



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



NICHOS ISOTÓPICOS DEL LOBO MARINO DE CALIFORNIA (*Zalophus californianus*) Y SU PAPEL COMO INDICADOR DE CAMBIOS AMBIENTALES EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO

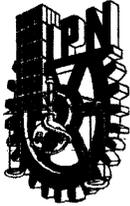
TESIS

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

PRESENTA

JULIETA SANDOVAL SIERRA

LA PAZ, B.C.S., JULIO DE 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 07 del mes de Junio 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:

**"NICHOS ISOTÓPICOS DEL LOBO MARINO DE CALIFORNIA (*Zalophus californianus*)
Y SU PAPEL COMO INDICADOR DE CAMBIOS AMBIENTALES EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO"**

Presentada por el alumno:

SANDOVAL

Apellido paterno

SIERRA

materno

JULIETA

nombre(s)

Con registro:

B	1	6	0	9	7	0
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA 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

Director(a) de Tesis

DR. FERNANDO RICARDO ELORRIAGA VERPLANCKEN

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

DRA. CLAUDIA JANETL HERNÁNDEZ CAMACHO

DR. FRANCISCO JAVIER GARCÍA RODRÍGUEZ

DRA. KARINA ACEVEDO WHITEHOUSE

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 12 del mes de Junio del año 2018

El (la) que suscribe BM. JULIETA SANDOVAL SIERRA Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B160970 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 cede los derechos del trabajo titulado:

"NICHOS ISOTÓPICOS DEL LOBO MARINO DE CALIFORNIA (*Zalophus californianus*)

Y SU PAPEL COMO INDICADOR DE CAMBIOS AMBIENTALES EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO"

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: julieta_sasi@hotmail.com - elofe7@gmail.com

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

BM. JULIETA SANDOVAL SIERRA

Nombre y firma del alumno

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, Dr. Fernando Elorriaga, gracias por toda la dedicación y apoyo incondicional durante todos estos años. Por permitirme ser parte de su laboratorio e involucrarme en todo el mundo de los mamíferos marinos. Y finalmente por darme las herramientas necesarias para poder lograr este trabajo.

A todos los integrantes de mi comité revisor, Dra. Claudia, Dra. Karina, Dr. Agustín y Dr. Francisco, gracias por ayudarme a enriquecer y mejorar este trabajo.

Al CICIMAR-IPN por ser mi nueva casa de estudios y darme la oportunidad de realizar mi maestría.

A CONACyT por apoyarme durante estos dos años mediante una beca para poder realizar mis estudios.

A toda la tripulación del Narval, ya que sin su ayuda, el crucero no habría sido lo mismo.

Al equipo atrapa-hembras de verdad gracias infinitas. Sin ustedes y su fuerza el muestreo no habría sido un éxito.

A mis papas y hermanas gracias por siempre creer en mí. Gracias por alentar mis sueños y motivarme día con día para realizarlos. Y a pesar de la distancia siempre los tuve cerca, animándome y dándome fuerza para cumplir mis metas. Sin ustedes nada sería lo mismo. Gracias infinitas por siempre estar en mi vida. Los amo.

Y por último a todos mis amigos o familia paceña, gracias por la risa, los días de playa y los momentos que vivimos día con día. En especial a Rafael, por estar a mi lado y ser el mejor atrapador de hembras del mundo (hembras de lobo marino).

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABLAS.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	5
3. JUSTIFICACIÓN.....	9
4. HIPÓTESIS.....	11
5. OBJETIVOS.....	12
5.1 Objetivo general.....	12
5.2 Objetivos particulares.....	12
6. ÁREA DE ESTUDIO.....	13
7. METODOLOGÍA.....	15
7.1 Recolecta de muestras.....	15
7.2 Procesamiento de muestras de pelo.....	17
7.3 Análisis estadístico.....	18
7.4 Enriquecimiento isotópico entre crías y hembras adultas de lobo marino de California.....	19
7.5 Nivel trófico del lobo marino de California.....	20
7.6 Variaciones isotópicas entre crías de la temporada reproductiva 2000-2002 y 2016 de lobo marino de California.....	21
8. RESULTADOS.....	22
8.1 Características morfológicas de las crías y hembras adultas de lobo marino de California bajo análisis.....	22
8.2 Análisis isotópico del lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) del Golfo de California.....	23
8.2.1 Crías de lobo marino de California.....	23

8.2.2	Hembras adultas de lobo marino de California.....	28
8.3	Nivel Trófico del lobo marino de California en el Golfo de California	32
8.4	Enriquecimiento isotópico entre crías y hembras adultas del lobo marino de California.....	33
8.5	Variaciones isotópicas entre crías de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) de la temporada reproductiva 2000-2002 y 2016.....	36
9.	DISCUSIÓN.....	39
9.1	Análisis isotópico.....	39
9.1.1	Crías de lobo marino de California.....	39
9.1.2	Hembras adultas del lobo marino de California.....	42
9.2	Nivel trófico de las hembras adultas del lobo marino de California.....	44
9.3	Enriquecimiento isotópico entre crías y hembras adultas del lobo marino de California.....	45
9.4	Variaciones isotópicas entre crías de lobo marino de California de las temporadas reproductivas 2000-2002 y 2016.....	48
10.	CONCLUSIONES.....	52
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Distribución de las 13 colonias reproductoras del Golfo de California. De norte a sur: 1) Rocas Consag, 2) San Jorge, 3) Isla Lobos, 4) Isla Granito, 5) Los Cantiles, 6) Los Machos, 7) El Partido, 8) El Rasito, 9) San Esteban, 10) San Pedro Mártir, 11) San Pedro Nolasco, 12) Farallón de San Ignacio y 13) Los Islotes.....14

Figura 2.- Valores isotópicos promedio con desviación estándar de crías por colonia reproductora de lobo marino de California (*Zalophus californianus*): 1) Rocas Consag, 2) San Jorge, 3) Isla Lobos, 4) Isla Granito, 5) Los Cantiles, 6) Los Machos, 7) El Partido, 8) El Rasito, 9) San Esteban, 10) San Pedro Mártir, 11) San Pedro Nolasco, 12) Farallón de San Ignacio y 13) Los Islotes.....25

Figura 3.- Nicho isotópico de las 13 colonias reproductoras de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) del Golfo de California: 1) Rocas Consag, 2) San Jorge, 3) Isla Lobos, 4) Isla Granito, 5) Los Cantiles, 6) Los Machos, 7) El Partido, 8) El Rasito, 9) San Esteban, 10) San Pedro Mártir, 11) San Pedro Nolasco, 12) Farallón de San Ignacio y 13) Los Islotes.....28

Figura 4.- Valores promedio \pm D.E. de las hembras adultas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en el Golfo de California: 1) Rocas Consag, 2) San Jorge, 3) Isla Lobos, 4) Isla Granito, 5) Los Cantiles, 6) Los Machos, 7) El Partido, 8) El Rasito, 9) San Esteban, 10) San Pedro Mártir, 11) San Pedro Nolasco, 12) Los Islotes.29

Figura 5.- Nichos isotópicos de las hembras adultas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) de 11 colonias reproductoras del Golfo de California: 1) Rocas Consag, 2) San Jorge, 3) Isla Lobos, 4) Isla Granito, 5) Los Cantiles, 6) Los Machos, 7) El Partido, 8) El Rasito, 9) San Esteban, 10) San Pedro Mártir, 11) Los Islotes.....32

Figura 6.- Relación lineal del $\delta^{13}\text{C}$ entre crías y hembras adultas de 12 colonias reproductoras del Golfo de California35

Figura 7.- Regresión lineal del $\delta^{15}\text{N}$ entre crías y hembras adultas de 12 colonias reproductoras del Golfo de California35

Figura 8.- Diferencias en $\delta^{15}\text{N}$ entre las crías de la temporada reproductiva 2000-2002 (puntos rojos) y la temporada 2016 (puntos negros).....37

Figura 9.- Nichos isotópicos de lobos marinos de California (*Zalophus californianus*) de la temporada reproductiva 2000-2002 (rojo) y su comparación con la temporada 2016 (negro).....38

LISTA DE TABLAS

Tabla I.- Número de crías y hembras adultas de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) muestreadas a lo largo de las 13 colonias reproductoras del Golfo de California.....	15
Tabla II.- Colonias donde se capturaron parejas madre-cría del lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) en el Golfo de California.....	17
Tabla III.- Relación de cada colonia con su respectiva muestra de zooplancton utilizada para obtener el nivel trófico mediante el algoritmo de Post.....	21
Tabla IV.- Datos morfométricos de las crías de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) para las 13 colonias reproductoras del Golfo de California.	22
Tabla V.- Medidas morfométricas de las hembras adultas de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) para 12 colonias reproductoras del Golfo de California. LT se refiere a la longitud total y los asteriscos (*) señalan el número de casos en donde no fue posible medir la LT.....	23
Tabla VI.- Valores isotópicos promedio con su respectiva desviación estándar (D.E.) por colonia, para las crías del lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) en el Golfo de California.	24
Tabla VII.- Diferencias entre colonias para $\delta^{13}\text{C}$ (‰) de las crías de las 13 colonias reproductoras de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) del Golfo de California. Las colonias con diferencias significativas ($p < 0.05$) están marcadas en negritas.....	26
Tabla VIII.- Diferencias entre colonias para $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de las crías de las 13 colonias reproductoras de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) del Golfo de California. Las colonias con diferencias significativas ($p < 0.05$) están marcadas en negritas.....	26
Tabla IX.- Valores de los nichos isotópicos de crías por colonia reproductora de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>), SEAc se refiere al área de elipse corregida, que engloba los datos con mayor credibilidad y TA es el área total del polígono que engloba la totalidad de los valores isotópicos.....	27
Tabla X.- Valores isotópicos promedio \pm D.E. de las hembras adultas de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) de las 12 colonias reproductoras del Golfo de California.....	29

Tabla XI.- Diferencias entre colonias para $\delta^{13}\text{C}$ de las hembras de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) de las 12 colonias reproductoras del Golfo de California. Las colonias con diferencias significativas ($p < 0.05$) están marcadas en negritas.....	30
Tabla XII.- Diferencias entre colonias para $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de las hembras de las 12 colonias reproductoras de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) del Golfo de California. Las colonias con diferencias significativas ($p < 0.05$) están marcadas en negritas.....	30
Tabla XIII.- Áreas de los nichos isotópicos de las hembras adultas de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) de 11 colonias reproductoras del Golfo de California. SEAc indica el área de elipse corregida que agrupa los datos con mayor credibilidad y el TA es el área total del polígono, la cual engloba la totalidad de los valores isotópicos.....	31
Tabla XIV.- Nivel trófico calculado mediante el algoritmo de Post para las 12 colonias reproductoras del lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) en el Golfo de California.....	33
Tabla XV.- Enriquecimiento isotópico entre crías y hembras adultas de las colonias reproductoras de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>) en el Golfo de California.....	34
Tabla XVI.- Enriquecimiento isotópico entre organismos emparentados de lobo marino de California (<i>Zalophus californianus</i>).....	36
Tabla XVII.- Comparación de los valores isotópicos de crías reportados para la temporada reproductiva 2000-2002 (tomados de Porras-Peters <i>et al.</i> , 2008) y los valores de las crías de la temporada 2016.....	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 (‰).

δ¹³C. Diferencia entre la razón de ¹³C/¹²C de una muestra con respecto a la del estándar PeeDee Belemnita. En estudios de alimentación se usan para definir el tipo de ambiente que utilizan los consumidores.

δ¹⁵N. Diferencia entre la razón de ¹⁵N/¹⁴N de una muestra con respecto a la del estándar de nitrógeno atmosférico. En estudios de alimentación se usa para definir la posición trófica de los consumidores.

Amplitud trófica. Variedad de presas que conforman la dieta de un consumidor.

Cría. Organismos que se encuentran en el periodo de lactancia. Para el lobo marino de California se considera como el primer año de vida.

Desnitrificación. Proceso microbiano mediante el cual se da la reducción de nitratos para la producción de N molecular (N₂). El déficit de nitratos guarda una relación lineal positiva con los valores de δ¹⁵N.

Dieta. Presas, ya sea animal o vegetal, de las que se alimenta un organismo.

Dimorfismo sexual. Característica que presentan algunas especies, especialmente al llegar a la etapa reproductiva, que consiste en la presencia de diferencias fenotípicas inter-sexuales.

Enriquecimiento isotópico. Término utilizado para describir la cantidad de ¹³C o ¹⁵N respecto a una cantidad determinada, donde una sustancia enriquecida en ¹³C o ¹⁵N estará disminuida isotópicamente en ¹²C o ¹⁴N respectivamente.

Factor trófico de discriminación. Diferencia entre el valor del isótopo del depredador y su alimento (niveles tróficos continuos).

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

Filopatría. Patrón conductual a partir del cual un individuo regresa a un mismo sitio natal.

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

Hábitos alimentarios. 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).

Isótopo estable. Isótopo que no se desintegra tan fácilmente como los ligeros o que es discriminado a descomponerse durante procesos metabólicos debido a sus características de enlace.

Lactancia. Período en el que la cría depende única o principalmente de la leche materna.

Nicho. Conjunto de parámetros biológicos y físicos que se relacionan con la viabilidad de una población o especie, cuando esta está conformada por una población.

Nicho isotópico. Espacio multidimensional, donde los ejes que lo conforman estarán representados por $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$, el primero representa los aspectos biológicos del animal y el segundo nos indica el hábitat en el que se encuentra.

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

Otárido. Pinnípedo que se engloba dentro del grupo de lobos marinos y 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.

Posición trófica. Integra la asimilación de la energía o el flujo de masa a través de todas las diferentes vías tróficas que conducen a un organismo. La proporción de los isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) puede ser utilizada para estimar la posición trófica, ya que el $\delta^{15}\text{N}$ de un consumidor es típicamente enriquecido 3-4‰ o relativo a su dieta.

Viaje de alimentación. Patrón conductual en el que un organismo realiza viajes de distinta duración para la obtención de alimento.

RESUMEN

Dentro del Golfo de California existen 13 colonias reproductoras del lobo marino de California (*Zalophus californianus*). Se estudiaron aspectos de la ecología trófica de la especie en el Golfo de California mediante el análisis de isótopos estables en pelo de 237 crías y 48 hembras adultas de las 13 colonias reproductivas durante el periodo reproductivo 2016. Se infirieron amplitud y sobreposición trófica con base en nichos isotópicos generados mediante la rutina SIBER en R. Se evaluó la efectividad de utilizar crías como indicadores maternos y se compararon los valores isotópicos de las crías nacidas en 2016 con los valores reportados para el Golfo de California hace 17 años, bajo condiciones poblacionales diferentes (mayor abundancia). Las crías presentaron un promedio \pm DE de $-14.5 \pm 0.4\text{‰}$ y $21.9 \pm 0.7\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, respectivamente, y las hembras de $-14.1 \pm 0.3\text{‰}$ ($\delta^{13}\text{C}$) y $20.8 \pm 0.6\text{‰}$ ($\delta^{15}\text{N}$). Los valores de enriquecimiento entre crías y hembras adultas variaron por colonia, con un promedio de -0.4‰ ($\delta^{13}\text{C}$) y $+1.1\text{‰}$ ($\delta^{15}\text{N}$); sin embargo, se observó una relación significativa ($p < 0.05$) entre ambos grupos de edad. Tanto crías como hembras evidenciaron repartición de recursos entre las diferentes colonias. Los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ no variaron con respecto al pasado; sin embargo, el $\delta^{15}\text{N}$ fue $\sim +1\text{‰}$ más alto ($p < 0.05$) en 2016. Se evidenciaron diferencias en la amplitud de los nichos entre periodos, con una reducción en 2016 ($\text{SEAc} = 0.6\text{‰}^2$) con respecto al pasado ($\text{SEAc} = 1.0\text{‰}^2$). Atribuimos estos cambios a dos posibles factores que no son mutuamente exclusivos: 1) las condiciones ambientales del GC son más tropicales, lo que incrementa la desnitrificación y el ^{15}N -enriquecido desde la base de la cadena trófica, 2) el lobo marino de California incrementó su posición trófica por la disminución de la abundancia de sardina, un factor que se ha asociado al decremento poblacional de algunas colonias de lobo marino de California en el Golfo de California.

Palabras clave: *Zalophus californianus*, colonias reproductoras, isótopos estables, nivel trófico, indicadores maternos, cambios históricos, lobo marino de California.

ABSTRACT

There are 13 California sea lion (*Zalophus californianus*) reproductive colonies in the Gulf of California. Some aspects of the species' trophic ecology were analyzed using stable isotope analyses in fur of 237 neonates and 48 adult females California sea lions sampled in the Gulf of California during the 2016 breeding season. Breadth and trophic overlap were inferred based on isotopic niches constructed by the SIBER routine in R. The effectiveness of pups as maternal indicators was evaluated, and the isotopic values from 2016 breeding season pups were compared to those values reported for the Gulf of California 17 years ago, under different population conditions (higher abundance). Pups showed mean \pm SD of $-14.5 \pm 0.4\text{‰}$ and $21.9 \pm 0.7\text{‰}$ from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, respectively, while adult females showed values of $-14.1 \pm 0.3\text{‰}$ ($\delta^{13}\text{C}$) and $20.8 \pm 0.6\text{‰}$ ($\delta^{15}\text{N}$). The enrichment values between pups and adult females varied per colony, with a mean of -0.4‰ ($\delta^{13}\text{C}$) and $+1.1\text{‰}$ ($\delta^{15}\text{N}$); however, a significant relationship ($p < 0.05$) was observed between both age classes. Our findings suggest that both pups and adult females showed partitioning of resources among the different colonies. The mean values of $\delta^{13}\text{C}$ did not vary relative to the past; however, $\delta^{15}\text{N}$ for 2016 was $\sim +1\text{‰}$ higher ($p < 0.05$). Breadth differences in the isotopic niches were evidenced, with a reduction in 2016 ($\text{SEAc} = 0.6\text{‰}^2$) compared to the past ($\text{SEAc} = 1.0\text{‰}^2$). We attribute these changes to two possible factors that are not mutually exclusive, 1) environmental conditions in the Gulf of California have turned more tropical, giving as a result an increased microbial denitrification and higher ^{15}N -enrichment at the trophic baseline, 2) California sea lions have increased their trophic position as a result of a diminished abundance of sardine, a factor that has previously been associated with the decline of some California sea lions colonies in the Gulf of California.

