha con frentes. Las hembras mostraron una mayor preferencia hacia el Área 1 y 2, mientras que los machos presentaron una mayor dispersión entre áreas. Los LFG que se alimentaron en el Área 3 presentaron los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ más altos, mientras que los del Área 2 mostraron el $\delta^{15}\text{N}$ significativamente más bajo ($p<0.05$) y una tendencia hacia un $\delta^{13}\text{C}$ menor (suero $p=0.246$; pelo $p<0.05$), evidenciando gradientes costa-océano y latitudinales. Se calculó el nicho isotópico de 2013-2016, y 2015 presentó el nicho más amplio. En este año se presentó la mayor anomalía debido al efecto combinado de “La Mancha” y ENSO, lo que coincidió con un número menor de pixeles con frentes, evidenciando una baja probable de recursos. Un nicho isotópico más amplio en 2015 podría indicar que hembras preñadas en 2015 incrementaron el esfuerzo en la búsqueda del alimento entre diferentes áreas y por ende un incremento en las fuentes de variabilidad isotópica. Los hallazgos de este trabajo son esenciales para el entendimiento de los efectos de la variabilidad climática en la recuperación del LFG.

ABSTRACT

The Guadalupe fur seal (GFS), *Arctocephalus philippii townsendi*, is currently a species recovering from near extinction. As this species continues to recover, it is important to understand how GFS foraging success may be affected by warm water and other oceanographic anomalies in the North East Pacific. The objective of this study was to examine the foraging ecology of GFS over a period with variable oceanographic conditions. Stable isotope analyses ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in pups' fur ($n=200$) were used to study the foraging habits of GFS in the breeding seasons of 2013-2016 at the only well-established reproductive colony, Guadalupe Island. Additionally, probable foraging zones were determined using satellite telemetry (5 females, 10 juvenile females and 10 juvenile males) for April-July 2017. These animals also were sampled for stable isotope analyses. The foraging zones were related to sea surface temperature and chlorophyll a fronts by calculating the number of pixels with fronts in 2013-2017 to better understand how the anomalies may affect GFS foraging behavior. Three foraging zones were identified: Area 1 (32.7°N-41.08N), Area 2 around Guadalupe Island (between 26° and 32.7°N), and Area 3 (20.15°N-26°N). The main areas used by GFS was Area 1. In this area and Area 3, we found a coincidence with fronts. Females preferred Area 1 and 2, while the males displayed greater dispersion among all areas. The GFS that fed in Area 3 had the highest $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ values, whereas the animals that used Zone 2 had the lowest $\delta^{15}\text{N}$ ($p<0.05$) and $\delta^{13}\text{C}$ (serum $p=0.246$; fur $p<0.05$), showing inshore-offshore gradients and latitudinal patterns. We calculated the isotopic niche of GFS pups for 2013-2016, and animals born in 2015 had the widest foraging niche, which indicates pregnant GFS foraged over a greater geographic area and/or on different prey than in other years. This year had the most intense, persistent, and widespread warming in the North East Pacific compared with the other study years because of the combined effect of "The Blob" and ENSO. The number of pixels with fronts (chlorophyll a) also was lowest in 2015, indicating a possible decrease of food availability. These results suggest that persistent, large-scale warming events, as were observed in 2015, may result in increased foraging effort for GFS. Therefore, this study is critical to understanding the potential impact of climate variability on GFS recovery.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los hábitos alimentarios nos da información de la función de una especie dentro del ecosistema (Pauly *et al.*, 1998). En el caso de los mamíferos marinos, se pueden realizar estudios sobre relaciones depredador-presa, monitorear el ambiente e interacciones con las pesquerías (Casper *et al.*, 2006). El presente trabajo aborda los primeros dos tipos de estudio.

Los mamíferos marinos son utilizados como especies centinelas ya que su distribución, abundancia y comportamiento están relacionados con características oceanográficas como productividad primaria y temperatura, las cuales determinan la distribución y abundancia de sus presas (Weise *et al.*, 2006). Sin embargo, los sistemas marinos son altamente dinámicos, presentando cambios en un rango de escalas tanto espacial como temporal, reflejando alteraciones en las características ecológicas antes mencionadas (Bertram *et al.*, 2001).

Algunos de estos cambios en las características oceanográficas que han afectado recientemente el ecosistema marino, es el calentamiento del Pacífico noreste llamado “The Blob” por Bond *et al.* (2015), mientras que en español se le conoció como “La Mancha” (Durazo *et al.*, 2017) y el fenómeno de El Niño/ Oscilación del Sur (ENSO) 2015 (NOAA Fisheries, 2016).

La Mancha empezó a formarse en el Golfo de Alaska en el invierno de 2013 debido a la disminución en la pérdida de calor del océano a la atmósfera. En mayo de 2014, La Mancha se extendió hacia la costa y después a través de la corriente de California hasta Baja California en México, en donde se presentaron anomalías positivas de 1°C a 4°C con respecto al promedio (Bond *et al.*, 2015; Leising *et al.*, 2015; Cavole *et al.*, 2016). Estas altas temperaturas afectaron la dinámica del océano, provocando una disminución en los niveles de clorofila y por tanto productividad primaria en la zona de la anomalía (Withney *et al.*, 2015; Bond *et al.*, 2015), así como cambios en la abundancia y diversidad de especies. Por ejemplo, en 2015 se presentó una mayor abundancia de copépodos asociados a aguas cálidas, los cuales son de menor tamaño y menos nutritivos en comparación de los copépodos sub-árticos que son más grandes, contienen una gran cantidad de ácidos grasos y ésteres cerosos (Leising *et al.*, 2015; Cavole *et al.*, 2016) y que crecen en aguas frías y ricas en

nutrientes. Debido a estos cambios en la base de la cadena trófica se presentaron alteraciones a través de ésta hasta los depredadores tope. Algunas especies de aguas cálidas expandieron su distribución y se reportaron avistamientos de éstas (algunas nunca antes reportadas) en el Pacífico Noroccidental como la langostilla roja (*Pleuroncodes planipies*), krill subtropical (*Nyctiphanes simplex*), dorado (*Coryphaena hippurus*), el marlín azul (*Makaira nigricans*), tiburón martillo (*Sphyrna* spp.) (Leising *et al.*, 2015; Cavole *et al.*, 2016;)y odontocetos como la orca pigmea (*Feresa attenuata*), que por primera vez se le observó en el Golfo de California en 2014, como resultado de condiciones especialmente cálidas en la boca del golfo (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016b). Mientras que otras especies templadas o sub-árticas se vieron afectadas negativamente, tal fue el caso del salmón, aves marinas, y lobos marinos (Kintisch, 2015; Leising *et al.*, 2015; Cavole *et al.*, 2016; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016a).

Adicional a La Mancha, en 2015 se presentó otra anomalía en el Pacífico ecuatorial, El ENSO. En junio del 2015 el índice multivariado MEI, alcanzó los valores más positivos desde El Niño 1997-1998 (http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Este proceso oceanográfico ha sido más estudiado que La Mancha, y hay reportes de su efecto en los ecosistemas marinos y las poblaciones de pinnípedos como el lobo marino de Galápagos (*Zalophus wollebaeki*) desde El Niño 1982-1983 (Trillmich y Ono, 1991).

Debido a la fuerte dependencia que aún guardan los pinnípedos hacia las masas de tierra (p.e. islas), especialmente por el cuidado de las crías en otáridos, las poblaciones pueden verse afectadas en la presencia de anomalías ambientales (Trillmich y Ono, 1991; Moore, 2008; Boyd y Murray, 2001; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016a) debido a alteraciones en su “hábitat crítico”, el cual se define como los factores ecológicos necesarios para poder llevar a cabo su alimentación y reproducción exitosa (Harwood, 2001, Crocker *et al.*, 2006).

El estudio de hábitos alimentarios proporciona información sobre el “hábitat crítico” de las especies. Una de las técnicas más utilizadas para este estudio es el análisis de isótopos estables de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) y nitrógeno ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$), por medio de

la determinación del nicho isotópico, el cual está formado por un eje bionómico y otro scenopético; el primero proporciona información sobre los recursos utilizados por los individuos estudiados y para ello se utiliza el $\delta^{15}\text{N}$, mientras que en el segundo se basa en el $\delta^{13}\text{C}$, el cuál proporciona información sobre el escenario bioclimático en dónde se desarrollan los organismos (Newsome *et al.*, 2007). Los isótopos estables de nitrógeno llevan a cabo lo que se conoce como fraccionamiento isotópico entre depredador y presa, a través de la cadena trófica, provocando un enriquecimiento isotópico promedio de 3 a 5‰ entre niveles tróficos consecutivos, por lo que se puede inferir la posición trófica y amplitud de una especie bajo estudio (DeNiro y Epstein 1980; Ehleringer & Rundel, 1989; Wada *et al.*, 1991). Por otro lado, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en un organismo acuático van a depender del tipo de hábitat de sus presas (por ejemplo, pelágico/bentónico o costero/oceánico). Las diferencias en estos valores se presentan debido a factores físicos, químicos y biológicos que influyen en la concentración de CO_2 disuelto, así como la tasa de crecimiento y composición taxonómica del fitoplancton, dado que existe un fraccionamiento isotópico producto de la respiración (France, 1995). También el carbono derivado de algas macrofitas bentónicas en ecosistemas costeros es otro factor que influye en el fraccionamiento isotópico de $\delta^{13}\text{C}$, enriqueciendo la señal de este isótopo en la base de la cadena trófica en zonas costeras respecto a oceánicas (DeNiro y Epstein, 1978; France 1995, Hobson *et al.*, 1996). Sin embargo, estos valores varían desde la base de la cadena trófica en cada zona oceanográfica con características particulares, a éstas zonas se les conoce como isoterrenos y brindan información sobre largos movimientos que realizan los depredadores marinos (Graham *et al.*, 2010).

Los valores isotópicos en tejidos de depredadores reflejan una integración del contenido isotópico de sus presas asimiladas en un periodo de tiempo determinado. Este periodo está determinado por el tejido que se analice y su tasa de recambio, por ejemplo, el pelo y músculo presentan una ventana de tiempo de meses, mientras que la sangre de días y el hueso y dientes de años (Porras *et al.*, 2008; Sinisalo *et al.*, 2008; Páez, 2011; Pablo, 2009; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013).

Con el continuo avance de la tecnología, se ha vuelto más accesible la utilización de nuevas técnicas complementarias para el estudio de los hábitos

alimentarios, tal es el caso del uso de información procedente de marcas satelitales. Este método genera información referente a las características de desplazamiento en el mar y patrones de buceo de depredadores marinos, tomando en cuenta variables importantes como frecuencia, profundidad, duración, temperatura del agua y ubicación aproximada de los individuos marcados (DeLong *et al.* 1992).

Algunos de los satélites más utilizados para la telemetría satelital en animales marinos son ARGOS y FastGPS. Este sistema utiliza transmisores PTT (Transmisor Terminal de la Plataforma, por sus siglas in inglés), los cuales son colocados en los animales y mandan radioseñales a satélites que orbitan los polos (ARGOS) y el ecuador (FastGPS). Los datos de telemetría se obtienen determinando la localización de los animales en distintos lugares. Sin embargo, el registro de estas señales es oportunista y la precisión de las locaciones puede verse afectada por el comportamiento de los animales (Freitas, 2008; Costa *et al.*, 2010), debido al tiempo limitado que estos pasan en la superficie o en tierra, afectando la cantidad de radioseñales que se puede mandar a los satélites.

Así mismo, en los últimos años se ha presentado una mayor accesibilidad a la información oceanográfica proveniente de sensores remotos. Hoy en día existen un mayor número de fuentes que ofrecen una gran cantidad de información. En estudios marinos se ha utilizado principalmente información de la temperatura superficial del mar y clorofila a, ya que se ha reportado que el monitoreo de la productividad primaria tiene un alto potencial de proporcionar información indirecta sobre la distribución de especies, especialmente migratorias (Kachelriess, *et al.*, 2013). Por lo tanto, la información proveniente de sensores remotos se puede utilizar como una herramienta importante para entender cómo anomalías oceanográficas pueden afectar el hábitat crítico de especies marinas y su desplazamiento.

De modo particular, la detección de frentes oceanográficos por medio de imágenes satelitales ha ayudado al estudio de ecosistemas oceánicos de los que anteriormente se tenía poca información, ya que estos se relacionan con zonas importantes de productividad primaria (Acha *et al.*, 2015). Los frentes se caracterizan por presentar altos niveles de biomasa de fitoplancton, ya que aguas profundas ricas en nutrientes emergen a la superficie. Si el frente persiste por el tiempo necesario el

zooplancton herbívoro incrementa y empieza a producirse productividad secundaria (Olson y Backus, 1985). La alta disponibilidad de alimento en estos procesos de mesoescala atrae organismos del necton como peces y calamares, y así consecutivamente hasta detectarse la presencia de depredadores tope como atunes, tortugas, aves pelágicas y mamíferos marinos (Scneider, 1990; Polovina *et al.*, 2000; Acha *et al.*, 2004; Gannier *et al.*, 2007 Acha *et al.*, 2015)

La utilización de las tres técnicas antes mencionadas (análisis de isótopos estables, telemetría e imágenes satelitales de frentes) como complementarias son una herramienta indispensable para entender el comportamiento en la búsqueda del alimento, y el uso del hábitat de la especie en estudio, el lobo fino de Guadalupe (LFG), *Arctocephalus philippii townsendi*, y como este pudo presentar alteraciones en sus hábitos alimenticios en la presencia de anomalías oceanográficas como La Mancha y El Niño.

El LFG es un pinnípedo perteneciente a la Familia Otariidae y Subfamilia Archocephalinae, el cual se caracteriza por su doble capa de pelo, forma afilada del hocico y longitud de aletas delanteras (Merriam, 1897). Esta especie fue severamente explotada a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX debido al valor de su pelaje (Hamilton, 1951 y Hubbs, 1956). Incluso fue declarada como una especie extinta en 1897. Se estimó que el tamaño poblacional del LFG antes de su explotación llegó a ser de hasta 100,000 individuos (Hubbs, 1979), con una distribución desde las Islas Revillagigedo, México (~18°N) hasta Isla Farallón (~38°N), California (Starks, 1992) y cuatro zonas de reproducción: Isla Guadalupe, San Benito, Cedros y Revillagigedo en Isla Socorro (Berdegué, 1956; Peterson *et al.*, 1968; Repenning *et al.*, 1971; Weber *et al.*, 2004).

El LFG fue re-descubierto en Isla Guadalupe en 1954 al re-avistar un grupo de aproximadamente 14 animales (Hubbs, 1956; Peterson *et al.*, 1968; Gerber y Hilborns, 2001). Desde ese entonces el LFG ha estado en un proceso de recuperación, y el último estudio poblacional sobre esta especie estima una población aproximada de 40,000 individuos, y un aumento poblacional anual de 1977 al 2013 de 7.3% (García-Aguilar *et al.*, sometido).

En la actualidad solo existe una colonia reproductiva establecida de esta especie ubicada en Isla Guadalupe, y se presentan nacimientos ocasionales en el Archipiélago de San Benito, en donde se localiza un proceso actual de recolonización (Maravilla y Lowry, 1999; Sierra, 2015; Angell, 2014) y en Isla San Miguel, isla perteneciente a las Islas Canal en California (Hanni *et al.*, 1997).

Una característica de este y de otros otáridos es el dimorfismo sexual que presentan (Fig. 1). El macho adulto mide en promedio 2.2 m de largo y pesa alrededor de 188 kg, aunque hay individuos que pesan hasta 225 kg, mientras que la hembra adulta promedio mide 1.5 m de longitud y pesa alrededor de 49 kg; sin embargo, algunas llegan a pesar hasta 60 kg (Antonelis y Ficus, 1980).



Figura 1. Territorio de lobo fino de Guadalupe, en donde se observa el dimorfismo sexual. A) Macho adulto, B) Hembra adulta y C) Cría

La temporada reproductiva de esta especie es de mediados de junio a agosto y es una especie poligínica. Durante esta temporada se forman territorios definidos (Fig. 1) con un macho dominante, en donde se van a encontrar entre seis y diez hembras,

aproximadamente, con las que potencialmente se reproducirá (Pierson, 1978; Peterson *et al.* 1968; Croxall y Gentry, 1987). El periodo de gestación es de ocho meses aproximadamente y se tiene una sola cría por parto. El periodo de lactancia es de aproximadamente nueve meses (Pierson, 1978).

Las hembras son residentes de las zonas de reproducción, ya que llevan a cabo la estrategia de alimentación denominada ciclo alimentario (Boness y Bowen, 1996), la cual consiste en una alternancia entre alimentación a la cría y viajes de alimentación maternos. En cambio, los machos realizan migraciones una vez que termina el periodo reproductivo (Gallo, 1994).

La alimentación de este pinnípedo es principalmente teutófaga y sus presas principales son el calamar gigante y el calamar opalescente (Hernández, 2009; Esperón, 2008; Gallo-Reynoso *et al.*, 2013; Amador-Capitanachi *et al.*; 2017). Sin embargo, al ser una especie en recuperación, es importante aportar información sobre la plasticidad que presentan estos organismos y su respuesta ante cambios climáticos intra-e inter-anales (Aurioles y Camacho, 2007; Páez y Aurioles, 2010; Esperón y Gallo, 2012; Amador-Capitanachi, *et al.*, 2017; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016a), como los que se analizan en este trabajo.

ANTECEDENTES

Los hábitos alimentarios del LFG se han estudiado desde 1993, Gallo y Esperón (2013), realizaron una recapitulación de éstos hasta el 2007. Reportaron un total de seis estudios realizados en Isla Guadalupe, Islas Farallón y el Archipiélago San Benito. Todos estos estudios reportan al LFG como un depredador principalmente teutófago y algunas de sus presas principales son *Dorytheutis opalescens*, *Onychoteuthis banksii*, y especies de la familia *Histoteutidae*.

Respecto a estudios más recientes, Juárez-Ruíz *et al.* (2018) analizaron la estructura trófica de los LFG de Isla Guadalupe durante la temporada reproductiva del 2013; por medio de la identificación de estructuras duras reportaron que las principales presas de la colonia fueron cefalópodos (*Dosidicus gigas* y *Onychoteuthis* spp.) y en una menor proporción de peces mictófidios. También utilizaron el análisis de isótopos estables y encontraron el uso de tres posibles distintas estrategias alimentarias, reflejando una repartición de nicho trófico dentro de esta colonia durante el periodo analizado.

Amador-Capitanachi *et al.* (2017) realizaron una comparación entre la colonia reproductiva (Isla Guadalupe) y la colonia en recolonización (Archipiélago de San Benito), durante la temporada reproductiva de 2013, encontrando como presa principal a *D. gigas* en Isla Guadalupe y *D. opalescens* en el Archipiélago de San Benito. Por medio del análisis de isótopos estables se evidenció una segregación entre las zonas de alimentación de ambas colonias, debido a valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en los individuos de Isla Guadalupe, en comparación a los del Archipiélago de San Benito, a pesar de que los lobos de Isla Guadalupe presentaron un nivel trófico mayor.

En los estudios de isótopos estables en pinnípedos se utilizan a las crías con pocos meses de nacidos como indicadores de los hábitos alimentarios maternos. El tejido más analizado es el pelo, el cual es un tejido inerte que refleja la dieta durante el crecimiento del mismo. En el caso de las crías, su pelo empieza a crecer alrededor del séptimo mes de gestación (Odell, 1972) y la cría al nacer se alimenta única y exclusivamente de leche materna, presentándose una relación tipo depredador-presa. Esta aproximación entre madre-cría está basada en el constante incremento isotópico en cada eslabón de la cadena trófica o factor trófico de discriminación. Se asume que

el pelo recolectado de las crías representa la alimentación de la madre ingerida durante los últimos tres a cuatro meses previos al muestreo. Elorriaga-Verplancken *et al.* (2016c) reportaron el fraccionamiento isotópico entre madres de LFG y sus crías, con una diferencia promedio de $\delta^{15}\text{N}$ entre ambos grupos de edad de $+1.0 \pm 0.4 \text{ ‰}$, mientras que para el $\delta^{13}\text{C}$ fue de $-0.2 \pm 0.4 \text{ ‰}$.

Otra técnica utilizada en pinnípedos y que ha llegado a usarse para LFG es la telemetría satelital (Lander *et al.*, 2000; Gallo-Reynoso *et al.*, 2008), la cual se ha utilizado para la identificación de zonas de alimentación de elefante marino del norte, *Mirounga angustirostris*, (Crocker *et al.*, 2006; Robinson *et al.*, 2012), del lobo fino del norte (Robson *et al.*, 2005), lobo fino antártico (Stainland *et al.*, 2004), lobo fino sub-antártico (Georges *et al.*, 2000), y el lobo marino de California (Weise *et al.*, 2006; Block *et al.*, 2011).

La primera vez que se utilizó esta técnica en el LFG fue en una hembra adulta que varó en las costas de California en enero de 1998 y fue rehabilitada en The Marine Mammal Center, California (Lander *et al.* 2000). Antes de la liberación, se le colocó una marca satelital, la cual presentó un periodo de vida de siete semanas. Los autores reportaron que la hembra se desplazó primero hacia el sureste de Isla Guadalupe y posteriormente se desplazó 1,430 km hacia el norte. Sus buceos fueron poco profundos, no mayores a 20.2 m con una duración de 2 a 4 min cada uno.

Gallo-Reynoso *et al.* (2008) utilizaron la técnica de telemetría satelital en tres hembras lactantes de LFG de Isla Guadalupe. Los autores encontraron que las hembras se alimentaron al sur de Isla Guadalupe en la Corriente de California, recorriendo $444 \pm 151 \text{ km}$ a la zona de alimentación durante $14.4 \pm 8.3 \text{ días}$. También registraron el comportamiento de buceo de una hembra y reportaron una profundidad alcanzada de $17 \pm 10 \text{ m}$ con una duración de $2.6 \pm 1.4 \text{ min}$.

