



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



ABUNDANCIA Y AMPLITUD ALIMENTARIA DEL LOBO MARINO
DE CALIFORNIA DE LOS ISLOTES, BAHÍA DE LA PAZ, MÉXICO Y
SU RELACIÓN CON EL AMBIENTE (2013-2018)

TESIS

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

PRESENTA

ROMYNA ARYSBETH CRUZ VALLEJO

LA PAZ, B.C.S., JULIO DEL 2020



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de siendo las horas del día del mes de del se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: para examinar la tesis titulada: del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	CRUZ	Apellido Materno:	VALLEJO	Nombre (s):	ROMYNA ARYSBETH
-------------------	------	-------------------	---------	-------------	-----------------

Número de registro: Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 10 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI** **NO** **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:

El porcentaje de similitud es por aspectos metodológicos adecuadamente referidos a fuente original.

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

Satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

COMISIÓN REVISORA DE TESIS


Fernando Ricardo Elorriaga Verplancken

Director de Tesis
Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma


Hiram Rosales Nanduca

2º Director de Tesis (en su caso)
Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 08 del mes de Junio del año 2020

El (la) que suscribe BIOL. ROMYNA ARYSBETH CRUZ VALLEJO Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B180562 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 DR. HIRAM ROSALES NANDUCA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"ABUNDANCIA Y AMPLITUD ALIMENTARIA DEL LOBO MARINO DE CALIFORNIA DE LOS ISLOTES, BAHÍA DE
LA PAZ, MÉXICO Y SU RELACIÓN CON EL AMBIENTE (2013-2018)"

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: romynaacv@gmail.com rcruzv1700@alumno.ipn.mx felorriaga@ipn.mx hrosales@uabcs.mx

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

BIÓL. ROMYNA ARYSBETH CRUZ VALLEJO

Nombre y firma del alumno

Romyna Arysbeth Cruz Vallejo

Tesis-09062020-RACV.docx

Resumen de fuentes

10%

SIMILITUD GENERAL

1	www.repositoriodigital.ipn.mx INTERNET	<1%
2	repositoriodigital.ipn.mx INTERNET	<1%
3	scielo.conicyt.cl INTERNET	<1%
4	studylib.es INTERNET	<1%
5	Universidad Pontificia Bolivariana on 2020-02-12 TRABAJOS ENTREGADOS	<1%
6	docplayer.es INTERNET	<1%
7	cicese.repositorioinstitucional.mx INTERNET	<1%
8	www.scielo.sa.cr INTERNET	<1%
9	tesis.ipn.mx:8080 INTERNET	<1%
10	www.scribd.com INTERNET	<1%
11	www.scielo.org.mx INTERNET	<1%
12	Miriam A. Velázquez-Castillo, Fernando R. Elorriaga-Verplancken. "Isotopic evidence for intersexual foraging variation in northern eleph..." CROSSREF	<1%
13	www.biblioteca.cicimar.ipn.mx INTERNET	<1%
14	www.redalyc.org INTERNET	<1%
15	www.uv.mx INTERNET	<1%
16	Fernando R. Elorriaga-Verplancken, Laura Morales-Luna, Gisela Heckel, Yolanda Schramm. " Foraging ecology of harbour seals () and N..." CROSSREF	<1%
17	sappi.ipn.mx INTERNET	<1%

Romyna

18	ecoplanetarealidades.blogspot.com	INTERNET	<1%
19	worldwidescience.org	INTERNET	<1%
20	pronatura-noroeste.org	INTERNET	<1%
21	www.islaespiritusanto.org	INTERNET	<1%
22	rediberoamericanaequinodermos.com	INTERNET	<1%
23	jk-animalsoftheworld.blogspot.com	INTERNET	<1%
24	www.inapesca.gob.mx	INTERNET	<1%
25	CONACYT on 2016-10-11	TRABAJOS ENTREGADOS	<1%
26	Karen Adame, Mario A. Pardo, Christian Salvadeo, Emilio Beier, Fernando R. Elorriaga-Verplancken. "Detectability and categorization of ...	CROSSREF	<1%
27	digitalassets.lib.berkeley.edu	INTERNET	<1%
28	eprints.ucm.es	INTERNET	<1%
29	pesquisa.bvsalud.org	INTERNET	<1%
30	www.docstoc.com	INTERNET	<1%
31	conanp.gob.mx	INTERNET	<1%
32	sedici.unlp.edu.ar	INTERNET	<1%
33	tesis.ipn.mx	INTERNET	<1%
34	www.cicimar.ipn.mx	INTERNET	<1%
35	www.semarn.gob.mx	INTERNET	<1%
36	"Pinnipeds and El Niño", Springer Science and Business Media LLC, 1991	CROSSREF	<1%
37	84a69b9b8cf67b1fcf87220d0dabdda34414436b-www.googledrive.com	INTERNET	<1%
38	CONACYT on 2017-06-13	TRABAJOS ENTREGADOS	<1%
39	archive.org	INTERNET	<1%
40	docslide.us	INTERNET	<1%
41	journals.plos.org	INTERNET	<1%

Romyna

42	link.springer.com	INTERNET	<1%
43	www.cienciasmarinas.com.mx	INTERNET	<1%
44	www.cofemermir.gob.mx	INTERNET	<1%
45	www.koreascience.or.kr	INTERNET	<1%
46	www.medicinadepostgrado.com.co	INTERNET	<1%
47	www.omicsonline.org	INTERNET	<1%
48	www.psicologiacientifica.com	INTERNET	<1%
49	www.researchgate.net	INTERNET	<1%
50	www.sabiia.cnptia.embrapa.br	INTERNET	<1%
51	www.tiburonesyrayascimar.com	INTERNET	<1%

Se excluyeron los depósitos de búsqueda:

- Ninguno

Excluido del Informe de Similitud:

- Bibliografía
- Citas
- Citations
- Coincidencias menores (10 palabras o menos)

Se excluyeron las fuentes:

- Ninguno

Romyna

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	I
ÍNDICE DE TABLAS.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	8
JUSTIFICACIÓN.....	12
HIPÓTESIS.....	14
OBJETIVOS.....	15
General.....	15
Específicos.....	15
ÁREA DE ESTUDIO	16
MÉTODOS.....	18
Obtención de datos.....	18
Abundancia de lobos marinos de California de Los Islotes.....	18
Toma de medidas morfométricas y colecta de muestras de pelo de crías.....	20
Procesamiento de muestras.....	21
Análisis estadístico.....	21
Sensores remotos.....	22
Análisis de datos.....	23
Abundancia.....	23