Key words: *Zalophus californianus*, reproductive colonies, stable isotopes, trophic level, maternal indicators, historical changes, California sea lion.

1. INTRODUCCIÓN

En México se distribuyen cuatro especies de pinnípedos: el elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*), el lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*), la foca de puerto (*Phoca vitulina*) y el lobo marino de California (*Zalophus californianus*). Este último pertenece a la Familia Otariidae y al Orden Carnivora (Wynen *et al.*, 2001). Asimismo es el pinnípedo más frecuentemente observado en las costas del Pacífico Mexicano (Carretta *et al.*, 2007) y uno de los más abundantes en el hemisferio norte. Esta amplia distribución ocurre a lo largo de aguas templadas y subtropicales del Océano Pacífico Oriental, desde la Columbia Británica en Canadá hasta Islas Tres Marías en México, incluyendo el Golfo de California (Peterson y Bartholomew, 1967; King, 1983; Szteren *et al.*, 2006). Su distribución reproductiva se limita a islas de California hacia el límite norte, la costa occidental de Baja California y el Golfo de California (Lowry y Maravilla-Chávez, 2005; Szteren *et al.*, 2006), siendo la colonia de Los Islotes (ubicada cerca de la boca del golfo), el asentamiento reproductivo más sureño de la especie (Adame *et al.*, 2017). La abundancia del lobo marino de California en México es de aproximadamente 110,000 individuos, lo que representa alrededor de un 35% de la población total. Un estudio con base en conteos realizados a finales de los años 90 e inicios de los 2000, estimó que alrededor de 24,000-30,000 individuos habitan en el Golfo de California (Szteren *et al.*, 2006) y el resto en la costa occidental de la Península de Baja California (Lowry y Maravilla-Chávez, 2005).

El lobo marino de California exhibe un dimorfismo sexual marcado, donde los machos son más grandes que las hembras, una vez alcanzada la edad reproductiva. Se considera macho adulto a los individuos de 9 años de edad en adelante, que es el momento en que alcanzan la madurez sexual; miden alrededor de 2.4 m, presentan un peso cercano a los 350 kg, tienen una coloración gris oscura, cuello grueso y presentan una cresta sagital totalmente desarrollada. Las hembras son consideradas adultas a partir de los cinco años; miden 1.8 m, tienen un peso de 100 kg aproximadamente, coloración café claro y carecen de cresta sagital o cuello altamente desarrollado. Los machos son subadultos entre los cinco a ocho años y

aún no han desarrollado totalmente su cuerpo y su cresta sagital, en comparación con los machos adultos (Le Boeuf *et al.*, 1983).

El dimorfismo sexual del lobo marino de California está estrechamente relacionado con un sistema de reproducción altamente poligínico (Peterson y Bartholomew, 1967); su periodo reproductivo comienza en mayo con un incremento en el número de machos adultos y finaliza a mediados de agosto, cuando concluye el periodo de cópulas. El periodo de gestación es de ~11 meses (Peterson y Bartholomew, 1967; Odell, 1975). La mayoría de los nacimientos ocurren a finales de junio; sin embargo, hay ligeras variaciones de acuerdo a la latitud (Temte, 1993). García-Aguilar y Auriol-Gamboa (2003) realizaron un estudio en dos colonias del Golfo de California, Los Cantiles (norte del golfo) y Los Islotes (sur del golfo), donde reportaron que los nacimientos en Los Cantiles presentan dos picos máximos, que van del 1 al 7 de junio y el segundo de mayor intensidad del 15 al 21 de junio, comenzando de manera general 4 a 5 días antes en comparación con Los Islotes, sin embargo, en esta colonia el periodo reproductivo es más prolongado. Las crías presentan un periodo de lactancia de un año aproximadamente, pero se han registrado ocasiones en las que se puede prolongar hasta dos años (Francis y Heath, 1991; Elorriaga-Verplancken, 2009). Durante los primeros 5 o 6 meses su alimentación se basa exclusivamente de leche materna, posteriormente incluyen algunos peces e invertebrados, en alternancia con leche hasta cumplir alrededor de un año (Ono y Boness, 1991). Después de parir, las hembras alternan el cuidado materno con viajes de alimentación de alrededor de dos días (García-Aguilar y Auriol-Gamboa, 2003), lo que deriva en un aprovechamiento regional de recursos (García-Rodríguez y Auriol-Gamboa, 2004).

La alimentación del lobo marino de California se basa en una gran variedad de especies; sin embargo, son pocas las que presentan una importancia relativa alta dentro de su dieta; además, cada colonia del golfo presenta espectros de presas distintos. La dieta de estos otáridos está basada principalmente en peces, seguidos de cefalópodos y algunos crustáceos (Fiscus y Baines, 1966; Antonelis y Fiscus, 1980; García-Rodríguez y Auriol-Gamboa, 2004; Porrás-Peters *et al.*, 2008). Los

peces que conforman la dieta del lobo marino de California pueden ser tanto bentónicos como pelágicos, tal es el caso de la sardina Monterey (*Sardinops caeruleus*), anchoveta del norte (*Eugraulis mordax*), merluza del norte (*Merluccius productus*) y macarela del Pacífico (*Scomber japonicus*) (Antonelis *et al.*, 1984; Lowry *et al.*, 1991; García-Rodríguez y Auriol-Camacho, 2004). Estas presas suelen ser frecuentes; sin embargo, su alimentación varía de manera marcada dependiendo de la localidad y la temporada bajo análisis (primavera, verano, otoño o invierno) (Lowry *et al.*, 1991; Porras-Peters *et al.*, 2008).

Diferentes características de la dieta, las cuales se relacionan con el consumo de ciertas presas, el uso de áreas de alimentación y variaciones geoquímicas basales propias de cada ecosistema, son medibles a través del análisis de las razones de isótopos estables, por lo regular de carbono (C) y nitrógeno (N). Esta aproximación nos brinda información valiosa sobre el alimento asimilado y no solo el digerido, dentro de ventanas temporales que pueden ir desde días (p.e. suero sanguíneo) hasta años (p.e. dientes), dependiendo de la tasa de recambio isotópico, metabolismo y composición bioquímica, los cuales varían de acuerdo al del tejido bajo análisis (Hobson y Clark, 1992; Hobson *et al.* 1996; Sinisalo *et al.*, 2008; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013).

El isótopo estable de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ o $\delta^{13}\text{C}$) presenta variaciones en sus valores con respecto a ambientes marinos *versus* dulceacuícolas, zonas costeras *versus* oceánicas, y pelágicas *versus* bentónicas (Hobson, 1990; Hobson *et al.*, 1994; France, 1995). El isótopo estable de nitrógeno ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ o $\delta^{15}\text{N}$) nos brinda información sobre el nivel trófico relativo y la amplitud de dieta de los organismos dentro de una cadena trófica, por la relación de enriquecimiento que existe entre el contenido de ^{15}N del consumidor y el de su dieta (Owens, 1987). Las razones isotópicas en los tejidos de los animales presentan un enriquecimiento (o factor trófico de discriminación; Martínez del Río *et al.*, 2009) promedio de 0.5-1‰ en ^{13}C y de 3-5‰ en ^{15}N , con respecto a los valores que se determinan en su dieta (DeNiro y Epstein, 1978; Minagawa y Wada, 1984); sin embargo pueden existir variantes. Las razones isotópicas varían entre tejidos de un mismo individuo, sin embargo, si el

mismo tejido es comparado entre grupos o localidades, es posible inferir posición trófica o uso de ciertos hábitats (Porrás-Peters *et al.*, 2008).

El pelo es un tejido que, en el caso de las crías de otáridos, se desarrolla en el último trimestre de la gestación (Bauer *et al.*, 1964) y no es mudado sino hasta tres o cuatro meses después del parto, reflejando por lo tanto los últimos meses de la alimentación de la madre (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016).

En las colonias de reproducción, las hembras adultas de esta especie son altamente filopátricas (Hernández-Camacho *et al.*, 2008) y residentes de sus islas a lo largo del año. Esta conducta está estrechamente ligada al largo proceso de lactancia y su alternancia con viajes de alimentación (Boness y Bowen, 1996; García-Aguilar y Aurióles-Gamboa, 2003), los cuales se restringen a la región en la que se reproducen, estableciéndose así áreas de alimentación específicas (Sánchez-Arias, 1992; García-Rodríguez y Aurióles-Gamboa, 2004). Debido a esta similitud conductual entre hembras de lobo marino de California y hembras de otras especies de otáridos, en la mayoría de los estudios isotópicos sobre estas especies, se utiliza a las crías como indicadores indirectos de la dieta de sus madres (Porrás-Peters *et al.*, 2008; Newsome *et al.*, 2006; Aurióles-Gamboa *et al.*, 2006; Aurióles-Gamboa *et al.*, 2009; Páez-Rosas y Aurióles-Gamboa, 2010; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013b; Amador-Capitanachi *et al.*, 2017). Lo anterior se debe a que durante sus primeros meses de vida las crías dependen directa y exclusivamente de la lactancia. Estudios en el lobo marino del Golfo de California demostraron que existe una diferencia isotópica de alrededor de 2.1‰ para $\delta^{15}\text{N}$ y de -0.8‰ para $\delta^{13}\text{C}$, entre la señal de crías, muestreadas en el periodo reproductivo 2002, y de hembras adultas, muestreadas en abril de 2003 (Porrás-Peters *et al.*, 2008); esta diferencia isotópica fue observada a pesar de que las temporadas de muestreo no fueron las mismas entre grupos de edad. Estas variaciones isotópicas son relativamente predecibles, ya que la leche es un producto que es derivado del catabolismo de grasa y de músculo de las hembras adultas, por lo que la relación entre ellas y sus crías es similar a la que se da entre un depredador y su presa (Newsome *et al.*, 2006).

2. ANTECEDENTES

El análisis de isótopos estables (AIE) genera información sobre el alimento asimilado en escala de tiempo que son mayores a los que provee el análisis de excretas (Newsome *et al.*, 2007; Martínez del Río *et al.*, 2009; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013a), aunque sus resultados no alcancen una resolución taxonómica. Sin embargo, el AIE es útil para evaluar características ecológicas de los organismos (uso de hábitat, nivel, amplitud y sobreposición trófica), ya que las variaciones en la incorporación isotópica dentro de los tejidos de un animal permiten obtener una caracterización de la variación alimentaria intra- e inter-individual dentro de una población, tanto en términos de posición trófica como de uso de hábitat (Newsome *et al.*, 2007).

El nicho isotópico es una aproximación al nicho ecológico, el cual es definido como un espacio multidimensional conformado por un conjunto de puntos donde los ejes van a representar las variables ambientales (Hutchinson, 1957). Los ejes se dividen en escenopético, el cual se refiere a la zona bioclimática donde habita y se alimenta el individuo, y el eje bionómico que nos indica los recursos biológicos o presas que son utilizados (Hutchinson, 1978). En el nicho isotópico el eje escenopético va a estar representado por el $\delta^{13}\text{C}$ y el $\delta^{15}\text{N}$ representa al eje bionómico (Newsome *et al.*, 2007).

Porras-Peters *et al.* (2008), realizaron un estudio en las 13 colonias de lobo marino de California en el Golfo de California con la finalidad de obtener el nivel y sobreposición trófica por colonia, utilizando el análisis de excretas y de isótopos estables en pelo de crías y de algunas hembras adultas. Dicho estudio mostró que el pelo del lobo marino es un tejido que presenta suficiente resolución para este análisis, evidenciando diferencias entre los valores de isótopos estables de nitrógeno y carbono de las distintas colonias. De manera general, se reportó para las crías un valor promedio de -14.5‰ ($\delta^{13}\text{C}$) y 21.0‰ ($\delta^{15}\text{N}$). Por otro lado el análisis de excretas mostró una variación regional en el consumo de presas a lo largo del golfo, mostrando un grado de sobreposición bajo entre las colonias, aún en aquellas que se localizan a corta distancia entre sí. De manera general, las presas principales

reportadas (IIMP ≥ 5) fueron el pez sapo (*Porichthys sp.*), anchoveta del Pacífico (*Cetengraulis mysticetus*), macarela del Pacífico (*Trachurus symmetricus*), sardina Monterrey (*Sardinops sagax*), anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) y calamar (*Leachia sp.*), mostrando un nivel trófico de 3.9. Con estos resultados los autores concluyen que existe una repartición de recursos a lo largo de las colonias de lobo marino del Golfo de California.

Aurioles-Gamboa *et al.* (2009) realizaron un estudio sobre las diferencias entre los lobos marinos del género *Zalophus* del Golfo de California y de las Islas Galápagos mediante análisis de isótopos estables, en donde obtuvieron valores promedio para el Golfo de California de $-15.9 \pm 0.5\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}$ y de $21.8 \pm 0.7\text{‰}$ para $\delta^{15}\text{N}$, mientras que para las Islas Galápagos los promedios fueron de $-14.5 \pm 0.5\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}$ y de $13.1 \pm 0.5\text{‰}$ para $\delta^{15}\text{N}$, con variaciones significativas solo para $\delta^{15}\text{N}$. Esta diferencia se asocia a la localización latitudinal en la que se encuentra cada región, pues en latitudes más altas los valores basales de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ son más bajos que en latitudes intermedias (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2006; Elorriaga-Verplancken, 2009, Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016).

Por otro lado, variaciones en los niveles de $\delta^{15}\text{N}$ están relacionados con la materia orgánica particulada (MOP). Altabet *et al.*, (1999) reportan valores basales (MOP) altos para el Golfo de California (hasta 10.5‰), los cuales se vinculan con la presencia de áreas de desnitrificación en el Alto Golfo de California (Aguñiga-García, 1999) y en el Pacífico mexicano, cerca de la boca del Golfo de California, cuyas aguas ricas en ^{15}N son arrastradas hacia el Golfo de California por la Corriente Mexicana Occidental (Voss *et al.*, 2001; Beier *et al.*, 2003). Trabajos como el de Voss *et al.*, (2001), han establecido una relación lineal positiva entre el déficit de nitratos, ocasionado por el proceso bacteriano de desnitrificación y el aumento de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en la base de la cadena trópica.

A partir de este conocimiento, recientemente se dieron a conocer cambios isotópicos derivados de un comportamiento migratorio de lobos marinos de California subadultos entre el Pacífico Mexicano, donde se presentan valores ^{15}N -empobrecidos y el Golfo de California (isoterrenos diferentes), con valores ^{15}N -

enriquecidos, lo que en general permitió plantear la hipótesis de distintas zonas de alimentación entre los machos mencionados y hembras adultas del sur del Golfo de California (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018).

No solamente la presencia de isoterrenos puede tener que ver con variaciones isotópicas entre grupos geográficamente separados. Cambios ambientales a lo largo del tiempo también pueden constituir un factor dentro de una misma localidad. Se han reportado variaciones a lo largo del tiempo en la misma colonia, atribuidas a cambios en las condiciones oceanográficas. Elorriaga-Verplancken *et al.* (2016) reportaron variaciones en los valores isotópicos del lobo marino de California y el lobo fino de Guadalupe en el Archipiélago San Benito durante el ENSO del 2015 y el calentamiento anómalo de la temperatura superficial del mar (The Blob, siglas en inglés) (Kintisch, 2015). En la temporada reproductiva 2014 el lobo marino de California presentó un promedio \pm D.E. de $-16.2 \pm 0.4\text{‰}$ ($\delta^{13}\text{C}$) y $19.8 \pm 0.4\text{‰}$ ($\delta^{15}\text{N}$), sin embargo, en la temporada 2015 se reportó un promedio \pm D.E. de $-16.9 \pm 0.4\text{‰}$ ($\delta^{13}\text{C}$) y $20.2 \pm 0.4\text{‰}$ ($\delta^{15}\text{N}$) mostrando diferencias significativas en ambos isótopos. También encontraron diferencias en los nichos isotópicos mostrando una ampliación en el nicho del 2015 con un área de polígono de 2.2‰^2 y de elipse de 0.6‰^2 en comparación con el 2014 (polígono = 1.8‰^2 , elipse = 0.5‰^2). Estos autores atribuyeron estas diferencias a variaciones en las condiciones oceanográficas, ya que en 2015 se reportó una condición de ENSO aunado al calentamiento anómalo de La Mancha, disminuyendo la concentración de clorofila y orillando al lobo marino a cambiar de presas y/o a realizar viajes de alimentación más largos en busca de sus presas.

En los últimos años el Golfo de California ha sufrido variaciones en las condiciones ambientales. Saldívar-Lucio *et al.* (2013) realizaron proyecciones de la captura de sardina Monterrey (*Sardinops sagax*) en la Costa Occidental de Baja California y el Golfo de California, encontrando que la abundancia de sardina está en función de la variabilidad oceánica y atmosférica del Pacífico Norte. Estos autores predijeron una baja en la captura de sardina en un periodo que va del 2010-2028 y un aumento proyectado para el periodo 2028-2036. Estas fluctuaciones las relacionaron con los

periodos de enfriamiento y calentamiento de la superficie marina, principalmente de la zona de las Grandes Islas. En el Golfo de California se reporta que el comportamiento temporal de la temperatura superficial del mar es altamente estacional y que la variabilidad interanual va a estar determinada por la intensidad del ENSO (Lavín y Marinone, 2003). En la parte central del golfo reportan la presencia de giros ciclónicos de núcleos fríos semipermanentes en verano, mientras que en invierno los giros son anticiclónicos y de núcleo cálido (Lavín y Marinone, 2003); siendo estos procesos oceanográficos factores determinantes sobre aspectos biológicos de la sardina como el reclutamiento, las zonas de reproducción, alimentación y distribución.

La mayoría de los estudios isotópicos anteriores ha utilizado tejidos de crías como indicadores de la conducta alimentaria materna. Un estudio realizado por Sandoval-Sierra (2016) analizó el enriquecimiento isotópico entre las crías y las hembras adultas de dos colonias de lobo marino de California reportando una diferencia de +1.5‰ para $\delta^{15}\text{N}$ y de -0.34‰ para $\delta^{13}\text{C}$ en Los Islotes (Golfo de California) y de +2.0‰ para $\delta^{15}\text{N}$ y de +0.68‰ para $\delta^{13}\text{C}$ en el Archipiélago San Benito (Pacífico Mexicano).