Las técnicas de telemetría satelital y de isótopos estables como complementarias no se han utilizado en el LFG, sin embargo, se han realizado este tipo de estudios en otras especies de pinnípedos. Baylis *et al.* (2017) estudiaron el uso de hábitat y la fidelidad espacial del lobo marino del Sudamérica (*Otaria flavescens*) en las islas Malvinas, utilizando telemetría satelital y análisis de isótopos estables en vibrisas de machos adultos y subadultos. Los viajes de alimentación fueron realizados

hacia la plataforma continental de la Patagona (127 ± 66 km) y con una duración corta de 4.1 ± 2.0 días; por medio del análisis de isótopos estables encontraron que los machos adultos fueron más consistentes en el uso de hábitat y consumo de presas, ya que presentaron un nicho isotópico menor en comparación con los subadultos. Por otro lado, Páez-Rosas *et al.* (2017) estudiaron la variación intraespecífica en las estrategias de alimentación del lobo marino de Galápagos (*Zalophus wallebaeki*), utilizando análisis de excretas, telemetría satelital e isótopos estables. Por medio del primer análisis encontraron variación de la dieta, debido al consumo de presas de distintos ambientes (bentónicos y pelágicos). Gracias a la técnica de telemetría satelital también se identificaron dos áreas de alimentación con diferente comportamiento de buceo cada una. Por último, el $\delta^{15}\text{N}$ presentó diferencias entre las zonas de alimentación.

Las poblaciones de pinnípedos, especialmente de otáridos, pueden verse afectados frente a anomalías oceanográficas. En los años que se presentó el proceso oceanográfico conocido como ENSO, las especies de otáridos más afectadas han sido el lobo marino de galápagos y el lobo fino de Galápagos (*Arctocephalus galapagoensis*), Trillmich y Ono (1991). Durante este evento, se reportaron mortalidades inusuales en crías y juveniles de ambas especies, y una disminución mayor al 50% de la población de la primera especie. Las anomalías cálidas también pueden afectar los hábitos alimentarios de pinípedos. Weise *et al.* (2006) reportaron cambios en las zonas de alimentación de machos del lobo marino de California durante el aumento de la temperatura del mar a principios de 2005; mediante el análisis de telemetría satelital encontraron que los machos permanecieron más tiempo en el mar y sus viajes de alimentación fueron llevados a cabo aproximadamente a 450 km a mar abierto durante la anomalía, a diferencia de años normales cuando sus viajes fueron costeros. Kiyota *et al.* (2017) realizaron una reconstrucción histórica de las presas principales y diversidad en el lobo fino del norte, *Callorhinus ursinus*, en el Pacífico Noreste. Este trabajo evidenció cambios decadales en la abundancia de las presas principales; en los años 70's eran las macarelas, en los 80's la sardina japonesa, mientras que el calamar luciérnaga y mictófidios fueron los componentes principales

en los 90's. Estos cambios en la dieta se relacionaron con cambios de régimen oceánico.

Elorriaga-Verplancken *et al.* (2016a) realizaron un estudio sobre el impacto que tuvo el ENSO 2015 en el lobo marino de California y el LFG en el archipiélago San Benito. Los autores reportaron una disminución en la abundancia de más del 50% en ambos otáridos en 2015 con respecto al año anterior, así como un incremento de tres veces el área del nicho isotópico del LFG (0.6 en 2014 y 2.0 en 2015). El nicho isotópico del lobo marino de California en 2015 involucró valores significativamente más bajos en el isótopo estable de carbono, evidenciando viajes más oceánicos respecto al año anterior.

Para entender mejor los aspectos oceanográficos en los que se desenvuelven los depredadores tope se han realizado estudios sobre las zonas de alimentación con relación a procesos físicos como frentes de temperatura superficial del mar y clorofila en mamíferos marinos (Bost *et al.*, 2009; Gannier *et al.*, 2009), aves marinas (Scneider, 1990; Bost *et al.*, 2009), tortugas y peces (Polovina *et al.*, 2000). Respecto a pinnípedos, el mayor número de trabajos de este tipo se enfocan en especies en el hemisferio sur. La especie más estudiada es el elefante marino del sur (*Mirounga leonina*); Biuw *et al.* (2007) realizaron un estudio donde caracterizaron el ambiente donde los elefantes marinos se alimentan y su relación con procesos oceanográficos físicos que influyen en la disponibilidad de nutrientes y productividad biológica. Encontraron que el sistema de frentes de la corriente circumpolar antártica es una zona altamente productiva y que puede representar una zona de alimentación importante para esta especie en Georgia y el frente del Atlántico. Bailleul *et al.* (2007) también caracterizaron las zonas oceanográficas de las áreas de alimentación del elefante marino del sur, las cuales presentaron gran influencia de aguas altamente productivas debido a surgencias y frentes. Una relación similar se encontró entre áreas de alimentación de hembras de elefante marino del norte (hemisferio norte) y procesos físicos; Robinson *et al.* (2012) reportaron que el esfuerzo de búsqueda de alimento se concentraba en el borde, entre el giro sub-ártico y sub-tropical.

También se han realizado estudios de este tipo en lobos finos, Georges *et al.* (2000) y Beuplet (2004) encontraron que las zonas de alimentación de hembras

lactantes de lobo fino sub-antártico (*Arctocephalus tropicalis*) de Isla Amsterdam, estaban asociadas con la zona norte del frente subtropical donde se encuentra su presa principal (mictófidios). En el lobo fino antártico (*Arctocephalus gazella*), Lea *et al.* (2003) reportaron dos zonas de alimentación de 10 hembras; la zona 1 se asociaba a aguas oceánicas relativamente cálidas (5.4°C) en el noreste de la colonia; y la zona 2 presentaba aguas cerca de Frente Polar (3.7°C).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por medio del estudio de mamíferos marinos, especialmente de pinnípedos, es posible detectar cambios en el medio (García-Aguilar *et al.*, 2018). Lo anterior debido a su plasticidad y la dependencia alta hacia las masas de tierra. Durante el periodo reproductivo 2013, Amador-Capitanachi *et al.* (2017) reportó una plasticidad alimentaria del LFG, cuando se evidenció un cambio en la presa principal en Isla Guadalupe, de calamar opalescente (p. e. Hernández, 2009) a calamar gigante. Adicionalmente, el estudio espacial de los viajes de alimentación de hembras adultas sería de suma importancia para respaldar evidencias tróficas (isótopos estables), debido a que frente a cambios ambientales, los hábitos alimentarios son afectados directamente en términos de esfuerzo ejercido y la calidad subsecuente de la leche materna (Trillmich y Ono, 1991; Weise *et al.*, 2006).

En el presente estudio se analizará la ecología trófica del LFG por medio del análisis isotópico entre 2013 y 2016, y de telemetría satelital en 2017, dentro de una ventana de tiempo que ha presentado cambios climáticos importantes, especialmente el incremento de la temperatura superficial de mar (Bond *et al.*, 2015; Kintisch, 2015). El LFG no se encuentra bajo explotación, su interacción con las pesquerías es mínima, y no se han reportado mortalidades importantes en la población. Por lo que es probable que el ambiente y la disponibilidad de alimento sean los factores determinantes en la recuperación del LFG (Weber *et al.*, 2004). A pesar de que esta especie se ha recuperado exitosamente, es indispensable realizar este tipo de estudios para determinar como el LFG responde frente a cambios drásticos en el ambiente. Aunado a lo anterior se debe considerar que el LFG aún es fluctuante en términos de abundancia poblacional, especialmente en sitios bajo recolonización (Sierra, 2015; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016a). Contribuciones como las que ofrece este trabajo aportarán elementos que ayudarán a definir de un mejor modo su estatus, el cual es altamente variable. Un ejemplo de lo anterior y de la falta de conocimiento es que, mientras que la NOM-059-SEMARNAT-2010 cataloga a este lobo fino en peligro de extinción, la UICN (International Union for Conservation of Nature) lo denomina bajo “preocupación mínima”.

HIPÓTESIS

El LFG presenta variaciones en su nicho isotópico interanual (2013-2016), debido a la presencia de anomalías oceanográficas. Asimismo, sus zonas de alimentación, inferidas mediante telemetría, presentan una relación con nichos isotópicos particulares y con frentes de mesoescala.

OBJETIVO GENERAL

Determinar los hábitos alimentarios del lobo fino de Isla Guadalupe en las temporadas reproductivas del 2013-2017, así como los patrones de desplazamiento y áreas de alimentación en 2017.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar variaciones en la amplitud isotópica como indicadora de cambios alimentarios en el lobo fino de Guadalupe, a partir del análisis de crías durante los periodos reproductivos de 2013 a 2016.
- Determinar áreas de alimentación mediante telemetría satelital en 2017 de LFG hembras e inmaduros de Isla Guadalupe, y establecer una relación con su nicho isotópico.
- Determinar si existe una relación entre las zonas de alimentación descritas en 2017 con factores oceanográficos como frentes de mesoescala.
- Determinar la relación entre abundancia de frentes de 2013 a 2016 y el efecto potencial de La Mancha y El ENSO sobre el LFG.

ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se llevó a cabo en Isla Guadalupe (Fig. 2), la cual es parte de una Reserva de la Biósfera. Se localiza 240 km al suroeste de Ensenada, Baja California, México (29°00'N, 118°15'30''O). La isla presenta una longitud de 35.4 km y 11.3 km de ancho con una altitud máxima de 1,298 m sobre el nivel del mar. La superficie de la porción terrestre es de 250 km². Mientras que la superficie de las aguas adyacentes es de 4,519.71 km². Debido a lo anterior la biósfera de Isla Guadalupe presenta una superficie total de 4,519 km².

Isla Guadalupe tiene origen volcánico. El 99% de la isla está constituido por acantilados basáltico de hasta 200 m en cuyas bases rompe el oleaje predominante del noroeste. También se pueden encontrar planicies pequeñas y pocas playas arenosas en las desembocaduras de los arroyos que se forman en épocas de lluvias.

La isla está rodeada por profundidades de más de 3,600 m y no posee una plataforma costera a su alrededor, con excepción de "punta sur" donde existe una plataforma de 4 km de ancho por 200 m de profundidad.

La isla se encuentra al sur del Sistema de la Corriente de California, que es un flujo superficial (0-300 m) que acarrea agua de altas latitudes hacia el ecuador y se caracteriza por salinidades y temperaturas bajas que oscilan entre 14.9 y 21.7°C.

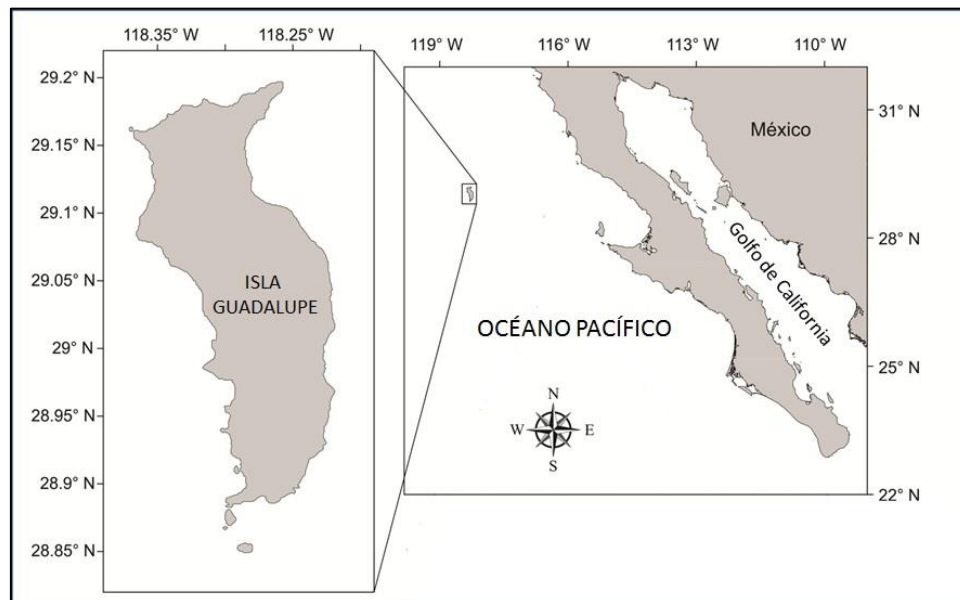


Figura 2. Localización de Isla Guadalupe en el Pacífico Mexicano.

MÉTODOS

Comparación interanual por medio del análisis de isótopos estables

Recolecta de muestras

Durante el periodo reproductivo 2013-2016 se recolectó un total de 200 muestras (50 por año) de pelo de crías de LFG. En este trabajo se utilizaron a las crías como indicadores de los hábitos alimenticios maternos ya que, estas se alimentan únicamente de leche materna durante sus primeros meses de vida. Por otro lado, la madre va a producir la leche a partir de la grasa acumulada y proteínas derivadas de la dieta consumida recientemente, presentándose una relación tipo depredador presa (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016c; Newsome *et al.*, 2016)

Para la recolecta de pelo (el cual tiene una ventana de tiempo de tres meses aproximadamente), los organismos fueron capturados con ayuda de redes y se tomó la muestra en la región dorsal utilizando tijeras (Fig. 3). Las muestras se guardaron en sobres de papel rotulados para su posterior procesamiento en el laboratorio.



Figura 3. Captura de crías de lobo fino de Guadalupe y toma de muestra de pelo para posterior análisis de isótopos estables.

Procesamiento de muestras de pelo

El procesamiento de muestras se llevó a cabo en el laboratorio de ecología de peces de Centro Interdisciplinario de Ciencias del Marinas (CICIMAR-IPN). Las muestras se lavaron con cloroformo/metanol 1:1 en tres ocasiones. La primera vez con ayuda de unas pinzas se retiraron impurezas y se desechó el solvente utilizado. Posteriormente las muestras se volvieron a lavar y se sumergieron en el solvente, dejando que este se evapore bajo una campana de extracción. Este proceso se llevó a cabo dos veces. Se realizaron cortes finos en cada muestra con la ayuda de pinzas y tijeras. Después con un mortero ágata se homogenizó la muestra hasta obtener un polvo fino. Con una microbalanza analítica (precisión 0.0001 mg) se pesó aproximadamente 1 mg de cada muestra y se guardaron en cápsulas de estaño de 8x5 mm. Por último las muestras se enviaron al Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de California en Santa Cruz (EUA).

La proporción de isótopos estables de N y C se representa usando delta (δ). DeNiro y Epstein (1978) propusieron la siguiente ecuación para su determinación:

$$\delta^{13}C \text{ o } \delta^{15}N = 1000[(R_{\text{muestra}}/R_{\text{estándar}}) - 1]$$

Donde:

$\delta^{13}C$ o $\delta^{15}N$ = se refiere a la diferencia expresada en partes por mil (‰) entre el contenido de ^{15}N y ^{13}C de la muestra y del estándar.

R_{muestra} = Las razones ($^{15}N/^{14}N$ o $^{13}C/^{12}C$) para la muestra.

$R_{\text{estándar}}$ = Las razones ($^{15}N/^{14}N$ o $^{13}C/^{12}C$) para el estándar.

Los estándares internacionales reconocidos de estos elementos son el Belemnita de la formación PeeDee (PDB) para el carbono con un valor de 0.011‰ y el nitrógeno atmosférico (N_2) para el nitrógeno con un valor de 0.004‰.

Con base en la diferencia isotópica madre-cría de lobos finos de Guadalupe, reportada por Elorriaga-Verplancken *et al.* (2016c), se aplicó un factor de corrección a los valores de todas las crías analizadas de 2013 a 2016, con la finalidad de comparar entre grupos sin el indicador indirecto que son las crías.

La temporada reproductiva del 2013 fue considerada la temporada con condiciones oceanográficas normales, ya que la primera anomalía oceanográfica que se presentó fue La Mancha a finales del 2013 y principios del 2014 (http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Para saber si existieron diferencias isotópicas significativas entre los años donde se presentaron las anomalías y el año normal se realizaron pruebas estadísticas a priori de homocedasticidad a los valores de las madres hipotéticas y se encontró que los datos presentaban distribución normal, por lo que se llevó a cabo pruebas ANOVA y Tuckey.

El nicho isotópico se estimó por medio de la técnica Bayesiana de Elipses en R (SIBER) rutina SIAR, paquete en R (R Development Core Team 2008). Esta aproximación utiliza simulaciones de Montecarlo (bootstrapping) para construir los parámetros de las elipses. Elipses bivariadas y Convex Hull fueron utilizados para delimitar el espacio del nicho isotópico (intervalos de 95% de credibilidad para $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$).

Identificación de zonas de alimentación

Telemetría satelital

Programación y colocación de dispositivos

En este estudio se utilizaron marcas satelitales del modelo SPLASH-10F-297 manufacturadas por Wildlife computers. Estos dispositivos miden 86 x 55 x 26 mm y pesan 130 g (Fig. 4). Estas marcas registran locaciones Argos y también utiliza tecnología Fastloc™ (Wildtrack Telemetry Systems Ltd.) para registrar locaciones precisas GPS mientras los organismos se encuentran en la superficie del mar. Cada marca satelital fue programada para transmitir 250 veces por día durante periodos con la mayor probabilidad de que los satélites estuvieran en posición de transmitir (06:00-11:00 y 18:00-22:00 hora local). Las marcas cuentan con un sensor seco/mojado; si este se encontraba seco por ≥ 5 min, el instrumento cambiaba a modo de reposo con una menor tasa de transmisión (de 45s a 90s). Para ahorrar batería las marcas satelitales se programaron para pausarse cuando se encontraron secas por ≥ 48 h. El dispositivo se programó para que las locaciones Fast-GPS intentaran mandarse en

intervalos de 60 min con un máximo de una locación exitosa (señal recibida por \geq cuatro satélites) y dos transmisiones fallidas por hora (máximo de 24 transmisiones exitosas y 36 fallidas por día). Estas locaciones se programaron con prioridad debido a su mayor precisión.



Figura 4. Marca satelital SPLASH-10F-297 manufacturada por Wildlife computers.

En abril del 2017 se colocaron en IG un total de 25 marcas satelitales, con las que se instrumentaron a 5 hembras adultas, 10 hembras inmaduras y 10 machos inmaduros. Los individuos fueron capturados mediante redes especiales. Una vez capturados se mantuvieron anestesiados mediante isofluorano, anestesia probada y segura para pinnípedos (Gales y Mattlin, 1998; Haulena, 2007). Estos dispositivos ya programados se pegaron a los animales usando pegamento epóxico en la parte dorsal del animal (Fig. 5).



Figura 5. Lobo fino de Guadalupe juvenil anestesiado con isofluorano mientras se le coloca la marca satelital con resistol epóxico en la zona dorsal y se recolecta muestra de sangre para análisis isotópico.

Procesamiento de datos de telemetría satelital

Los datos de ARGOS y FastGPS se descargaron de la plataforma de Wildlife computers (<http://my.wildlifecomputers.com/?last=%2Fdata%2F&logout=y>). Se analizaron las locaciones que se presentaron en un periodo de tres meses a partir de que la marca satelital fue colocada en cada individuo, ya que así se cuenta con la misma ventana de tiempo que el pelo (abril-julio) de las crías de la parte interanual.

La calidad y precisión de las locaciones se ve afectada por el tiempo que los individuos marcados se encuentran sumergidos, por lo que se llevaron a cabo filtros para eliminar las locaciones probablemente erróneas o con poca precisión. El primer filtro fue la calidad de la locación; las posiciones FastGPS están determinadas por el número de satélites que recibieron la posición (se considera una posición de buena calidad con un mínimo de cuatro satélites) y también se utiliza el número de residuo,

el cual es un indicador de la calidad de una posición GPS (la posición es más precisa cuando el número es menor). Las ubicaciones ARGOS cuentan con una clasificación con base en el error estimado por los satélites y al número de mensajes recibido por los satélites; existen ubicaciones de clase 3, 2, 1, 0, A, B y Z (Tabla I), a pesar de que las locaciones tipo A y B son las menos precisas, son las que más se obtienen para el estudio de animales marinos (Costa *et al.*, 2010).

Tabla I. Clasificación de calidad de ubicaciones ARGOS

| Clase | Error estimado | Número de mensajes recibidos por satélite |
|--------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|
| 3 | <250m | 4 o más |
| 2 | 250< <500m | 4 o más |
| 1 | 500< <1500m | 4 o más |
| 0 | >1500 m | 4 o más |
| A | No se pudo estimar la precisión | 3 o más |
| B | No se pudo estimar la precisión | 2 o más |
| Z | Locación inválida | |

El segundo filtro es la velocidad máxima biológicamente posible entre posiciones, y el tercero es el ángulo entre ellas. Se utilizaron las posiciones provenientes de ambos satélites; sin embargo, al ser las posiciones FastGPS más exactas que las ARGOS, se decidió realizar primero el filtro para las posiciones de FastGPS y con base en la trayectoria resultante se realizó el filtro de las posiciones provenientes de ARGOS, para así contar con una trayectoria más preciso.

Para el filtro de las locaciones de FastGPS se eliminaron las locaciones que se obtuvieron con un número de satélites menor a cinco y número residual mayor a 30, mientras que para ARGOS se eliminaron las posiciones tipo Z.

La velocidad entre posiciones se obtuvo por medio de la fórmula propuesta por McConnell *et al.* (1992), en donde la velocidad V_i de cada posición i está asociada con dos locaciones previas y dos consecutivas:

$$V_i = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{j=-2, j \neq 0}^{j=2} (v_{i,j} + i)^2}$$

La velocidad máxima de nado se determinó empíricamente y se decidió 2.5 m/s para ubicaciones de ambos satélites, por lo que las ubicaciones con mayor velocidad a la establecida fueron removidas. Cuando una o más posiciones son removidas, las velocidades de nado V_i son recalculadas n veces hasta que todas las locaciones se encuentran por debajo de la velocidad máxima.