Amplitud alimentaria.....	24
Relación entre abundancia/pesos y variabilidad ambiental.....	25
RESULTADOS.....	26
Abundancia de lobos marinos de California en Los Islotes.....	26
Amplitud alimentaria.....	32
Variabilidad ambiental.....	35
Relación con la variabilidad ambiental.....	38
DISCUSIÓN.....	42
Abundancia en la colonia de Los Islotes durante 2013-2018.....	42
Amplitud alimentaria.....	46
Efecto de la variabilidad ambiental en la condición corporal de las crías.....	50
Consideraciones finales.....	53
CONCLUSIONES.....	54
SUGERENCIAS PARA ESTUDIOS FUTUROS.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio: Los Islotes, La Paz, Baja California Sur, México.....	17
Figura 2. Variación mensual (A) y anual (B) de la abundancia promedio y desviación estándar de la colonia de lobos marinos de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes durante 2013-2018.....	26
Figura 3. Correlación inversa entre la abundancia de lobos marinos de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes y el tiempo (años 2013-2018)	27
Figura 4. Variación de la abundancia anual de las distintas clases de edad y sexo de lobo marino de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes durante las temporadas reproductivas del periodo 2013-2018.....	28
Figura 5. Variación mensual de la abundancia total de lobos marinos de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes durante el periodo 2013-2018.....	28
Figura 6. Variación mensual de la abundancia de hembras adultas de lobo marino de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes durante el periodo 2013-201.....	29
Figura 7. Variación mensual de la abundancia de machos adultos de lobos marinos de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes durante el periodo 2013-2018.....	29
Figura 8. Variación mensual de la abundancia de machos subadultos de lobos marinos de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes durante el periodo 2013-2018.....	30
Figura 9. Variación mensual de la abundancia de juveniles de lobos marinos de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes durante el periodo 2013- 2018.....	30
Figura 10. Variación mensual de la abundancia de crías de lobos marinos de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes durante el periodo 2013-2018.....	31
Figura 11. Nicho isotópico de las crías de lobo marino de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes representativo de los tres meses previos a el muestreo realizado durante las temporadas reproductivas de 2013 a 2018.....	33
Figura 12. Imágenes de temperatura superficial del mar en el sur del Golfo de California, mostrando los valores promedio de temperatura en escala de 4 x 4 km promediada para	

abril-junio de 2013 a 2018.....35

Figura 13. Imágenes de anomalía de temperatura superficial del mar en el sur del Golfo de California registrada durante abril–junio del 2014 al 2018 con relación a 2013.....36

Figura 14. Imágenes de anomalía de temperatura superficial del mar en el sur del Golfo de California durante los meses abril a junio para los años 2013-2018 con respecto al promedio del periodo 2003-2018. Anomalías positivas a 40-50 km a la redonda de Los Islotes encerradas en círculos rojos, en 2014 de 1.5°C, en 2017 de 1°C y en 2018 de 2°C37

Figura 15. Relación entre la abundancia de hembras adultas de lobo marino de California (*Z. californianus*) en Los Islotes durante la temporada reproductiva y el tamaño del área total del polígono isotópico del periodo 2013-2018.....38

Figura 16. Pesos de las crías de lobo marino de California (*Z. californianus*) por sexo registrados durante la temporada reproductiva de cada año de 2013-2018.....39

Figura 17. Pesos promedio anual de las crías de lobo marino de California (*Z. californianus*) durante las temporadas reproductivas de 2013-2018.....39

Figura 18. Correlación inversa entre los pesos promedio de las crías de lobo marino de California (*Z. californianus*) de Los Islotes y los grados centígrados de anomalía de TSM durante el periodo 2013-2018.....41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características morfológicas de las distintas clases de edad y sexo del lobo marino de California (<i>Z. californianus</i>)	18
Tabla 2. Número de individuos y sexo de las crías de lobo marino de California capturadas por año.....	20
Tabla 3. Promedio y desviaciones estándar de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de lobos marinos de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes durante 2013-2018.....	32
Tabla 4. Tamaño de área de la elipse estándar corregida (elipses) ($\text{SEAC}\%_{\text{oo}}^2$) y tamaño del área total del polígono (línea punteada) ($\text{TA}\%_{\text{oo}}^2$)	33
Tabla 5. ANOVA la comparación de promedios de $\delta^{13}\text{C}$ de las crías de lobo marino de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes por año (2013-2018). Las diferencias significativas están marcadas en negritas ($p < 0.05$)	34
Tabla 6. ANOVA la comparación de promedios de $\delta^{15}\text{N}$ de las crías de lobo marino de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes por año (2013-2018). Las diferencias significativas están marcadas en negritas ($p < 0.05$).....	34
Tabla 7. Peso promedio y desviación estándar de crías macho y crías hembra de lobo marino de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes durante el periodo 2013-2018 y probabilidad para detectar diferencias entre sexos por año (ANOVA). Los años con diferencias significativas entre sexos están marcados en negritas ($p < 0.05$).....	39
Tabla 8. Peso promedio de las crías (ambos sexos combinados) de lobo marino de California (<i>Z. californianus</i>) de Los Islotes y grado de anomalía (TSM).....	41

RESUMEN

El lobo marino de California (*Zalophus californianus*) es catalogado como una especie centinela en su ecosistema debido a su gran abundancia, longevidad y alta posición trófica. El objetivo del presente estudio fue estimar la abundancia y amplitud alimentaria de la colonia de lobos marinos en Los Islotes (Bahía de La Paz) y su relación con la temperatura superficial del mar (TSM) satelital de 2013–2018. Para ello se realizaron conteos poblacionales mensuales y se analizó su variabilidad intra e interanual. Además, se analizaron los isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) en pelo de 148 crías, las cuales fueron pesadas al ser capturadas. Los resultados de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ se analizaron para obtener áreas isotópicas interanuales con el programa R (rutina SIBER). Al considerar todas las clases de edad, no se encontraron diferencias en la abundancia entre periodos reproductivos (verano), pero sí en la abundancia total anual, mostrando un decremento del 23% de 2013 a 2018. También se documentó un decremento en la abundancia de crías del 50-60% en 2014 y 2015 en comparación con 2013 asociado a La Macha y El Niño 2014-2015. Las mayores amplitudes isotópicas (3.2‰^2 y 2.9‰^2) se observaron en 2016 y 2018 asociadas a una mayor dispersión de las hembras adultas durante sus viajes de alimentación. Estos resultados sugieren plasticidad de las hembras adultas como respuesta ante cambios en la disponibilidad de presas en la región y la variabilidad ambiental. Sin embargo, la abundancia y la condición corporal de las crías fueron afectadas durante las anomalías positivas de TSM de entre 1.5– 2.0°C ocurridas en 2014 y 2018, mostrando una significativa correlación inversa entre el peso promedio de las crías y las anomalías de la TSM ($r = -0.8354$, $p = 0.0384$).

ABSTRACT

California sea lions (*Zalophus californianus*) are cataloged as a sentinel species in its ecosystem due to its great abundance, longevity and high trophic position. The goal of this study was to estimate the abundance and foraging habits (trophic breadth/habitat use) of the colony of Los Islotes (La Paz Bay, Mexico) and its relationship with the satellite sea surface temperature (SST) from 2013-2018. For this purpose, monthly population counts were carried out and their intra- and interannual variability was analyzed. In addition, the stable isotopes of nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) in the hair of 148 pups was analyzed; these pups were weighed when they were captured. The results of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ were analyzed in order to obtain interannual isotopic areas with the program R (SIBER routine). By considering all age classes, differences in abundance were not found between breeding seasons (summer), but these were found when considering all months of the year, showing a 23% decrease from 2013 to 2018. A 50-60% decrease in pup abundance was also documented in 2014 and 2015 compared to 2013, which was associated with The Blob and El Niño 2014-2015. The largest isotopic areas (3.2‰^2 and 2.9‰^2) were observed in 2016 and 2018, as a result of a greater dispersion by adult females during their feeding trips. These results suggest trophic plasticity by adult females in response to changes in prey availability in the region and its environmental variability. However, pup abundance and their body condition were affected during positive SST anomalies between 1.5- 2.0°C in 2014 and 2018, showing a significant inverse correlation between average pup weight and SST anomalies ($r = -0.8354$, $p = 0.0384$).