Muchos de los estudios que reportan el enriquecimiento trófico en pinnípedos, se centran en valores de crías y hembras adultas no emparentadas (Sandoval-Sierra, 2016) o que no pertenecen a la misma temporada (Porrás-Peters *et al.*, 2008); sin embargo, Elorriaga-Verplancken *et al.* (2016) analizaron la diferencia isotópica que existe entre individuos emparentados (relación madre-cría) del lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*) de Isla Guadalupe durante el verano de 2013, reportando valores de enriquecimiento en crías de -0.2‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y +1.0‰ para $\delta^{15}\text{N}$.

3. JUSTIFICACIÓN

El lobo marino de California, al ser un depredador tope, es considerado una especie centinela, razón por la cual, monitorear su población nos brinda información sobre el estado del ecosistema. En los últimos años se ha visto que el Golfo de California ha sufrido cambios en las condiciones ambientales, generando con esto, cambios ecosistémicos (Lluch-Cota *et al.*, 2007; Saldívar-Lucio *et al.*, 2013). Hace aproximadamente 17 años se llevó a cabo un estudio del espectro trófico e isótopos estables de las crías de *Z. californianus*, con el objetivo de inferir los hábitos alimentarios de sus madres (hembras adultas) en las colonias reproductoras del Golfo de California (Porrás-Peters *et al.*, 2008). El presente trabajo pretende evaluar nuevamente la información isotópica de crías y hembras adultas del lobo marino de California de la temporada reproductiva 2016, con la finalidad de determinar si los cambios observados en el Golfo de California tienen un efecto sobre ambas categorías de edad, mediante la comparación de nuestros resultados con los valores reportados para estas mismas loberas del Golfo de California hace 17 años (Porrás-Peters *et al.*, 2008), quienes llevaron a cabo su análisis cuando ya se empezaba a observar un declive en la abundancia de la mayoría de las colonias de lobos marinos (Szteren *et al.*, 2006). En el presente trabajo se utilizó al lobo marino de California como un indicador de condiciones cambiantes en un ecosistema como el Golfo de California, donde presenta una distribución amplia, utilizando como referencias valores isotópicos que en conjunto proveen evidencia sobre variaciones en amplitud trófica y uso de hábitat.

Como ya se mencionó anteriormente, en la mayoría de los estudios donde se analizan isótopos estables en pinnípedos se utilizan a las crías como indicadores indirectos de la dieta de sus madres; sin embargo, el enriquecimiento isotópico entre la madre y la cría puede variar en función de su alimentación e incluso la calidad del mismo (Pearson *et al.*, 2003; Robbins *et al.*, 2005). Por esto se analizó por primera vez el enriquecimiento isotópico que existe entre ambas clases de edad a lo largo de las colonias reproductoras del Golfo de California, con la finalidad de contribuir al conocimiento que se tiene sobre un factor de enriquecimiento que en la mayoría de

las ocasiones se da por sentado; específicamente, la suposición de que hay una variación constante entre los valores isotópicos de crías y sus madres, aunque sean de diferentes localidades. Lo anterior valida el utilizar a las crías como indicadores de la dieta materna en el lobo marino de California del Golfo de California.

4. HIPOTESIS

Debido a las variaciones (disponibilidad de presas y procesos isotópicos basales) que existen a lo largo del Golfo de California se espera encontrar diferencias en el nivel trófico y uso de hábitat, siendo estos reflejados en los nichos isotópicos tanto de crías como de hembras adultas a lo largo de las 13 colonias reproductivas de lobos marinos de California. Además se espera obtener valores de enriquecimiento similares entre las crías y las hembras adultas de todas las colonias ya que, al ser las crías indicadores indirectos de la dieta de las madres no deberían de existir diferencias significativas entre colonias. Finalmente se espera encontrar diferencias de nicho isotópico al comparar el presente trabajo con el trabajo de Porrás-Peters *et al.* (2008) debido a cambios en las condiciones ambientales que se han presentado en los últimos 20 años en el Golfo de California.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Determinar los nichos isotópicos mediante $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) a lo largo de sus colonias reproductoras en el Golfo de California, México, así como el rol de esta especie como indicadora de cambios ambientales en esta región.

5.2 Objetivos particulares

1. Determinar el uso de hábitat mediante $\delta^{13}\text{C}$, así mismo, el nivel, amplitud y sobreposición trófica utilizando $\delta^{15}\text{N}$, entre las colonias reproductoras de lobo marino de California del Golfo de California.
2. Conocer posibles variaciones en el enriquecimiento isotópico entre crías y hembras adultas de lobo marino de California y en caso de ser necesario, obtener un factor de corrección por colonia.
3. Determinar si existen variaciones isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) con respecto al pasado (2000-2002) cuando la abundancia poblacional de la especie era mayor.

6. ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California se encuentra ubicado en la región noroccidental de México, entre los 31°53' - 20°27' latitud norte y los 114°54' - 105°38' longitud oeste. Es una cuenca marina de forma alargada con orientación de noroeste a sureste, limitada al occidente por la Península de Baja California, al oriente por los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit y al sur por una línea imaginaria que conecta Cabo San Lucas, Baja California Sur, con Cabo Corrientes, Jalisco (Álvarez-Borrego, 1983). El golfo se caracteriza por ser la única cuenca de evaporación del Océano Pacífico (Roden, 1958) y presenta una alta productividad biológica (Soto-Mardones *et al.*, 1999).

De manera general el Golfo de California se divide en tres regiones: el alto golfo, la región central y el sur del golfo. El alto golfo presenta altas salinidades superficiales y temperaturas que van de los 10°C a los 32°C (Sverdrup, 1941), la termodinámica y la circulación estacional están determinadas por el forzamiento del Océano Pacífico y el régimen de vientos (Beier y Ripa, 1998; Soto-Mardones *et al.*, 1999). Aquí se encuentra la zona de las grandes islas, la cual presenta altos niveles de productividad primaria y de baja temperatura superficial durante todo el año (López *et al.*, 2006). La región central presenta temperaturas entre 16°C y 31°C; se presentan mínimos de salinidad en la capa superficial, amplitud baja de mareas e importantes surgencias estacionales (Maluf, 1983), con alta concentración de clorofila de este a oeste (Navarro-Olachea *et al.*, 2004). El sur del golfo presenta comunicación abierta con el Océano Pacífico a través de la boca del golfo, la cual presenta tres masas de agua superficiales; agua fría de la Corriente de California, agua cálida del Pacífico Tropical y agua del Golfo de California (Álvarez-Borrego *et al.*, 1983). Los procesos termohalinos, vientos y el forzamiento dinámico que ejerce el Pacífico tienen efectos sobre la circulación del sur del golfo (Marinone, 2003).

Existen variaciones en la circulación estacional horizontal, la cual muestra una circulación superficial ciclónica en verano y anticiclónica en invierno (Beier, 1997). Las surgencias generadas por corrientes de marea y surgencias costeras por viento son procesos oceanográficos mediante los cuales se enriquece el golfo (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

En el Golfo de California existen 29 colonias de lobo marino de California; cuatro se encuentran en macizo continental y las otras 25 en islas e islotes de tamaño variable. Son 13 las colonias que son reproductoras en el golfo (Fig. 1), encontrándose la mayoría en el Alto golfo (Walker, 1960). La alta abundancia de lobos marinos en esa región (81.7% de la población del golfo) podría estar relacionada con la distribución y abundancia alta de pelágicos menores como la sardina (Aurioles-Gamboa y Zavala, 1994).

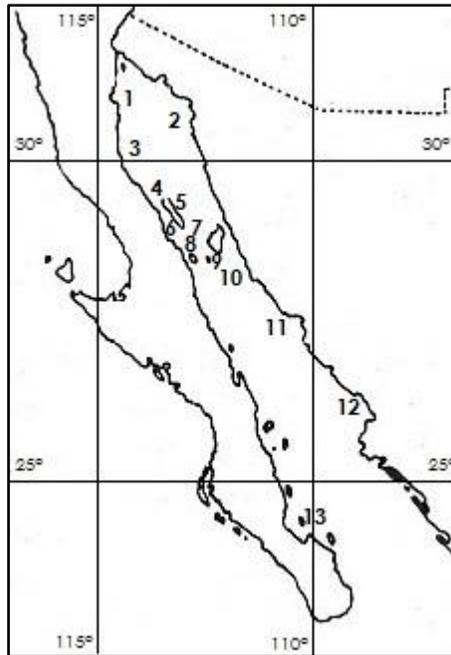


Figura 1.- Distribución de las 13 colonias reproductoras del Golfo de California. De norte a sur: 1) Rocas Consag, 2) San Jorge, 3) Isla Lobos, 4) Isla Granito, 5) Los Cantiles, 6) Los Machos, 7) El Partido, 8) El Rasito, 9) San Esteban, 10) San Pedro Mártir, 11) San Pedro Nolasco, 12) Farallón de San Ignacio y 13) Los Islotes.

7. METODOLOGÍA

7.1 Recolecta de muestras

Durante el periodo reproductivo de 2016 se llevó a cabo un crucero de investigación a lo largo del Golfo de California, durante el periodo del 26 de junio al 13 de julio, en colaboración con la Universidad Autónoma de Querétaro, a partir del cual se recorrieron 12 de las 13 colonias reproductoras del lobo marino de California. Estas fueron Rocas Consag, San Jorge, Isla Lobos, Isla Granito, Los Cantiles, Los Machos, El Partido, El Rasito, San Esteban, San Pedro Mártir, San Pedro Nolasco y Los Islotes. Por cuestiones logísticas el muestreo en Farallón de San Ignacio se llevó a cabo del 12 al 16 de septiembre del mismo año. En cada colonia se capturaron alrededor de 20 crías y 5 hembras adultas (Tabla I).

Tabla I.- Número de crías y hembras adultas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) muestreadas a lo largo de las 13 colonias reproductoras del Golfo de California.

Colonia	Crías	Hembras adultas
Rocas Consag	20	4
San Jorge	20	8
Isla Lobos	20	4
Isla Granito	20	3
Los Cantiles	20	3
Los Machos	18	5
El Partido	12	3
El Rasito	10	3
San Esteban	20	3
San Pedro Mártir	21	3
San Pedro Nolasco	20	2
Farallón de San Ignacio	17	0
Los Islotes	19	7
Total	237	48

Las crías fueron capturadas con ayuda de una red y se inmovilizaron. Con la finalidad de obtener muestras de individuos de la misma edad (1-2 meses aproximadamente), se capturaron animales con longitud estándar similar, alrededor de 75 cm. Se llevó a cabo una revisión clínica externa de pelaje, ojos, mucosas y condición corporal realizada por veterinarios, indicando que las crías estaban aparentemente sanas. A cada individuo se le tomó una muestra de pelo de un área de 5 cm x 5 cm de la región dorsal, utilizando tijeras esterilizadas. Las muestras se colocaron en sobres de papel etiquetados con la fecha, nombre de la colonia, número de organismo y el sexo. Además se tomaron medidas morfométricas como longitud total (distancia que va de la punta de la nariz y la punta de la cola) en cm y el peso en kg, utilizando una cinta métrica y una báscula con capacidad de 30 kg, respectivamente.

Las hembras adultas fueron capturadas con redes tipo mariposeras, se inmovilizaron y se anestesiaron con isoflurano. Después de una revisión clínica externa que permitió determinar si habían parido recientemente y si estaban con un buen estado de salud general, se procedió a tomar la muestra de pelo de la región dorsal del organismo, de un área alrededor de los 5 cm x 5 cm. Para la mayoría de las hembras adultas se pudo registrar la longitud total; sin embargo, el peso de estos organismos no se pudo obtener debido a limitaciones logísticas.

Cabe señalar que se tienen muestras, con certeza, de nueve parejas madre-cría (18 organismos emparentados) (Tabla II). Esto se pudo determinar gracias a la observación de un comportamiento de reconocimiento y amamantamiento entre las hembras adultas y su respectiva cría.

Durante el mismo crucero se tomaron muestras de zooplancton con ayuda de una red con luz de malla fina, alrededor de las colonias de Rocas Consag, Isla Lobos, Los Cantiles, Los Machos y El Partido ($n= 6$), con la finalidad de poder utilizarlo para obtener el nivel trófico mediante el algoritmo de Post. Para el caso de las colonias más sureñas dentro del golfo se utilizará el valor de Los Islotes reportado por Whitehead *et al.* (2018), esto con el objetivo de determinar el nivel trófico de los individuos por colonia reproductiva.

Tabla II.- Colonias donde se capturaron parejas madre-cría del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en el Golfo de California.

Colonia	Núm. de parejas
Rocas Consag	1
Isla Granito	1
Los Machos	1
El Partido	1
Rasito	1
San Esteban	2
San Pedro Mártir	1
Los Islotes	1

7.2 Procesamiento de muestras de pelo

Las muestras de pelo se procesaron en el Laboratorio de Química del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) en La Paz, Baja California Sur. Cada muestra se lavó con agua desionizada para eliminar los residuos de sal e impurezas en general; las muestras se colocaron en microtubos tipo Eppendorf de 2 mL, previamente tratados con jabón libre de fosfato y agua destilada, así como mezcla crómica (mezcla de ácido sulfúrico y dicromato de potasio) por un periodo de 24 h y nuevamente agua desionizada. Para eliminar cualquier impureza o presencia de lípidos (no propios del pelo, sino de la piel) las muestras de pelo se lavaron con cloroformo-metanol (1:1) y se mantuvieron en un desecador a una temperatura de 50-60°C durante 12 h para permitir la volatilización de los residuos del solvente. Posteriormente las muestras de pelo se cortaron finamente con ayuda de pinzas y tijeras esterilizadas y se homogenizaron en un mortero ágata. Lo anterior se realizó en una campana de flujo laminar para evitar la contaminación. Con ayuda de una micro balanza analítica con precisión de ± 0.001 mg se pesaron 0.8- 1.2 mg de muestra y se colocó en micro-cápsulas de estaño de 8 x 5 mm.

Las muestras de zooplancton tuvieron un tratamiento similar a las muestras de pelo, en términos de desecación, homogenización en un mortero de ágata y pesaje de la misma cantidad en una micro balanza. Las micro-cápsulas que contenían, tanto las muestras de pelo como de zooplancton, se sellaron y fueron enviadas al Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Santa Cruz, California y de Nuevo México, EUA, para su análisis en un espectrómetro de masas de razones isotópicas con una precisión de ± 0.02 ‰ entre corridas de estándares para cada isótopo estable, los cuales son propios del laboratorio.

7.3 Análisis estadístico

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

$$\delta^{15}N \text{ ó } \delta^{13}C = 1000 \left[\left(\frac{R_{muestra}}{R_{estandar}} \right) - 1 \right]$$

donde $\delta^{15}N$ y $\delta^{13}C$ 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. $R_{muestra}$ y $R_{estandar}$ son las razones $^{15}N/^{14}N$ o $^{13}C/^{12}C$ para la muestra y el estándar, respectivamente. 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 ‰ (DeNiro y Epstein, 1978).

Para determinar el uso de hábitat, amplitud y grado de superposición entre las colonias de lobos marinos de California se utilizó el método Bayesiano SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipse in R, por sus siglas en inglés) en el paquete SIAR de R (Stable Isotope Analysis in R, por sus siglas en inglés). Este análisis es complementario al de determinación de nicho por medio de área de un polígono, utilizando medidas basadas en áreas de elipses (SEAc, ‰²) que no son influenciadas por el tamaño de muestra o datos extremos, como en el caso de los polígonos o técnica de envoltura convexa (Convex Hull). Las elipses bi-variadas

($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) se formaron mediante simulaciones de Monte Carlo, englobando (en las elipses) aquellos datos que se ubican dentro de intervalo de confianza de 95% en las distribuciones de ambos isótopos estables (Jackson *et al.*, 2011). Este método ya ha sido utilizado para conocer la amplitud y el grado de sobreposición en depredadores tope. Tal es el caso de Ortega *et al.* (2014) quienes estudiaron la alimentación de la orca falsa (*Pseudorca crassidens*), Loor *et al.* (2015), quienes analizaron patrones de forrajeo en dos especies de tiburón martillo y Elorriaga-Verplancken *et al.* (2013b y 2016) quienes investigaron la conducta alimentaria de focas de puerto (*Phoca vitulina*) y elefantes marinos del norte (*Mirounga angustirostris*).

Para determinar si existían diferencias significativas en los valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de las crías y hembras adultas entre colonias reproductivas se aplicó la prueba Tukey.

7.4 Enriquecimiento isotópico entre crías y hembras adultas de lobo marino de California

Se determinaron los valores de enriquecimiento o factores tróficos de discriminación, con base en conceptos establecidos por diferentes autores (p. ej. Minagawa y Wada, 1984; Martínez del Río *et al.*, 2009), en donde este valor corresponde a la diferencia entre el valor isotópico del depredador y su alimento (niveles tróficos continuos). Para este estudio, de modo análogo, serán crías y hembras adultas de lobo marino de California de las diferentes colonias.

$$\Delta^{13}\text{C} = \delta^{13}\text{C}_{\text{crías}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{hembras adultas}} / \Delta^{15}\text{N} = \delta^{15}\text{N}_{\text{crías}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{hembras adultas}}$$

Se determinó el enriquecimiento isotópico utilizando los valores promedio de las hembras adultas y de las crías por cada colonia. Para el caso de Farallón de San Ignacio no se tiene este valor, ya que no fue posible obtener muestras de hembras adultas.

Para los 18 organismos emparentados (cría-madre) se aplicó la misma fórmula por pareja.

7.5 Nivel trófico del lobo marino de california

Para medir el nivel trófico del lobo marino de California por colonia se utilizó el algoritmo de Post (2002):

$$NT = \frac{(\delta^{15}N_{consumidor} - \delta^{15}N_{organismo_base})}{3.4} + 2.0$$

donde: $\delta^{15}N_{consumidor}$ se refiere al valor de $\delta^{15}N$ de pelo de las hembras adultas del lobo marino de California, $\delta^{15}N_{organismo_base}$ se refiere al valor de $\delta^{15}N$ del consumidor primario, en este caso el zooplancton y el 3.4 ‰ se refiere al fraccionamiento isotópico promedio a lo largo de la cadena trófica hasta depredadores tope (Minagawa y Wada, 1984). El nivel trófico se obtuvo por cada colonia reproductiva utilizando los valores de las hembras adultas de lobo marino de California y los valores de zooplancton. En los casos donde no se pudo obtener muestra de zooplancton se utilizó el valor de la colonia geográficamente más cercana en la que sí se logró obtener muestra (Tabla III).