Para obtener el ángulo entre locaciones, primero se calculó la dirección ($B_{i,j}$) entre estas, mediante el algoritmo propuesto por Freitas *et al.* (2008):

$$B_{i,j} = \frac{180}{\pi} \times \arccos \left(\frac{\sin(rlat_j) - \sin(rlat_i) \times \cos(rd_{i,j})}{\sin(rd_{i,j}) \times \cos(rlat_i)} \right)$$

Sí $(rlon) < 0$:

$$B_{i,j} = 360 - \left(\frac{180}{\pi} \times \arccos \left(\frac{\sin(rlat_j) - \sin(rlat_i) \times \cos(rd_{i,j})}{\sin(rd_{i,j}) \times \cos(rlat_i)} \right) \right)$$

Dónde $rlat_i$ es la latitud de la locación i , $rlat_j$ es la latitud de la locación j y $rd_{i,j}$ es:

$$rd_{i,j} = \frac{D_{i,j}}{60} \times \frac{\pi}{180}$$

El ángulo (TA_i) de una posición i se calculó con el valor absoluto de la dirección de esa locación i y la dirección de la siguiente locación $(i + 1)$:

$$TA_i = |B_{i-1,i} - B_{i,i+1}|$$

Sí $|B_{i-1,i} - B_{i,i+1}| > 180$, entonces

$$TA_i = 360 - |B_{i-1,i} - B_{i,i+1}|$$

Las posiciones con ángulos y distancias mayores a 165° con 2,500 m, y 155° con 5,000 m fueron eliminados. Al igual que en la velocidad, cuando una o más locaciones fueron removidas, los ángulos TA_i se recalculaban n veces hasta que todas las locaciones se encontraran por debajo del criterio establecido.

Por último, se realizó una interpolación en Matlab denominada Hermite spline, la cual es recomendada por Tremblay *et al.* (2006) para el análisis de datos de telemetría en otáridos, proveyendo locaciones que están espaciadas por el mismo tiempo. En este caso se determinó que el mejor tiempo fue de cada cuatro horas.

Identificación de zonas de alimentación

Se eliminaron las posiciones que estuvieron en un perímetro de 200 m alrededor de Isla Guadalupe, para poder descartar viajes muy cortos con un fin distinto al alimentario. Para la identificación de las zonas de alimentación, se partió del supuesto de que los animales se alimentaron en posiciones con $TA > 100$. Esta decisión se tomó con base en el análisis empírico de los datos. Para considerar que el individuo se alimentó en más de una zona, estas deberían de estar separadas por más de 2° de latitud, ya que en cálculos realizados para este estudio se estimó que a una velocidad máxima de 2.5 m/s el LFG puede recorrer esta distancia en aproximadamente un día. Por último, la zona de alimentación se estableció por medio de envolturas convexas (convex hull).

Isótopos estables

A los organismos marcados también se les recolectó muestra para el análisis de isótopos estables de pelo y suero sanguíneo. Se decidió utilizar el suero para que al contrastar con los datos de telemetría se contara con una menor variabilidad temporal y ambiental entre los datos extremos de telemetría, y la ventana de tiempo del suero de aproximadamente una semana (Sinisalo *et al.*, 2008). El procesamiento en el laboratorio del pelo se llevó a cabo de la misma manera que en la comparación interanual.

El suero se obtuvo al centrifugar la sangre extraída de los organismos marcados y después se colocó en un tanque de nitrógeno líquido para su preservación en campo.

Ya en el laboratorio, las muestras, se preservaron en un ultra-congelador. Para procesar el suero, primero fue necesario descongelarlo a temperatura ambiente, después desecarlo en un horno a una temperatura aproximada de 50°C por 24 h. Posteriormente se llevó a cabo la extracción de lípidos con cloroformo-metanol 2:1 y se dejó evaporar. Este proceso se llevó a cabo dos veces; cuando el cloroformo-metanol se evaporó la última vez la muestra se volvió a desecar en el horno por 24 h. Por último, el suero se cortó en fragmentos pequeños con la ayuda de un bisturí, para posteriormente pesar de 0.8 a 1.2 mg en una microbalanza. Las muestras se colocaron en cápsulas de estaño y se mandaron al Laboratorio de Isótopos estables de la Universidad de Albuquerque, Nuevo México (EUA) para su análisis.

Relación entre ambas aproximaciones

La técnica de análisis de isótopos estables provee información de las zonas de alimentación debido al análisis de isoterrenos. Esto es, valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$ respecto a otros, implican zonas más alejadas de la costa. Por otro lado, un nicho isotópico bivariado ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) con un área mayor, se ha asociado a una explotación de recursos dentro de una zona probablemente más amplia. Una reducción de valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, respecto a otro grupo, se ha relacionado con zonas de alimentación en latitudes más altas o bien zonas alejadas que presentan valores isotópicos basales distintos (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016; Amador-Capitanachi *et al.*, 2017). Esta es información que servirá como base para relacionar ambas aproximaciones durante el presente estudio.

Relación entre zonas de alimentación y frentes

Después de identificar las zonas de alimentación, se llevó a cabo su caracterización oceanográfica por medio de frentes de temperatura y clorofila a. Se descargaron imágenes satelitales nivel L4 de temperatura y clorofila a de abril a julio de 2017, mismo periodo del que se cuenta información de las zonas de alimentación. Se establecieron cuatro periodos de quince días distribuidos equitativamente durante el periodo de estudio para poder obtener frentes representativos durante todo el tiempo

de estudio. Los periodos establecidos fueron del 16 a 30 de abril, 9 a 23 de mayo, 31 de mayo a 14 de junio y 24 de junio a 7 julio.

Los datos de temperatura superficial del mar se descargaron de la plataforma de internet de “Group for High Resolution Sea Surface Temperature” (GHRSSST), con resolución espacial de 1x1 km. Para la obtención de datos de clorofila se utilizaron los datos proporcionados por la Comisión Europea por medio del satélite COPERNICUS, con una resolución espacial de 4x4 km.

Los frentes se identificaron por medio de los algoritmos propuestos por Belkin y O'Reilly (2009) para frentes de temperatura y clorofila. El algoritmo detecta los pixeles de la imagen que presentan diferencias (umbrales) en los valores de temperatura y clorofila, según el criterio establecido, para temperatura y clorofila respectivamente. En este trabajo se estableció 0.2 para temperatura y 0.02 para clorofila, con el fin de poder detectar frentes oceánicos.

Posteriormente se graficaron las posiciones de los animales que se encontraban en sus zonas de alimentación durante los periodos establecidos, para determinar si estos procesos de mesoescala coincidían con las zonas alimentación del LFG.

Relación entre frentes y comparación isotópica interanual (2013-2016)

Esta parte final consiste en la unión de los tres apartados anteriores: telemetría satelital y la relación con su señal isotópica, zonas de alimentación asociado a frentes de clorofila y temperatura, y la comparación interanual del nicho isotópico (2013-2016).

Se llevó a cabo la misma metodología que en el apartado anterior para la identificación de frentes de temperatura y clorofila para el periodo de tiempo de la comparación interanual (2013-2016). Adicionalmente, se obtuvo el número de pixeles en los que se presentaron frentes tanto de temperatura como de clorofila a en cada periodo por año, incluido el 2017. De esta manera se contará con una comparación numérica de la presencia de frentes durante la misma temporada del 2013 al 2017 y así tener mayor información sobre los cambios ambientales que se presentaron en el ecosistema marino durante La Mancha y El ENSO, los cuales pudieron tener un efecto sobre el desplazamiento de los LFG.

RESULTADOS

Comparación isotópica interanual

Para la comparación isotópica interanual se analizó un total de 200 muestras (50 por año). El promedio de los valores isotópicos de hembras hipotéticas para 2013 fue $17.39 \pm 0.44\text{‰}$, $17.04 \pm 0.34\text{‰}$ en 2014, $17.04 \pm 0.65\text{‰}$ en 2015 y $16.64 \pm 0.47\text{‰}$ en 2016 (Fig. 6). Los valores isotópicos promedio de hembras hipotéticas fueron significativamente distintos entre años ($p < 0.05$). Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de todos los años fueron significativamente distintos respecto al año normal (2013). Mientras que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de todos los años, excepto 2014, fueron significativamente distintos respecto a 2013.

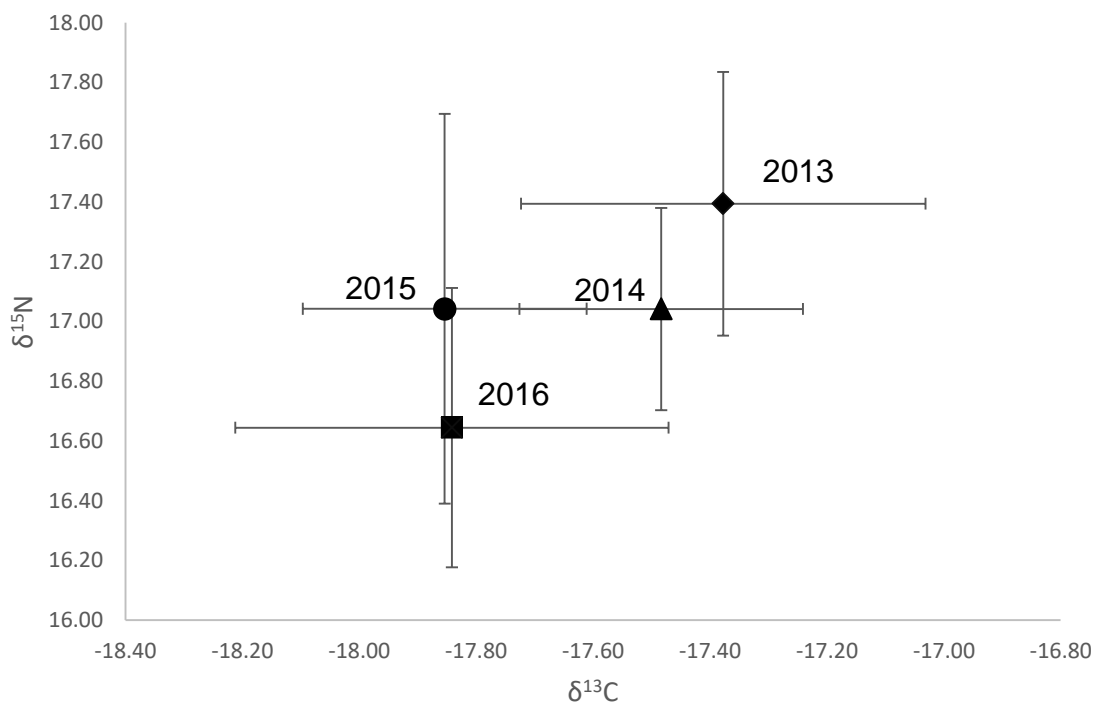


Figura 6. Promedio y desviación estándar de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del 2013 al 2016

Los valores más positivos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ se presentaron en 2013, mientras que los más negativos en 2016. Por otro lado, el mayor rango en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ (Fig. 7), y $\delta^{13}\text{C}$ (Fig. 8) se presentó en 2015 y 2016, respectivamente.

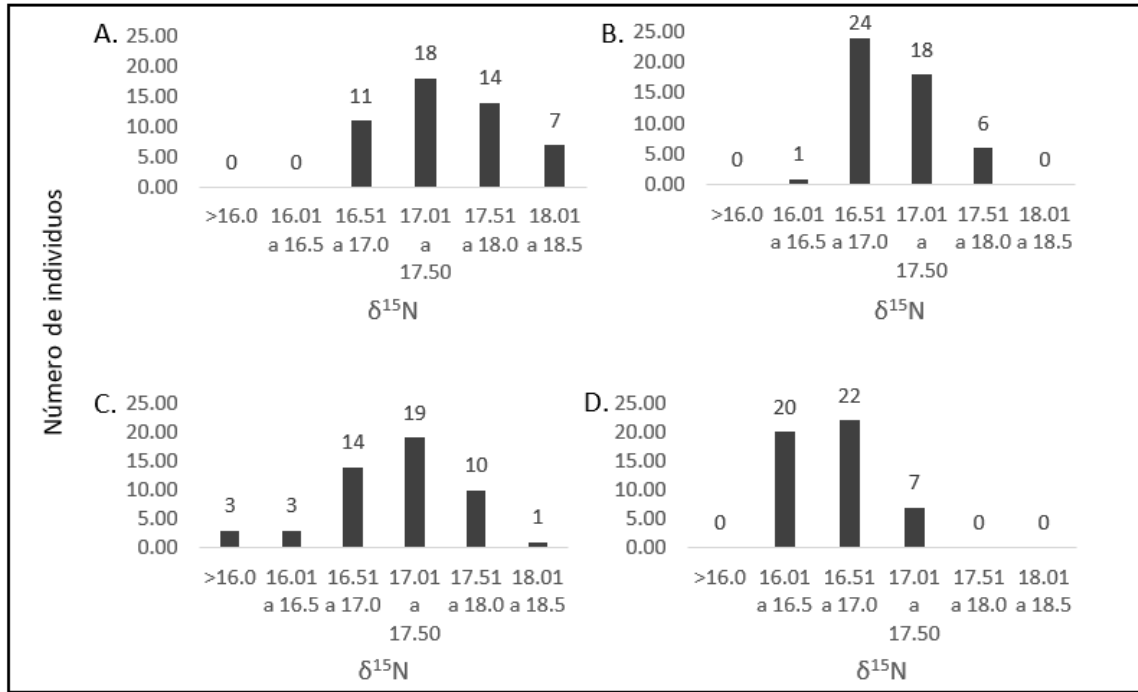


Figura 7. Rango de valores de $\delta^{15}\text{N}$ de hembras hipotéticas por año. A. 2013, B.2014, C.2015, D.2016

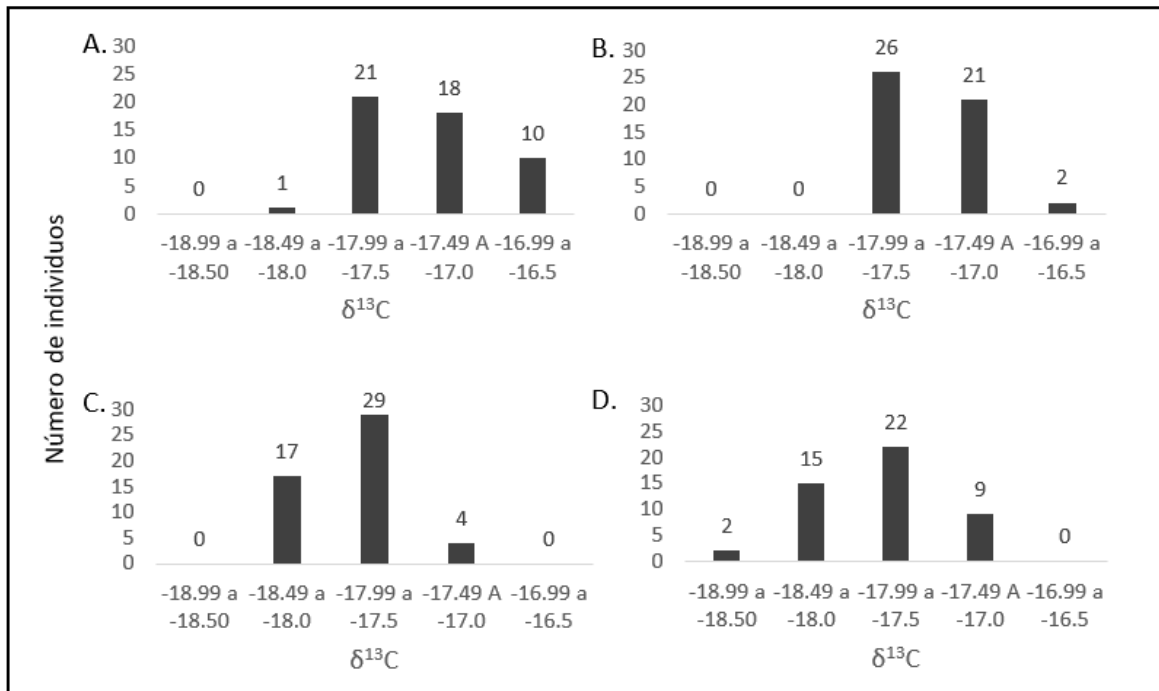


Figura 8. Rango de valores de $\delta^{13}\text{C}$ de hembras hipotéticas por año. A. 2013, B.2014, C.2015, D.2016

El nicho isotópico se obtuvo por medio de la técnica Bayesiana de Elipses en R (SIBER) rutina SIAR y Convex Hull. Los polígonos unen las señales isotópicas de todos los individuos muestreados, y las elipses representan aquellos individuos con el 95% de credibilidad. El área de la elipse y del polígono más amplia se presentó en 2015, mientras que el más bajo en 2014 (Tabla II).

Tabla II. Áreas de elipse y polígono del nicho isotópico de hembras hipotéticas del 2013 al 2016

| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| Área elipse (‰ ²) | 0.41 | 0.25 | 0.50 | 0.38 |
| Área polígono (‰ ²) | 1.64 | 0.97 | 2.1 | 1.3 |

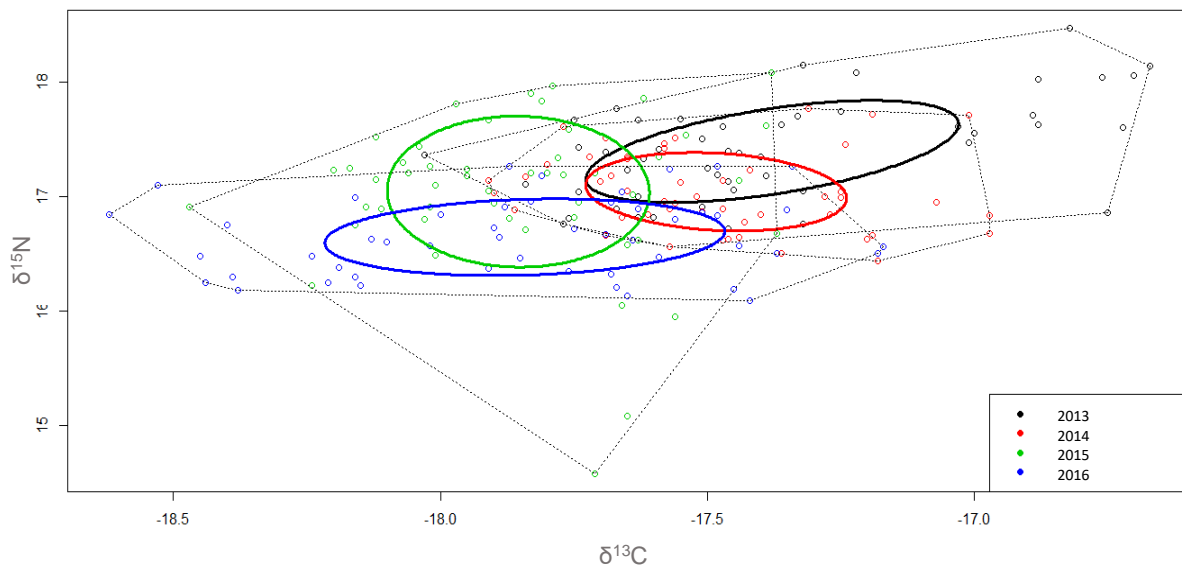


Figura 9. Nicho isotópico interanual (2013-2016) durante la época reproductiva de hembras hipotéticas del lobo fino de Guadalupe.

Identificación de zonas de alimentación

Telemetría satelital

Se colocaron un total de 25 marcas satelitales de las cuales cinco se colocaron a hembras adultas, diez a hembras juveniles y diez a machos juveniles. Se identificaron todas las zonas de alimentación y éstas se dividieron en tres áreas

principales (Fig. 10): el Área 1 fue el área norteña, donde los animales se alimentaron de las Islas Canal (Channel Islands) en Estados Unidos (32.7° N) hacia el norte (41.08°N); el Área 2 fue representada por aquellos organismos que se alimentaron alrededor de Isla Guadalupe (entre 26° y 32. 7°N); y el Área 3 está representada por las zonas de alimentación más sureñas (26°-20.15°N). Durante el periodo de estudio sólo se pudo registrar un viaje de alimentación en la mayoría de los individuos marcados, a excepción de los organismos que se alimentaron en el área 2, los cuáles se desplazaron alrededor de la isla, y regresaron a ella durante varias ocasiones.

Se obtuvo el porcentaje de tiempo que los organismos estuvieron en las zonas de alimentación, y todos estuvieron más del 50% del tiempo total en su zona establecida como zona de alimentación por medio de Convex Hull (Tabla III), respaldando la importancia de estas zonas.

La mayoría de los animales marcados se alimentó en una sola zona. De estos, 14 animales se alimentaron en el Área 1; tres hembras adultas, siete hembras juveniles y tres machos juveniles. En el Área 2 se alimentaron siete animales; tres hembras juveniles y cuatro machos inmaduros. En el Área 3 se alimentaron tres machos inmaduros. Adicionalmente, una hembra adulta (Cara) presentó dos zonas de alimentación importantes en el Área 1 y 2. Además, la zona de alimentación de otra hembra adulta (Aurora) abarcó dos áreas, 2 y 3 (Figura 11.A).

Se encontró que algunas zonas de alimentación abarcaron zonas costeras (consideradas aquellas zonas que se encontraron sobre el talud continental); sin embargo, la mayoría de las zonas de alimentación se presentaron en zonas oceánicas, presentándose ubicaciones de hasta 500 km mar adentro.

Tabla III. Porcentaje de tiempo que los animales estuvieron en su zona de alimentación (ZA) y en Isla Guadalupe.

| Categoría | % locaciones en ZA | % locaciones en Isla Guadalupe |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Hembras adultas | 53.97 | 10.40 |
| Hembras juveniles | 75.40 | 19.03 |
| Machos juveniles | 74.40 | 18.85 |

Las zonas de alimentación más extremas, es decir la más norteña y la más sureña fueron representadas por machos sub-adultos. La ubicación más norteña (41.089°N , -125.175°O) se encontró a 1,478.40 km de Isla Guadalupe en línea recta, y la más sureña (20.1546°N , -108.70°O) a 1,346 km. Las hembras juveniles presentaron una tendencia hacia zonas más norteñas, ya que su ubicación más sureña fue tres veces más cercana de Isla Guadalupe (476.72 km) que la de los machos. Las hembras adultas presentaron la ubicación más lejana (1,620 km) de Isla Guadalupe en el Área 1 (37.0660°N , $-126.9329^{\circ}\text{O}$), con ubicación oceánica, a diferencia de la ubicación más norteña de un macho juvenil, la cual fue una ubicación más de tipo costera (Fig. 10).