INTRODUCCIÓN

El lobo marino de California (*Zalophus californianus*; Familia Otariidae, Orden Carnivora) se distribuye en el 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; Wynen *et al.*, 2001; Szteren *et al.*, 2006). Este otárido presenta la abundancia más alta entre las cuatro especies de pinnípedos que habitan en México (lobo marino de California, elefante marino del norte, foca de puerto y lobo fino de Guadalupe). Además, es la única especie con residencia y colonias de reproducción en el Golfo de California. La especie tiene una abundancia de aproximadamente 80,000 individuos en México, de los cuales entre 20,600-22,800 individuos habitan en el Golfo de California (Adame-Fernández *et al.*, 2017) y cerca de 58,900 en la costa occidental de la Península de Baja California (Milanés-Salinas, 2012). En el Golfo de California existen 13 colonias reproductivas y todas se encuentran en declive con excepción de Los Islotes en Bahía de La Paz, Baja California sur, la cual es la colonia reproductiva más sureña dentro del golfo. Esta colonia tiene una abundancia de entre 500–600 individuos durante la temporada reproductiva (Adame-Fernández *et al.*, 2017a, b, Adame-Fernández, 2018).

El periodo reproductivo de *Z. californianus* comienza a finales de mayo y termina a mediados de agosto cuando finaliza el periodo de cópulas. Las hembras tienen un periodo de gestación de 11 meses, el cual incluye un periodo de implantación retardada de al menos dos meses después de preñarse (Peterson y Bartholomew, 1967; Odell, 1975). La mayoría de las crías en la colonia de Los Islotes nacen durante la tercera semana de junio (García-Aguilar y Auriol-Gamboa, 2003) y tienen un periodo de lactancia de aproximadamente un año (Francis y Heath, 1991; Elorriaga-Verplancken, 2009). Por esta razón, las hembras adultas de esta especie son residentes de sus islas durante todo del año, dependiendo de recursos regionales (García-Rodríguez y Auriol-Gamboa, 2004), alternando la lactancia con los viajes de alimentación que duran de 2 a 3 días donde recorren una distancia de aproximadamente 30–50 km alrededor de la lobera (Khun *et al.*, 2004).

El lobo marino de California es una especie considerada oportunista en términos alimentarios, debido a que su dieta varía considerablemente de una región a otra, de acuerdo con la distribución de sus presas y las características oceanográficas de las diferentes regiones donde habita (García-Rodríguez y Aurióles, 2004; Sandoval-Sierra, 2016, Cruz-Vallejo, 2017). Sin embargo, de manera general su dieta está basada en peces, calamares y algunos crustáceos como la langostilla (García-Rodríguez y Aurióles, 2004; Porras-Peters *et al.*, 2008).

Las presas principales de los lobos marinos de la colonia de Los Islotes, inferidos mediante análisis de excretas, son: el serrano de agua profunda (*Serranus aequidens*), el pez lagarto del Pacífico Oriental (*Aulopus bajacali*) y el serrano boga (*Pronotogrammus multifasciatus*) (Cárdenas-Palomo, 2003; Porras-Peters, 2004). Estas especies son demersales, por lo tanto, se infiere que en esta zona los lobos marinos prefieren alimentarse cerca del fondo, considerando las bajas profundidades de la zona (Jiménez-Illescas, 1997) y de presas que se clasifican como carnívoros primarios y secundarios (Espinoza de los Reyes-Ayala, 2007), lo cual no parece ser causa de estrés nutricional para los lobos marinos de esta lobera, ya que la abundancia de la colonia de Los Islotes está en crecimiento, por lo menos hasta años recientes (Adame-Fernández, 2018). Sin embargo, este factor se debe considerar en el actual y futuro manejo de esta especie, ya que es posible que pueda volverse susceptible si se presentan cambios ambientales desfavorables, como ha pasado en las otras 12 colonias reproductivas del Golfo de California actualmente en declive, posiblemente asociado a falta de presas o aparición de algunas enfermedades (Espinoza de los Reyes-Ayala, 2007; Adame-Fernández, 2018).

Debido a que las hembras adultas presentan fidelidad al sitio (Aurióles-Gamboa y Zavala, 1994), tanto ellas como sus cachorros son indicadores de cambios ambientales o bio-monitores de alta posición trófica. Asimismo, proveen información sobre la ecología trófica de la región donde habitan, mediante el análisis de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018).

Los isótopos estables se encuentran naturalmente en el ambiente y su abundancia varía geográficamente debido a distintos procesos bioquímicos (Rubenstein y Hobson,

2004). Por lo tanto, cuando un ser vivo consume alimento, asimila concentraciones de isótopos estables a través de sus tejidos en las proporciones en las que éstas están presentes en las fuentes de esa región. Es decir, mediante esta técnica es posible inferir sobre el alimento asimilado y no solo el ingerido para distintos periodos, dependiendo de la tasa de recambio del tejido que se analice. Por ejemplo, pueden ser días en el caso del suero sanguíneo, meses en caso de pelo o vibrisas e incluso años en dientes o hueso (Newsome *et al.*, 2010; Riofrio *et al.*, 2012; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013).

La técnica de análisis de isótopos estables provee información de las zonas de alimentación debido al análisis de isoterrenos (regiones que se distinguen por presentar una señal isotópica basal característica). Esto es, valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$ respecto a otros, implican zonas más alejadas de la costa. Por otro lado, un nicho isotópico bivariado ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) con un área isotópica más amplia, se ha asociado a un aprovechamiento de recursos dentro de una zona probablemente más extensa. Una reducción de valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, respecto a otro grupo, se ha relacionado con zonas de alimentación en latitudes más altas o bien zonas alejadas que presentan valores isotópicos basales distintos (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016; Amador-Capitanachi *et al.*, 2017). Por lo tanto, el $\delta^{13}\text{C}$ provee información acerca del uso de hábitat de los organismos, diferenciando entre alimentación en zonas costeras u oceánicas y pelágicas o bentónicas (Hobson, 1990; Hobson *et al.*, 1994; France, 1995). Por su parte, el $\delta^{15}\text{N}$ provee información sobre la amplitud y posición trófica relativa debido a la relación de enriquecimiento que existe entre el contenido de ^{15}N del consumidor y el de sus presas (Owens, 1987). Además, es posible evidenciar patrones migratorios debido a la existencia de isoterrenos (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018).

En la gran mayoría de los casos, los consumidores se enriquecen con el isótopo pesado (^{13}C o ^{15}N) en relación con sus dietas. Para tejidos con funciones fisiológicas similares el enriquecimiento es aproximadamente 1‰ para el carbono y 3‰ para el nitrógeno. En el caso de los isótopos de nitrógeno, este fuerte enriquecimiento de ^{15}N se atribuye a la excreción de desechos nitrogenados (como la urea), los cuales están

enriquecidos en ^{14}N , debido a una discriminación metabólica contra el isótopo pesado (^{15}N) (Hobson *et al.*, 1994; Michener y Schell, 1994).

El pelo 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. De esta forma el pelo de las crías provee la señal isotópica de los últimos meses de la alimentación de la madre (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016a) debido a que durante los primeros 6-8 meses de vida, la alimentación de las crías se basa exclusivamente de leche materna, reflejando así la señal isotópica de la madre con un enriquecimiento respectivo, propio del metabolismo de la cría (Newsome *et al.*, 2006; Porrás-Peters *et al.*, 2008; Aurióles-Gamboa *et al.*, 2009; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013). Por lo tanto, las crías presentan valores de $\delta^{15}\text{N}$ más altos que sus madres, debido a que los tejidos de las crías son el resultado del catabolismo de los tejidos de sus madres (grasa y músculo) para sintetizar la leche materna. Esto simula la relación entre depredador y presa a través de incrementos isotópicos que son consistentes entre niveles tróficos continuos. Como consecuencia, el incremento isotópico de $\delta^{15}\text{N}$ en crías suele ser de alrededor de 1-2‰ con respecto a sus madres (Porrás-Peters *et al.*, 2008; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016a). De manera contraria sucede con el $\delta^{13}\text{C}$, debido a que la leche de los pinnípedos es extremadamente rica en lípidos empobrecidos en ^{13}C en comparación con la dieta piscívora de los animales destetados. Debido a esto las crías lactantes tienen valores de $\delta^{13}\text{C}$ más negativos que sus madres (Newsome *et al.*, 2006; Porrás *et al.*, 2008).