Tabla III.- Relación de cada colonia con su respectiva muestra de zooplancton utilizada para obtener el nivel trófico mediante el algoritmo de Post.

Colonia	Zooplancton
Rocas Consag	Rocas Consag
San Jorge	Rocas Consag
Isla Lobos	Isla Lobos
Isla Granito	Los Cantiles
Los Cantiles	Los Cantiles
Los Machos	Los Cantiles
El Partido	El Partido
EL Rasito	El Partido
San Esteban	El Partido
San Pedro Mártir	El Partido
San Pedro Nolasco	Los Islotes
Los Islotes	Los Islotes

7.6 Variaciones isotópicas entre crías de la temporada reproductiva 2000-2002 y 2016 de lobo marino de California

Para determinar las variaciones isotópicas entre ambas temporadas reproductivas (2000-2002 y 2016) se aplicó la ecuación de fraccionamiento isotópico:

$$\Delta^{13}\text{C} = \delta^{13}\text{C}_{2016} - \delta^{13}\text{C}_{2000-2002} \quad / \quad \Delta^{15}\text{N} = \delta^{15}\text{N}_{2016} - \delta^{15}\text{N}_{2000-2002}$$

donde: $\delta^{13}\text{C}_{2016}$ y $\delta^{15}\text{N}_{2016}$ se refiere a los valores isotópicos promedio de las crías de las 13 colonias reproductoras de la temporada reproductiva 2016 del Golfo de California y $\delta^{13}\text{C}_{2000-2002}$ y $\delta^{15}\text{N}_{2000-2002}$ se refiere a los valores de las crías reportados por Porrás-Peters *et al.* (2008) para las colonias reproductoras del Golfo de California.

8. RESULTADOS

8.1 Características morfológicas de las crías y hembras adultas de lobo marino de California bajo análisis

De las 237 crías de lobo marino de California que se muestrearon en las 13 colonias reproductoras del golfo, 94 fueron hembras y 143 machos. Las crías presentaron un peso promedio de 11.3 ± 1.7 kg y una longitud total de 81.9 ± 4.0 cm. El Rasito fue la colonia que presentó los valores más bajos con un peso promedio de 9 ± 1.25 kg y longitud total de 77.6 ± 5.0 cm; por el contrario las crías de Farallón de San Ignacio mostraron los valores más altos con un peso de 15.6 ± 4.1 kg y 93.1 ± 7.3 cm de longitud total, seguidas de las de Rocas Consag, con 12.6 ± 1.6 kg y 84.4 ± 3.4 cm (Tabla IV).

Tabla IV.- Datos morfométricos de las crías de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) para las 13 colonias reproductoras del Golfo de California.

Colonia	Num. Hembras	Num. Machos	Peso (kg)	LT (cm)
Rocas Consag	5	15	12.6 ± 1.6	84.4 ± 3.4
San Jorge	8	12	12.0 ± 2.4	83.1 ± 4.4
Isla Lobos	7	13	12.4 ± 2.1	83.2 ± 4.4
Isla Granito	6	14	11.3 ± 1.9	82.2 ± 3.8
Los Cantiles	10	10	11.2 ± 1.5	81.8 ± 3.7
Los Machos	6	12	10.3 ± 2.1	78.7 ± 6.2
El Partido	4	8	11.7 ± 2.1	81.7 ± 6.9
El Rasito	4	6	9.0 ± 1.2	77.6 ± 5.0
San Esteban	10	10	10.1 ± 2.1	81.2 ± 4.1
San Pedro Mártir	8	13	9.7 ± 2.1	79.5 ± 5.0
San Pedro Nolasco	8	12	9.4 ± 1.9	78.4 ± 5.7
Farallón de San Ignacio	9	8	15.6 ± 4.1	93.1 ± 7.3
Los Islotes	9	10	11.6 ± 1.6	79.4 ± 4.3

Se capturaron 48 hembras adultas, de las cuales fue posible registrar la longitud total de 43. Esta categoría de edad mostró una longitud total promedio de 164.7 ± 8.6 cm, donde, las hembras de San Pedro Mártir presentaron los valores más bajos con un promedio de 148.3 ± 7.8 cm, y en San Pedro Nolasco se obtuvieron los valores más altos con 179.5 ± 0.7 cm de longitud total (Tabla V).

Tabla V.- Medidas morfométricas de las hembras adultas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) para 12 colonias reproductoras del Golfo de California. LT se refiere a la longitud total y los asteriscos (*) señalan el número de casos en donde no fue posible medir la LT.

Colonia	Num. Hembras	LT (cm)
Rocas Consag*	3	168.7 ± 4.9
San Jorge**	6	166.8 ± 6.3
Isla Lobos	4	162.5 ± 6.4
Isla Granito	3	158.7 ± 14.2
Los Cantiles	3	167.7 ± 4.9
Los Machos	5	170.6 ± 9.4
El Partido*	2	156.5 ± 9.2
El Rasito	3	159.5 ± 4.8
San Esteban*	2	160.5 ± 20.5
San Pedro Mártir	3	148.3 ± 7.8
San Pedro Nolasco	2	179.5 ± 0.7
Los Islotes	7	175.7 ± 4.2

8.2 Análisis isotópico del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) del Golfo de California

8.2.1 Crías de lobo marino de California

Las crías de lobo marino de California de las 13 colonias reproductoras del Golfo de California presentaron un promedio \pm D.E. de -14.5 ± 0.4 ‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y 21.9 ± 0.7 ‰

para $\delta^{15}\text{N}$ (Fig. 2). Rocas Consag y Los Islotes fueron las colonias que presentaron valores más contrastantes para ambos isótopos, siendo Rocas Consag la colonia más norteña con valores de $-13.7 \pm 0.3\text{‰}$ y $23.5 \pm 0.6\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, respectivamente, y Los Islotes la colonia más sureña con $-15.3 \pm 0.8\text{‰}$ y $21.2 \pm 0.5\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, respectivamente (Tabla VI)

Tabla VI.- Valores isotópicos promedio con su respectiva desviación estándar (D.E.) por colonia, para las crías del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en el Golfo de California.

Colonia	$\delta^{13}\text{C} \pm \text{D.E. (‰)}$	$\delta^{15}\text{N} \pm \text{D.E. (‰)}$
Rocas Consag	-13.7 ± 0.3	23.5 ± 0.6
San Jorge	-14.4 ± 0.1	22.5 ± 0.3
Isla Lobos	-14.3 ± 0.2	22.7 ± 0.6
Isla Granito	-14.4 ± 0.2	21.9 ± 0.5
Los Cantiles	-14.6 ± 0.3	21.4 ± 0.6
Los Machos	-14.5 ± 0.1	21.3 ± 0.5
El Partido	-14.1 ± 0.5	21.9 ± 0.4
El Rasito	-14.5 ± 0.4	21.5 ± 0.6
San Esteban	-14.5 ± 0.5	21.6 ± 0.7
San Pedro Mártir	-14.9 ± 0.2	22.0 ± 0.4
San Pedro Nolasco	-14.8 ± 0.5	22.2 ± 0.4
Farallón de San Ignacio	-14.9 ± 0.3	21.8 ± 0.4
Los Islotes	-15.3 ± 0.8	21.2 ± 0.5

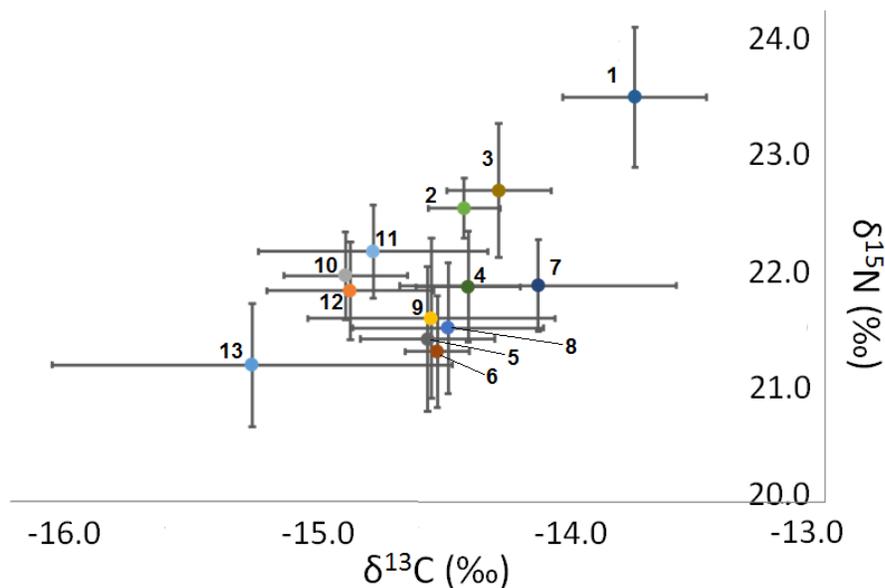


Figura 2.- Valores isotópicos promedio con desviación estándar de crías por colonia reproductora de lobo marino de California (*Zalophus californianus*): 1) Rocas Consag, 2) San Jorge, 3) Isla Lobos, 4) Isla Granito, 5) Los Cantiles, 6) Los Machos, 7) El Partido, 8) El Rasito, 9) San Esteban, 10) San Pedro Mártir, 11) San Pedro Nolasco, 12) Farallón de San Ignacio y 13) Los Islotes.

Rocas Consag y Los Islotes fueron las colonias que presentaron una mayor diferencia en $\delta^{13}\text{C}$ en comparación con el resto de las colonias (Tabla VII); sin embargo, se observó más variación para el $\delta^{15}\text{N}$ entre las 13 colonias reproductoras (Tabla VIII).

Tabla VII.- Diferencias entre colonias para $\delta^{13}\text{C}$ (‰) de las crías de las 13 colonias reproductoras de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) del Golfo de California. Las colonias con diferencias significativas ($p < 0.05$) están marcadas en negritas.

Colonia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	-13.7	-14.4	-14.3	-14.4	-14.6	-14.5	-14.4	-14.5	-14.6	-14.9	-14.8	-14.9	-15.3
1 Rocas Consag													
2 S. Jorge	<0.05												
3 Isla Lobos	0.001	0.996											
4 Isla Granito	<0.05	1.000	0.999										
5 Los Cantiles	<0.05	0.993	0.494	0.984									
6 Los Machos	<0.05	1.000	0.760	0.999	1.000								
7 El Partido	0.226	0.662	0.996	0.730	0.082	0.197							
8 El Rasito	<0.05	1.000	0.981	1.000	1.000	1.000	0.606						
9 S. Esteban	<0.05	0.998	0.590	0.994	1.000	1.000	0.112	1.000					
10 S. Pedro Mártir	<0.05	0.005	<0.05	0.003	0.236	0.133	<0.05	0.210	0.174				
11 S. Pedro Nolasco	<0.05	0.120	0.002	0.088	0.848	0.688	<0.05	0.713	0.776	1.000			
12 F. de S. Ignacio	<0.05	0.019	<0.05	0.013	0.410	0.260	<0.05	0.330	0.328	1.000	1.000		
13 Los Islotes	<0.05	0.101	0.006	0.107									

Tabla VIII.- Diferencias entre colonias para $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de las crías de las 13 colonias reproductoras de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) del Golfo de California. Las colonias con diferencias significativas ($p < 0.05$) están marcadas en negritas.

Colonia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	23.5	22.7	22.7	21.8	21.4	21.3	21.9	21.5	21.6	21.9	22.2	21.8	21.2
1 Rocas Consag													
2 S. Jorge	<0.05												
3 Isla Lobos	<0.05	0.999											
4 Isla Granito	<0.05	0.002	<0.05										
5 Los Cantiles	<0.05	<0.05	<0.05	0.198									
6 Los Machos	<0.05	<0.05	<0.05	0.040	1.000								
7 El Partido	<0.05	0.020	0.001	1.000	0.377	0.118							
8 El Rasito	<0.05	<0.05	<0.05	0.847	1.000	0.999	0.900						
9 S. Esteban	<0.05	<0.05	<0.05	0.892	0.997	0.885	0.946	1.000					
10 S. Pedro Mártir	<0.05	0.015	<0.05	1.000	0.032	0.004	1.000	0.507	0.491				
11 S. Pedro Nolasco	<0.05	0.502	0.057	0.797	<0.05	<0.05	0.936	0.044	0.019	0.985			
12 F. de S. Ignacio	<0.05	0.001	<0.05	1.000	0.386	0.108	1.000	0.936	0.970	1.000	0.713		
13 Los Islotes	<0.05	<0.05	<0.05	0.002	0.978	1.000	0.015	0.926	0.398	<0.05	<0.05	0.010	

Se obtuvieron los nichos isotópicos para cada colonia reproductora (Fig. 3). Rocas Consag y Los Islotes presentaron los nichos con valores más extremos a lo largo del Golfo de California. San Jorge fue la colonia con el nicho más pequeño y Los Islotes presentó el nicho más grande con valores de elipse corregida (SEAc) de 0.12‰² y 1.38‰² respectivamente (Tabla IX).

Tabla IX.- Valores de los nichos isotópicos de crías por colonia reproductora de lobo marino de California (*Zalophus californianus*), SEAc se refiere al área de elipse corregida, que engloba los datos con mayor credibilidad y TA es el área total del polígono que engloba la totalidad de los valores isotópicos.

Colonia	SEAc (‰ ²)	TA (‰ ²)
Rocas Consag	0.31	0.94
San Jorge	0.12	0.34
Isla Lobos	0.26	0.68
Isla Granito	0.27	0.79
Los Cantiles	0.38	0.98
Los Machos	0.20	0.45
El Partido	0.66	1.06
El Rasito	0.66	0.92
San Esteban	0.73	1.91
San Pedro Mártir	0.22	0.66
San Pedro Nolasco	0.59	1.36
Farallón de San Ignacio	0.46	1.02
Los Islotes	1.38	3.18

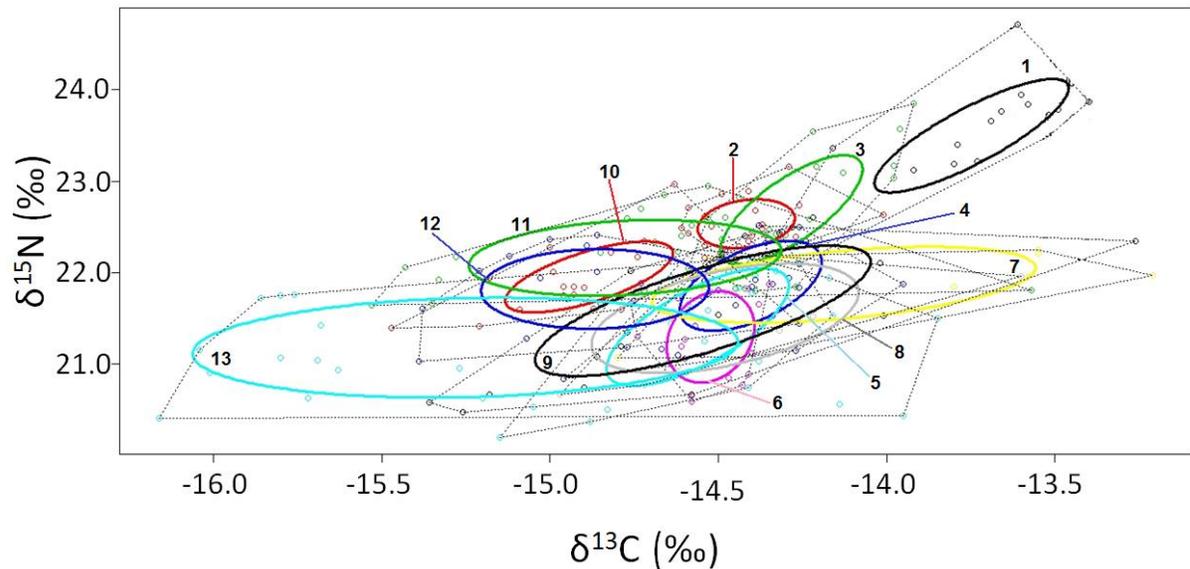


Figura 3.- Nicho isotópico de las 13 colonias reproductoras de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) del Golfo de California: 1) Rocas Consag, 2) San Jorge, 3) Isla Lobos, 4) Isla Granito, 5) Los Cantiles, 6) Los Machos, 7) El Partido, 8) El Rasito, 9) San Esteban, 10) San Pedro Mártir, 11) San Pedro Nolasco, 12) Farallón de San Ignacio y 13) Los Islotes.

8.2.2 Hembras adultas de lobo marino de California

Las hembras mostraron un promedio \pm D.E. de $-14.1 \pm 0.3\text{‰}$ y $20.8 \pm 0.6\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, respectivamente (Tabla X). Se observó un patrón parecido al de las crías, siendo Rocas Consag y Los Islotes las colonias con valores isotópicos más contrastantes (Fig. 4). Rocas Consag presentó valores promedio más altos para $\delta^{13}\text{C}$ de $-13.5 \pm 0.5\text{‰}$ y para $\delta^{15}\text{N}$ de $22.1 \pm 0.5\text{‰}$, mientras que Los Islotes mostró valores más bajos para ambos isótopos con $-14.8 \pm 1.1\text{‰}$ y $19.8 \pm 0.5\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, respectivamente.

Tabla X.- Valores isotópicos promedio \pm D.E. de las hembras adultas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) de las 12 colonias reproductoras del Golfo de California.