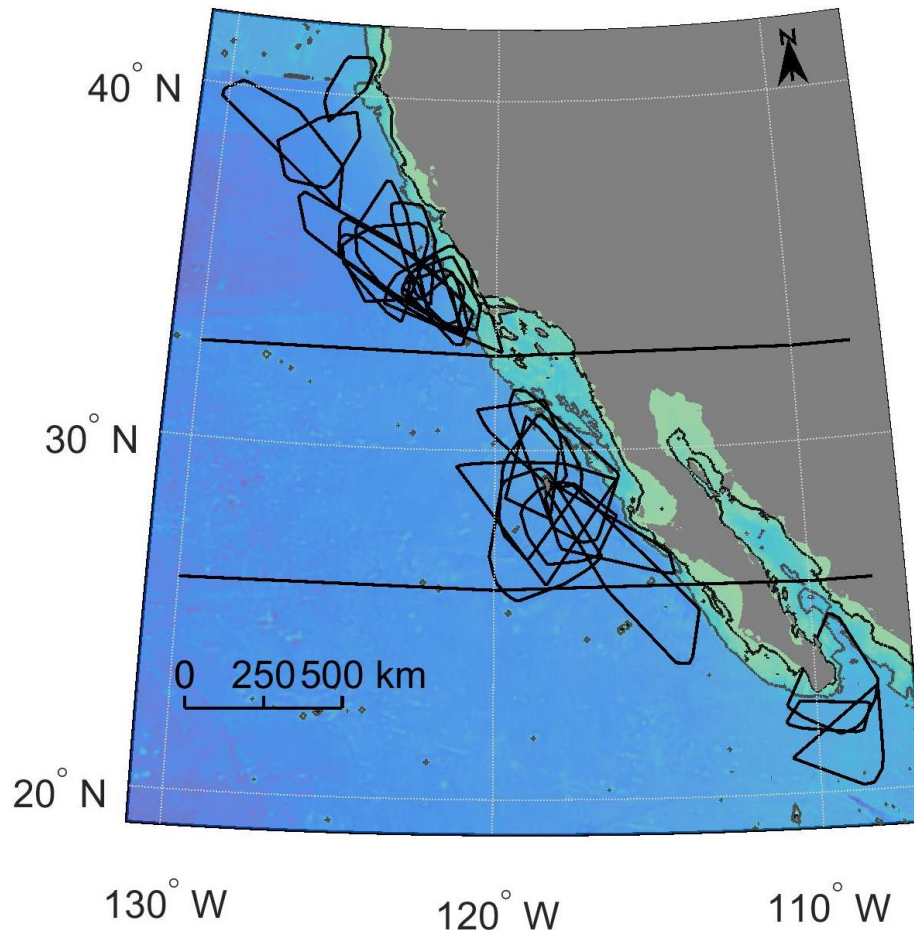
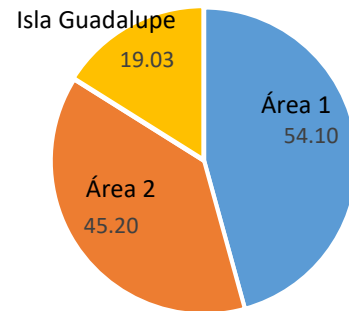
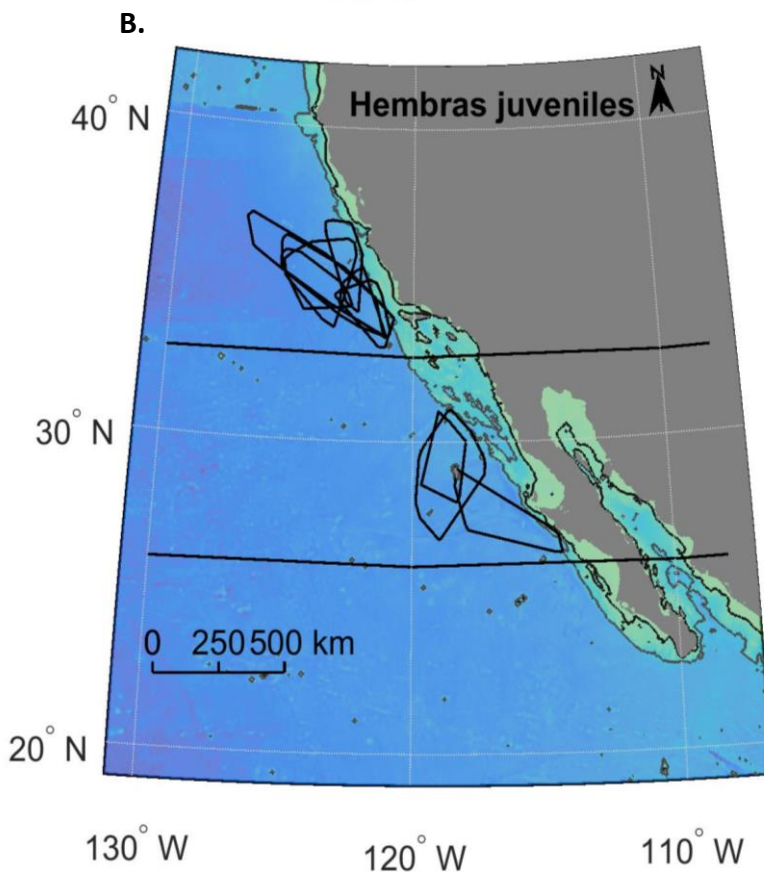
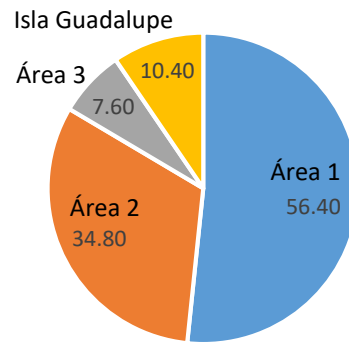
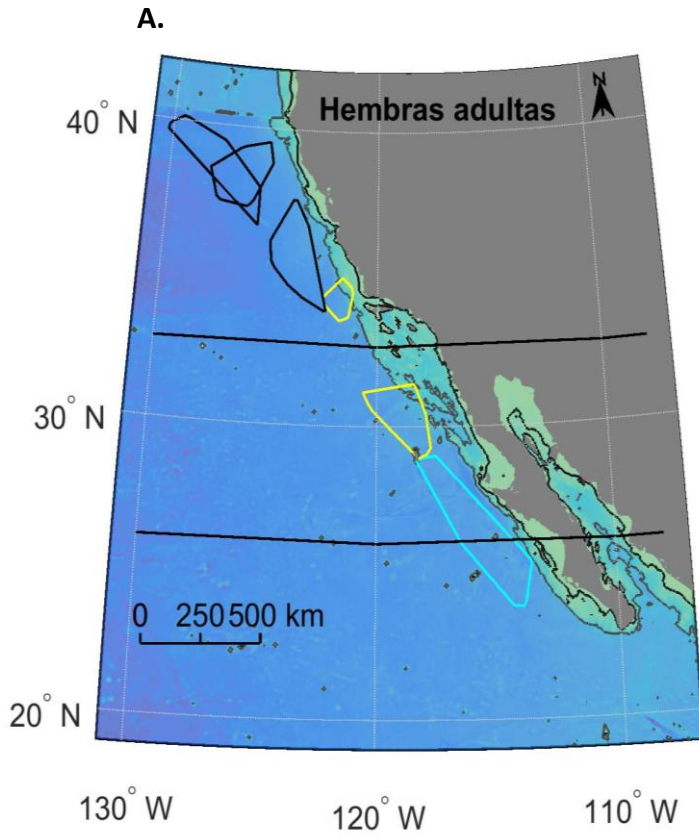


Figura 10. Cada polígono representa una zona de alimentación identificada para lobos finos de Guadalupe de Isla Guadalupe durante el periodo abril-julio de 2017. Las líneas negras horizontales representan el límite entre las áreas establecidas. Las isobatas de 200 y 2,000 m están representadas por líneas negras y gris.



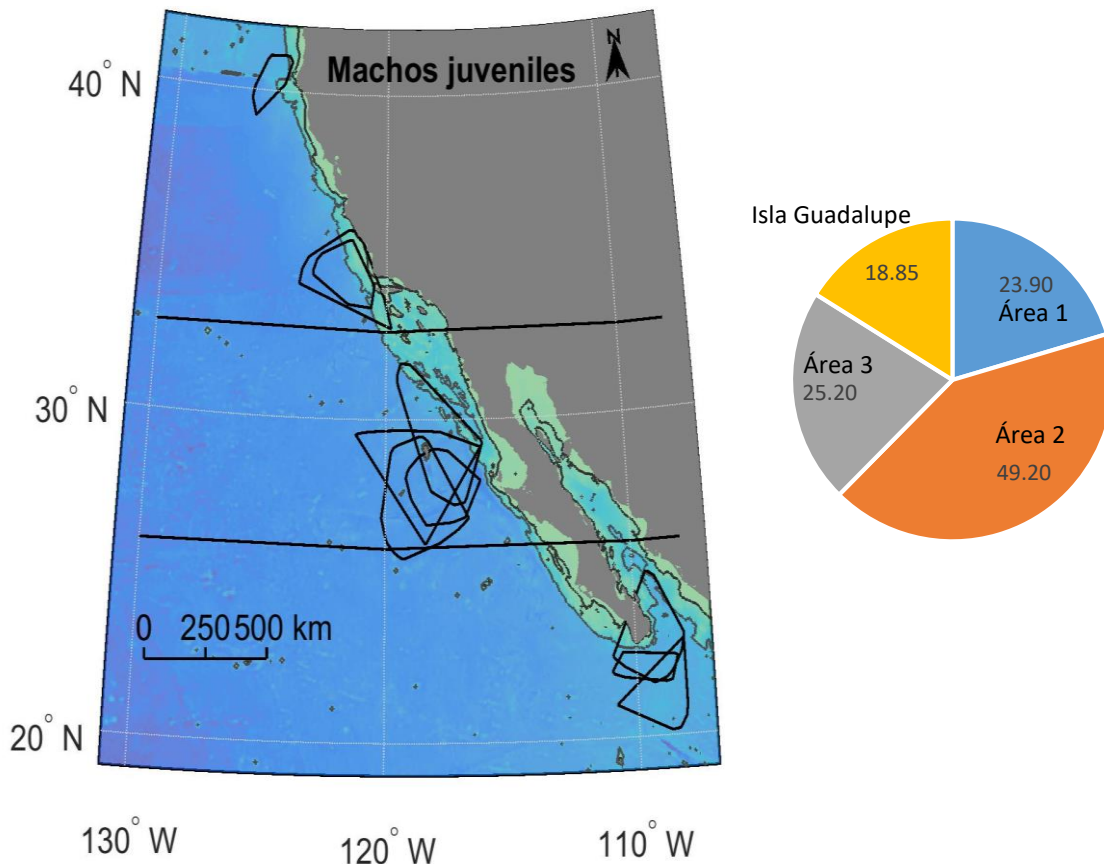


Figura 11. Zonas de alimentación y porcentaje (%) de tiempo en cada área de A. hembras adultas (Cara= polígonos amarillos, Aurora= polígono azul), B.hembras juveniles y C.machos juveniles. Las líneas negras horizontales representan el límite entre las áreas establecidas. Las isobatas de 200 y 2,000 m están representadas por las líneas negras y gris.

Se obtuvieron las áreas de alimentación de LFG. En promedio los machos juveniles se alimentaron en zonas más amplias, mientras que las áreas de alimentación con menor cobertura fueron representadas por hembras juveniles (Tabla IV). Respecto a las zonas de alimentación, el Área 2 fue la que presentó las mayores zonas de alimentación, después el Área 1 y el Área 3.

Tabla IV. Área de la zona de alimentación (Convex-Hull) por categoría de sexo y edad y zona de alimentación.

| Zona | Área | Categoría | Área |
|--------|------|----------------|------|
| Norte | 4.15 | Hembra adult | 4.73 |
| Centro | 6.09 | Hembra juvenil | 4.34 |
| Sur | 3.77 | Macho juvenil | 5.44 |

Isótopos estables en lobos finos de Guadalupe instrumentados

Para el análisis de isótopos estables se analizó suero y pelo. Los tejidos analizados isotópicamente se estudiaron por áreas de alimentación (Áreas 1, 2 y 3) y categoría de sexo y edad (hembra adulta, juvenil hembra y juvenil macho).

Respecto al análisis isotópico por áreas, se encontraron los mismos patrones entre valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en ambos tejidos. El Área 3 presentó una tendencia de valores isotópicos más altos ($\delta^{15}\text{N}$ suero $18.2 \pm 0.5\text{‰}$ y pelo $17.5 \pm 0.7\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C}$ suero $-19.3.0 \pm 0.52\text{‰}$ y pelo $-17.9 \pm 0.38\text{‰}$); El Área 1 presentó valores intermedios ($\delta^{15}\text{N}$ suero: $17.4 \pm 0.4\text{‰}$ y pelo $16.8 \pm 0.65\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C}$ suero $-20.3 \pm 1.2\text{‰}$ y pelo $-17.9 \pm 0.28\text{‰}$); El Área 2 presentó los valores significativamente más bajos de $\delta^{15}\text{N}$ (suero: $16.8 \pm 0.47\text{‰}$ $T=2.7$, $p<0.05$ y pelo $16.4 \pm 0.68\text{‰}$, $T= 1.81$, $p < 0.05$) y una tendencia de $\delta^{13}\text{C}$ (suero $-20.7 \pm 1.18\text{‰}$, $T=1.19$, $p=0.246$; y pelo $-18.1 \pm 0.51\text{‰}$, $T= 1.7$, $p<0.05$).

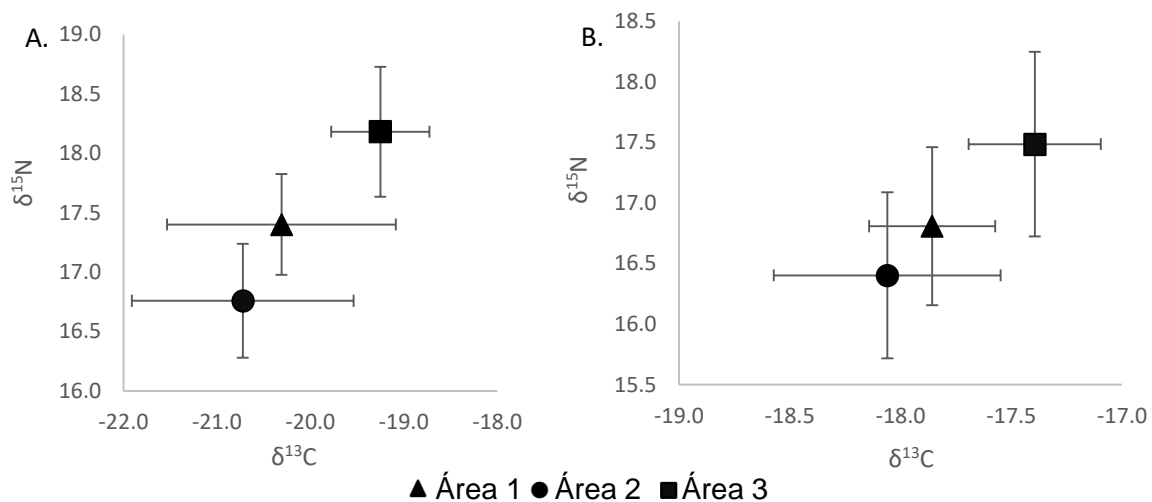


Figura 12. Promedio y desviación estándar de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de lobos finos de Guadalupe instrumentados por áreas de alimentación en A. Suero y B. Pelo

No se pudo obtener el nicho isotópico para las áreas de alimentación debido al número de animales (3) tan bajo que se desplazaron al Área 3, sin embargo, se realizaron gráficas de rangos de valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de pelo y suero para poder identificar los valores isotópicos predominantes para cada área y la variabilidad que presentó cada una. Respecto al $\delta^{15}\text{N}$ tanto para pelo como suero se observó una clara segregación entre los valores de los animales que se alimentaron en el Área 1 y 2 con respecto al Área 3, la cual presentó una tendencia hacia valores más altos (Fig. 13).

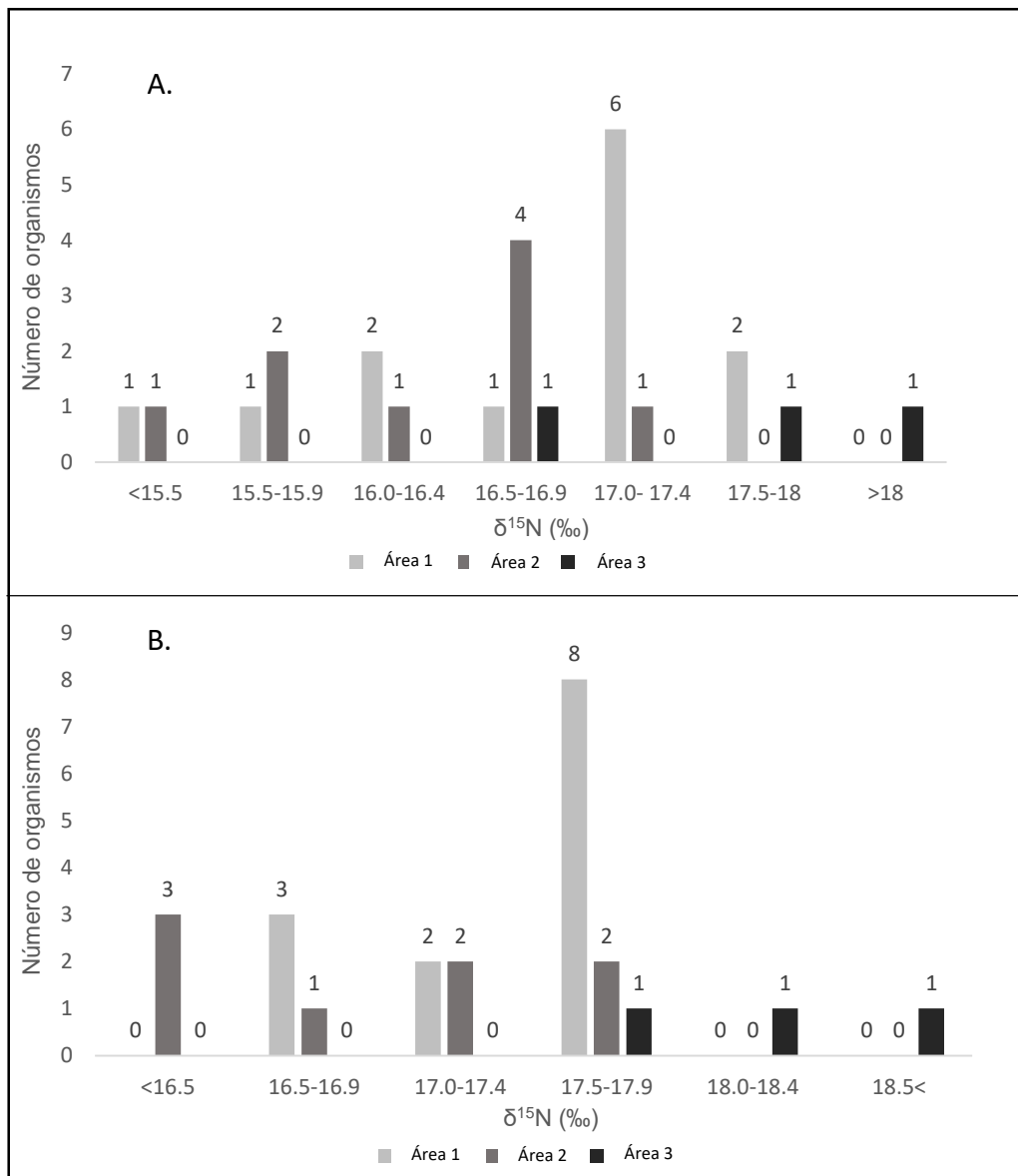


Figura 13. Frecuencias de $\delta^{15}\text{N}$ de A. pelo y B. suero de lobos finos de Guadalupe instrumentados por áreas de alimentación.

Respecto al $\delta^{13}\text{C}$, también se observó una tendencia de valores más altos en el Área 3, sin embargo, ésta se puede observar mejor en los valores de suero. En los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en suero del Área 1 se observó una mayor dispersión de valores (Fig. 14).