Con base en los argumentos previos, es posible hacer comparaciones si los sujetos de estudio son solo crías (Porrás-Peters *et al.*, 2008; Páez-Rosas y Aurióles-Gamboa, 2010; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016a; Amador-Capitanachi *et al.*, 2017) y mediante estas comparaciones es posible observar similitudes o diferencias en escalas tanto espaciales como temporales del nicho isotópico. El nicho isotópico está formado por un eje bionómico y otro scenopético; el primero proporciona información sobre los recursos utilizados por los individuos estudiados y para ello se utiliza el $\delta^{15}\text{N}$, mientras que el segundo se basa en el $\delta^{13}\text{C}$, el cual proporciona información sobre el

escenario bioclimático o ambiente dónde se desarrollan y alimentan los organismos (Newsome *et al.*, 2007).

Las variables ambientales como la temperatura superficial del mar (TSM) y la concentración de clorofila-a superficial han sido ampliamente utilizadas como indicadores de las condiciones del océano y disponibilidad de presas en el estudio de los de pinnípedos (Trillmich y Limberger, 1985; DeLong *et al.*, 1991; Melin *et al.*, 2012, Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016b). También, se han sido utilizadas como indicadores de la disponibilidad de alimento para otros organismos, tales como copépodos, peces pelágicos y ballenas (Mitchell-Innes y Pitcher, 1992; Castillo *et al.*, 1996; Block *et al.*, 2011; Pardo *et al.*, 2013).

Las estimaciones de Chl-a mediante sensores remotos miden las radiancias ascendentes promedio de la primera profundidad óptica del océano. Estas radiancias son de la parte visible del espectro, considerando que el límite inferior de la zona eufótica se encuentra dónde llega el 1% de la irradiancia superficial. De acuerdo con la ley de Lamber-Beer, la zona eufótica tiene 4.6 profundidades ópticas, por lo tanto, los satélites miden la radiancia que asciende aproximadamente en un 22% superior de la zona eufótica. Los sensores remotos estiman la TSM en la banda del infrarrojo, que mide la radiancia emitida de la capa superficial del océano. La base fundamental de la medición de TSM por medio del infrarrojo es que todas las superficies emiten radiación infrarroja en función de su temperatura.

Las imágenes satelitales de TSM y producción primaria (PP, $\text{mg Chl-a m}^{-3} \text{d}^{-1}$) permiten observar los efectos causados por fenómenos oceanográficos tales como: las surgencias costeras, las fases del ENOS (“El Niño” y “La Niña”), ondas marinas de calor (como “La Mancha”), giros, filamentos, mezcla por corrientes de marea, etc. (Burgos-Othón, 2018). Durante el fenómeno El Niño (EN) los vientos alisios se relajan en la parte central y oeste del Pacífico debido a una diferencia negativa entre la presión atmosférica al nivel del mar en el oeste (Australia) y en el este (Chile). Esta es la fase negativa de la oscilación del sur (Enfield 1989). Con el debilitamiento de los vientos alisios se genera una onda Kelvin en el ecuador que se desplaza de la región occidental del Pacífico hacia el oriente. Esto ocasiona la elevación del nivel del mar y

el hundimiento en la termoclina en el este del Océano Pacífico. El hundimiento de la termoclina en el Pacífico oriental tropical debilita las surgencias para llevar agua fría a la superficie y disminuye el aporte de nutrientes hacia la zona eufótica. Esto influye en el aumento en la TSM (evidenciado mediante anomalías positivas a largo plazo) y un pronunciado declive de la concentración de Chl-a y la PP, lo cual afecta la trama trófica y las pesquerías comerciales de la región (NOAA 2018b). La onda Kelvin se transforma en una onda atrapada en la costa que viaja latitudinalmente hacia el norte hasta llegar al golfo de California y más al norte por la costa occidental de la península de Baja California.

Teniendo en cuenta que la entrada del golfo se ubica a los 23°N y que la velocidad de la onda atrapada en la costa producida por El Niño en el Pacífico oriental tropical es de 100–200 km/d, los efectos de El Niño pueden alcanzar la boca del golfo en aproximadamente un mes (Strub y James, 2002; Lavín y Marinone, 2003). Esto causa un impacto en los ecosistemas del golfo de una manera que no ha sido completamente entendida (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994; Álvarez Molina *et al.*, 2013). Además de que cada evento El Niño tiene efectos diferentes por diferencia de intensidad y duración (Mirabal-Gómez *et al.*, 2018). Por ejemplo, Kharu *et al.* (2004) generaron series de tiempo de 1997-2003 y reportaron que en la región sur del golfo los valores de Chl_{sat} y PP disminuyeron 30-40% durante el evento El Niño 1997-1998. Por su parte, Ortíz-Ahumada *et al.* (2018) reportaron una disminución de Chl_{sat} y PP del 50% en las aguas costeras de Cabo San Lucas y Cabo San Lázaro, BCS, durante 2014-2016, relacionada con los eventos de “La Mancha” en 2014 y El Niño en 2015-2016, la alta TSM registrada durante este periodo ocasionó el hundimiento de la termoclina y alta estratificación desde el verano de 2014 hasta el invierno de 2016.

El evento de La Mancha (o en inglés “The Blob”) fue un área extensa con anomalías positivas en el Pacífico Norte que impactó el ambiente y las pesquerías de la región (Bond *et al.*, 2015). Este fenómeno comenzó en la costa sur de Alaska evidenciado por sus prominentes anomalías positivas de TSM durante 2013-2014 (Gentemann *et al.*, 2017). Posteriormente se extendió a lo largo de la costa oeste de Canadá, Estados Unidos y Baja California, México (McCabe *et al.*, 2016). El desarrollo de las

extraordinarias anomalías positivas de TSM durante el invierno de 2014 estuvo ligado a un patrón ambiental altamente anómalo en la distribución de la presión atmosférica en el nivel del mar. Durante octubre de 2013 a enero de 2014, la presión atmosférica fue mucho más alta de lo normal en el noreste del Pacífico (Bond *et al.*, 2015). Se observaron numerosos efectos, tales como la disminución de la proliferación de algas, el varamiento masivo de mamíferos marinos y la mortandad de aves, a lo largo de las costas de EUA y Canadá. Especies de aguas templadas como los tiburones martillo, peces dorado y otras especies fueron reportadas más al norte de lo normal, lo que en general reflejó las consecuencias de largo alcance de la “La Mancha” en la Corriente de California (Cavole *et al.*, 2016).

En este sentido, los mamíferos marinos son utilizados como especies centinelas (o bio-monitores) ya que su distribución, abundancia y comportamiento trófico están relacionados con características oceanográficas como la productividad primaria y temperatura que influyen la distribución y abundancia de sus presas (Weise *et al.*, 2006).