Colonia	$\delta^{13}\text{C} \pm \text{D.E.}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N} \pm \text{D.E.}$ (‰)
Rocas Consag	-13.5 \pm 0.5	22.1 \pm 0.5
San Jorge	-14.1 \pm 0.4	21.5 \pm 0.4
Isla Lobos	-13.8 \pm 0.3	21.6 \pm 0.3
Isla Granito	-14.2 \pm 0.2	20.8 \pm 0.9
Los Cantiles	-14.2 \pm 0.2	20.5 \pm 0.4
Los Machos	-13.9 \pm 0.4	20.5 \pm 0.4
El Partido	-14.1 \pm 0.3	20.6 \pm 0.6
El Rasito	-13.8 \pm 0.5	20.4 \pm 0.5
San Esteban	-14.0 \pm 0.2	21.0 \pm 0.5
San Pedro Mártir	-14.2 \pm 0.4	20.5 \pm 0.3
San Pedro Nolasco	-14.3 \pm 0.1	20.6 \pm 0.4
Los Islotes	-14.8 \pm 1.1	19.8 \pm 0.5

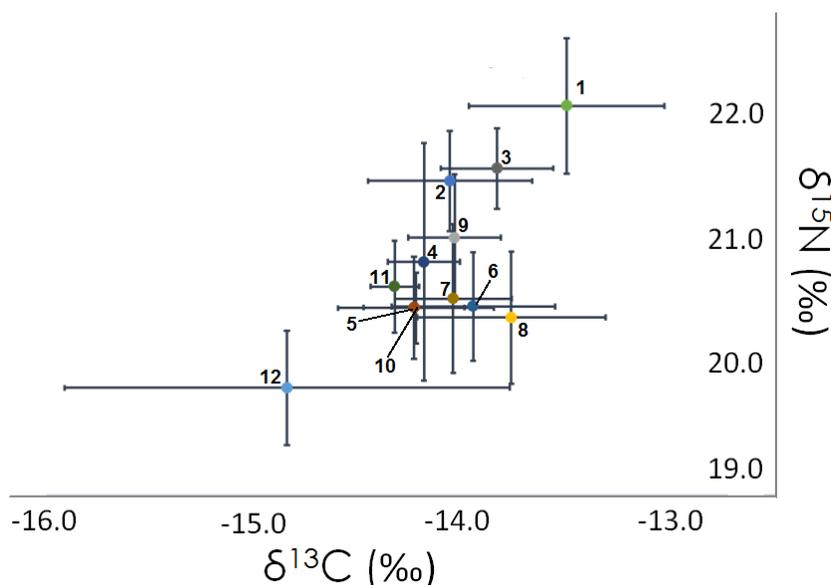


Figura 4.- Valores promedio \pm D.E. de las hembras adultas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en el Golfo de California: 1) Rocas Consag, 2) San Jorge, 3) Isla Lobos, 4) Isla Granito, 5) Los Cantiles, 6) Los Machos, 7) El Partido, 8) El Rasito, 9) San Esteban, 10) San Pedro Mártir, 11) San Pedro Nolasco, 12) Los Islotes.

Para el $\delta^{13}\text{C}$ solo se observaron diferencias significativas entre Rocas Consag y Los Islotes ($p = 0.016$) (Tabla XI). Para el caso del $\delta^{15}\text{N}$, Rocas Consag presentó diferencias estadísticas respecto a Los Cantiles, Los Machos, El Partido, El Rasito, San Pedro Mártir y Los Islotes (Tabla XII).

Tabla XI.- Diferencias entre colonias para $\delta^{13}\text{C}$ de las hembras de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) de las 12 colonias reproductoras del Golfo de California. Las colonias con diferencias significativas ($p < 0.05$) están marcadas en negritas.

Colonia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	-13.5	-14.1	-13.8	-14.2	-14.2	-13.9	-14.0	-13.8	-14.0	-14.2	-14.3	-14.8
1 Rocas Consag												
2 San Jorge	0.861											
3 Isla Lobos	0.999	1.000										
4 Isla Granito	0.878	1.000	0.999									
5 Los Cantiles	0.822	1.000	0.997	1.000								
6 Los Machos	0.983	1.000	1.000	1.000	1.000							
7 El Partido	0.972	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000						
8 El Rasito	1.000	1.000	1.000	0.998	0.995	1.000	1.000					
9 San Esteban	0.974	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000				
10 San Pedro Mártir	0.834	1.000	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	0.995	1.000			
11 San Pedro Nolasco	0.829	1.000	0.995	1.000	1.000	0.999	1.000	0.991	1.000	1.000		
12 Los Islotes	0.016	0.227	0.156	0.826	0.887	0.213	0.601	0.188	0.589	0.876	0.986	

Tabla XII.- Diferencias entre colonias para $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de las hembras de las 12 colonias reproductoras de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) del Golfo de California. Las colonias con diferencias significativas ($p < 0.05$) están marcadas en negritas.

Colonia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	22.1	21.5	21.6	20.8	20.5	20.5	20.5	20.4	21.0	20.5	20.6	19.8
1 Rocas Consag												
2 San Jorge	0.684											
3 Isla Lobos	0.946	1.000										
4 Isla Granito	0.070	0.715	0.682									
5 Los Cantiles	0.006	0.129	0.151	0.998								
6 Los Machos	0.001	0.037	0.065	0.997	1.000							
7 El Partido	0.010	0.203	0.223	1.000	1.000	1.000						
8 El Rasito	0.003	0.075	0.095	0.991	1.000	1.000	1.000					
9 San Esteban	0.212	0.962	0.934	1.000	0.953	0.915	0.983	0.892				
10 San Pedro Mártir	0.005	0.126	0.148	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	0.951			
11 San Pedro Nolasco	0.059	0.565	0.531	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	1.000		
12 Los Islotes	<0.05	<0.05	<0.05	0.153	0.751	0.510	0.612	0.874	0.041	0.757	0.646	

Los nichos isotópicos de las hembras adultas presentaron una distribución similar a las crías (Fig. 5); sin embargo, El Rasito presentó el nicho más amplio con un área de 1.47‰² e Isla Lobos el nicho más pequeño con un área de 0.21‰² (Tabla XIII). Por el bajo número de muestra (n = 2) de San Pedro Nolasco no fue posible obtener el nicho isotópico para esta colonia reproductora.

Tabla XIII.- Áreas de los nichos isotópicos de las hembras adultas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) de 11 colonias reproductoras del Golfo de California. SEAc indica el área de elipse corregida que agrupa los datos con mayor credibilidad y el TA es el área total del polígono, la cual engloba la totalidad de los valores isotópicos.

Colonia	SEAc (‰ ²)	TA (‰ ²)
Rocas Consag	0.47	0.25
San Jorge	0.42	0.65
Isla Lobos	0.21	0.11
Isla Granito	0.56	0.15
Los Cantiles	0.61	0.17
Los Machos	0.52	0.39
El Partido	0.56	0.15
El Rasito	1.47	0.41
San Esteban	0.70	0.19
San Pedro Mártir	0.41	0.11
Los Islotes	0.95	1.22

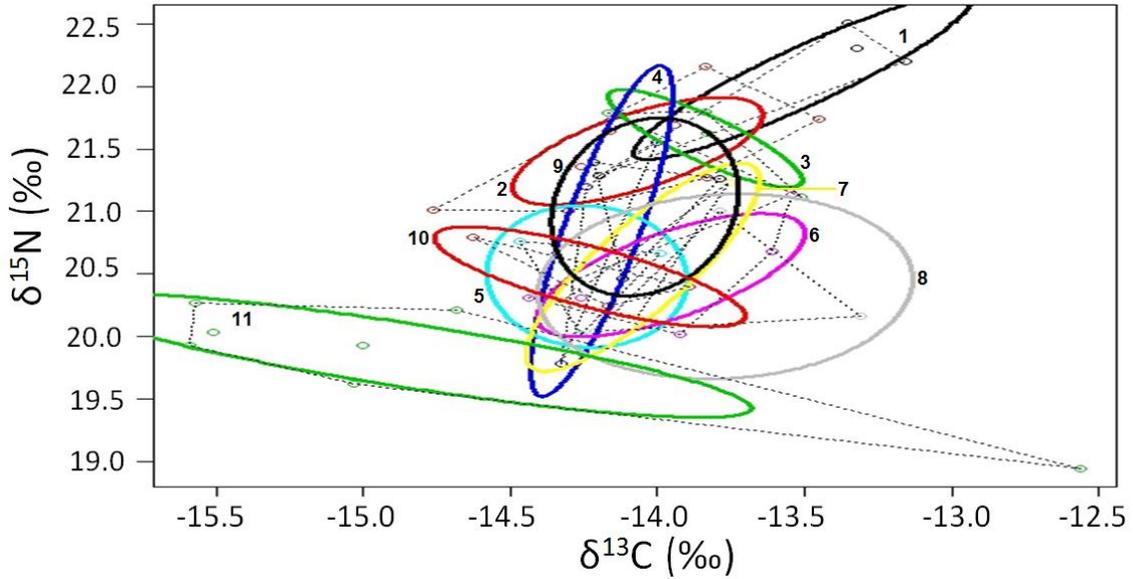


Figura 5.- Nichos isotópicos de las hembras adultas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) de 11 colonias reproductoras del Golfo de California: 1) Rocas Consag, 2) San Jorge, 3) Isla Lobos, 4) Isla Granito, 5) Los Cantiles, 6) Los Machos, 7) El Partido, 8) El Rasito, 9) San Esteban, 10) San Pedro Mártir, 11) Los Islotes.

8.3 Nivel Trófico del lobo marino de California en el Golfo de California

Mediante el algoritmo de Post se calculó el nivel trófico (Tabla XIV) de 12 colonias reproductoras, utilizando los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de zooplancton y de las hembras adultas de lobo marino de California. Isla Granito fue la colonia con nivel trófico más alto (4.6) y El Rasito presentó el nivel trófico más bajo (3.6).

Tabla XIV.- Nivel trófico calculado mediante el algoritmo de Post para las 12 colonias reproductoras del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en el Golfo de California.

Colonia	Nivel Trófico
Rocas Consag	4.2
San Jorge	4.0
Isla Lobos	4.0
Isla Granito	4.6
Los Cantiles	4.3
Los Machos	4.2
El Partido	3.7
El Rasito	3.6
San Esteban	3.8
San Pedro Mártir	3.7
San Pedro Nolasco	4.5
Los Islotes	4.3

8.4 Enriquecimiento isotópico entre crías y hembras adultas de lobo marino de California

Se aplicó el factor trófico de discriminación y se obtuvo el enriquecimiento isotópico entre crías y hembras adultas. Cada colonia presentó valores particulares de enriquecimiento (Tabla XV); sin embargo, para el $\delta^{13}\text{C}$ todas las colonias presentaron una diferencia negativa en crías, con un promedio de -0.41‰ , mientras que para el $\delta^{15}\text{N}$ se observaron diferencias positivas en las crías de todas las colonias $+1.13\text{‰}$. San Pedro Nolasco presentó el mayor valor de enriquecimiento ($+1.51\text{‰}$) en $\delta^{15}\text{N}$. Para el $\delta^{13}\text{C}$ la mayor diferencia se presentó en El Rasito (-0.71‰).

Tabla XV.- Enriquecimiento isotópico entre crías y hembras adultas de las colonias reproductoras de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en el Golfo de California.

Colonia	$\Delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\Delta^{15}\text{N}$ (‰)
Rocas Consag	-0.24	+1.42
San Jorge	-0.35	+1.05
Isla Lobos	-0.44	+1.10
Isla Granito	-0.21	+1.01
Los Cantiles	-0.32	+0.92
Los Machos	-0.57	+0.81
El Partido	-0.08	+1.32
El Rasito	-0.71	+1.10
San Esteban	-0.50	+0.55
San Pedro Mártir	-0.65	+1.47
San Pedro Nolasco	-0.44	+1.51
Los Islotes	-0.40	+1.33

Con el supuesto de que las crías son indicadoras de la dieta de sus madres y debido a que los valores de enriquecimiento fueron diferentes para cada colonia se realizó una regresión lineal para corroborar dicha relación. Para ambos isótopos se obtuvo una relación positiva significativa entre los valores de las crías y las hembras adultas ($\delta^{13}\text{C}$: $R^2 = 0.81$, $p < 0.05$; $\delta^{15}\text{N}$: $R^2 = 0.76$, $p < 0.05$) (Fig. 6 y 7).

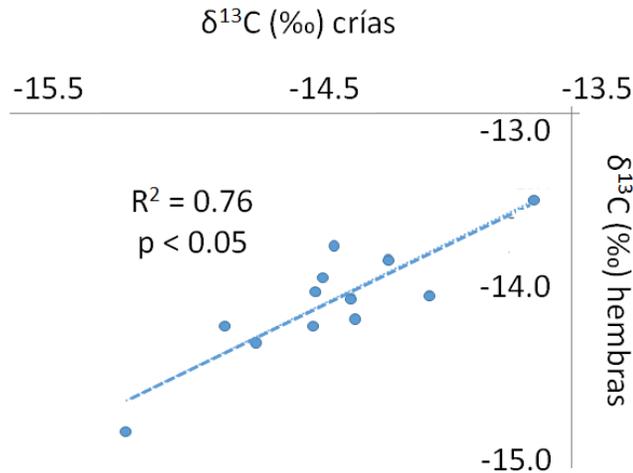


Figura 6.- Relación lineal del $\delta^{13}\text{C}$ entre crías y hembras adultas de 12 colonias reproductoras del Golfo de California.

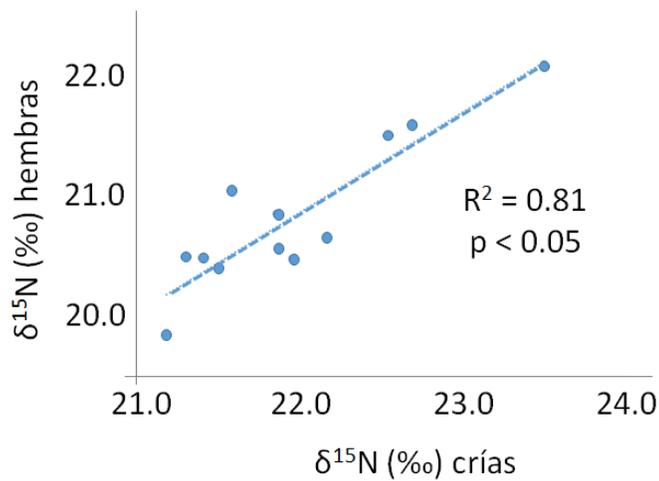


Figura 7.- Regresión lineal del $\delta^{15}\text{N}$ entre crías y hembras adultas de 12 colonias reproductoras del Golfo de California.

Se aplicó la misma ecuación (factor trófico de discriminación) para los 18 individuos emparentados, mostrando valores de enriquecimiento diferentes por cada pareja analizada (Tabla XVI). El valor de enriquecimiento promedio de $\delta^{13}\text{C}$ fue -0.46‰ , mostrando una diferencia negativa entre las nueve parejas; sin embargo, para el caso del $\delta^{15}\text{N}$ ocho parejas mostraron una diferencia positiva con un promedio de $+1.38\text{‰}$, excepto una pareja de San Esteban, con una diferencia negativa (-0.06‰).

La pareja de El Rasito presentó una mayor diferencia en el $\delta^{15}\text{N}$ (+2.16‰). Para el $\delta^{13}\text{C}$ lo fue una de las parejas de San Esteban (-1.0‰).

Tabla XVI.- Enriquecimiento isotópico entre organismos emparentados de lobo marino de California (*Zalophus californianus*).

Colonia	$\Delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\Delta^{15}\text{N}$ (‰)
Rocas Consag	-0.42	+1.64
Isla Granito	-0.30	+0.39
Los Machos	-0.31	+0.99
El Partido	-0.50	+1.81
Rasito	-0.38	+2.16
San Esteban	-0.31	+1.93
San Esteban	-1.00	-0.06
San Pedro Mártir	-0.83	+1.77
Los Islotes	-0.23	+1.48

8.5 Variaciones isotópicas entre crías de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) de la temporada reproductiva 2000-2002 y 2016

Para esta sección se tomaron los resultados disponibles de Porras-Peters *et al.* (2008), con la finalidad de poder realizar comparaciones estadísticas y crear las gráficas correspondientes.

Las crías del periodo reproductivo 2000-2002 mostraron valores promedio de -14.5‰ y 21.0‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (Tabla XVII), respectivamente. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el $\delta^{13}\text{C}$ al comparar las crías de las dos temporadas (promedio crías 2016 = -14.5‰); sin embargo, el $\delta^{15}\text{N}$ fue más alto $\sim +1\%$ en la temporada reproductiva 2016 (promedio crías 2016 = 21.9‰), mostrando una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre ambos periodos (Fig. 8). El nicho isotópico de la temporada reproductiva 2000-2002 mostro un área de $1.0\%_o^2$ (SEAc)

con un área de polígono de 1.65‰² (TA), mientras que en la temporada 2016 se notó una reducción en el nicho isotópico con un SEAc = 0.61‰² y TA = 1.16‰² (Fig. 9).

Tabla XVII.- Comparación de los valores isotópicos de crías reportados para la temporada reproductiva 2000-2002 (tomados de Porras-Peters *et al.*, 2008) y los valores de las crías de la temporada 2016.