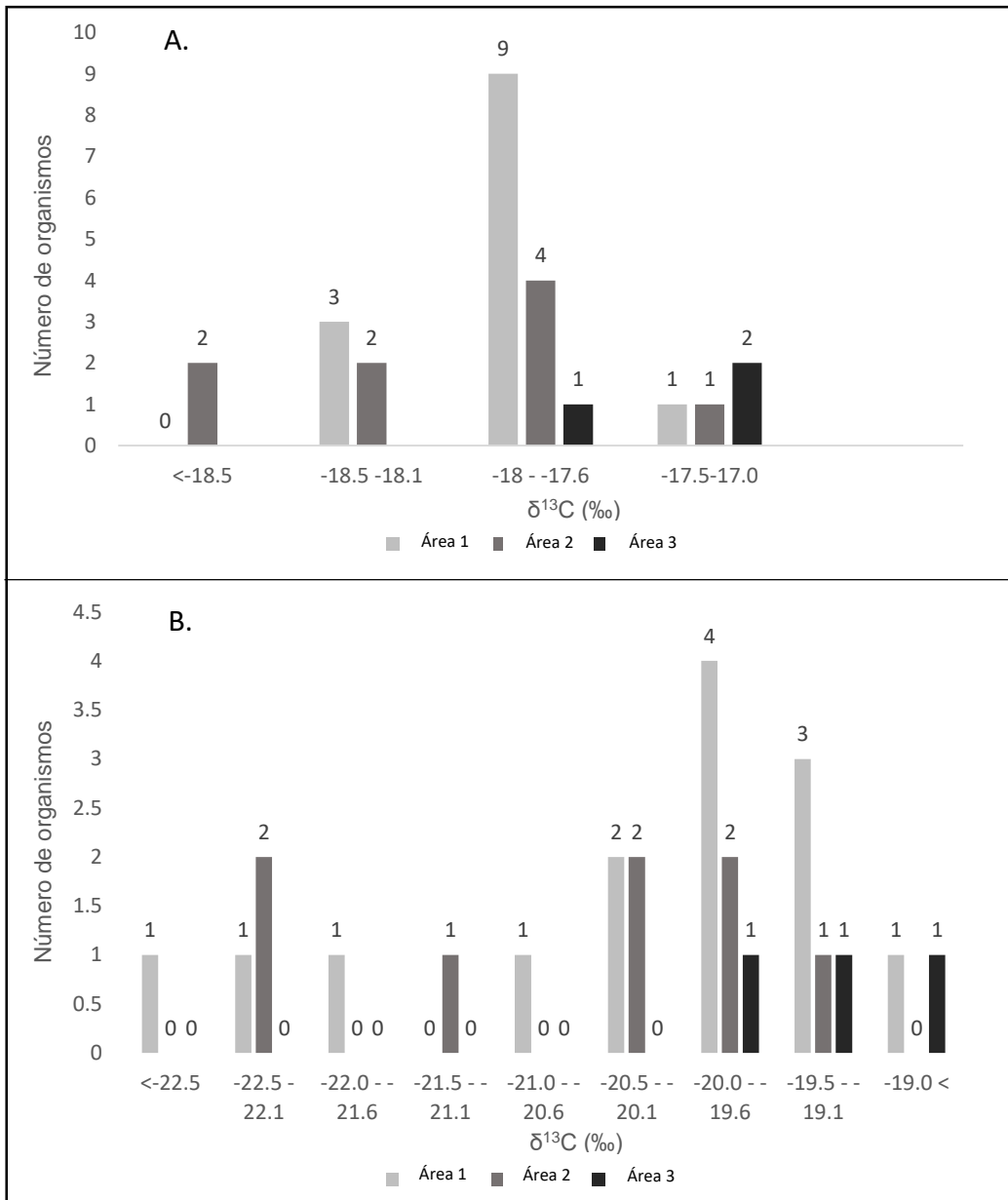


Figura 14. Frecuencias de $\delta^{13}\text{C}$ de A. pelo y B. suero de lobos finos de Guadalupe instrumentados por áreas de alimentación.

Respecto al análisis por categoría de edad, los juveniles machos presentaron los valores de $\delta^{15}\text{N}$ más altos ($17.4 \pm 0.7\text{‰}$) en el suero y los más bajos las juveniles hembras ($17.2 \pm 0.6\text{‰}$). Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ más negativos lo presentaron las hembras adultas ($-20.8 \pm 1.6\text{‰}$), mientras que los machos juveniles presentaron los valores más positivos ($-19.9 \pm 0.9\text{‰}$). En el análisis de pelo se encontró que de igual manera los juveniles machos presentaron los valores más altos ($17.1 \pm 0.7\text{‰}$) en el $\delta^{15}\text{N}$, mientras que las hembras adultas y juveniles presentaron el mismo promedio de 16.5‰ , con desviación estándar similar (± 0.9 y $\pm 0.8\text{‰}$, respectivamente). En el $\delta^{13}\text{C}$ las hembras adultas presentaron los valores más positivos ($17.7 \pm 0.2\text{‰}$), mientras que los más negativos ($18.0 \pm 0.4\text{‰}$) los presentaron las hembras juveniles (Fig. 15).

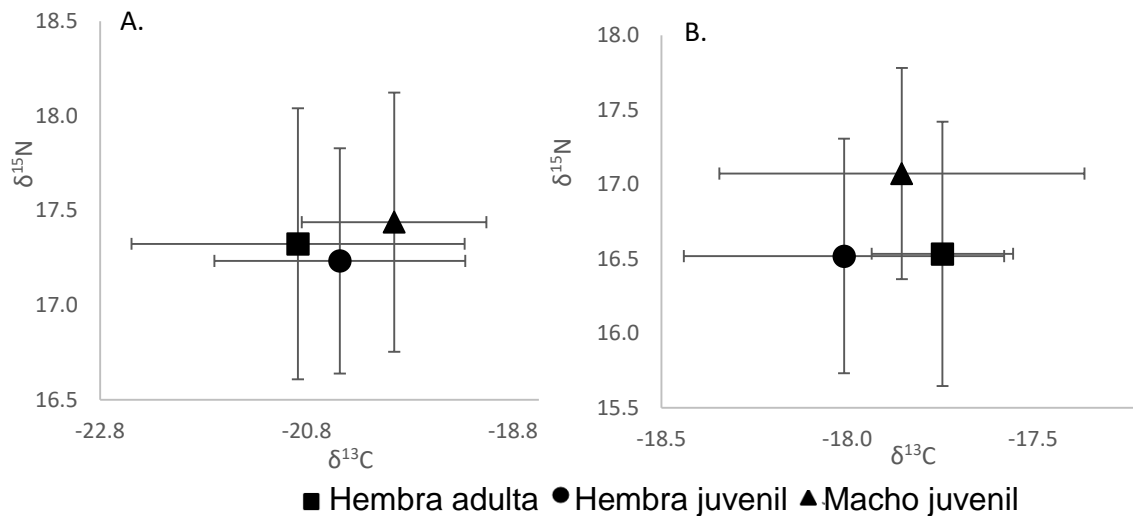


Figura 15. Promedio y desviación estándar de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de lobos finos de Guadalupe instrumentados por clase de edad de A. Suero y B. Pelo

Se obtuvo el nicho isotópico por categoría de sexo y edad de suero y pelo (Fig. 16 y 17). En el nicho isotópico del suero las hembras presentaron la mayor área de elipse, pero menor área del polígono, lo que puede deberse a la menor cantidad de muestra de hembras adultas, mientras que los juveniles machos presentaron la menor área de elipse (Tabla V).

En el pelo, las hembras adultas presentaron la menor área de elipse y polígono, mientras que los machos juveniles presentaron las mayores áreas (Tabla VI, y Fig. 17).

Tabla V. Área de elipse y polígono de nicho isotópico de suero de animales instrumentados.

| Sangre | Área de elipse | Área de polígono |
|--------------------------|---------------------|---------------------|
| Hembras adultas | 2.57 ‰ ² | 2.24 ‰ ² |
| Hembras juveniles | 2.19 ‰ ² | 3.73 ‰ ² |
| Machos juveniles | 1.98 ‰ ² | 3.24 ‰ ² |

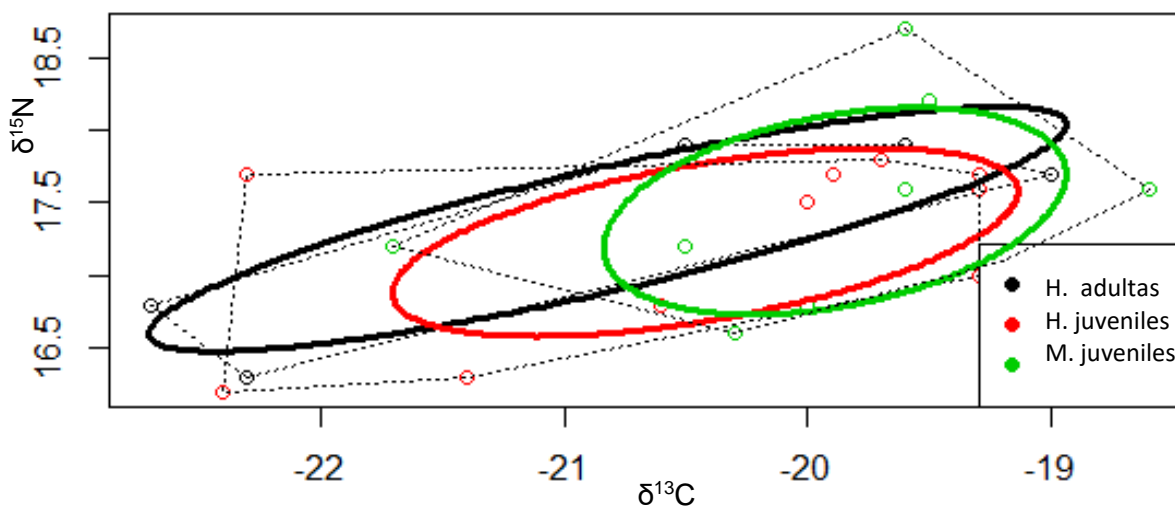


Figura 16. Nicho isotópico de suero por categoría y sexo de lobos finos de Guadalupe instrumentados.

Tabla VI. Área de elipse y polígono de nicho isotópico de pelo de animales instrumentados.

| Pelo | Área de elipse | Área de polígono |
|--------------------------|----------------------|---------------------|
| Hembras adultas | 0.24 ‰ ² | 0.2 ‰ ² |
| Hembras juveniles | 0.74 ‰ ² | 1.29 ‰ ² |
| Machos juveniles | 1.062 ‰ ² | 1.68 ‰ ² |

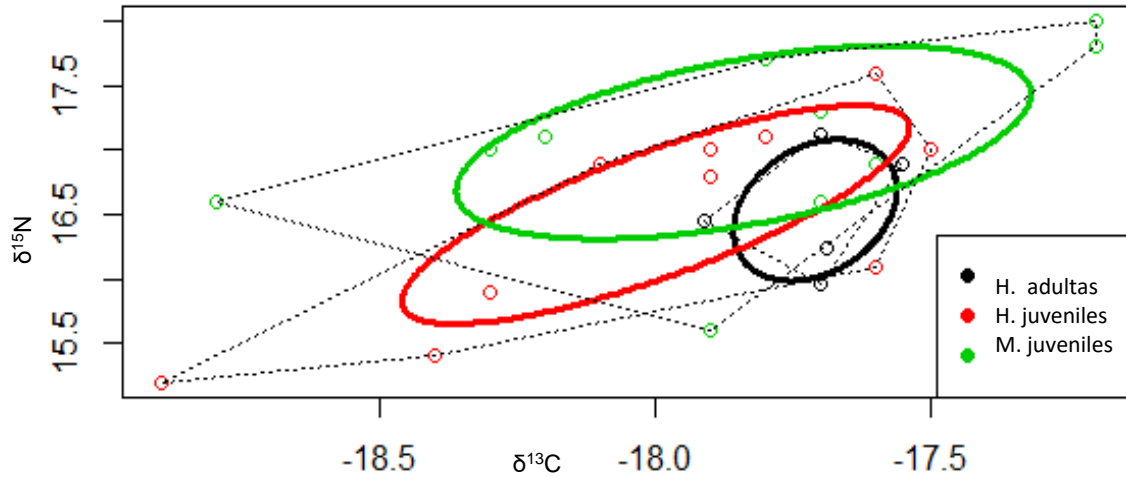


Figura 17. Nicho isotópico de pelo por categoría y sexo. de lobos finos de Guadalupe instrumentados.

Relación entre zonas de alimentación y frentes de clorofila y temperatura

Se obtuvieron frentes de clorofila y temperatura de abril a julio de 2017 y se graficaron los animales que se encontraron en su zona de alimentación durante cada periodo establecido. Se observó una alta coincidencia entre las zonas de alimentación y los frentes de clorofila a (Fig. 16) y temperatura superficial del mar (Fig. 17), sobre todo en las Áreas 1 y 3. También se puede observar que los lobos finos se distribuyeron en un rango de temperatura entre las isotermas 12 y 24°C.

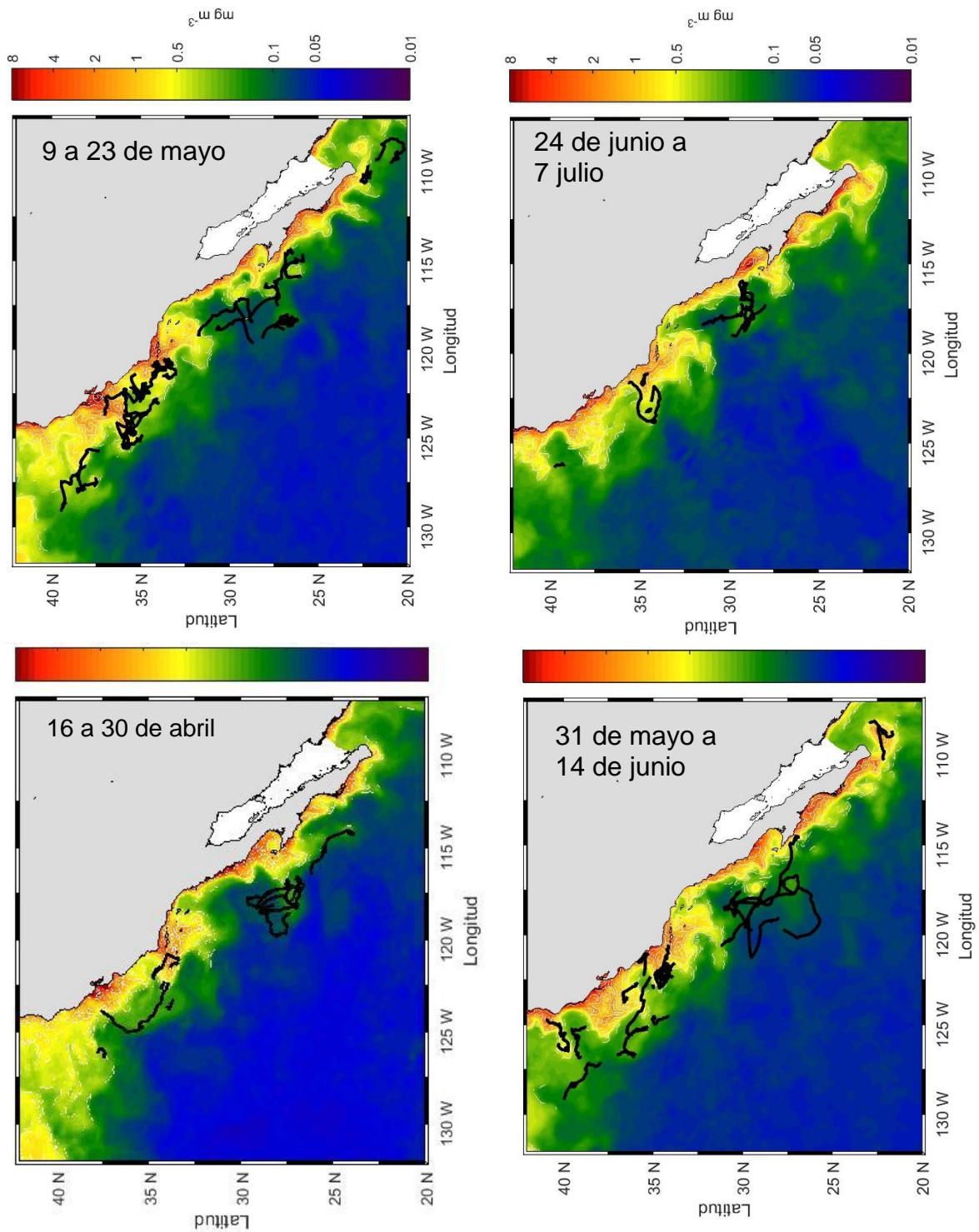


Figura 18. Frentes de clorofila a se representan con líneas blancas, líneas negras representan el track filtrado e interpolado de cada LFG que estaba en su zona de alimentación durante el periodo establecido.

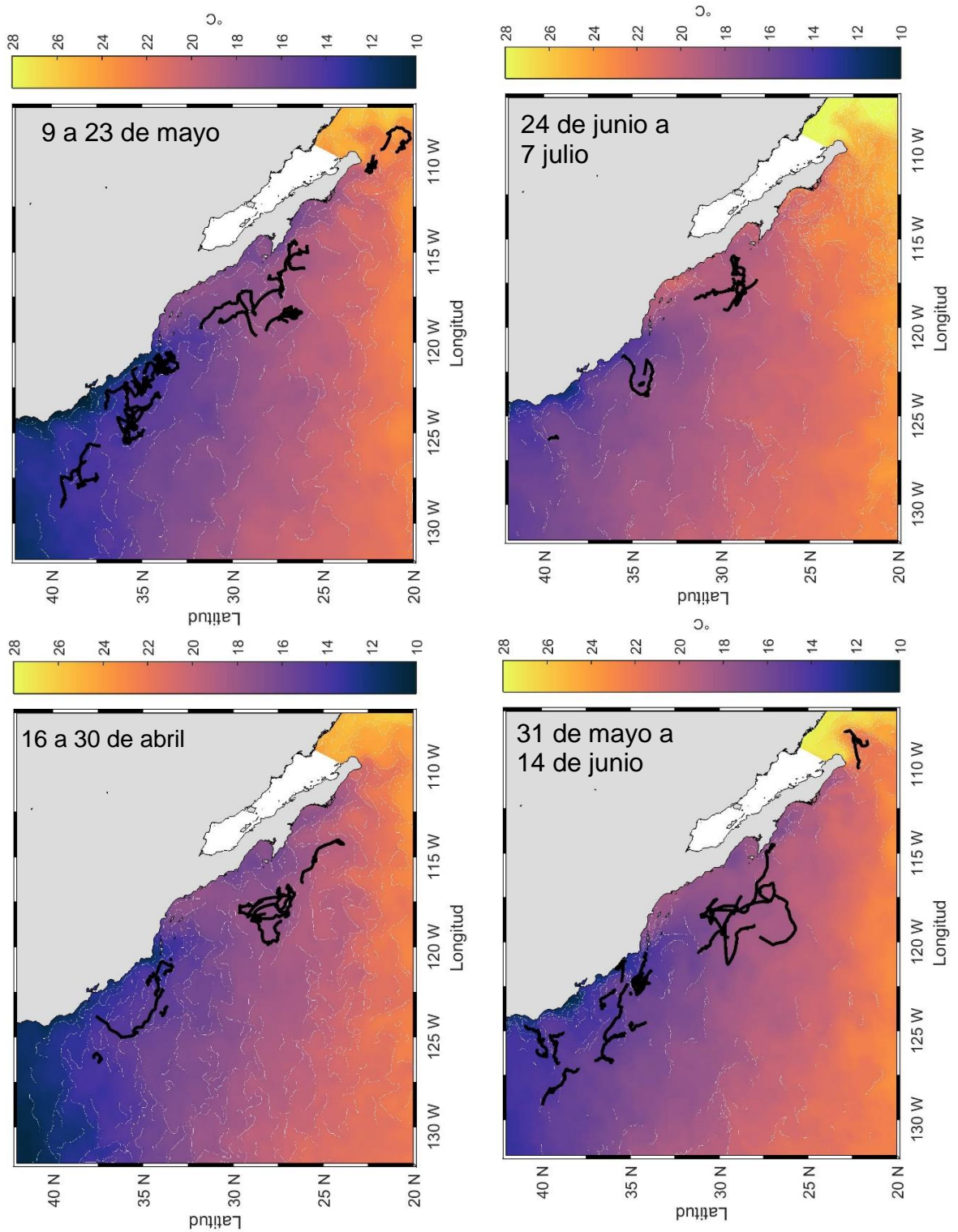


Figura 19. Frentes de tempera superficial del mar se representan con líneas blancas. Líneas negras representan el track filtrado e interpolado de cada LFG que estaba en su zona de alimentación durante el periodo establecido

Relación entre frentes y comparación interanual

A partir de la evidencia de que al menos dos áreas de alimentación de los LFG coincidieron con frentes de clorofila a y temperatura, se procedió a comparar el número de píxeles en las imágenes del 2013 al 2017 donde se presentaron frentes oceanográficos, y así poder entender mejor el efecto de La Mancha y El ENSO en los procesos de desplazamiento de los LFG.

Respecto a los frentes de clorofila a, casi todos los años presentaron diferencias significativas con respecto al 2013 ($p < 0.05$), excepto el 2017. Los años en los que se identificaron un número mayor de píxeles con frentes fueron el 2013 y 2017, con un promedio de 4,750 en 2013 y 4,601 en 2017. Mientras que los más bajos fueron 2015 con 3,265 y 2016 con 3,097. Así mismo la diferencia entre años fue persistente en el periodo 1, 2 y 3, mientras que en el 4 la diferencia es menor entre años (Fig. 19).

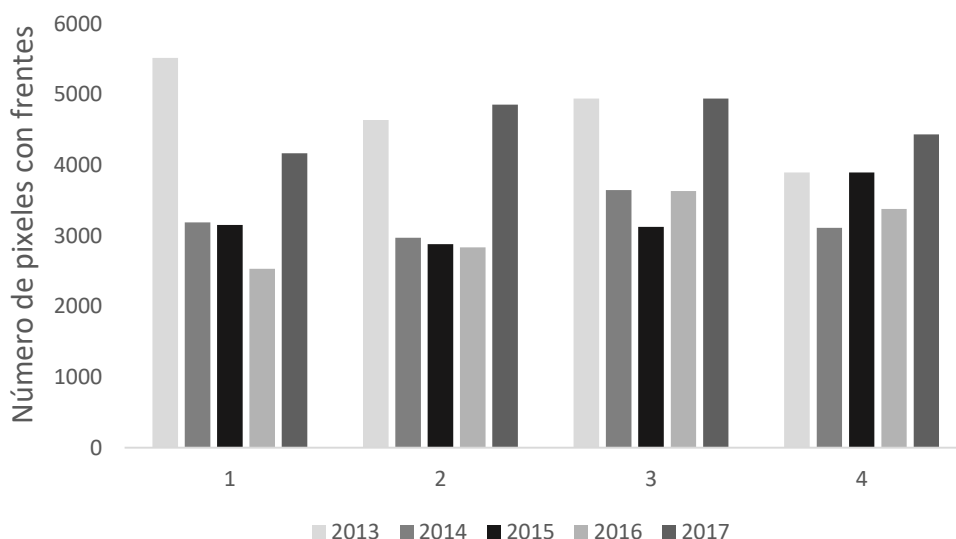


Figura 20. Número de píxeles asociados a frentes de clorofila del 1. 16 a 30 de abril, 2. 9 a 23 de mayo, 3. 31 de mayo a 14 de junio y 4. 24 de junio a 7 julio.

No se presentaron diferencias significativas en el número de píxeles con frentes de temperatura superficial del mar entre años. Sin embargo, 2015 y 2016 presentaron el número mayor de píxeles con detección de frentes de temperatura superficial del

mar, con 58,656.5 y 50,284.25 pixeles en promedio, respectivamente, mientras que el promedio más bajo lo presentó 2014 con 35,380.5 pixeles (Fig. 20).