ANTECEDENTES

Adame *et al.* (2018) realizaron conteos poblacionales en las 13 colonias reproductivas de lobo marino de California del Golfo de California durante la temporada reproductiva del 2016, encontrando que la abundancia de esta especie en el Golfo de California mostraba una disminución del 45% durante los últimos 12–19 años posiblemente relacionada con cambios en la disponibilidad y calidad nutricional de sus presas, ya que se documentó una disminución del 5% al 1% en la importancia de pelágicos menores en su dieta, como son la sardina (*Sardinops sagax*) y una especie de anchoveta (*Anchoa sp.*). Mientras que, los mictófididos, representaron 32% de la dieta, cuando anteriormente solían representar solo el 4.2% de su dieta (Porrás-Peters *et al.*, 2008; Sandoval Sierra, 2018), estos tienen un menor contenido tanto calórico como de grasa, lo que derivó en un impacto negativo sobre la masa corporal de las crías (McClatchie *et al.*, 2016). En este sentido, las crías es la clase de edad que más ha disminuido en el golfo, indicando una posible baja de la fecundidad o incremento en la mortalidad de las crías (Adame *et al.*, 2018).

La única colonia reproductiva dentro del Golfo de California que presentó una tendencia al aumento hasta el año 2016 fue la de Los Islotes en la Bahía de La Paz (Adame *et al.*, 2018). Aunque no es una colonia con una gran cantidad de individuos, parece estar alcanzando un tamaño poblacional cercano a la capacidad de carga del ecosistema (Hernández-Camacho *et al.*, 2008). Se ha documentado que los lobos marinos que habitan en esta colonia presentan la dieta más variada (nicho isotópico más amplio) con respecto al resto de las colonias del Golfo (Porrás-Peters *et al.*, 2008; Sandoval-Sierra, 2018). Esto es una estrategia favorable para disminuir la sobreposición por recursos (Estes *et al.*, 2006). Esta diversificación de la dieta y la riqueza de fitoplancton que se encuentra en la bahía a lo largo del año pueden ser algunas de las razones por las que esta colonia está en buen estado, si se compara con el resto de las colonias del golfo (Adame-Fernández, 2018).

En este sentido, los estudios de alimentación pueden funcionar como indicadores del estado de salud en las poblaciones de pinnípedos (Aurióles-Gamboa *et al.*, 2000) debido a que la distribución, abundancia y disponibilidad de sus presas influyen en

gran medida su comportamiento, distribución, abundancia y éxito reproductivo (Heath y Francis, 1983). El análisis de isótopos estables (AIE) genera información sobre el alimento asimilado en escalas de tiempo mayores a los que provee el análisis de excretas (Newsome *et al.*, 2007; Martínez del Río *et al.*, 2009; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2013). Aunque los resultados del análisis isotopos estables no provean una resolución taxonómica, es útil para evaluar el uso de hábitat, nivel, amplitud y sobreposición trófica de los organismos analizados (Newsome *et al.*, 2007). Por ejemplo, Cruz-Vallejo (2017) comparó isotópicamente dos colonias de lobos marinos de California en el Océano Pacífico (San Benito y Cedros), y ambas colonias presentaron valores similares de $\delta^{13}\text{C}$. Sin embargo, la colonia de Isla Cedros presento valores de $\delta^{15}\text{N}$ más altos que la colonia de San Benito, lo cual indicó que, a pesar de compartir el mismo hábitat o similar, podrían estarse alimentando de presas de distinto nivel trófico disminuyendo la potencial competencia entre individuos de ambas colonias.

Sandoval-Sierra (2018) encontró diferencias isotópicas entre las 13 colonias reproductivas de lobo marino de California en el Golfo de California como consecuencia de una posible segregación alimentaria a lo largo de la región, como la que ya se había evidenciado previamente a través del análisis de excretas (García-Rodríguez y Aurióles-Gamboa, 2004; Porras-Peters *et al.*, 2008). Al comparar estos resultados con el estudio isotópico de Porras Peters *et al.* (2008) se evidenció un incremento actual del $\delta^{15}\text{N}$ en todas las colonias, como posible resultado de cambios en la base de la trama trófica, sin descartar posibles cambios en la dieta (Aurióles-Gamboa *et al.*, 2017). Además, Sandoval-Sierra (2018) evaluó los valores de enriquecimiento entre madres y crías para ambos isótopos en cada una de las colonias reproductivas del Golfo de California, encontrando que, para la colonia de Los Islotes, fueron $\delta^{13}\text{C}$: -0.23‰ y para $\delta^{15}\text{N}$ +1.48‰.

Elorriaga-Verplancken *et al.* (2016b) compararon datos isotópicos y de abundancia de 2014 y 2015 del lobo marino de California y el lobo fino de Guadalupe del Archipiélago San Benito en el Pacífico, encontraron que en 2015 ambas especies sufrieron un descenso en la abundancia del 50-60% y un aumento en su amplitud trófica de

acuerdo con los datos isotópicos, así como una baja en la razón isotópica de carbono. Esto indica una mayor cobertura durante sus viajes de alimentación y en general viajes más oceánicos, provocada posiblemente por la baja disponibilidad de recursos asociada a anomalías oceanográficas cálidas como La Mancha 2014 y El Niño 2015-2016. Anteriormente ya se había reportado que el fenómeno El Niño impactaba de manera negativa las poblaciones *Z. Californianus* en el Océano Pacífico. En la colonia de la Isla Santa Margarita durante El Niño de 1982-83 la abundancia de crías disminuyó 45% y la de hembras adultas 59%, además se observó un número reducido de machos subadultos presentes en la colonia el siguiente invierno (Aurioles *et al.*, 1983; Le Boeuf *et al.*, 1983; Aurioles y Sinsel, 1988).

La colonia de lobo fino de Guadalupe de Isla Guadalupe también presentó cambios en sus hábitos alimentarios durante La Mancha y El Niño 2015, posiblemente debido a una mayor dispersión de los individuos en la búsqueda de su alimento hacia zonas más alejadas de la costa o latitudes altas, lo cual fue reflejado por valores bajos de ambas razones isotópicas (Amador-Capitanachi, 2018). Un mayor gasto energético de las hembras de lobo fino en la búsqueda de su alimento afectó a las crías durante los años anómalos, ya que Gálvez *et al.* (2020) reportó una mayor mortalidad de crías debido a inanición durante 2015, en contraste con el 2013, 2014 y 2016.

Otras especies de pinnípedos, no solo otáridos, han sido afectados por anomalías cálidas. Holser *et al.* (2017) también reportaron un cambio entre las áreas de alimentación del elefante marino del norte durante 2014 y 2015, siendo más norteñas (+4°N y +10°E) durante estos dos años anómalamente cálidos, con respecto a años anteriores (2004-2013), evidenciando un cambio en el comportamiento de forrajeo durante el fenómeno de “La Mancha” o también llamada ola cálida del Pacífico Norte. Rodríguez-Martínez (2017) también reportó un probable desplazamiento de hembras adultas del elefante marino del norte de San Benito a zonas de alimentación más norteñas en 2015 en comparación con 2014, por medio del análisis de isótopos estables de N y C, encontrando una señal isotópica con valores más negativos de ambas razones isotópicas en 2015 respecto a 2014, la cual es característica de latitudes altas.