Colonia	2000/2002		2016	
	δ13C (‰)	δ15N (‰)	δ13C (‰)	δ15N (‰)
Rocas Consag	-14.1	22.4	-13.7	23.5
San Jorge	-14.1	21.2	-14.4	22.5
Isla Lobos	-14.8	21.5	-14.3	22.7
Isla Granito	-14.9	21.4	-14.4	21.9
Los Cantiles	-15.3	21.4	-14.6	21.4
Los Machos	-14.6	20.1	-14.5	21.3
El Partido	-14.3	20.6	-14.1	21.9
El Rasito	-14.6	20.2	-14.5	21.5
San Esteban	-14.4	20.7	-14.5	21.6
San Pedro Mártir	-14.3	20.5	-14.9	22.0
San Pedro Nolasco	-14.0	21.3	-14.8	22.2
Farallón de San Ignacio	-14.2	21.6	-14.9	21.8
Los Islotes	-15.3	21.2	-15.3	21.2

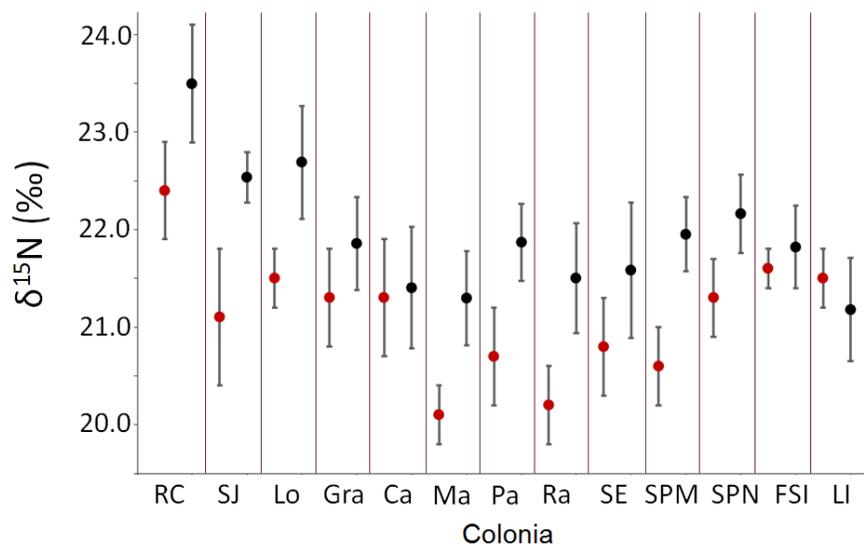


Figura 8.- Diferencias en δ¹⁵N entre las crías de la temporada reproductiva 2000-2002 (puntos rojos) y la temporada 2016 (puntos negros).

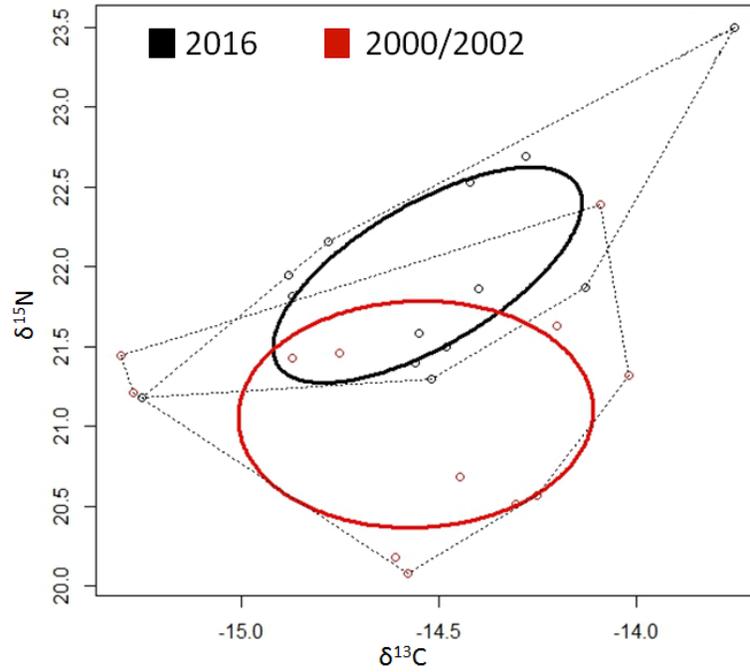


Figura 9.- Nichos isotópicos de lobos marinos de California (*Zalophus californianus*) de la temporada reproductiva 2000-2002 (rojo) y su comparación con la temporada 2016 (negro).

9. DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo muestran una variación isotópica entre las colonias de lobo marino de California del Golfo de California, como consecuencia de una posible segregación alimentaria a lo largo de la región, como la que ya se ha evidenciado en el pasado a través del análisis de excretas (García-Rodríguez y Auriolles-Gamboa, 2004; Porras-Peters *et al.*, 2008). Al comparar con el estudio isotópico de Porras-Peters *et al.* (2008) de hace casi 20 años, se evidenció un incremento actual del $\delta^{15}\text{N}$ en todas las colonias, como resultado de cambios en la base de la cadena trófica (Auriolles-Gamboa *et al.*, 2017) y posibles cambios en la dieta (Sandoval *et al.*, datos en proceso). En este último rubro, el presente estudio detectó un decremento en la amplitud de nicho isotópico actual, con respecto al nicho de hace casi 20 años. Esta aproximación fue posible gracias al uso de crías como indicadores maternos, que aunque presentaron variaciones de enriquecimiento (entre crías y hembras adultas) entre colonias, demostraron ser un indicador confiable.

9.1 Análisis isotópico

9.1.1 Crías de lobo marino de California

Las diferencias isotópicas que se presentaron alrededor de las 13 colonias reproductoras del golfo fueron más marcadas para Rocas Consag y Los Islotes, siendo las colonias más norteña y sureña, respectivamente. Rocas Consag presentó los valores más positivos para ambos isótopos, en comparación con el resto de las colonias. Esto podría deberse a que los lobos de esta región se alimentan de organismos con niveles tróficos más altos (Porras-Peters *et al.*, 2008) y por la presencia de zonas de desnitrificación importantes en el Alto Golfo de California (Aguíñiga-García, 1999); esto genera un enriquecimiento desde la base de la cadena trófica amplificándola hasta el lobo marino de California y otros depredadores como la vaquita marina (*Phocoena sinus*) (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2018).

Por otro lado, las crías de Los Islotes presentaron los valores más negativos para ambos isótopos, lo cual podría estar relacionado a la ubicación de esta colonia. Los Islotes se localiza al sur, cerca de la boca del golfo, por lo que va a exhibir características más oceánicas y es influenciada por el Océano Pacífico (Maluf, 1983), lo que podría estar relacionado con los valores bajos, tanto en el isótopo estable de carbono como de nitrógeno, los cuales parten desde la base de la cadena trófica, con respecto al resto de los que se presentan en el Golfo de California (Altabet *et al.*, 1999; Aurióles-Gamboa *et al.*, 2017).

Lo anterior es evidencia de que la señal isotópica, además de reflejarnos el alimento consumido, nos reflejará las condiciones geoquímicas de la región, las cuales se aprecian isotópicamente desde la materia orgánica particulada en la base de la cadena trófica (Altabet *et al.*, 1999). Creando la presencia de isoterrenos que tienen una influencia sobre depredadores tope como el lobo marino de California del Golfo de California y otras especies de pinnípedos (Burton y Koch, 1999; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018).

Los tamaños de los nichos isotópicos fueron variables a lo largo del golfo, siendo Los Islotes el nicho con mayor amplitud, con un área de elipse corregida de 1.38 ‰², mientras que San Jorge presentó el nicho más reducido con área de elipse corregida de 0.12 ‰². Una posible explicación para esto es la ubicación geográfica de estas colonias. Por un lado San Jorge es una de las colonias más norteñas, localizada en el alto golfo, en la cual los lobos marinos que se encuentran en esta zona no tienen un área muy grande para desplazarse en búsqueda de alimento, arrojándonos un nicho reducido. Por el contrario, Los Islotes es la colonia más sureña dentro del golfo, localizada cerca de la boca del Golfo de California, por lo que los lobos marinos de esa región se alimentan en una zona que se encuentra influenciada por diferentes masas de agua, donde el agua proveniente del Golfo de California presentará un ¹⁵N-enriquecido contrario al agua entrante del Océano Pacífico la cual presenta un ¹⁵N-empobrecido (Álvarez-Borrego *et al.*, 1983), por lo que el nicho generado es el de mayor amplitud, con respecto a otras colonias. Adicionalmente, en un estudio realizado por Kuhn *et al.* (2004), se colocaron transmisores satelitales en seis

hembras adultas de Los Islotes, registrando viajes de alimentación en un radio desde 30 hasta 50 km, lo que podría también explicar la amplitud en el nicho, con hembras que se alimenten cerca o lejos de la costa. Por otro lado, una densidad mayor de individuos dentro de una población ha sido propuesta como un factor que puede dar lugar a una diversificación de dietas (Estes *et al.*, 2003). En este caso, Los Islotes no alberga una colonia con una gran cantidad de individuos, como por ejemplo San Esteban (Szteren *et al.*, 2006); sin embargo es el único asentamiento reproductivo del golfo que pudiera estar alcanzando su capacidad de carga, como resultado de un espacio terrestre limitado por la presencia de más animales en la colonia (Hernández-Camacho *et al.*, 2008), lo que podría ocasionar que los lobos marinos de ese sitio presenten una diversificación de dietas, como estrategia para evitar sobreposición en el uso de recursos.

No obstante, cada nicho presentó variaciones en términos de valores y en la amplitud, lo que sugiere una repartición del nicho isotópico a lo largo de las 13 colonias reproductoras del Golfo de California, dado por un uso diferencial de recursos (presas y hábitat). Con el fin de evitar una sobreposición de recursos entre individuos, estos podrían adoptar diferentes estrategias, como se mencionó anteriormente y que en términos de espectro trófico, ya se han puntualizado en estudios anteriores, tal es el caso de Porras-Peters *et al.* (2008), quienes mediante el análisis de excretas, reportaron una variabilidad regional en la dieta del lobo marino, la cual está basada en peces y cefalópodos. Para las colonias localizadas en la región central del golfo (San Pedro Mártir, San Esteban, El Rasito, El Partido y Los Machos) la dieta estuvo representada por presas de bajo nivel trófico como la sardina Monterrey (*Sardinops sagax*), anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), anchoveta del Pacífico (*Cetengraulis mysticetus*) y cefalópodos como los calamares *Leachia* spp. y *Abraliopsis affinis*. Por otro lado las colonias de la región sur (Los Islotes, Farallón de San Ignacio y San Pedro Nolasco) y región norte (Los Cantiles, Isla Granito e Isla Lobos) se alimentaron de presas con niveles tróficos mayores, tal es el caso del serrano de agua profunda (*Serranus aequidens*), macarela del Pacífico (*Scomber japonicus*), lenguado pecoso (*Citharichthys stigmaeus*), chicharro ojón (*Selar*

crumenophthalmus), merluza norteña (*Merluccius productos*), pez sable (*Trichiurus lepturus*), lagarto (*Synodus* spp.) y lenguado de California (*Paralichthys californicus*).

Esta repartición de recursos, con base en la aproximación isotópica, se ha reportado anteriormente para el lobo marino de California en el Pacífico Mexicano (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013) u otros pinnípedos como el lobo marino de Galápagos (*Zalophus wollebaeki*) (Páez-Rosas y Aurióles-Gamboa, 2010), el lobo fino de Guadalupe (Amador-Capitanachi *et al.*, 2017), el elefante marino del sur (*Mirounga leonina*) (Lewis *et al.*, 2006) e incluso mediante telemetría en especies como el lobo fino del norte (*Callorhinus ursinus*) (Robson *et al.*, 2004). Del mismo modo se conocen casos de diferenciación de estrategias alimentarias en otras especies de mamíferos marinos como los delfines nariz de botella (*Tursiops* sp) (Sargeant *et al.*, 2005) y en nutrias (*Enhydra lutris*) (Estes *et al.*, 2003). La teoría de repartición o variación del nicho fue propuesta por Van Valen (1965), con base en la observación de aves insulares y continentales. Dicha teoría consiste en la expansión del nicho en la ausencia de competencia inter-específica, generada por el incremento de la variación inter-individual en el uso de recursos. En este sentido, la competencia entre individuos con un mismo fenotipo (como serían las hembras de lobo marino de California del Golfo de California), con capacidades fisiológicas y de dispersión similares, pueden forzar la diversificación de estrategias alimentarias, donde la presencia de grupos especializados favorece a la población, mediante la reducción de presión por el consumo de los mismos recursos (Estes *et al.*, 2003).

9.2.1 Hembras adultas de lobo marino de California

Gran parte de los estudios isotópicos en pinnípedos utilizan a la cría como indicador indirecto de la dieta materna; sin embargo, para este trabajo fue posible contar con 48 muestras de hembras adultas a lo largo de 12 colonias reproductoras del golfo (Farallón de San Ignacio siendo la excepción). Lo anterior enaltece la contribución del presente estudio, ya que debido a las complicaciones logísticas de capturar individuos adultos, no es frecuente contar con tamaños de muestra como el que se presenta para este trabajo.

Al igual que las crías, las hembras adultas presentaron variaciones en los valores isotópicos alrededor de las 12 colonias reproductoras del golfo, siendo nuevamente Rocas Consag y Los Islotes las colonias que presentaron los valores más extremos. Sin embargo, estas similitudes eran de esperarse, ya que las crías, al no ser consumidoras independientes, consumirán la leche materna, reflejando así la señal de la madre con un enriquecimiento respectivo, propio del metabolismo de la cría (Newsome *et al.*, 2006; Porras-Peters *et al.*, 2008; Auriolos-Gamboa *et al.*, 2009; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013b). Las explicaciones que se atribuyeron a crías, serían las mismas que se plantearían para las hembras, en términos de un efecto de los procesos de desnitrificación que enriquecen la señal de ^{15}N y la diversidad de ambientes cerca de la boca del golfo, incluyendo una influencia de empobrecimiento de ^{15}N basal por parte del Océano Pacífico (Altabet *et al.*, 1999; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018). En contraste con las crías, fueron pocas las colonias que presentaron diferencias significativas para ambos isótopos estables, posiblemente por un menor número de muestras. Para el caso del $\delta^{13}\text{C}$ las únicas colonias que presentaron diferencia estadística fueron Rocas Consag y Los Islotes, mientras que el $\delta^{15}\text{N}$ fue significativamente distinto entre un mayor número de colonias.

La mayor variación entre valores de $\delta^{15}\text{N}$ puede estar ocasionada por varios factores que pueden ser complementarios, en este trabajo abordaremos dos. El primero podría estar relacionado con la geoquímica basal en la que se encuentra localizada cada colonia; ya que, a lo largo del golfo se localizan zonas de desnitrificación y de surgencias que tienen efecto sobre la materia orgánica particulada (MOP) y la señal isotópica desde la base de la cadena trófica (Altabet *et al.*, 1999; Aguíñiga-García, 1999; Elorriaga-Verplancken, 2016), la cual se va a ver reflejada en los siguientes niveles con su respectivo enriquecimiento, hasta llegar al depredador tope (Minagawa y Wada, 1984; Rau *et al.*, 1992; Kelly, 2000; Auriolos-Gamboa *et al.*, 2009). Existen varios trabajos donde se reportan valores basales (MOP) altos, atribuidos a la presencia de grandes zonas de desnitrificación en el Alto Golfo de California (Aguíñiga-García, 1999). Derivado de lo anterior, trabajos como el de Voss *et al.* (2001), han establecido una relación lineal positiva entre el déficit de nitratos, ocasionado por el proceso bacteriano de desnitrificación y el aumento en los valores

de $\delta^{15}\text{N}$ en la base de la cadena trófica. El segundo factor podría deberse a la preferencia por ciertas presas, las cuales presentan diferentes niveles tróficos ($\delta^{15}\text{N}$) y hábitats ($\delta^{13}\text{C}$). Estos se verán reflejados en los depredadores tope (Porras-Peters *et al.*, 2008; Amador-Capitanachi *et al.*, 2017;), tal es el caso del lobo marino de California.

Del mismo modo que en las crías, se observó una repartición del nicho isotópico en las hembras adultas a lo largo de las colonias reproductoras del golfo, resultando en una baja competencia por los recursos. Las explicaciones de esta diversificación se abordaron anteriormente, por lo que no se redundará en esta sección; sin embargo cabe señalar que aunque ambos grupos (crías y hembras) presentaron esta diversificación, la solidez (número de muestras) de ambos presenta puntos a favor y en contra; el planteamiento de las crías se basó en un gran tamaño de muestra; sin embargo son indicadores indirectos; mientras que las hembras adultas constituyen información directa; sin embargo el tamaño de muestra fue menor. A pesar de lo anterior, independientemente del grupo bajo análisis, en ambos casos se apreció una diversificación isotópica por efecto directo de la base isotópica de la cadena trófica y/o el uso diferencial de recursos.

9.2 Nivel trófico de las hembras adultas de lobo marino de California

El nivel trófico promedio de las 12 colonias reproductoras del golfo fue de 4.1 ± 0.3 , calculado a partir del $\delta^{15}\text{N}$ de hembras adultas. Este valor coincide con el nivel trófico asignado para el lobo marino de California (Jefferson *et al.*, 1993; Lowry *et al.*, 1991). Porras-Peters *et al.*, (2008) reportó un nivel trófico de 3.9 para los lobos marinos de las colonias reproductoras del Golfo de California. Estos valores se encuentran dentro o cerca del intervalo de niveles tróficos para otras especies de pinnípedos, los cuales fueron estimado isotópicamente en el Pacífico Mexicano; p. ej., lobo fino de Guadalupe 3.8, lobo marino de California 3.8, elefante marino del norte 4.2 y foca de puerto 3.7 (Pablo-Rodríguez, 2009).

En el presente trabajo los niveles tróficos más bajos se presentaron en las colonias localizadas en la región de las grandes islas: El Partido 3.7, El Rasito 3.6, San Esteban 3.8 y San Pedro Mártir 3.7. Porrás-Peters (2004) reportó niveles tróficos similares para estas mismas colonias: El Partido 3.6, El Rasito 3.5, San Esteban 4.4 y San Pedro Mártir 3.4. La región donde se presentan estas colonias se caracteriza por la presencia de pelágicos menores con niveles tróficos bajos como los pertenecientes a las familias Clupeidae, Engraulidae y Scombridae (Luch-Cota *et al.*, 1999; Aceves-Medina *et al.*, 2003).

Los lobos marinos de Isla Granito presentaron el nivel trófico más alto (4.6). De acuerdo a estimaciones anteriores, el nivel trófico de los lobos de esta colonia era de 4.0 (García-Rodríguez, 1999; Porrás-Peters *et al.*, 2004).

9.3 Enriquecimiento isotópico entre crías y hembras adultas de lobo marino de California

La mayoría de los estudios isotópicos de pinnípedos utilizan los valores de las crías como monitores de sus madres debido a que estas no son consumidoras independientes y durante sus primeros tres meses de vida se alimentan exclusivamente de la leche materna (Newsome *et al.*, 2006; Aurióles-Gamboa *et al.*, 2006; Aurióles-Gamboa *et al.*, 2009; Páez-Rosas y Aurióles-Gamboa, 2010; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013b). Contrario a lo esperado, cada colonia presentó valores de enriquecimiento particulares entre las crías y las hembras adultas, con un rango de -0.71 a -0.08‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y de +0.55 a +1.5‰ para $\delta^{15}\text{N}$, presentándose en todas las colonias diferencias negativas para el $\delta^{13}\text{C}$ y positivas para el $\delta^{15}\text{N}$.