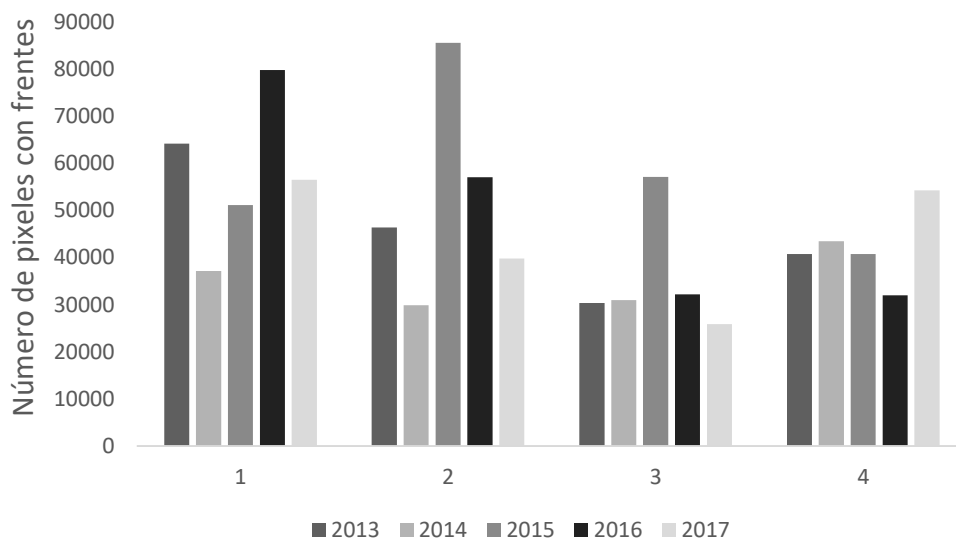


Figura 21. Número de pixeles asociados a frentes de temperatura del 1. 16 a 30 de abril, 2. 9 a 23 de mayo, 3. 31 de mayo a 14 de junio y 4. 24 de junio a 7 julio.

DISCUSIÓN

Durante los eventos inusuales de calentamiento del mar, llamados La Mancha y el ENSO 2015-2016, el LFG de Isla Guadalupe presentó variaciones en su nicho isotópico, y por lo tanto en su nicho trófico. Gracias a la utilización de marcas satelitales y sensores remotos se pudieron determinar zonas de alimentación de esta especie en 2017, así como una coincidencia entre estas y frentes oceanográficos de clorofila a y temperatura.

Zonas de alimentación del lobo fino de Guadalupe

Por medio del uso de transmisores satelitales se evidenciaron zonas de alimentación del LFG. Se encontró que esta especie presenta una gran capacidad de dispersión y de desplazamiento, presentándose zonas de alimentación desde los 41.08°N hasta los 20°N (2,791 km en línea recta entre ambos puntos) y de hasta 500 km alejados de la costa. Se encontró que todos los organismos instrumentados estuvieron más del 50% del tiempo total en las zonas de alimentación que se delimitaron. En este sentido, se ha establecido que los animales se encuentran por más tiempo en áreas donde hay una mayor disponibilidad de recursos, por lo regular distribuidos en parches (Pinaud y Weimerskirch, 2005; Bost *et al.*, 2009). Cuando un depredador encuentra un parche de presas se espera que el movimiento de los animales debería ajustarse a esta estructura del ambiente, mediante un incremento de la magnitud de su ángulo entre ubicaciones y decremento en la velocidad. En este trabajo utilizamos una medida conductual sencilla para identificar las zonas de alimentación (ángulos entre locaciones > 100°), la cual es similar a un comportamiento llamado “búsqueda restringida a un área” (ARS, por sus siglas en inglés de “area restricted search”) (Johnson 1980; Kotliar & Wiens 1990; Pinaud & Weimerskirch, 2005).

Caracterización de las zonas de alimentación del lobo fino de Guadalupe

Las zonas de alimentación del LFG se caracterizaron por ser zonas de alta productividad debido a la influencia de la Corriente de California, la cual se relaciona con una de las principales zonas de surgencias del mundo. El tiempo del presente

estudio abarcó de primavera a principios del verano (de abril a julio). Durante este periodo El área más concurrida fue la 1 (32.7° a 41.08°N), seguida por el Área 2 (26°-32.7°N). Estas áreas se caracterizan por presentar condiciones homogéneas en primavera con aguas frías con características sub-árticas, mientras que en verano solo la región al norte de los 28°N mantiene estas características. En verano, la zona sur de los 28°N, también abarcando el Área 3 (26°-20.15°N), recibe influencia de aguas tropicales y sub-tropicales (Durazo, 2015). Esta transición de aguas homogéneas a heterogéneas en el Área 2, en términos de temperatura, podría estar relacionado con mayores áreas de alimentación del LFG, mientras que la presencia de aguas tropicales podría explicar las menores áreas de alimentación en el Área 3 (Tabla IV), ya que al ser aguas menos productivas el alimento podría estar concentrado y/o restringido a ciertos puntos. Esta diferencia en las características oceanográficas a través de las zonas de alimentación del LFG evidencia una tolerancia alta (euritérmica) de la especie hacia distintas condiciones, lo cual se refleja en el rango de temperatura a lo largo de estas zonas, entre las isothermas 12° y 24°C.

Valores isotópicos de sangre y pelo del lobo fino de Guadalupe.

Se presentaron diferencias entre los valores isotópicos de carbono y nitrógeno de pelo y sangre. Lo anterior puede estar influenciado principalmente por dos factores. El primero es la diferencia en la bioquímica que compone a estos tejidos, los cuales están constituidos por diferente tipo de proteínas y cantidad de grasa (Zeppelyn y Orr, 2010). Cada proteína está compuesta por diferentes aminoácidos, los cuales presentan distintas proporciones de ^{15}N (Hughes *et al.*, 2017). La mayor diferencia entre tejidos se presentó en los valores negativos de $\delta^{13}\text{C}$ en suero respecto al pelo; el primero presentó un rango de valores entre -22 a -18‰ ($\delta^{13}\text{C}$) en contraste con el pelo, el cual presentó un rango entre -18.7‰ a -17‰ ($\delta^{13}\text{C}$). Esta diferencia estuvo relacionada con la cantidad de grasa en cada tejido. El suero de otras especies de vertebrados, como el lobo fino del norte (*Callorhinus ursinus*) está constituido en gran parte por la proteína *Serum albumin* (Kurle, 2002; Kohyama *et al.*, 2017), la cual es transportadora de ácidos grasos en sangre (Lehinger, 1982). Los lípidos están compuestos por una mayor proporción de ^{12}C respecto a ^{13}C , trayendo como

consecuencia valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$. Lo anterior contrasta con el pelo, el cual está compuesto principalmente de proteínas como la glicina, la cual está enriquecida en ^{13}C en comparación con otros aminoácidos, lo que resulta en valores de $\delta^{13}\text{C}$ más altos en pelo (Zeppelin y Orr, 2010).

El segundo factor es la ventana de tiempo que representa cada tejido. Este periodo depende de la tasa de recambio en cada uno, es decir, el tiempo que le toma a cada tejido en volver a incorporar en su totalidad una nueva señal isotópica. El suero representa información trófica de aproximadamente una semana con respecto a la fecha de colecta (Kurle, 2002; Sinisalo *et al.*, 2008), mientras que la información que presenta el pelo es el reflejo del alimento asimilado durante su crecimiento (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016c). En el caso de los LFG adultos (presente estudio), la muda se realiza de manera asincrónica y puede durar meses e incluso años (Berta, 2012). Por lo que el pelo representa un periodo de tiempo amplio en comparación con el suero. Este tipo de diferencias isotópicas entre diferentes tejidos de los mismos individuos también se ha reportado en el lobo fino del norte (Zeppelin y Orr, 2010) e incluso en aves y mamíferos (incluyendo pinnípedos) en cautiverio bajo una dieta controlada isotópicamente homogénea (Kurle, 2002; Tiezen *et al.*, 1983; Hobson *et al.*, 1996). A pesar de que los valores isotópicos de pelo y suero no sirven para realizar una comparación directa entre ellos, cada uno proporciona información valiosa durante ventanas de tiempo distintas.

Relación entre valores isotópicos y zonas alimentación del lobo fino de Guadalupe.

Es posible establecer una relación entre los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ y zonas de alimentación, ya que la proporción de ^{15}N y ^{13}C varían desde la base de la cadena trófica a lo largo de diferentes zonas oceanográficas o isoterrenos, principalmente por cambios latitudinales y gradientes costa-océano (Goericke *et al.*, 1994; Altabet *et al.*, 1995; Burton y Koch, 1999). Lo anterior cobra relevancia si se toma en cuenta que el LFG presentó una alta dispersión, tanto vertical de alrededor de 20° de latitud (41.089°N - 20.1546°N) como horizontal, de hasta aproximadamente 500 km.

Los cambios en los valores isotópicos basales tienen lugar debido a diferentes procesos oceanográficos. Por ejemplo, la presencia de zonas de desnitrificación de bacterias anaeróbicas ligadas a la capa mínima de oxígeno se relaciona con valores enriquecidos de ^{15}N , debido a la combinación de la eutricación en la zona costera, una baja saturación de oxígeno y por consiguiente, un enriquecimiento de ^{15}N en el ambiente desde la materia orgánica particulada hasta los depredadores tope (Altabet *et al.*, 1995; Elorriaga-Verplancken, 2009). Derivado de lo anterior existe una relación negativa, entre los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y la latitud, lo que da como resultado que organismos que se alimentan en latitudes altas, presenten valores más bajos de $\delta^{15}\text{N}$ que organismos con mismo nivel trófico de latitudes medias (Aurioles *et al.*, 2006; Amador-Capitanachi *et al.*, 2017).

En el caso del $\delta^{13}\text{C}$, Goericke y Fry. (1994) demostraron que también existe una relación inversa significativa entre los valores de este isótopo estable en la materia orgánica particulada y la latitud, debido a diferencias en la temperatura del agua. Las temperaturas bajas disminuyen la fijación del ^{13}C y aumentan la solubilidad del CO_2 (enriquecido en ^{12}C), incrementando su concentración en el medio. Al presentarse una disminución de $\delta^{13}\text{C}$ en el medio, esta se va a reflejar desde la base de las redes tróficas hasta los depredadores tope a manera de cascada (Burton y Koch, 1999; Elorriaga-Verplancken, 2009; Aurioles *et al.*, 2017; Amador-Capitanachi *et al.*, 2017).

Se esperaba que los valores isotópicos de suero de Área 1 presentaran valores más bajos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ debido a lo ya antes mencionado. Contrario a esto, el Área 2 presentó los valores más bajos de ambos isótopos estables. Esto puede explicarse por medio de tres hipótesis no excluyentes entre sí: 1) la diferencia en las ventanas de tiempo de ambas técnicas; los valores de isótopos en suero generaron información sobre la última semana del último viaje de alimentación, antes de colocar las marcas satelitales. Los animales fueron marcados en primavera, cuando culmina la lactancia, por lo que las hembras pudieron alimentarse en zonas más cercanas a la Isla (Área 2) durante ésta (ventana de tiempo de análisis isotópico), y en zonas más alejadas como el Área 1 al terminar la lactancia (ventana de tiempo de análisis de telemetría). 2) Los LFG que se alimentan en el Área 2 consumieron presas con menor posición trófica que los organismos que se alimentan en el Área 1. 2) A pesar de que ambas áreas

presentaron zonas de alimentación oceánicas, una parte de ellas abarcó zonas costeras, lo que explica la gran variabilidad en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en ambas (desviación estándar de ± 1.2 en el Área 1 y ± 1.18 en el Área 2). Es posible que más animales se alimentaran cerca de la costa tomando en cuenta la mayor desviación estándar del Área 1, lo que explicaría una leve tendencia a valores de $\delta^{13}\text{C}$ más oceánicos/negativos en el Área 2.

El Área 3 presentó los valores más altos de $\delta^{15}\text{N}$. En esta área se ha reportado una zona de desnitrificación importante y una expansión de la capa mínima de oxígeno, teniendo como resultado un aumento en la proporción de ^{15}N desde la materia orgánica particulada a través de la cadena trófica hasta los depredadores tope, como se ha reportado en distintos eslabones de la cadena trófica del Pacífico tropical como atunes, calamares, mictófidios, y eufácidos por medio de análisis de isótopos estables de componentes principales (Hetherington *et al.*, 2016) y en el lobo marino de California en el Golfo de California (Aurioles *et al.*, 2017). En este último estudio se analizó la dieta del lobo marino y su señal isotópica en el Golfo de California a lo largo del tiempo, encontrando que no se presentaron variaciones importantes en la dieta que pudieran explicar el incremento anual de 0.2‰ de $\delta^{15}\text{N}$ de 1999 al 2014. Este hallazgo se atribuyó a la expansión de la capa mínima de oxígeno en esa región, la cual permite el florecimiento de bacterias anaeróbicas fijadoras de nitrógeno.

Cambios en los valores isotópicos asociados a diferencias basales en las zonas de alimentación en el LFG fueron reportados por Amador-Capitanachi *et al.* (2017), quienes proponen una segregación en zonas de alimentación entre LFG y aquellos que habitan en el Archipiélago de San Benito, basándose en valores más bajos de $\delta^{15}\text{N}$ en lobos finos de Isla Guadalupe respecto a los de San Benito, a pesar de presentar un nivel trófico mayor, estimado por medio del análisis de excretas.

Zonas de alimentación por categoría de sexo y edad del lobo fino de Guadalupe y la relación con su nicho isotópico

Las hembras presentaron la menor área de polígono en su nicho isotópico, tanto en suero como en pelo. Esto puede deberse a distintos factores, tales como una mayor experiencia que los juveniles y por lo tanto conocimiento de zonas específicas de

alimentación, diferencias en los requerimientos energéticos, o bien puede ser una estrategia para evitar competencia entre clases de edad. Cambios en la dieta y en el comportamiento de alimentación al crecer se ha sugerido en el LFG (Amador-Capitanachi *et al.*, 2017), y otras especies como el lobo fino del norte (Zeppelyn y Orr, 2010), el lobo fino de Galápagos (*Arctocephalus galapagoensis*) (Horning & Trillmich 1997) y el lobo fino de Nueva Zelanda (*Arctocephalus forsteri*) (Page *et al.* 2006).

Por otro lado, los machos presentaron los valores de $\delta^{15}\text{N}$ más altos. Planteamos la hipótesis de que este incremento está asociado a diferencias en el requerimiento energéticos entre ambos sexos, ya que se ha reportado que desde crías los machos (p.e. lobo marino de California) necesitan una mayor fuente de energía para un mayor desarrollo óseo y muscular durante su crecimiento, a diferencia de las hembras (Luque y Aurióles, 2001). Machos juveniles continúan su crecimiento, por lo que estos podrían alimentarse de presas con mayor niveles energéticos y por consiguiente mayor nivel trófico. Diferencias en los hábitos alimenticios entre hembras y machos se reportó recientemente en el LFG (Juárez-Ruiz *et al.*, 2018) y en otras especies como el lobo marino de California (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013), el lobo fino del norte (Burton y Koch, 1999), el elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*) (Velázquez y Elorriaga-Verplancken, 2017). Sin embargo, gracias a la utilización de la telemetría satelital en este estudio, se tiene información sobre la posible influencia isotópica de la base de la cadena trófica; algunos machos se alimentaron en el Área 3, cerca de la boca del Golfo de California caracterizada por procesos de desnitrificación, siendo estos una razón importante para el enriquecimiento de ^{15}N en estos machos, como ya se explicó anteriormente. Recientemente se evidenciaron variaciones isotópicas derivadas de un comportamiento migratorio entre el Pacífico Mexicano con valores empobrecidos en ^{15}N y el Golfo de California con valores enriquecidos en ^{15}N , por parte de lobos marinos de California subadultos (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018). Con base en los isoterrenos mencionados, este estudio evidenció distintas zonas de alimentación entre machos subadultos y hembras adultas, de modo similar que se reportó para el lobo fino antártico (Boyd *et al.*, 1998) y en el elefante marino del norte (Le Boeuf *et al.*, 2000).

La utilización de latitudes sureñas como zonas de alimentación, por parte de LFG juveniles, también fue descrita por Ortega-Ortiz *et al.* (sometido) en el Pacífico Central Mexicano, mediante observaciones directas durante navegaciones. Debido a la distancia entre esta zona e Isla Guadalupe (1,500-1600 km) y la presencia de mayoritariamente juveniles, estos autores sugieren que estos LFG son parte del Archipiélago de San Benito o bien de la misma clase de edad; sin embargo, con base en la distancia recorrida (hasta 1600 km) por LFG juveniles de Isla Guadalupe hasta sus zonas de alimentación, en este estudio, existe la posibilidad de que también sean juveniles de Isla Guadalupe. Este estudio proporciona evidencia adicional sobre la larga dispersión y capacidad de adaptación a distintos ecosistemas por parte de esta especie.

El nicho isotópico por clase de edad de LFG a partir de pelo y de suero no presentaron las mismas tendencias. Esto se explica por la diferencia en las ventanas de tiempo entre estos tejidos. El pelo en adultos tiene una ventana de tiempo de hasta un año, y es posible que los LFG cambien sus zonas de alimentación a lo largo de diferentes estaciones, debido a cambios oceanográficos como los que se presentan a nivel de la Corriente de California (Durazo *et al.*, 2015), como se ha sugerido para esta misma especie por Ortega-Ortiz *et al.* (sometido) y también para otras especies de pinnípedos como el lobo fino subantártico (Georgres *et al.*, 2000; Cherel *et al.*, 2007), lobo fino antártico (Cherel *et al.*, 2007), lobo marino de Steller (*Eumetopias jubatus*) (Merrick *et al.*, 1997) y el lobo fino de Nueva Zelanda (Harcourt *et al.*, 2002). Es posible que se refleje un promedio de estos cambios estacionales en la señal isotópica del pelo, mientras que el suero nos da información solamente del último viaje de alimentación, dentro de una escala de días.

Relación entre zonas de alimentación y frentes oceanográficos

Los individuos marcados satelitalmente presentaron una estrategia de alimentación combinada, explotando tanto zonas oceánicas como costeras, comportamiento ya reportado en otras especies donde éstas se alimentan de frentes en aguas profundas oceánicas y en zonas neríticas cerca de la costa (Bost *et al.*, 2009; Gannier *et al.* 2007).

Los frentes son procesos oceanográficos donde se incrementa la mezcla lateral y vertical de la capa superficial del mar, por lo que presentan niveles altos de productividad primaria y secundaria cuando este persiste por el tiempo necesario (Olson y Backus 1985; Le Fèvre, 1986; Largier, 1993; Acha *et al.*, 2004; Bost *et al.*, 2009). Frentes persistentes por al menos 15 días probablemente presentan importancia biológica. Existen dos posibles hipótesis no mutuamente excluyentes de porque los frentes son zonas determinantes para los depredadores marinos, 1) la disponibilidad de presas incrementa debido al aumento en la productividad primaria en esta zona, y 2) una mayor agregación de organismos marinos se debe al transporte de presas potenciales hacia los frentes por medios de procesos oceanográficos convergentes (Hunt *et al.*, 1999; Spear *et al.*, 2001; Van Franeker *et al.*, 2002; Bost *et al.*, 2009).

En este estudio, los frentes de clorofila con mayor productividad primaria se presentaron en las zonas costeras, debido a que la Corriente de California es una fuente importante de surgencias; sin embargo, en zonas oceánicas también prevalecieron frentes importantes. Se ha reportado que este tipo de frentes oceánicos son zonas importantes para el reclutamiento y alimentación, incluso se ha hecho la analogía con la presencia de oasis en medio del mar, para especies pelágicas como tortugas (Polovina *et al.*, 2000), aves oceánicas (Scneider, 1990), peces e incluso calamares (Acha *et al.*, 2004; Acha *et al.*, 2015), las cuales son taxa principales en la dieta del LFG (Amador-Capitanachi *et al.*, 2017; Juárez-Ruiz *et al.*, 2018).

En la costa sur de California Zeidberg (2002) reportó la presencia de camas de desove de calamar opalescente (*Doriteuthis opalescens*), muy cerca de frentes costeros alrededor y a poca distancia de las Islas Canal, California, dentro del Área 1 descrita en este trabajo, donde la mayoría de los animales instrumentados presentaron su zona de alimentación. Esta área presenta un número importante de frentes debido a la interacción del Eddy de la costa de California, corrientes de marea y la topografía de las islas (Kingsford *et al.*, 1991). El calamar rojo (*Ommastrephes bartramii*) se ha reportado como la segunda especie con mayor importancia en el espectro trófico del LFG del 2014-2016 (Ventura, en proceso), el cual se sabe que realiza el desove y se

alimenta en zonas de frentes oceánicos como la zona de frentes subtropical y el frente de transición de clorofila respectivamente (Ichii *et al.*, 2009).

Sin embargo, dentro de los frentes se presenta un desfase de tiempo entre sus gradientes físicos y la magnitud de los depredadores tope (mientras más elevada su posición trófica, más grande el desfase). Este desfase puede relacionarse a la longitud de la cadena del frente desde las presas hasta los depredadores (Schneider, 1990). Al identificarse frentes con una mínima duración de 15 días en este estudio, es posible que ya se presentara un avance en la longitud de la cadena trófica en éstos. Y la coincidencia entre los frentes y algunas zonas de alimentación, principalmente en el área 1 y 3 (Fig. 18 y 19) puede estar relacionado con fuentes importantes de alimento del LFG. Esta posible variación en la prevalencia podría ser la razón de la presencia o no de una coincidencia entre las áreas de alimentación y estos procesos de mesoescala.

En años anteriores se ha demostrado la importancia de estos procesos de meso-escala en la ecología de mamíferos marinos. En pinnípedos, este tipo de estudios se ha realizado principalmente en focidos. Field *et al.* (2001) reportaron que hembras del elefante marino del Sur (*Mirounga leonina*), después de la temporada reproductiva, se alimentan principalmente en cuatro cuerpos de agua, entre los que se incluye la zona del frente Polar. En el hemisferio norte Robinson *et al.* (2012) reportaron que el elefante marino del norte dirige su esfuerzo de alimentación hacia la frontera entre el giro Sub-Ártico y el giro Sub-Tropical (Zona de Transición del Pacífico Norte).