Incrementos en la cobertura de viajes de alimentación, provocados por condiciones desfavorablemente cálidas en el ambiente se han evidenciado mediante el uso de marcas satelitales. Weise *et al.* (2006) marcaron un grupo de machos de lobos marinos de California en California E.E.U.U. durante 2003-2004 observando viajes de alimentación costeros. Posteriormente, en 2004-2005 cuando la TSM incrementó, otro grupo de lobos marinos fue marcado, documentando viajes de alimentación más oceánicos, hasta tres veces más largos que en la temporada anterior. Lo cual provocó una mayor ausencia en tierra y por ende una disminución en la abundancia.

Se han utilizado datos de abundancia y de amplitud alimentaria de diferentes especies de pinnípedos a lo largo de diferentes años, comparando periodos oceanográficos “normales” (con anomalías menores a ± 0.5 °C) con anómalos (con anomalías mayores a ± 0.5 °C). El Niño y ondas de calor marinas como La Mancha tienen efectos negativos en las poblaciones de lobos marinos ya que modifican e incrementan el esfuerzo de búsqueda de alimento (Trillmich y Ono, 1991) y, por lo tanto, afectan negativamente su abundancia anual en islas como El Archipiélago San Benito, en el Pacífico Mexicano (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016b). Actualmente no existe información comparativa de este tipo para el Golfo de California, el cual es de suma importancia para esta especie, en términos ecológicos, por el declive poblacional que se ha evidenciado durante las últimas décadas (Szteren *et al.*, 2006; Adame-Fernández *et al.*, 2018).

JUSTIFICACIÓN

El monitoreo de las tendencias poblacionales de mamíferos marinos es clave para la conservación y manejo responsable de ellos y de las zonas donde habitan (Hodgson *et al.*, 2013; Linchant *et al.*, 2015). Los lobos marinos de California son bioindicadores ecológicos del ecosistema marino debido a que son sensibles a cambios ambientales (Trillmich y Limberger, 1985; Trillmich y Ono, 1991; Le Boeuf *et al.*, 2002; Aguirre y Tabor, 2004; Moore, 2008; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016b), por lo anterior es que *Z. californianus* es considerada una especie centinela (Le Boeuf *et al.*, 2002), especialmente al contar con una alta posición trófica, alta abundancia poblacional, amplia distribución y longevidad (Aguirre y Tabor, 2004; Moore, 2008).

La colonia de lobos marinos de California de Los Islotes en la Bahía de La Paz es la única colonia del Golfo de California con aparente crecimiento poblacional (Adame *et al.*, 2018), por lo cual es importante monitorearla en diferentes escalas de tiempo. Además, forma parte de un área natural protegida (Parque Marino Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo de la Bahía de La Paz, Baja California Sur), la cual es un recurso marino y de aprovechamiento económico relevante para la comunidad de la Ciudad de La Paz. Debido a lo anterior, es necesario llevar a cabo estudios que nos permitan conocer más acerca de esta colonia para así darle el manejo adecuado y continuar su protección y aprovechamiento de modo responsable.

El estudio de los hábitos alimentarios es de gran importancia para conocer aspectos sobre el rol que juega cada organismo en la trama trófica (Casper *et al.*, 2006), en específico los depredadores tope; ya que, al encontrarse en el eslabón más alto, o cerca de él, se puede inferir a través de su dieta cómo es que responden de manera individual y/o poblacional a la variabilidad ecológica y ambiental (Bowen y Iverson, 2013). Un ejemplo de esta variabilidad climática ocurre cuando se presentan anomalías positivas de la TSM (p. e. El Niño), las cuales consisten en calentamientos que afectan negativamente la productividad primaria del ecosistema y por ende la disponibilidad de presas. Estos procesos provocan cambios adversos en los hábitos alimentarios de los depredadores tope (Trillmich y Ono, 1991), ocasionando una posterior baja en la abundancia poblacional asociada al incremento del esfuerzo de

búsqueda de alimento (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016b) o desplazamientos inusuales (Páez-Rosas *et al.*, 2017). La mayoría de estos trabajos se han desarrollado en el Océano Pacífico; sin embargo, en 2014 se evidenció un calentamiento anómalo en el sur del Golfo de California (Bahía de La Paz) que tuvo efecto sobre la comunidad de mamíferos marinos de la región (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016c). El presente estudio es una oportunidad única de determinar estos efectos sobre la lobera de Los Islotes, presente en esta región del golfo.

HIPÓTESIS

La abundancia de lobos marinos de California en la colonia de Los Islotes varía intra e interanualmente debido a variaciones ambientales que provocan cambios en la distribución de sus presas. Esto, causa que los individuos modifiquen sus patrones de estancia en el mar por búsqueda de alimento, prolongando su ausencia en tierra, particularmente durante años con anomalías climáticas, como el fenómeno El Niño 2015-2016 y La Mancha 2014-2016. Debido a lo anterior se espera que los lobos marinos de Los Islotes presenten distintos valores isotópicos a través de los diferentes años muestreados (2013-2018), como resultado de cambios en la amplitud y posición trófica, así como en el uso de hábitat destinado a su alimentación.

OBJETIVOS

General

Estimar la abundancia y amplitud alimentaria interanual, así como uso de hábitat, del lobo marino de California de Los Islotes (Bahía de La Paz, México) a través de isótopos estables de N y C y su relación con la variabilidad ambiental.

Específicos

1. Analizar la abundancia intra e interanual de 2013 a 2018 del lobo marino de California en la colonia de Los Islotes.
2. Determinar la posición relativa y amplitud trófica interanual de 2013 a 2018 a través de valores de $\delta^{15}\text{N}$ y de uso de hábitat mediante $\delta^{13}\text{C}$ en lobos marinos de California de Los Islotes.
3. Relacionar la variación interanual de abundancia con la amplitud alimentaria, medida en términos de variabilidad isotópica y con el ambiente circundante mediante el uso de la TSM obtenida de sensores remotos.

ÁREA DE ESTUDIO

Los Islotes están ubicados en el límite nororiental de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, en el Golfo de California ($24^{\circ}35'$ N y $110^{\circ}23'$ O). Se componen de dos islotes rocosos que en conjunto alcanzan una superficie de 0.046 km^2 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) y se encuentran en la punta norte del Complejo Insular Espíritu Santo (García-Aguilar y Aurióles-Gamboa 2003). Desde el 2000 este complejo insular es parte de un Área Natural de Protección de Flora y Fauna (Islas del Golfo de California) que a su vez es Parque Nacional desde 2007. El Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo (PNZMAES) comprende el área marina circundante al Archipiélago de Espíritu Santo y es reconocida por ser una de las áreas más importantes para la conservación y aprovechamiento sustentable de las actividades pesqueras y ecoturísticas en el sur del Golfo de California. En 2005 se nombró Patrimonio Natural Mundial de la Humanidad por la UNESCO (Fig. 1).

La Bahía de La Paz es el cuerpo de agua costero más grande y profundo del Golfo de California, localizado en su lado oeste. Tiene unas dimensiones aproximadas de 80 km de largo y 35 km de ancho, separada del golfo por una península estrecha, proyectada hacia el norte y el complejo insular Espíritu Santo-La Partida. Por lo tanto, la conexión con el golfo ocurre a través de dos aperturas, la Boca Grande, amplia y profunda localizada al norte y el Canal San Lorenzo, somero y estrecho, ubicado al este. La bahía presenta un gradiente batimétrico con profundidades al sur van desde 10 m hasta los 450 m en su parte norte (Merrifiel y Winant, 1989, Marinone, 2003).