Este es el primer trabajo que reporta el enriquecimiento isotópico de la mayoría de las colonias reproductoras (12 de 13) del Golfo de California. Porrás-Peters *et al.* (2008) determinaron el enriquecimiento isotópico para los lobos marinos de California de Los Islotes, encontrando una diferencia de -0.8‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ y de +2.1 para $\delta^{15}\text{N}$; sin embargo, los valores isotópicos que se utilizaron fueron de temporadas distintas (crías muestreadas en julio 2002, hembras muestreadas en abril 2003). Otro

trabajo en el que se reportaron valores de enriquecimiento entre crías y hembras adultas es el de Sandoval-Sierra (2016) reportando diferencias de -0.34‰ ($\delta^{13}\text{C}$) y de $+1.5\text{‰}$ ($\delta^{15}\text{N}$) para la colonia de Los Islotes y de $+0.68\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}$ y $+2.0\text{‰}$ para $\delta^{15}\text{N}$ en el Archipiélago San Benito.

Las nueve parejas madre-cría mostraron una tendencia similar en los valores de enriquecimiento. En este sentido, este también es el primer trabajo para el Golfo de California donde se reportan valores de enriquecimiento isotópico entre madre-cría (individuos emparentados) de las colonias reproductoras de lobo marino de California. Un trabajo similar en México, en el que se establecieron estos valores entre madre y cría, utilizando también la matriz del pelo fue el de Elorriaga-Verplancken *et al.* (2016), quienes analizaron el enriquecimiento isotópico de 10 parejas de lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*), reportando un enriquecimiento promedio de -0.2‰ ($\delta^{13}\text{C}$) y $+1.0\text{‰}$ ($\delta^{15}\text{N}$).

En la mayoría de los trabajos se reporta valores de enriquecimiento negativos entre las crías y las hembras adultas para el isótopo estable de carbono. Esto está relacionado con el alto contenido de lípidos que se encuentra en la leche materna de los pinnípedos. En el caso del lobo marino de California, se presenta aproximadamente un 35% de grasa en leche (Pilson y Kelly, 1962). Los lípidos presentan ^{13}C empobrecido (DeNiro y Epstein, 1978), por lo tanto se encuentra enriquecido en ^{12}C , lo que provoca que las crías presenten valores bajos de $\delta^{13}\text{C}$ en comparación con las hembras adultas durante el periodo de lactancia. Esta tendencia en $\delta^{13}\text{C}$ ya había sido reportada en el lobo marino de California, con distintos tejidos bajo análisis (músculo, colágeno y pelo), donde se propuso que las crías pueden usar el carbono de los lípidos de la leche para sintetizar aminoácidos no-esenciales durante periodos de rápido crecimiento (Hobson *et al.*, 1997; Newsome *et al.*, 2006), generado con esto valores isotópicos más bajos en relación con las hembras adultas.

Por otro lado, los valores de enriquecimiento en ^{15}N son reportados en la mayoría de los estudios (Porrás-Peters *et al.*, 2008, Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016, Sandoval-Sierra, 2016). Este enriquecimiento es de esperarse debido a que la leche es generada a partir del catabolismo de grasas y músculo de las madres, por tanto,

al consumir la leche, se presentará una relación como la que se da entre un depredador y su presa (Newsome *et al.*, 2006; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013a; Sandoval-Sierra, 2016), aumentando así la señal isotópica de las crías. Sin embargo, la relación isotópica entre las madres y las crías no es trivial (Jenkins *et al.*, 2001). Factores fisiológicos y bioquímicos durante la lactancia pueden producir variaciones como las que se encontraron en este trabajo. El estrés fisiológico puede generar un enriquecimiento adicional de ^{15}N , el cual es provocado por el reciclamiento de nitrógeno a partir de proteínas lábiles en músculo (Kurle y Worthy, 2001); no obstante, tratamos de evitar este factor mediante el muestreo de crías que aparentemente presentaban una condición corporal similar, descartando individuos emaciados o aparentemente enfermos. Mientras que un decremento en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ puede ser causado por un balance positivo de nitrógeno dentro de la síntesis de proteínas, que se presenta en la gestación o lactancia (Kurle, 2002). Sin embargo, este factor no debería haber causado un efecto entre nuestro grupo de estudio, ya que el muestreo se realizó sobre crías de 1-2 meses de edad, descartando gestación o una lactancia prolongada.

Una posible explicación a estas variaciones en los valores de enriquecimiento del $\delta^{15}\text{N}$ a lo largo de las colonias del golfo podría estar más relacionada al contenido proteico de las presas consumidas por parte de las madres que alimentaron a las crías que se muestrearon. La calidad de la proteína y la concentración de nitrógeno (C: N) en la dieta (Robbins *et al.*, 2005; Pearson *et al.*, 2003), varían según la especie. Como ya se ha mencionado anteriormente, estudios realizados en el Golfo de California muestran que los lobos marinos de California consumen una gran variedad de presas y de modo distinto entre colonias (Aurioles-Gamboa *et al.*, 1984; Orta-Dávila, 1988; Gutiérrez 2003; García-Rodríguez y Aurioles-Gamboa, 2004), generando diferencias en los valores isotópicos. Este es un factor que no fue posible controlar en el presente estudio y se plantea como hipótesis principal para explicar las variaciones en enriquecimiento isotópico entre colonias.

9.4 Variaciones isotópicas entre crías de lobo marino de California de las temporadas reproductivas 2000-2002 y 2016

Al comparar los valores isotópicos de ambas temporadas se evidenció un incremento en la señal de $\delta^{15}\text{N}$ de $\sim+1.0\%$ en las crías de la temporada reproductiva 2016 con respecto a los valores reportados por Porrás-Peters *et al.* (2008) para las crías de la temporada 2000-2002. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ fueron los mismos (promedio de -14.5%) para ambas temporadas reproductivas.

En la mayoría de las colonias (excepto Los Islotes) se observaron valores más altos de $\delta^{15}\text{N}$ en la temporada 2016. Porrás-Peters *et al.* (2008) reportaron un decremento en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en las colonias de la zona de las grandes islas (Los Machos, El Partido, El Rasito, San Esteban y San Pedro Mártir), con respecto a colonias más al norte o al sur dentro del golfo. Esto lo atribuyeron al consumo de pelágicos menores con bajo nivel trófico alrededor de las Grandes Islas, tal es el caso de *Engraulis mordax*, *Sardinops sagax*, cefalópodos como *Leachia* sp. y *Abraliopsis affinis*, especies de gran abundancia en esta región. En el presente trabajo los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de las colonias de las grandes islas no presentaron un decremento tan marcado en la señal de $\delta^{15}\text{N}$ en comparación con el resto de las colonias. De hecho Los Islotes mostró un $\delta^{15}\text{N}$ menor. Lo anterior podría estar relacionado con la disminución de la abundancia de pelágicos menores como la sardina y la anchoveta (Saldívar-Lucio *et al.*, 2013), especies que eran reportadas como de alta importancia por Porrás-Peters *et al.* (2008) hace cerca de 20 años. En ambos periodos (2000-2002 y 2016) Rocas Consag fue la colonia que presentó los niveles de $\delta^{15}\text{N}$ más altos, Porrás-Peters (2004) reportó a *Cetengraulis mysticetus* como la presa principal de los lobos de esta colonia, sin embargo, este es un organismo filtrador con nivel trófico bajo, lo cual no explica los altos niveles de $\delta^{15}\text{N}$ en los lobos de esta colonia. Por esta razón se atribuyó este aumento isotópico a los procesos de desnitrificación que operan sobre el alto golfo (Aguíñiga-García, 1999), enriqueciendo el ^{15}N desde la base de la cadena trófica.

Los nichos isotópicos de ambos periodos también presentaron diferencias. Se observó una reducción en el nicho isotópico del 0.4% ² en las crías de la temporada

reproductiva 2016, así mismo, un aumento general en los valores de $\delta^{15}\text{N}$. Atribuimos la reducción en el nicho isotópico y el aumento en el $\delta^{15}\text{N}$ a dos posibles factores que no son mutuamente exclusivos: 1) las condiciones ambientales en el Golfo de California se han tropicalizado, lo que ocasiona una somerización de la capa mínima de oxígeno, un incremento inherente en la desnitrificación y por tanto un ^{15}N -enriquecido desde la base de la cadena trófica (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2017), el cual es un fenómeno bacteriano que como ya se explicó anteriormente, provoca un déficit de nitratos que habitualmente empobrece el ^{15}N , en este caso ocasionando el efecto contrario (Voss *et al.*, 2001), 2) el lobo marino de California incrementó su posición trófica por la disminución de la abundancia de sardina.

Se ha reportado que anomalías oceanográficas que provocan un incremento en la temperatura superficial del mar, tal es el caso de El Niño o la variabilidad interdecadal del Océano Pacífico afectan las condiciones del Golfo de California (Lavin *et al.*, 2003; López *et al.*, 2006), y por ende, producen cambios en la abundancia y la estructura de las comunidades. Recientemente, se relacionó la presencia sin precedente de orcas falsas (*Feresa attenuata*) en el sur del Golfo de California, con el incremento de la temperatura superficial del mar en aguas adyacentes de Bahía de La Paz, por el efecto de La Mancha a finales de 2014 (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016), la cual se catalogó como una anomalía importante de temperatura cálida en el Pacífico Norte durante ese periodo y hasta 2016 (Kintisch, 2015). Si estos cambios se presentan a nivel de depredadores tope, no es sorprendente que esto tenga efecto en la base de la cadena trófica o cerca de ella, a nivel de pelágicos menores que son importantes dentro de la cadena trófica. Saldívar-Lucio *et al.* (2013) realizaron una compilación de las capturas de sardina en el Golfo de California desde 1970 hasta 2008, generando una predicción de la población hasta 2099. Ellos describen una disminución drástica de la población de sardina a partir del año 2008. Esta disminución podría ser una de las principales causas que orillaron al lobo marino de California a alimentarse de otras especies con niveles tróficos mayores, lo que podría generar un aumento en los niveles de $\delta^{15}\text{N}$. Esta disminución de la sardina se ha relacionado con el declive poblacional del lobo marino en algunas colonias en el Golfo de California (Szteren *et al.*, 2006) y en otras

colonias del Océano Pacífico (Keledjian y Mesnick, 2013; McClatchie *et al.*, 2016). Aunque la disminución de las colonias en el Golfo de California se planteó a inicios de los 2000, hay evidencia reciente que señala que esta tendencia negativa continua para prácticamente todas las colonias del golfo (Adame-Fernández *et al.*, 2017). Del mismo modo que un cambio hacia niveles tróficos mayores podría incrementar la señal de $\delta^{15}\text{N}$, esta disminución de sardina podría ocasionar una reducción en el nicho isotópico del lobo marino de California, debido a que ya no hay un efecto (o contribución) de presas con baja posición trófica que estén expandiendo el nicho hacia valores bajos de $\delta^{15}\text{N}$ en el espacio δ , como sucedía en el pasado (Porras-Peters *et al.*, 2008)

Anomalías oceanográficas o condiciones que particularmente derivan en un cambio hacia una alimentación que no es óptima, tienen un efecto potencial directo sobre el estado de salud de los lobos marinos de California. Banuet-Martínez *et al.* (2017) encontraron una relación entre las anomalías de la temperatura superficial del mar (e. ej. El Niño y La Mancha) y la inmuno-competencia de crías de lobo marino de California. Durante eventos con temperatura superficial alta se reportan crías con condición corporal y niveles de glucosa bajos sugiriendo una malnutrición. Además se observó que las crías que nacían durante un proceso anómalo de la temperatura superficial del mar tenían mostraban una inmuno-depresión, lo que las hace más susceptibles a enfermedades.

En el rubro de dieta se pone de manifiesto que es de vital importancia seguir generando información a partir del análisis de excretas, como los que llevaron a cabo García-Rodríguez y Auriol-Gamboa (2004) y Porras-Peters *et al.* (2008) dentro del Golfo de California. En un estudio paralelo (Sandoval-Sierra *et al.*, datos en proceso) a este trabajo, se analizó (identificación, cálculo del índice de importancia relativa y nivel trófico; García-Rodríguez y De la Cruz Agüero, 2011) un muestreo exploratorio de excretas a lo largo de estas colonias durante la temporada reproductiva 2016. Cabe señalar que el tamaño de muestra es bajo (N= 58), por lo que no cuenta con la solidez estadística de los estudios ya mencionados. Sin embargo, a modo de aproximación, el mencionado muestreo evidencio una proporción alta de ítems de la

familia Myctophidae (32%) y una baja proporción de sardina (*Sardinops sagax*) y otras especies de posición trófica baja, p.e. *Anchoa* sp. (aprox. 1% para cada una) en la dieta del lobo marino de California, presentando un nivel trófico de 4.5, contrastando de modo notable con los hallazgos de los estudios anteriores, donde la sardina representaba el 5.5% de la dieta, los mictófidos ocupaban apenas el 4.2% y el nivel trófico estimado era 3.9 (Porrás-Peters *et al.*, 2008). Evidenciando un drástico aumento en la proporción de mictófidos y una aparente disminución en pelágicos menores de posición trófica baja, apoyando la hipótesis de un incremento de posición trófica en los últimos 20 años, sin dejar de lado el ¹⁵N-enriquecimiento basal propuesto por Aurióles-Gamboa *et al.* (2017). Cabe mencionar que los valores generados a partir del muestreo exploratorio de excretas tienen que tomarse con precaución, ya que el número de muestra es limitado.

10. CONCLUSIONES

- Tanto las crías como las hembras adultas del lobo marino de California presentaron nichos isotópicos con diferentes valores y amplitudes a lo largo de las colonias del Golfo de California. Esto puede deberse a: 1) una repartición del nicho isotópico, como resultado de uso diferencial de recursos y 2) a un factor de variación isotópica basal entre regiones, como la que se presenta por procesos variables de desnitrificación.
- A pesar de que los valores de enriquecimiento isotópico entre crías y hembras adultas variaron entre colonias, se corroboró que es factible utilizar a las crías como indicadores indirectos de la dieta de sus madres.
- Al comparar a las crías de las temporadas reproductivas 2000-2002 con las de la temporada 2016, se encontró una reducción en el nicho isotópico en estas últimas, así como valores más altos de $\delta^{15}\text{N}$, posiblemente ocasionado por cambios isotópicos basales de las cadenas tróficas del Golfo de California y/o cambios en la disponibilidad de sus presas, este último relacionado con el declive de presas de baja posición trófica, como es la sardina.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Aceves-Medina, G., A. P. Jiménez-Rosenberg, A. Hinojosa-Medina, R. Funéz-Rodríguez, R. J. Saldierna, D. Luch-Belda, P. E. Smith & W. Watson. 2003. Fish larvae from the Gulf of California. *Scientia Marina*, 67(1): 1-11.
- Adame-Fernandez, K., F. R. Elorriaga-Verplancken, M. Pardo & K. Acevedo-Whitehouse. 2017. Current California sea lion abundance and distribution in the Gulf of California, México. *22nd Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals*.
- Aguñiga-García, S. 1999. *Geoquímica de la Cuenca estuarina del Río Colorado: $\delta^{15}N$, $\delta^{13}C$ y biomarcadores lipídicos en sedimentos superficiales*. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México. 155 p.
- Altabet, M. A., C. Pilskaln, R. Thunell, C. Pride, D. Sigman, F. Chavez & R. Francois. 1999. The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the Eastern North Pacific. *Deep-sea research*, 46: 655-679.
- Álvarez-Borrego, S. 1983. The Gulf of California. *Ecosystems of the world: Estuaries and enclosed seas*. Ed. Ketchum, B.H. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, 427-449.
- Álvarez-Borrego, S. & J. R. Lara-Lara. 1991. Physical environment and primary productivity of the Gulf of California. *American Association Petrology Geological Memories*, 47: 555-567.
- Antonelis, G.A. & H.C. Ficus. 1980. The pinnipeds of California current. *California Cooperative Fish Investigations Reports*, 21: 68-70.
- Antonelis, G.A., C. H. Fiscus, & R. L. De Long. 1984. Spring and summer prey of the California sea lions, *Zalophus californianus*, at San Miguel Island, California, 1978-79. *Fishery Bulletin*, 82 (1): 67-75.

- Aurioles-Gamboa, D., C. Fox, F. Sinsel & T. Grayeb. 1984. Prey of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in La Paz B.C.S., Mexico. *Journal of Mammalogy*, 65: 519-521.
- Aurioles-Gamboa, D. & A. Zavala. 1994. Algunos factores ecológicos que determinan la distribución y abundancia del lobo marino *Zalophus californianus*, en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 20(4): 535-553.
- Aurioles-Gamboa, D., P. Koch & B. Le Boeuf. 2006. Differences in foraging location of mexican and california elephant seals: evidence from stable isotope in pups. *Marine Mammal Science*, 22(2): 326-338.
- Aurioles-Gamboa, D., S. Newsome, S. Salazar-Pico & P. Koch. 2009. Stable isotope differences between sea lions (*Zalophus*) from the Gulf of California and Galápagos Islands. *Journal of Mammalogy*, 90(6): 1410-1420.
- Aurioles-Gamboa, D., N. Silverberg & F. Aguirre-Bahena. 2017. Possible relation between enrichment of $\delta^{15}\text{N}$ in the top predator *Zalophus californianus* and the expansión of the oxygen minimum zone. *Marine Biology*, 164:157.
- Banuet-Martínez M., W. Espinosa-de Aquino, F. R. Elorriaga-Verplancken, A. Flores-Morán, O. P. García, M. Camacho y K. Acevedo-Whitehouse. 2017. Climatic anomaly affects the immune competence of California sea lions. *PLoS ONE* 12(6): e0179359.
- Bauer, R.D., R.S. Peterson & V.B. Scheffer. 1964. Age of northern fur seal at completion of its first moult. *Journal of Mammalogy*, 45(2): 299-300.
- Beier, E. 1997. A numerical of the anual variability in the Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*, 27(5): 615-632.
- Beier, E. & P. Ripa. 1998. Seasonal gyres in the northern Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*, 29: 305-311.
- Boness, D.J. & W.D. Bowen. 1996. Evolution of maternal care in pinnipeds. *Biosciens*, 46: 645-654.