Comparación interanual 2013-2016 del nicho isotópico del lobo fino de Guadalupe

El LFG presentó cambios en su nicho isotópico durante los años en los que se presentaron anomalías en la temperatura superficial del mar. Gómez-Ocampo *et al.* (En prensa) reportaron las mayores anomalías de biomasa y producción de fitoplancton cerca de la costa durante ese periodo anómalo. Esto puede deberse a que los grupos de fitoplancton típicos de zonas oceánicas son favorecidos por condiciones cálidas oligotróficas (Barber y Hiscock, 2006), como las condiciones presentes durante las anomalías mencionadas (Gómez-Ocampo *et al.*, En prensa), a diferencia de los

taxa presentes en zonas de surgencias como las diatomeas, las cuales son favorecidas por aguas ricas en nutrientes y con bajas temperaturas (Hinz *et al.*, 2012). Las zonas oceánicas, al ser las más productivas durante las anomalías pudieron ser las principales zonas de alimentación del LFG durante los años anómalos (2014-2016). Lo anterior pudo estar asociado a valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$ a partir del 2014 con respecto a 2013 (Fig. 6).

La principal presa del LFG en 2013 fue el calamar gigante (51.9%), y en segundo lugar *Onychoteuthis sp.* (29.7%). En 2014 y 2015 no se presentaron cambios drásticos en el espectro trófico del LFG; el calamar gigante siguió presente como presa principal (48.9% y 49.2%, respectivamente), mientras que la segunda presa principal fue el calamar rojo con una importancia de 17.9% y 19.3% (Ventura, en proceso), especie de la cual se ha reportado un nivel trófico de 3.91 siendo mayor que el de *Onychoteuthis sp* (NT=3.2). Los valores negativos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en 2014 y 2015 no se explicaron por cambios en la dieta del LFG, por lo que estos pueden estar relacionados con un mayor desplazamiento a zonas norteñas para su alimentación (Amador-Capitanachi *et al.*, 2017), en comparación al 2013. En este sentido, Cavole *et al* (2010) también encontraron anomalías positivas en las concentraciones de clorofila en zonas norteñas (34.5 N) durante el verano y otoño de 2013 a 2015. Mientras que en la zona de la costa sur de California y en la península de Baja California se presentó la mayor anomalía de temperatura en toda la Corriente de California (Gómez-Ocampo *et al.*, En prensa). Y por lo tanto un consistente decremento en las concentraciones de clorofila a y una nutriclina profunda (Cavole *et al.*, 2015; Zaba y Rudnick, 2016). Esto en conjunto con el aumento en la estratificación causado por las anomalías, redujo el flujo de nutrientes a la zona eufótica y por ende un decremento en la biomasa total del fitoplancton y alimento para los siguientes eslabones de la cadena trófica.

Después de dos fenómenos anómalos intensos como fueron La Mancha y el ENSO en el Pacífico noroccidental, es posible que para 2016 el ecosistema marino todavía no se haya recuperado. La biomasa y la producción de fitoplancton registrados en 2016 por Gómez-Ocampo (En prensa) son los más bajos reportados en los últimos 13 años. Esto puede estar relacionado con los bajos valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

encontrados en 2016, que indican que los individuos se alimentaron en áreas oceánicas o de alta latitud. Estos valores isotópicos negativos también podrían relacionarse a cambios en el espectro trófico del LFG en este año. Por medio de análisis de excretas se reportó un decremento en el consumo de calamar gigante y un aumento en el consumo de mictófidios, los cuales presentan un menor nivel trófico (Ventura, en proceso). Es importante mencionar que ambas hipótesis no son mutuamente excluyentes y evidencian un ecosistema marino que probablemente esté aún en proceso de resiliencia.

Un número inusual de LFG varados en las costas de California en 2016 apoyan esta hipótesis. La NOAA y The Marine Mammal Center reportaron a casi 80 LFG varados en esa zona (California) y aunque este número fue menor que el número de individuos varados en 2015 (aproximadamente 100), es muy elevado en comparación a años anteriores (Fig. 22).

Una vez que se determinó una coincidencia entre frentes y las zonas de alimentación del LFG, fue vital estudiar cambios de estos procesos durante los años anómalos para así poder tener un mejor entendimiento sobre el impacto de las anomalías de temperatura en los LFG en 2013-2016. Adicional a lo ya antes mencionado sobre los cambios oceanográficos y el impacto sobre la abundancia de la productividad primaria durante las anomalías, también se encontró una menor cantidad de número de píxeles con frentes de clorofila a del 2014 – 2016 (Fig. 19), lo que podría reflejar una menor proporción de estos procesos oceanográficos en estos años y por consiguiente un menor número de fuentes de alimento (Georges *et al.*, 2000) , por el ya mencionado efecto bottom-up en el ecosistema (Frank *et al.*, 2007).

Teniendo en cuenta la evidencia antes mencionada sobre una disminución y cambios en la disponibilidad del alimento, los LFG pudieron haber presentado una mayor dispersión, realizando un mayor esfuerzo en la búsqueda del alimento en la presencia de anomalías oceanográficas y por consiguiente pudieron alimentarse en distintas zonas de alimentación con valores isotópicos basales variables, como se ve reflejado en el nicho isotópico más amplio encontrado en el 2015, año en el que presentó la mayor anomalía en la temperatura superficial del mar. Esta respuesta a cambios ambientales también se ha reportado para esta misma especie en 2015, en

la colonia de re-colonización en el Archipiélago de San Benito (Elorriaga-Verplancken, 2016a), en donde encontró un nicho isotópico tres veces más grande que en el año anterior (2014), por efecto del ENSO 2015. Para asentamientos en California, Holser *et al.* (2017) también reportó un cambio entre las áreas de alimentación del elefante marino del norte de 2014 y 2015, siendo más norteñas (+4°N y +10°E) en este último y respecto a años anteriores (2004-2013), evidenciando un cambio en su comportamiento de forrajeo durante La Mancha. Rodríguez-Martínez (2017) también reportó un probable desplazamiento de hembras adultas del elefante marino del norte de San Benito a zonas de alimentación más norteñas en 2015 en comparación con 2014, por medio del análisis de isótopos estables de N y C, encontrando una señal isotópica con valores más negativos de ambos isótopos en 2015 respecto a 2014, la cual es característica de latitudes altas.

Un mayor gasto energético de las hembras de LFG en la búsqueda de su alimento afectó a las crías durante el periodo reproductivo de los años anómalos, ya que mientras las madres posiblemente recorrieron mayores distancias para alimentarse, las crías en Isla Guadalupe se quedaron sin alimento por mayor tiempo. También es posible que las hembras no hayan encontrado presas que les proporcione el valor energético necesario para soportar sus viajes de alimentación más largos, y la producción de leche rica en grasas y nutrientes necesarios para la supervivencia de las crías, y por lo tanto también un posible abandono a las crías. Lo anterior fue evidenciado por Gálvez (en proceso) quien reportó una mayor mortalidad de crías (198) en Punta Sur (Isla Guadalupe) en 2015, en contraste con el 2013 (52), 2014 (99) y 2016 (104), y evidenció que la principal causa de muerte fue inanición. Costa *et al.* (1989) reportó un caso similar en el lobo fino antártico, en donde comparó el comportamiento de forrajeo de hembras de esta especie en dos temporadas reproductivas, en 1984 año con una muy baja disponibilidad de alimento y 1985 año con disponibilidad de alimento normal. En 1984 las hembras estuvieron más tiempo en el mar, siendo los viajes de alimentación hasta dos veces más prolongados en comparación con 1985. De igual manera reportaron un incremento en la mortalidad de las crías por inanición en 1984.

Por otro lado, Gálvez (en proceso) también reportó un mayor promedio y una mayor variabilidad en los pesos de crías en 2015 (8.3 ± 2.2 kg) con respecto a 2014 (6.86 ± 1.9 kg). Una mayor variabilidad de pesos de crías podría ser el resultado de una mayor variabilidad en el éxito alimentario de hembras adultas, las cuales ya han sido relacionadas con una diversificación de estrategias alimentarias, específicamente para Isla Guadalupe en 2013 (Juárez *et al.*, 2018). Es probable que las madres con un tipo de comportamiento de forrajeo tenga un mayor éxito durante las anomalías que el resto. Esta repartición de nicho puede estar relacionado con diferencias en las zonas de alimentación utilizadas, como se evidenció vía telemetría satelital de hembras adultas que se alimentaron en el Área 1 y 2. Es probable que las hembras no se alimenten de las mismas presas cuando se encuentran alimentándose en diferentes zonas de alimentación. Este tipo de comportamiento fue reportado en el lobo marino de Galápagos; Páez *et al.* (2017), encontraron una segregación de dos zonas de alimentación y diferente comportamiento de buceo, uno asociado al consumo de presas epipelágicas y el otro de presas bentónicas.

Una mayor inversión energética en la búsqueda del alimento o falta de éste, se vio reflejado en latitudes altas, con la mortalidad inusual de LFG en las costas de California, donde casi 100 lobos finos entre destetados y juveniles vararon en condiciones de malnutrición especialmente en 2015, mientras que en años anteriores (2009 a 2014) el número máximo era poco más de 10 (Fig. 22). Los LFG que buscaron alimento en latitudes sureñas no fueron la excepción; en 2015 se registraron varios avistamientos y varamientos inusuales de LFG en Bahía de la Paz ($24^{\circ}08'32''$ N), México, los cuales fueron registrados con una condición corporal pobre o muertos (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016d). Lo anterior podría evidenciar una baja disponibilidad de alimento para el LFG en 2015 en sus áreas de alimentación determinadas en este estudio, desde el Área1 hasta el Área 3.

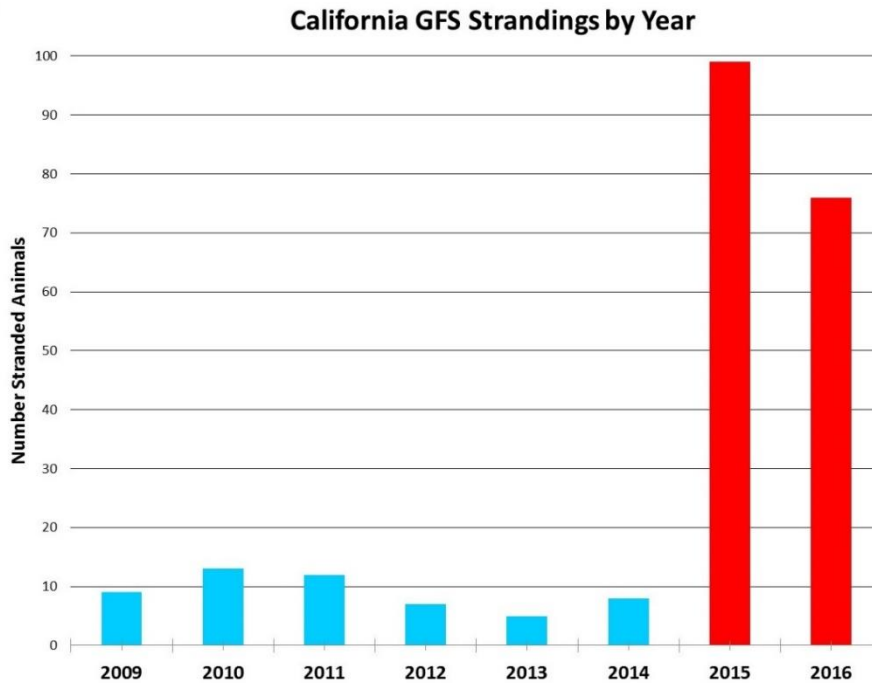


Figura 22. Mortalidad inusual del lobo fino de Guadalupe en 2015 y 2016 reportado por la NOAA y The Marine Mammal Center (tomado de <http://www.nmfs.noaa.gov/pr/health/mmume/guadalupefurseals2015.html>).

La presencia de cambios en la posición de frentes y variaciones en la temperatura del mar han afectado la disponibilidad de alimento y como consecuencia incluso la supervivencia de algunos pinnípedos. Por ejemplo, Baker *et al.* (2007) reportaron el efecto de la posición del frente de clorofila en la zona de transición en la supervivencia de juveniles (1-4 años) de la foca Monje de Hawái (*Monachus schauinslandi*) de las colonias más norteñas, encontrando que la mortalidad de esta categoría de edad incrementó cuando este frente se movió hacia el norte, afectando la disponibilidad de alimento y sumando a esto la poca experiencia y diferencia en las capacidades fisiológicas de juveniles. Por otro lado, Georges *et al.* (2000) describieron como cambios en la distribución en la temperatura superficial del mar alrededor de Isla Amsterdam, así como cambios en la temperatura del frente subtropical, afectaron el tiempo que el lobo fino sub-antártico permaneció en el mar (8 días más), sugiriendo que esta especie puede cambiar su comportamiento de forrajeo frente a cambios anuales en condiciones oceanográficas y probablemente a la disponibilidad del

alimento (Geroges *et al.*, 2000), ya que mayor temperatura superficial del mar en el frente subtropical está asociado con menores recursos y también por un cambio a especies de aguas cálidas con menores valores energéticos o bien el aprovechamiento de áreas distintas, como se sugirió al evaluar la variabilidad isotópica interanual en este trabajo.

Sin duda las anomalías oceanográficas afectaron los ecosistemas marinos (Leising *et al.*, 2015; Cavole *et al.*, 2016; Holser *et al.*, 2017) , sin ser una excepción el LFG, el cual probablemente presentó cambios en sus desplazamientos con relación a disponibilidad de presas y una reducción o cambios en la presencia de frentes de meso-escala. El presente trabajo también resalta la importancia de utilizar más de una técnica para el estudio de los hábitos alimentarios de los depredadores, ya que se obtuvo información en diferentes ventanas de tiempo, tanto ecológicas y biológicas como oceanográficas.

CONCLUSIONES

- El lobo fino de Guadalupe presentó cambios en sus hábitos alimentarios durante las anomalías oceanográficas conocidas como La Mancha y el Niño 2015, debido posiblemente a una mayor dispersión de los individuos en la búsqueda de su alimento, hacia zonas más alejadas de la costa o latitudes altas.
- Se identificaron principalmente tres áreas generales de alimentación del LFG durante la temporada de abril a julio de 2017. El Área 1 al norte de 32.7° N, el Área 2 entre 26° y 32.7°N y el Área al sur de 26°N.
- El Área con mayor preferencia por los lobos finos de Guadalupe fue el Área 1, en aguas aledañas a California, EUA.
- Las hembras de LFG presentaron una mayor preferencia hacia el Área 1 y 2, mientras que los machos juveniles presentaron una mayor dispersión abarcando las tres zonas de alimentación.
- Los machos juveniles presentaron los valores de $\delta^{15}\text{N}$ más altos, mientras que las hembras presentaron valores isotópicos similares entre ambas clases de edad.
- Se encontró una relación estrecha entre la técnica de telemetría satelital e isótopos estables, especialmente en el Área 3, en donde se observó la influencia de la desnitrificación de la zona mínima de oxígeno en la boca del Golfo de California donde se presentan valores enriquecidos de ^{15}N en la base de la cadena trófica.
- Las zonas de alimentación del lobo fino de Guadalupe presentaron una coincidencia estrecha con frentes de meso-escala, principalmente de clorofila a en las Áreas 1 y 3. Una disminución de estos frentes de clorofila en 2014 y 2015 podrían relacionarse con una alteración en las zonas de alimentación y una mayor dispersión.

RECOMENDACIONES

En la realización de trabajos futuros en donde se pretenda utilizar la técnica de telemetría satelital e isótopos estables se recomienda:

- Conseguir muestras de zooplancton de las zonas de alimentación de lobo fino de Guadalupe durante los años de estudio para poder saber si se presentaron variaciones isotópicas interanuales desde la base de la cadena trófica.
- Realizar recapturas de los animales con marcaje satelital, para obtener muestras para el análisis de isótopos estables. De esta manera, la técnica reflejará los valores isotópicos durante los viajes de alimentación registrados en la telemetría satelital.
- Utilizar vibrisas para el análisis de isótopos estables, para así poder determinar fidelidad de las zonas de alimentación o cambios en los hábitos alimentarios por estacionalidad.
 - Incrementar el número de hembras adultas marcadas satelitalmente.
 - Explorar nuevas formas de determinar zonas de alimentación o zonas relevantes de la especie por medio de análisis de ámbito hogareño.
- Con respecto a los factores oceanográficos se recomienda analizar e incluir otros factores, como corrientes, promedio de temperatura superficial de mar y clorofila a, así como eddys.

BIBLIOGRAFÍA

- Acha E.M., Mianzan H.W., Guerrero R.A., Favero M., & Bava, J. (2004). Marine fronts at the continental shelves of austral South America, Physical and ecological processes. *Journal of Marine Systems*, 44: 83-105.
- Acha E.M., Piola A., Iribarne O., & Mianzan H. (2015). Ecological Processes at Marine Fronts: Oases in the Ocean. *Springer*, 68p.
- Altabet M.A., PilskaIn C., Thunell R., Pride C., Sigman D., Chavez F., & Francois R. (1999). The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the Eastern North Pacific. *Deep-Sea Research*, 46:655-679.
- Amador-Capitanachi M.J., Moreno-Sánchez X.G., Juárez-Ruíz A., Ferretto G., & Elorriaga-Verplancken F.R. (2017) Trophic Variation Between the Two existing Guadalupe Fur Seal colonies on Guadalupe Island and The San Benito Archipelago, Mexico. *Aquatic mammals*, 43(1), 14-.25.
- Angell O. 2014. Abundancia y estructura de las colonias de pinnípedos que habitan el Archipiélago San Benito, Baja California, México. Tesis de licenciatura. Universidas Autónoma de Baja California Sur.
- Aurioles D. 2006. Differences in foraging location of mexican and california elephant seals: evidence from stable isotopes in pups. *Marine Mammal science*, 22(2):326-338.
- Aurioles D. & Camacho, F. J. (2007). Diet and feeding overlap of two otarids. *Zalophus californianus* and *Artocephalus townsendi*: Implications to survive environmental uncertainty. *Aquatic Mammals* 33:315-326
- Bailleul F., Charrassin J.B., Ezraty R., Girard-Ardhuin F., McMahon C.R., Field I.C & Guinet C.(2007). Southern elephant seals from Kerguelen Islands confronted by Antarctic Sea ice. Changes in movements and in diving behavior. *Deep-sea Research*, 54(3-4): 343-355
- Baker J.D., Polovina J.J., & Howell E.A. (2007). Effect of variable oceanic productivity on the survival of an upper trophic predator, the Hawaiian monk seal *Monachus schauinslandi*. *Marine Ecology Progress*. 346:277-283.

- Barber R.T., & Hisock M.R. (2006) A rising tide lifts all phytoplankton: Growth response of other phytoplankton taxa in diatom-dominated blooms. *Global Biogeochem. Cycles*. 20, 1-12.
- Baylis A.M.M., Orben R.A., Costa D.P., Tierney M., Brickle P., & Stainland I.J. (2017) Habitat use and spatial fidelity of male South American sea lions during the nonbreeding period. *Ecology and evolution*, 1-11.
- Beauplet G., Dubroca L., Guinet C., Cherel Y., Dabin W., Gagne C., & Hindell M. (2004). Foraging ecology of subantarctic fur seals *Arctocephalus tropicalis* breeding on Amsterdam Island: seasonal changes in relation to maternal characteristics and pup growth. *Marine Ecology Progress.*, 273:211-225.
- Bearhop S., C. E. Adams. S. Waldrons, R. A. Fuller & H. Macleod. (2004) . Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal*. 73: 1007-1012.
- Belkin M.I., & O'Reilly J.E. (2009). An algorithm for oceanic detection in chlorophyll and SST satellite imagery. *Journal of Marine systems*, 78: 319-326.
- Berdegúe A.J. (1956). La foca fina, el elefante marino y la ballena gris en Baja California y el problema de su conservación. *Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables*, 14: 1-38.
- Berta A. (2012). Return to the sea: The life and evolutionary times of marine mammals. *University of California Press. U.S.* 179p.
- Bertram D.F., Mackas D.L., & McKinnell S.M. (2001) The seasonal cycle revisited: interannual variation and ecosystem consequences. *Prog Oceanogr* 49:283–307.
- Biuw M., Boehme L., Guinet C., Hindell M., Costa D., Charrassin J.B., Roquet F., Bailleul F., Meredith M., Thorpe S., Tremblay Y., McDonald B., Park Y.H., Rintoul S.R., Bindoff N., Goebel M., Crocker D., Lovell., Nicholson J., Monks F., & Fedak M.A. (2007). Variations in behavior and condition of Southern Ocean top predator in relation to *in situ* oceanographic conditions. *PNAS*, 104(34): 13705-137010.
- Bond N. A., Cronin M. F., Freeland H., & Mantua N. (2015). Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, 42: 3414-3420.