La zona sur del Golfo de California presenta comunicación abierta con el Océano Pacífico a través de la boca del golfo, la cual presenta tres masas de agua superficiales: 1) agua fría de la Corriente de California, 2) agua cálida del Pacífico Tropical y 3) agua propia 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). Asimismo, la formación de frentes es típica en la entrada del golfo tiene gran importancia para la producción pesquera en la región (Álvarez-Borrego, 1983)

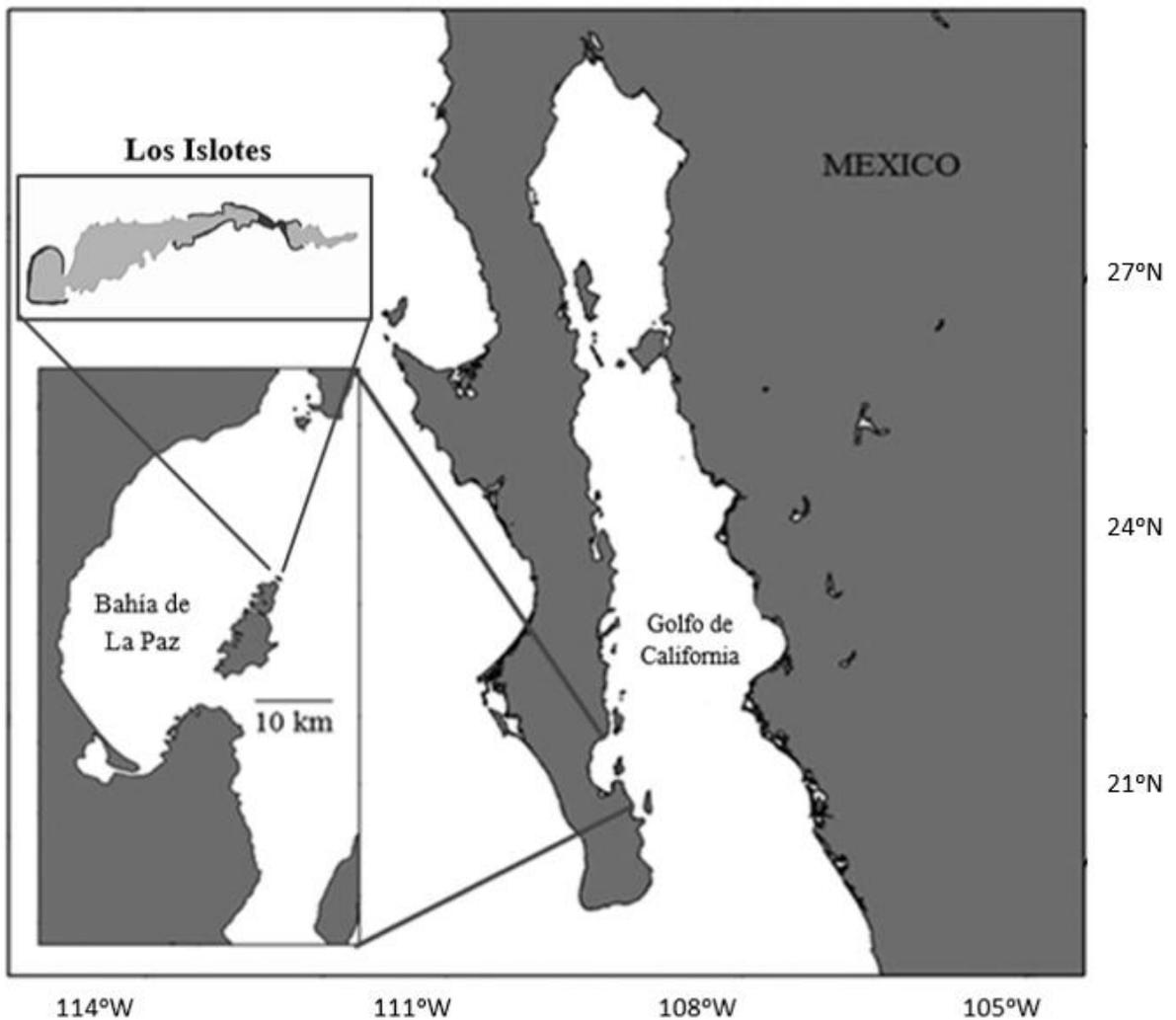


Figura 1. Área de estudio: Los Islotes, La Paz, Baja California Sur, México. Marcado con negro las zonas con mayor densidad de lobos marinos de California.

MÉTODOS

Obtención de datos

Abundancia de lobos marinos de California de Los Islotes

Se realizaron censos mensuales del año 2013 al 2018 (N=52) realizados por el grupo de investigación de pinnípedos del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) a cargo del Dr. Fernando R. Elorriaga Verplancken. Los censos se realizaron a bordo de una embarcación menor con motor fuera de borda (panga) rodeando la colonia a una distancia entre 15-35 m. Todos los conteos fueron realizados por el mismo observador para evitar sesgos de experiencia entre diferentes observadores. El observador dictó a otra persona los individuos que iba contabilizando, para que éste los fuera anotando inmediatamente en una bitácora. La observación y el conteo de lobos marinos se realizaron con binoculares (Celestron 10x42) clasificando los lobos marinos por clases de edad y sexo (macho adulto, macho subadulto, hembra adulta, juvenil, crías e individuos no determinados) (Peterson y Bartholomew, 1967; Orr *et al.*, 1970; Le Boeuf *et al.*, 1983) (Tabla 1).

Tabla 1. Características morfológicas de las distintas clases de edad y sexo del lobo marino de California (*Zalophus californianus*).

Clase	Características morfológicas	Imagen
Macho adulto	2–2.5 m de longitud. Cresta sagital muy pronunciada. Cuerpo y cuello ancho. Coloración oscura del cuerpo, pelaje claro en el rostro y oscuro en el cuerpo, > 9 años.	

<p>Macho subadulto</p>	<p>1.4-1.6 m de longitud. Cresta sagital y cuello ancho menos desarrollado que en machos adultos. Color oscuro, 5-8 años.</p>	
<p>Hembra adulta</p>	<p>1.4–1.6 m de longitud. Ausencia de cresta sagital. Coloración clara (café claro). Cuello delgado, cara pequeña y afilada, > 5 años.</p>	
<p>Juvenil</p>	<p>1–1.3 m de longitud. Cabeza grande en proporción al cuerpo. A distancia no es posible distinguir entre sexos, de 1 a 4 años.</p>	
<p>Cría</p>	<p>Individuos recién nacidos a 1 año de edad. Pelaje oscuro al nacer y pelaje oscuro más claro >5 meses por la muda. Cabeza grande y redondeada con respecto al cuerpo.</p>	
<p>Indeterminado</p>	<p>Individuos que no se lograron clasificar en los conteos.</p>	

Toma de medidas morfométricas y colecta de muestras de pelo de crías

Durante la temporada de nacimientos en verano (junio-julio) en Los Islotes, de 2013 a 2018, se capturaron de 20 a 30 crías por año (Tabla 2) con ayuda de una red o a mano y se inmovilizaron. Las crías se seleccionaron para que presentaran una condición corporal similar entre ellas, con la finalidad de obtener muestras de individuos de aproximadamente la misma edad (1-2 meses). Se identificó el sexo y se tomaron medidas morfométricas con una cinta métrica como longitud total (distancia que va de la punta de la nariz a la punta de la cola) expresada en cm y el peso expresado en kg utilizando una báscula con capacidad de 30 kg.

Se tomaron muestras de pelo de la región dorsal de los individuos cortando aproximadamente 2cm x 2cm de pelo con tijeras. Las muestras se guardaron en sobres de papel manila, rotulados con el número de cría, la fecha, el peso, longitud total y sexo de la cría.