- Carretta, J., K. Forney, M. Muto, J. Barlow, J. Baker, B. Hanson & M. Lowry. 2007. U.S. Pacific Marine Mammal Stock Assessments: 2006. *NOAA Technical Memorandum NMFS*, Enero. 321 p.
- DeNiro, M.J. & S. Epstein. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 42: 495-506.
- DeNiro, M. J. & S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 45: 341-353.
- Elorriaga-Verplancken, F. 2009. *Variación de $\delta^{15}N$ y $\delta^{13}C$ en colágeno dental de lobos marinos del género *Zalophus*: patrones ontogénicos y geográficos*. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas- IPN, La Paz, BC.S., México. 163 p.
- Elorriaga-Verplancken, F., D. Aurióles-Gamboa, S.D. Newsome & S. Martínez-Díaz. 2013a. $\delta^{15}N$ and $\delta^{13}C$ values in dental collagen as a proxy for sex and age variation in foraging strategies of California sea lions. *Marine Biology*, 160: 641-652.
- Elorriaga-Verplancken F., L. Hadrys, X. Moreno-Sánchez & I. Mendoza-Salas. 2013b. Inferences on the Diet of the Eastern Pacific Harbor Seal (*Phoca vitulina richardii*) at the Southern End of Its Distribution: Stable Isotopes and Scats Analyses. *Aquatic Mammals*, 39: 415-421.
- Elorriaga-Verplancken, F. R., A. Juárez-Ruiz, M. Aquino-Baleytó, F. Galván-Magaña & S. Aguíñiga-García. 2016. Isotopic variation between adult female Guadalupe fur seal and their offspring: Implications of the use of neonates as proxies for maternal foraging. *Aquatic Mammals*, 42: 268-276.
- Elorriaga-Verplancken, F. R., G. E. Sierra-Rodríguez, H. Rosales-Nanduca, K. Acevedo-Whitehouse & J. Sandoval-Sierra. 2016. 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, Mexico. *PLoS One* 11(5): e0155034.

- Elorriaga-Verplancken, F. R., H. Rosales-Nanduca, A. Paniagua-Mendoza, S. Martínez-Aguilar, A. Nader-Valencia, R. Robles-Hernández, F. Gómez-Díaz & R. J. Urbán. 2016. 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., J. Sandoval-Sierra, A. Paniagua-Mendoza & R. Robles. 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.
- Estes, J. A., M. L. Riedman, M. M. Staedler, M. T. Tinker & B. E. Lyon. 2003. Individual variation in prey selection by sea otters: patterns, causes and implications. *Journal of Animal Ecology*, 72: 144-155.
- Fiscus, C. H. & G. A. Baines. 1966. Food and feeding behavior of Steller and California sea lions. *Journal of mammalogy*, 47 (2): 195-200.
- France, R.L. 1995. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: Foodweb implications. *Marine Ecology Progress Series*, 124: 307-312.
- Francis, J.M. & C. Heath. 1991. The effects of El Niño on the frequency and sex ratio of suckling yearlings in the California sea lion. En: Pinnipeds and El Niño. *Responses to environmental stress*. Trillmich, F. y K. Ono (eds.). Springer-Verlag, Berlin. 193-201.
- García-Aguilar, M. C. & D. Aurióles-Gamboa. 2003. Maternal care in the California sea lion at Los Islotes, Gulf of California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 29(4B): 573–583.
- García-Aguilar, M. C. & D. Aurióles-Gamboa. 2003. Breeding season of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Aquatic Mammals*, 29(1): 67-76.

- García-Rodríguez, F. J. 1999. *Cambios espaciales y estacionales en la estructura trófica y consumo del lobo marino de California *Zalophus californianus*, en la región de las grandes islas, Golfo de California*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas- IPN. La Paz, B.C.S., México. 85 p.
- García-Rodríguez, F. J. & D. Aurióles-Gamboa. 2004. Spatial and temporal variation in the diet of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, México. *Fishery Bulletin*. 102(1): 47-62.
- Hernández-Camacho, C. Aurióles-Gamboa, D. Laake, J. & L. Gerber. 2008. Survival rates of the California sea lion, *Zalophus californianus*, in México. *Journal of Mammalogy*, 89(4): 1059–1066.
- Hobson, K.A. 1990. Stable isotope analysis of marine bled murrelets: evidence for freshwater feeding and determination of trophic level. *Condor*, 92: 897-903.
- Hobson, K.A & G.R. Clark. 1992a. Assessing avian diets using stable isotopes I: Turnover of ^{13}C in tissues. *Condor*, 94: 181-188.
- Hobson, K.A, F.J. Piatt & J. Pitocchelli. 1994. Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. *Journal of Animal Ecology*, 63: 786-798.
- Hobson, K.A, M.D. Schell, D. Renouf & E. Noseworthy. 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.
- Hobson, K. A., J. L. Sease, R. L. Merrick & J. F. Piatt. 1997. Investigating trophic relationships of pinnipeds in Alaska and Washington using stable isotope ratios of nitrogen and carbón. *Marine Mammal Science*, 13: 114-132.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks: Cold Spring Harbor symposium. *Quantitative Biology*, 22: 415-27.
- Hutchinson, G.E. 1978. An introduction to population biology. New Haven, CT: Yale University Press.

- Jackson, A. L., R. Inger, A. C. Parnell & S. Bearhop. 2011 Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER—stable isotope Bayesian ellipses in R. *Journal of Animal Ecology*, 80(3): 595–602.
- Jefferson, T.A., S. Leatherwood & M.A. Webber. 1993. Marine mammals of the world. FAO Species Identification Guide. *Food and Agriculture Organization*. Roma. 320 p.
- Jenkins, S. G., S. T. Partridge, T. R. Stephenson, S. D. Farley & C. T. Robbins. 2001. Nitrogen and carbón isotope fractionation between mothers, neonates, and nursing offspring. *Oecología*, 129: 336-341.
- Keledjian, A. J. & S. Mesnick. 2013. The impacts of El Niño conditions on California sea lion (*Zalophus californianus*) fisheries interactions: Predicting spatial and temporal hotspots along the California coast. *Aquatic Mammals*, 39(3): 221-232.
- King, J. E. 1983. Seals of the world. *Cornell University Press*. Nueva York, Estados Unidos. 240 p.
- Kintisch E. 2015. The Blob invades Paficif, flummoxing climate experts. *Marine Science*, Vol, 348, 17-18p.
- Kuhn, C. E., D. Aurióles-Gamboa & D. P. Costa. 2004. Habitat utilization, diving and foraging behavior of adult female California sea lions (*Zalophus californianus*). *XXIX Reunión Internacional para el Estudio de Mamíferos Marinos*. La Paz, B.C.S., México. 78 p.
- Kurle, C. M. & G. A. J. Worthy. 2001. Stable isotope assessment of temporal and geographic differences in feeding ecology of northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) and their prey. *Oecologia*, 126: 254-265.
- Kurle, C. M. & G. A. J. Worthy. 2002. Stable nitrogen and carbón isotopes ratios in multiple tissues of the northern fur seal *Callorhinus ursinus*: Implications for dietary and migratory reconstructions. *Marine Ecology Progress Service*, 236: 289-300.

- Lavín, M. F., E. Palacios-Hernández & C. Cabrera. 2003. Sea Surface temperatura anomalies in the Gulf of California. *Geofísica Internacional*, 42: 363-375.
- Lavín, M. F. & S. G. Marinone. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. En: Velasco-Fuentes OU et al. (eds.), *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 173-204 p.
- Le Boeuf, B., D. Aurióles-Gamboa, R. Condit, C. Fox, R. Gisiner, R. Romero & F. Sinsel. 1983. Size and distribution of the California sea lion (*Zalophus californianus*) population in México. *Proceedings of the California Academy of Science*, 43(7): 77-85.
- Lewis, R., T. C. O'Connell, M. Lewis, C. Campagna & A. R. Hoelzel. 2006. Sex-specific foraging strategies and resource partitioning in the southern elephant seal (*Mirounga leonina*). *Proceedings of the Royal Society B*, 273: 2901-2907.
- López, M., J. Candela & M. L. Argote. 2006. Why does the Ballenas Channel have the coldest SST in the Gulf of California?. *Geophysical Research Letters*, 33: L11603.
- Loor-Andrade, P., F. Galván-Magaña, F. Elorriaga-Verplancken, C. Polo-Silva & A. Delgado-Huerta. 2015. Population and individual foraging patterns of two hammerhead sharks using carbon and nitrogen stable isotopes. *Rapid Communication Mass Spectrom*, 29: 821-829.
- Lowry, M. S., B. S. Stewart, C. B. Heath, P. K. Yochem, & J. M. Francis. 1991. Seasonal and annual variability in the diet of the California sea lions *Zalophus californianus* at San Nicolas Island, California, 1981-1986. *Fishery Bulletin*, 89 (2): 331-336.
- Lowry M.S. & O. Maravilla. 2005. Proceedings of the sixth California islands symposium, Ventura, California, December 1-3, 2003. *National Park Service Technical Publication CHIS-05-01*, Institute for Wildlife Studies. Arcata. California.
- Lluch-Cota, S. E., D. B. Lluch-Cota, D. Lluch-Belda, M. O. Nevárez-Martínez, A. Parés-Sierra & S. Hernández-Vázquez. 1999. Variability of sardine catch as related to

- enrichment, concentration and retention processes in the central Gulf of California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Reports*, 40: 184-190.
- Lluch-Cota, S E., E. A. Aragón-Noriega, F. Arregín-Sánchez, D. Aurióles-Gamboa, J. J. Bautista-Romero, R. C. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortés-Altamirano, P. Del-Monte-Luna, A. Esquivel-Herrera, G. Fernández, M. E. Hendrickx, S. Hernández-Vázquez, H. Herrera-Cervantes, M. Kahru, M. Lavín, D. Lluch-Belda, D. B. Lluch-Cota, J. López-Martínez, S. G. Marinone, M. O. Nevárez-Martínez, S. Ortega-García, E. Palacios-Castro, A. Parés-Sierra, G. Ponce-Díaz, M. Ramírez-Rodríguez, C. A. Salinas-Zavala, R. A. Schwartzlose & A. P. Sierra-Beltán. 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenge. *Progress in Oceanography* 73: 1-26.
- Maluf, L.Y. 1983. The Physical Oceanography, 26-45. En: Case, T. J. & M. L. Cody (Eds.) *Island Biogeography in the Sea of Cortez*. University of California Press, Berkeley.
- Marinone, S. G. 2003. A three dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 108: 21-27.
- Martínez Del Rio, C., N. Wolf, S. A. Carleton, & L. Z. Gannes. 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biological Reviews*.
- McClatchie, S., J. Field, A. R. Thompson, T. Gerrodette, M. Lowry, P. C. Fiedler, W. Watson, K. M. Nieto & R. D. Vetter. 2016. Food limitation of sea lion pups and the decline of forage off central and southern California. *Royal Society Open Science*, 3: 150628.
- Minagawa. M. & E. Wada. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 48: 1135-1140.
- Navarro-Olachea, L. F., M. F. Lavín, L. G. Alvarez-Sánchez & A. Zirino. 2004. Internal structure of SST features in the central Gulf of California. *Deep Sea Research*, 51: 673-687.

- Newsome, S. D., Koch, P. L., Etnier, M. A., & Aurioles-Gamboa, D. 2006. Using carbon and nitrogen isotope values to investigate maternal strategies in Northeast Pacific otariids. *Marine Mammal Science*, 22(3), 556–572.
- Newsome, S., C. Martínez del Río, S. Bearhop & D. Phillips. 2007. A niche for isotopic ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(8): 429-436.
- Odell, D. K. 1975. Breeding biology of the California sea lion, *Zalophus californianus*. *Rapports et Procés-verbeaux des Réunions Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 169: 374-378.
- Ono K. A. y D. J. Boness. 1991. The influence of El Niño on mother-pup behavior, pup ontogeny, and sex ratios in the California sea lion. En: Trillmich F., Ono K. A., editor. *Pinnipeds and El Niño: Responses to Environmental Stress*- Springer-Verlag, Nueva York, 185-192 p.
- Orta-Dávila, F. 1988. *Hábitos alimentarios y censos globales del lobo marino (Zalophus californianus) en el Islote El Racito, Bahía de las Ánimas, Baja California, México, durante octubre 1986-1987*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, México. 59 p.
- Ortega-Ortiz, C., F. Elorriaga-Verplancken, A. Olivos-Ortiz, M. Liñán-Cabello & M. Vargas-Bravo. 2014. Insights into the Feeding Habits of False Killer Whales (*Pseudorca crassidens*) in the Mexican Central Pacific. *Aquatic Mammals*, 40(4): 386-393.
- Owens, P.J.N. 1987. Natural variations in ^{15}N in the marine environment. *Advances in Marine Biology*, 24: 389-451.
- Pablo-Rodríguez, N. 2009. *Amplitud, nivel y superposición trófica de los pinnípedos de Islas San Benito B.C. México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas- IPN. México. 110 p.
- Páez-Rosas D. & D. Aurioles-Gamboa. 2010. Alimentary niche partitioning in the Galapagos sea lion, *Zalophus wolfebaeki*. *Marine Biology*, 157: 2769-2781.

- Pearson, S. F., D. J. Levey, C. H. Greenberg & C. Martínez del Rio. 2003. Effects of elemental composition on the incorporation of dietary nitrogen and carbón isotopic signature in an omnivorous songbirds. *Oecologia*, 135: 516-523.
- Peterson R. & G. Bartholomew. 1967. The natural history and behavior of the California sea lion. *American Society of Mammals Species*, 1: 79 p.
- Pilson, E. E. Q. & A. L. Kelly. 1962. Comparison of the milk from *Zalophus californianus*, the California sea lion. *Science*, 135: 104-105.
- Porras-Peters, H. J. 2004. *Nivel, amplitud y superposición trófica de las colonias de lobo marino Zalophus californianus del Golfo de California, México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas- IPN. México. 81 p.
- Porras-Peters, H., D. Aurióles-Gamboa, V. Cruz-Escalona & P. Koch. 2008. Trophic level and overlap of sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science*, 24(3): 554-576.
- Post, D. M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position models methods, and assumptions. *Ecology*, 83(3): 703-718.
- Robbins, C. T., L. A. Felicetti & M. Sponheimer. 2005. The effect of dietary protein quality on nitrogen isotope discrimination in mammals and birds. *Oecologia*, 144: 534-540.
- Robson, B. W., M. E. Goebel, J. D. Baker, R. R. Ream, T. R. Loughlin, R. C. Francis, G. A. Antonelis & D. P. Costa. 2004. Separation of foraging habitat among breeding sites of a colonial marine predator, the northern fur seal (*Callorhinus ursinus*). *Canadian Journal of Zoology*, 82: 20-29.
- Roden, G. I. 1958. Oceanographic and meteorological aspects oh the Gulf of California. *Pacific Science*, 12(1): 21-45.
- Rodríguez-Pérez, M. Y., D. Aurióles-Gamboa, L. Sánchez-Velásco, M. F. Lavín & S. D. Newsome. 2018. Identifying critical habitat of the endangered vaquita (*Phocoena*

- sinus) with regional $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isoscapes of the Upper Gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science*, 10.1111/mms.12483.
- Saldívar-Lucio, R., C. Salvadeo, D. Lluch-Belda & H. Villalobos. 2013. Proyecciones de la captura de sardina monterrey en la Costa Occidental de Baja California y el Golfo de California. *Segundo Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático*.
- Sánchez-Arias, M. 1992. *Contribución al conocimiento de los hábitos alimentarios del lobo marino de California Zalophus californianus en las Islas Ángel de la Guarda y Granito, Golfo de California, México*. Tesis de Licenciatura. UNAM. México. 63 p.
- Sandoval-Sierra, J. 2016. *Nichos isotópicos de dos colonias de lobo marino de California (Zalophus californianus): Análisis de amplitud y de la relación entre crías y adultos*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., México. 71 p.
- Sargeant, B. L., J. Mann, P. Berggren & M. Krutzen. 2005. Specializations and development of beach hunting, a rare foraging behavior, by wild bottlenose dolphins (*Tursiops sp.*). *Canadian Journal of Zoology*, 83: 1400-1410.
- Sinisalo, T., R. I. Jones, E. Helle & E. T. Valtonen. 2008. Changes in diets of individual Baltic ringed seals (*Phoca hispida botnica*) during their breeding season inferred from stable isotope analysis of multiple tissues. *Marine Mammal Science* 24:159–170.
- Soto-Mardones, L., S. G. Marinone & A. Parés-Sierra. 1999. Time and spatial variability of sea Surface temperature in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 25(1): 1-30.
- Sverdrup, H. U. 1941. The Gulf of California: preliminary discussion on the cruise of the E.W. Scripps in February and March 1939. *Proceedings of the Sixth Pacific Science Congress*, 3: 161-166.

- Szteren D., D. Aurioles-Gamboa & L. Gerber. 2006. Population status and trends of the California Sea Lion (*Zalophus californianus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. En: Trites AW, Atkinson SK. DeMaster D.P. Sea lions of the world. Alaska Sea Grant College Program, University of Alaska Fairbanks, AK-SG-06-01. 369-384.
- Temte, J.L. 1993. Latitudinal variation in the birth timing of captive California sea lion and other captive north Pacific pinnipeds. *Fishery Bulletin*, 91: 710-717.
- Voss, M., J. W. Dippner & J. P. Montoya. 2001. Nitrogen isotope patterns in the oxygen-deficient waters of the Eastern Tropical North Pacific Ocean. *Deep-Sea Research*, 48: 1905-1921.
- Walker, B. W. 1960. The distribution and affinities of the marine fish fauna of the Gulf of California. *Systematics Zoology*, 9: 123-133.
- Wynen L., S. Goldsworthy, S. Insley, M. Adams, J. Bickham, J. Francis, J. Gallo, A. Rus, P. Majluf, R. White & R. Slade. 2001. Phylogenetic Relationship within the Eared Seals (Otariidae: Carnivora): Implications for the Historical Biogeography of the Family. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 21(2): 270-284.