- Bost C.A., Cotté C., Bailleul F., Cherel Y., Charrassin J.B., Guinet C., Ainley D.G., & Weimerskirch H. (2009). The importance of oceanographic fronts to marine birds and mammals of the southern oceans. *Journal of Marine Systems.*, 78: 363:376.
- Boyd I.L., McCafferty D.J., Reid K., Taylor R., & Walker T.R. (1998). Dispersal of male and female Antarctic fur seals (*Arctocephalus gazelle*). *Can J. Fish. Aquat.*, 55: 845-852.
- Boyd I.L., & Murray A.W.A. (2001) Monitoring a marine ecosystem using responses of upper trophic level predators. *J Anim Ecol* 70:747–760.
- Brandt S.B. (1993) The effect of thermal fronts on fish growth: a bioenergetics evaluation of food and temperature. *Estuaries.* 16(1): 142-159.
- Burton R.K., & Koch P.L. (1999). Isotopic tracking of foraging and long-distance migration in northeastern Pacific pinnipeds. *Oecologia*, 119:578-585.
- Casper R. M., Gales N. J., Hindell M. A., & Robinson S. M. (2006). Diet estimation based on an integral mixed prey feeding experiment using Arctocephalus seals. *Journal of experimental Marine Biology and ecology*, 328(2), 228-239.
- Cavole L.M., Demko A. M., Diner R. E., Giddings A., Koester I., Pagniello, C.M. L. S., Paulsen M.L., Ramírez-Valdez A., Schwenck S.M., Yen N.k., Zill M.E., & Franks P.J.S. (2016). Biological impacts of the 2013-2015 Warm-Water Anomaly in the Northeast Pacific: Winners, Loser, and the future. *Oceanography*, 273-285.
- Cherel Y., Hobson K.A., Guinet C., & Vanpe C. (2007). Stable isotopes document seasonal changes in trophic niches and winter foraging individual specialization in diving predators from the Southern Ocean. *Journal of Animal Ecology*, 76: 826-836
- Cost P.D. (1989). Foraging energetics of antarctic fur seals in relation to changes in prey availability. *Ecology.* 70 (3): 596-606.
- Costa D.P., Robinson P.W., Arnould J.P.Y., Harrison A. L., Simmons S.E., Hassrick J.L., Hoskins A.J., Kirkman S.P., Osthuizen H., Villegas-Amtmann S., Crocker, D.E. (2010) Accuracy of Argos locations of pinnipeds at-Sea estimated using Fastloc GPS. *Plos one*, 5(1).
- Cotté C., Guinet C., Park Y.H., & Bost C.A. (2007). King penguins foraging in dynamic environment . *Proceedings Royal Society London.* 274, 2385-2391.

- Crocker D. E., D. Costa B. Le Boeuf P. Webb Y., & Houser D. (2006). Impact of El Niño on the foraging behavior of female northern elephant seals. *Marine Ecology Progress Series*. 309:1-10.
- DeLong RL Stewart BS & Hill RD. (1992). Documenting migrations of northern elephant seals using day length. *Marine Mammal Science*. 8:155-159.
- DeNiro J. M., & S. Epstein. (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica*. 42: 495-506.
- DeNiro J. M., & Epstein S.(1980). Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica*. 45: 341-351.
- Di Lorenzo E. (2003) Seasonal dynamics of the surface circulation in the Southern California Current System. *Deep-Sea Research*, 50: 2371-2388.
- Duarzo R. (2015). Seasonality of the transitional region of the California current System off Baja California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120, 1173-1196.
- Duarzo R., Castro R., Delgadillo-Hinojosa M.F., & Mejía-Trejo A. (2017). Anomalous hydrographic conditions off the northwestern coast of the Baja California Peninsula during 2013-2016. *Ciencias marinas*, 43(2):81-92.
- Ehleringer J.R., & Rundel, P.W. (1989) Stable isotopes: History units, and instrumentation. *In stable isotopes en ecological research*.
- Elorriaga-Verplancken F.R. (2009). Variación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en colágeno dental de lobos marinos del género *Zalophus*: patrones ontogénicos y geográficos. Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Elorriaga-Verplancken F., Auriolos D.G., & Martínez S. (2013). $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values in dental collagen as a proxy for age- and sex-related variation in foraging strategies of California sea lions. *Mar Biol*. 160:641-652.
- Elorriaga-Verplancken F. R., Sierra-Rodríguez, G. E., Rosales-Nanduca, H., Acevedo-Whitehouse, K., Sandoval-Sierra, J. (2016a). Impact of the 2015 El Niño-Southern Oscillation on the abundance and foraging habits of Guadalupe fur seals and California sea lions from the San Benito Archipelago, México. *PLoS ONE*. 11(5): e0155034. DOI:10.1371/journal.pone.0155034

- Elorriaga-Verplancken F. R., Rosales-Nanduca, H., Paniagua-Mendoza A., Martínez-Aguilar S., Nader-Valencia A., Robles-Hernández R., Gómez-Díaz F., Urbán R. J. (2016b). First record of pigmy whales (*Feresa attenuata*) in the Gulf of California, Mexico: Relation with warm conditions during 2014 and foraging habits. *Aquatic Mammals*. 42(1): 20-26.
- Elorriaga-Verplancken F. R., Juárez-Ruiz A., Aquino-Baleytó M., Galván-Magaña F., Aguíñiga-García, S. (2016c). Isotopic variation between adult female Guadalupe fur seals and their offspring: Implications for the use of neonates as proxies for maternal foraging. *Aquatic Mammals*. 42(3): 268-276.
- Elorriaga-Verplancken F.R., Rosales-Nanduca H., Robles-Hernández R. (2016d). Unprecedented Records of Guadalupe fur seals in La Paz Bay, Southern Gulf of California, Mexico, as a Possible Result of Warming Conditions in the Northeastern Pacific. *Aquatic Mammals*. 42-3.
- Elorriaga-Verplancken F.R., Sandoval-sierra J., Paniagua-Mendoza A., Robles Hernández R. (2018). Seasonality and Potential Foraging grounds of migratory California Sea Lions from La Paz Bay, Southern Gulf of California, Mexico. *Aquatic Mammals*, 44(1): 56-61.
- Fauchald P., & Erikstad K.E. (2002). Scale-dependent predator-prey interactions: the aggregative response of seabirds to prey under variable prey abundance and patchiness. *Marine Ecology Progress Series*. 231, 279–291.
- Field I., Hindell M.A., Slip D.J., & Michael K.J. (2001) Foraging strategies of Southern elephant seal (*Mirounga leonina*) in relation to frontal zones and water masses. *Antarctic Science*. 13, 371-379.
- France R. L., (1995). Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. *Marine Ecology Progress Serie*. 124: 307-312.
- Frank K.T., Petrie B., & Shackell L. (2007) The ups and downs of trophic control in continental shelf ecosystems. *TRENDS in ecology and evolution*. 22(5).
- Freitas C., Lydersen, Fedak C., & Kovacs K.M. (2008). A simple new algorithm to filter marine mammal Argos locations. *Marine Mammal Science*, 24(2): 315-325.
- Gallo-Reynoso J.P., Figueroa A.L., & Le Bouf B.J. (2008). Foraging behavior of lactating Guadalupe fur seal females. Pp. 595-614, in *Avances en el estudio de los*

- Mamíferos de México II. Publicaciones especiales, Vol. II (Lorenzo, C., E. Espinoza, y J. Ortega, eds) Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C., Centro de InvestigACIONES BIOLÓGICAS DEL Noroeste, El Colegio de a fronteraSur, Instituto Politecnico Nacional, Universidad Autónoma de Morelos.
- Gallo-Reynoso J. P., & Esperón-Rodríguez M. (2013). Diet composition of the Guadalupe fur seal (*Arctocephalus philippi townsendi*). Where and what do they eat? *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 46(6), 455–467.
- Gálvez C.P. Evaluación interanual de la salud del lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*) en Isla Guadalupe. B.C., México. CICIMAR-IPN. En proceso.
- Gannier A., & Praca E. (2007). SST fronts and the summer sperm whale distribution in the north-west Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87: 187-193.
- García-Aguilar M.C., Elorriaga-Verplancken, F.R., Rosales-Nanduca, H., Schramm, Y. The Guadalupe fur seal: population and conservation status. Sometido a *Journal of Mammalogy*
- García-Aguilar M. C., Turrent T., Elorriaga-Verplancken F. R., Arias-Del-Razo A., & Schramm Y. (2018). Climate change and the northern elephant seal (*Mirounga angustirostris*) population in Baja California, Mexico. *Plos One*. 13(2): e0193211.
- Georges J.Y., Bonadonna F., Guinet C. (2000). Foraging hábitat and diving activity of lactating subantarctic fur seals in relation to sea-surface temperature at Amsterdam Island. *Marine ecology Progress*, 196:291-304.
- Gerber L. R., & Hilborn R.(2001). Catastrophic events and recovery from low densities in populations of otariids: Implications for risk of extinction. *Mammal Review*, 31: 131-150.
- Goericke R., & Fry B.(1994) Variations of marine plankton $\delta^{13}\text{C}$ with latitude, temperature and dissolve CO_2 in the world ocean. *Global Biogeochemical cycles*, 8 (1): 85-90.
- Gómez-Ocampo E., Gaxiola-Castro G., Durazo R., Beier E. (En Prensa). Effects of the 2013-2016 warm anomalies on the California Current phytoplankton. *Deep-sea research II*.

- Graham B.S., Koch P.L., Newsome S.D., McMahon K.W., Aurioles D. (2010). *Isoscapes: Understanding Movement, Pattern and Processes on Earth Through Isotope Mapping*. Springer Science.
- Hamilton A. 1951. Is the Guadalupe fur seal returning?. *Natural History*, 60: 90-96.
- Hanni K.D., Long D.J., Jones R.E., Pyle P. and Morgan, L.E. (1997). Sightings and strandings of Guadalupe fur seals in central and northern California, 1988-1995. *Journal of Mammalogy* 78: 684-690.
- Harcourt R.G., Bradshaw C.J.A., Dickson K., & Davis L.S. (2002). Foraging ecology of a generalist predator, the female New Zealand fur seal. *Marine Ecology Progress*, 227: 11-24.
- Harwood, J. (2001). Marine mammals and their environment in the twenty-first century. *Journal of Mammalogy* 82:630–640.
- Hernández M. J. (2009). Distribución, abundancia y estructura alimentaria del lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus townsendi*) en Isla Guadalupe, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Hetherington E.D., Olson R.J., Drazen J.C., Lennert-Cody C.E., Ballance L.T., Kaufmann R.S., Popp B.N. (2016). Spatial food-web structure in the Eastern tropical Pacific Ocean base don compound-specific nitrogen isotope analysis of amino acids. *Limnology and oceanography*, 62: 541-560.
- M.J., Poulton S.J., Moore C.M., Achterberg E.P., Bibby T.S. (2012). Response of microplankton community structure to iron addition in the Scotia Sea. *Deep-research II Top. Stud Oceanogr.* 59-60, 36-46.
- Hobson K.A., Schell M.D., Renouf D. & Noseworthy E. (1996). Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals: implications for dietary reconstructions involving marine mammals. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 53: 528-533.
- Holser R.H., Robinson P., Peterson S., Huckstadt L., & Costa D. (2017). Influence of a large-scale oceanographic anomaly on northern elephant seal foraging behavior. 22nd Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals

- Horning M., & Trilmich F. (1997). Ontogeny of diving behavior in the Galápagos fur seal. *Behaviour* 134: 1211-1257.
- Hubbs C. L. (1956). Back from oblivion? Guadalupe fur seal: still a living species. *Pac. Discovery* 9:14-21.
- Hubbs C.L. (1979) Guadalupe fur seal. FAO. Advisory Committee on Mar. Res. *Research. Working Party on Marine Mammals* . FAO Fish. 5(2):24-27.
- Hughes K.L., Whiteman J.P., & Newsome S.D. (2017) The relationship between dietary protein content, body condition, and $\Delta^{15}\text{N}$ in mammalian omnivore. *Physiological Ecology*.
- Hunt Jr., Mehlum G.L., Russell R.W., Irons D., Decker M.B., Becker P.H.(1999). Physical processes, prey abundance, and the foraging ecology of seabirds. In: Adams,N.J., Slotow, R.H. (Eds.), *Proc.22 International Ornithological Congress, Durban*, pp. 2040–2056.
- Ichii T., Mahapatra K., Sakai M., & Okada Y. (2009). Life history of the neon flying squid: effect of the oceanographic regime in the North Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress*, 378: 1-11.
- Johnson D.H. (1980). The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology society of America*, 61(1): 65-71.
- Juárez-Ruiz A., Elorriaga-Verplancken F.R., Moreno-Sánchez X.G., Aguíñiga-García S., Amador-Capitanachi M.J., & Gálvez C. (2018). Diversification of foraging habits among Guadalupe fur seals from their only well-established breeding colony, Guadalupe Island, Mexico. *Marine biology* 165:86.
- Kingsford M.J., Wolanski E. & Choat JH. (1991). Influence of tidally induced fronts and langmuir circulations on distribution and movements of presettlement fishes around a coral reef. *Marine biology* 109:167-180.
- Kintisch E. (2015). ‘The Blob’ invades Pacific flummoxing climate experts. *Marine Science*. Vol. 384, Issue 6230.
- Kiyota M., & Yonezaki S.(2017) Reconstruction of historical changes in northern fur seal prey availability and diversity in the western North Pacific through individual-based analysis of dietary records. *Deep-sea Research*, 140: 25-35

- Kotliar N.B., & Wiens J.A. (1990). Multiple scales of patchiness and patch structure: framework for the study of heterogeneity. *Oikos* 59:2.
- Kohyama K., & Inoshima Y. (2017). Normal hematology and serum chemistry of northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) in captivity. *Wiley Zoo Biologi*. 1-6.
- Kurle C.M. (2002). Stable-isotope ratios of blood components from captive northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) and their diet: applications for studying the foraging ecology of wild otariids. *Can. J. Zool*, 80: 902-909.
- Lander M.E., Gulland F.M.D., & DeLong R. (2000) Satellite tracking a rehabilitated Guadalupe fur seal (*Arctocephalus townsendi*). *Aquatic Mammals*, 26.2. 137-142.
- Largier J.L. (1993) Estuarine fronts: how important are they?. *Estuaries*, 16(1): 1-11.
- Le Boeuf B.J., Crocker D.E., Costa D.P., Clackwell S.B., Webb P.M., & Houser D.S. (2000). Foraging ecology of Northern elephant seals. *Ecol. Monogr.* 70:353-382.
- Le févre J. (1986). Aspects of the biology of frontal systems. *Adv. Mar. Biol.* 23: 163-299.
- Lea M.A., Dubroca L. (2003). Fine-scale linkages between the diving behavior of Antarctic fur seals and oceanographic features in the southern Indian Ocean. *Journal of Marine Science*, 60:990-1002.
- Lehinger A.L. (1982). Principles of biochemistry. Worth Publishers, New York, NY.
- Leising A. W., Schroeder I.D., Bograd S. J., Abell J., Durazo R., Gaxiola-Castro G., Bjorkstedt E. P., Field J., Sakuma K., Robertson R., & otros. (2015). State of the California Current 2014-15: Impacts of the Warm Water “Blob”. *Calcofi reports* 56:31-68.
- Merriam C.H. (1897). A new fur seal or sea bear (*Arctocephalus townsendi*) from Guadalupe Island, off lower California. *Proceedings of the biological society of Washington*, 11: 175-178.
- Merrick R.L., & Loughlin T.R. (1997). Foraging Behavior of adult female and young – of-the year steller Sea Lions in Alaskan waters. *Canadian Journal of Zoology* 75: 776-786.

- McConnell B.J., Chambers C.C., & Fedak M.A. (1992). Foraging ecology of southern elephant seals in relation to the bathymetry and productivity of the Southern ocean. *Antartic Science*, 4(4): 393-398.
- Moore S. (2008). Marine Mammals as ecosystem sentinels. *Journal of Mammalogy*, Vol. 89 (3): 534-540.
- Maravilla M.O & Lowry M.S.(1999). Incipient breeding colony of Guadalupe fur seals at Isla San Benito del Este, Baja California, México. *Marine Mammal Science* 15:239-241.
- Newsome S.D., Martínez del Río C., Bearhop S., & Phillips D. (2007). A Niche for isotopic ecology. *Front Ecol Environ.*, 5(8): 429-436.
- Newsome S.D., Koch P.L., Etnier M.A., Auriolles-Gamboa D. (2006). Using Carbon and Nitrogen isotope values to investigate maternal strategies in Notheast Pacific Otariids. *Marine Mammal Science*, 22(3): 556-572.
- NOAA Fisheries. El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion. Disponible: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.html. Acceso: 22 Enero 2016.
- NOAA <http://www.nmfs.noaa.gov/pr/health/mmume/guadalupefurseals2015.html>
- Norma oficial mexicana. NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativasde México de flora y fauna silvestre.Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. SEMARNAT. Diario oficial de la Federación.
- Odelle D.K. (1972) Studies on the biology of the California sea lion and the northern elephant seal on San Nicolas Island. Tesis DOCTORAL. University of California, Los Angeles
- Olson D.B., & Backhus R.H. (1985). The concentration of organism at fronts: a cold-water fish and a warm-core ring. *Journal of Marine Research* 43, 113–137.
- Ortega-Ortiz C.D., Vargas-Bravo M.H., Olivos.Ortiz A., Verduzco-Zapata G & Elorriaga-Verplancken F.R. (En Proceso).

- Pablo N. R. (2009). Amplitud, Nivel y superposición trófica de los pinnípedos de islas San Benito B.C México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
- Páez-Rosas D. (2011). Ecología trófica de los pinnípedos de las Islas Galápagos: análisis espacial y temporal. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN, MÉXICO.
- Páez-Rosas D., Villegas-Amtmann S., & Costa. D.P. (2017). Intraspecific variation in feeding strategies of Galapagos sea lions: A case of trophic specialization. *PLoS One* 12(10).
- Page B., McKenzie J., Sumner M.D., Coyne M., & Goldsworthy S.D., (2006). Spatial separation of foraging habitats among New Zealand fur seals. *Marine Ecology Progresss*, 323: 263-279.
- Pauly D., & Trites, A. (1998). Diet composition and trophic levels of marine mammals. *Journal of Marine*.
- Peterson R. S., Hubbs C. L., Gentry R. L., & DeLong R. L. (1968). The Guadalupe fur seal: habitat, behavior, population size, and field identification. *Journal of Mammalogy* 49: 665-675.
- Polovina J.J., Howell, E., Kobayashi, D.R., Seki, M.P. (2001) The transition zone Chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources. *Progress in oceanography*, 49: 469-483
- Porrás P.H., Aurióles D. G. (2008). Trophic level and overlap of sea lions (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Marine Mammals Science*. 24(3): 554-576.
- Post M. D. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods and assumptions. *The Ecology Society of America*. 83(3): 703-718.
- R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved 18 September 2013 from www.Rproject.org. ISBN 3 900051-07-0.
- Repenning C.A., Peterson R.S., Hubbs C.L. (1971). Contribution of the systematics of the southern fur seals, with particular reference to the Juan Fernandez and Guadalupe species. P. 1-34 In W.H. Burt (ed.), *Antarctic Pinnipedia*, Am. Geophys. Union, *Antarct. Res. Ser.*, Vol. 18.

- Reeves R. R., Stewart B.S. & Leatherwood S. (1992). The sierra Club handbook of seals and sirenians. Sierra Club Books. San Francisco, California. 359p.p.
- Robinson P.W., Costa D.P., Crocker D.E., Gallo-Reynoso J.P., Champagne C.D., Fowler M.A., Goetsch C., Goetz K.T., Hassrick J.L., Hückstädt L.A., Kuhn C. E., Maresh J.L., Maxwell S.M., McDonlad B.I., Peterson S.H., Simmons S. E., Teutschel M. N., Villegas-Amtmann S., & Yoda. K. (2012). *Plos one*. 7(5).
- Robson B.W., Goebel M.E., Baker J.D., Ream R.R., Loughlin T.R., Francis R.C., Antonelis G.A., Costa D.P. (2004). Separation of foraging habitat among breeding sites of a colonial marine predator, the nurterhn fur seal (*Callorhinus ursinus*). *Can J. Zool.* 82: 20-29.
- Rodríguez-Martínez M.I.(2017). Impacto de las anomalías ambientales del Pacífico Noreste sobre las tendencias alimentarias y abundancia del elefante marino del norte del archipiélago de San Benito, México. Tesis de Licenciatura en Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Schneider D.C. (1990). Seabirds and fronts: a brief overview. *Polar Research* 8, 17–21.
- Starks E.C. (1992). Records of the capture of fur seals on land in California. *California fish and game*, 8: 155-160.
- Spear L.B., Ballance L.T., Ainley D.G. (2001). Response of seabirds to thermal boundaries in the Tropical Pacific: the thermocline versus the Equatorial front. *Marine Ecology Progress Series* 219, 275–289.
- Sinisalo T., Jones R.I., Helle E., Valtonen, E.T. (2008). Changes in diets of individual Baltic ringes seals (*Phoca hispida botnica*) during their breeding season inferred from stable isotope analysis of multiple tissues. *Marine Mammal Science*, 24(1): 159-170.
- Tiezen L.L., Boutton T.W., Tesdahl K.G & Slade N.A. (1983). Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia*, 57:32-37.
- Trillmich F & Ono. (1991). The effects of El Niño on pinniped populations in the eastern Pacific. Springer-Verlag, New York.

- Townsend C.H. (1924). The northern elephant seal and the Guadalupe fur seal. *Natural History*, 24: 566-578.
- Van Franeker J.A., Van den Brink N.W., Bathmann U.V., Pollard R.T., De Baar H.J.W., Wolff W.J., (2002). Responses of seabirds, in particular prions (*Pachyptila* sp.) to small-scale processes in the Antarctic Polar Front. *Deep Sea Research II* 49, 3931–3950.
- Ventura D. En proceso. Espectro trófico interanual del LFG. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana.
- Wada E., Mizutani H., & Mingawan M. (1991). The use of stable isotopes for food web analysis. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*, 30: 361-372.
- Weber D.S., Stewart B.S., Lehman N. (2004). Genetic consequences of a severe population bottleneck in the Guadalupe fur seal (*Arctocephalus townsendi*). *Journal of hereditu* 95: 144-153.
- Weise M.J., Costa D.P., & Kudela R.M. (2006). Movement and diving behavior of male California sea lion (*Zalophus californianus*) during anomalous oceanographic conditions of 2005 compared to those of 2004.
- Whitney F.A. (2015) Anomalous winter winds decrease 2014 transition zone productivity in the NE Pacific. *Geophysical Research letters* 42:428-431.
- Zaba K., & Rudnick D.L. (2016). The 2014-2015 warming anomaly in the Southern California Current System observed by underwater gliders. *Geophysical research*.43, 1, 241- 1,248.
- Zeidberg L.D., & Hammer W.M. (2002). Distribution of squid paralarvae, *Loligo opalescens*(Cephalopoda: Myopsida), in the southern California Bight in the three years following the 1997-1998 El Niño. *Marine Biology*, 141: 111-122.
- Zeppelin T.K., & Orr A.J. (2010). Stable isotope scat analyses indicate diet and habitat partitioning in northern fur seals *Callorhiurus ursinus* across the eastern Pacific. *Marine Ecology Progress*, 409: 241-253.