Tabla 2. Número de individuos y sexo de las crías de lobo marino de California capturadas por año en Los Islotes.

Año	Hembras	Machos	Total
2013	10	12	22
2014	13	15	29
2015	18	12	30
2016	9	11	20
2017	10	10	20
2018	12	18	30
Total	62	78	140

Procesamiento de muestras

Las muestras de pelo se procesaron en el Laboratorio de Ecología de peces en el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) en La Paz Baja California Sur, México. Cada muestra se lavó en tres ocasiones con una solución de cloroformo/metanol (proporción 1:1) para retirar suciedad. La primera vez se mantuvo el solvente durante 5 minutos y con ayuda de unas pinzas se retiraron las impurezas para posteriormente retirar el solvente utilizado. Después las muestras se volvieron a sumergir en el solvente hasta dejar que este se evaporara. Este proceso se llevó a cabo dos veces para cada muestra de pelo.

Posteriormente se realizaron cortes finos en cada muestra con pinzas y tijeras y se homogeneizaron con un mortero ágata hasta obtener un polvo fino. Con una microbalanza analítica (precisión ± 0.0001 mg) se pesaron 0.8-1.2 mg de cada muestra y se guardaron en cápsulas de estaño de 8x5 mm.

Las capsulas que contenían las muestras se empacaron, sellaron y fueron enviadas al Laboratorio de isótopos estables de la Universidad de Nuevo México, E.E.U.U. para posteriormente ser analizadas mediante 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.

Análisis estadístico

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

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

Donde: $\delta^{13}C$ o $\delta^{15}N$ = es 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 $R_{estándar}$ son las razones de $^{15}N/^{14}N$ o $^{13}C/^{12}C$ para cada 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 (N₂) para el nitrógeno con un valor de 0.004 ‰ (DeNiro y Epstein, 1978).

Sensores remotos

Las imágenes de la temperatura superficial de mar (TSM) (°C) de la parte sur del Golfo de California (−111.9287 Oeste, 22.6978 Sur, -107.0508 Este, 26.1475 Norte), se obtuvieron de acuerdo con la regionalización ecológica de las colonias reproductivas de lobo marino de California del Golfo de California, ya que en esta zona es donde se distribuyen principalmente los lobos marinos pertenecientes a la colonia de Los Islotes (Szteren y Auriolles-Gamboa, 2011). Las imágenes satelitales se descargaron de la plataforma Giovanni de la NASA (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>) y son provenientes de sensores pasivos, que se limitan a recibir la energía electromagnética (infrarroja o en el espectro visible), con una resolución espacial de 4x4 km, suministradas por los sensores del satélite Aqua MODIS. Todas las imágenes satelitales utilizadas en este estudio muestran el promedio de la TSM de los tres meses previos a la temporada reproductiva (abril-junio) debido a que los valores isotópicos obtenidos del pelo de las crías dan información de un periodo previo de aproximadamente tres meses (Newsome *et al.*, 2006). El procesamiento de las imágenes de TSM y las imágenes de anomalías de TSM se realizaron con el programa ArcMap 10.3.

Las imágenes de anomalías de la TSM se hicieron tomando como año promedio el 2013 ya que según el Índice de El Niño Oceánico (en inglés Oceanic Niño Index) fue el único año de los seis años de muestreo con condiciones oceanográficas de tipo “Normal” (con anomalías menores a +/- 0.5 °C). Además, en 2013 se registró la mayor abundancia y los pesos más altos de crías de 2013-2018, por lo cual se infiere que fue un año de condiciones favorables para los lobos marinos de Los Islotes. Para calcular las anomalías se comparó la TSM de 2013 con la TSM de cada uno de los años de muestreo restantes (2014-2018). Posteriormente, con la finalidad de comparar los años de muestreo con un promedio de una serie de tiempo más larga, se descargó la imagen satelital de TSM del promedio de 2003-2018 y se comparó con cada una de las imágenes de TSM de 2013-2018.

Análisis de datos

Abundancia

La abundancia total de individuos (todas las clases de edad y sexo) se analizó en escalas intra e interanual mediante el programa STATISTICA. La comparación intra-anual incluyó todos los censos mensuales realizados durante 2013–2018, para posteriormente calcular el promedio y desviación estándar mensual. También se analizó la variación mensual de la abundancia para cada clase de edad por separado durante el periodo de estudio.

La evaluación interanual de los seis años de muestreo también incluyó todos los censos realizados durante cada año, considerando el total de individuos (todas las clases de edad y sexo) se calculó el promedio y la desviación estándar de cada año. También se realizó una gráfica de dispersión para inferir si existía una relación entre los conteos y los años (2013-2018). Para determinar si esta relación era estadísticamente significativa se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson.

La variabilidad interanual de la abundancia de lobos marinos durante la temporada reproductiva se infirió a partir del conteo con mayor número de individuos registrados durante la temporada reproductiva (junio–agosto) de cada año (2013-2018), se evaluó tomando todas las clases de edad y sexo juntas, y también se estimó el total de cada clase de edad y sexo por separado. Para evaluar la abundancia de las crías durante la temporada reproductiva, se aplicó un factor de corrección de +70%, ya que el número de crías tiende a subestimarse debido a su tamaño pequeño y al terreno rocoso (Adame *et al.*, 2018).

Amplitud alimentaria

Para determinar el uso de hábitat, el nivel trófico y amplitud alimentaria de la colonia de Los Islotes durante 2013-2018 se calculó el promedio y la desviación estándar de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para cada año. Se crearon áreas isotópicas con los datos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ mediante áreas de envoltura convexa (convex hull), formando polígonos con líneas punteadas que unen las señales isotópicas de todos los individuos muestreados. Estas áreas fueron posteriormente evaluadas mediante la técnica Bayesiana de Elipses con el programa R usando el paquete SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipse in R; Jackson *et al.*, 2011): SIBER provee elipses estándares bayesianas bivariadas ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) corregidas para tamaños de muestras que pudieran ser limitados. Estas elipses se forman mediante simulaciones de Monte Carlo y representan aquellos datos con el 95% de credibilidad estadística, para ambas razones isotópicas. Esta aproximación bayesiana es complementaria a la de determinación de nichos mediante envolturas convexas, porque genera sub-grupos de valores de mayor credibilidad (elipses) dentro de cada polígono o envoltura convexa.

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ se analizaron mediante el programa STATISTICA, presentaron una distribución normal, por lo cual se realizó un análisis de varianza a estos valores para ver si existían diferencias significativas entre los seis años muestreados y la prueba de Tukey para encontrar los años significativamente diferentes.

Relación entre abundancia/pesos y variabilidad ambiental

La abundancia de hembras adultas durante la temporada reproductiva fue analizada en función del tamaño del área isotópica mediante una gráfica de dispersión para inferir si existía una relación entre estos. Para determinar si esta relación era estadísticamente significativa se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson mediante el programa STATISTICA. Lo anterior, debido a que en estudios anteriores con pinnípedos se ha comprobado que los mayores tamaños de área isotópica están asociados con una mayor dispersión durante sus viajes de alimentación y por ende se registran un menor número de animales en tierra (Elorriaga Verplancken *et al.*, 2016b).

Los pesos de las crías fueron analizados como un indicador de condición corporal, considerando un ajuste de tasa de crecimiento de 0.12 kg/día (Elorriaga-Verplancken, 2004) debido a que los pesos fueron tomados en diferente fecha cada año. Una vez realizado el ajuste se calculó el promedio y la desviación estándar anual del peso de las crías y se compararon de forma general y también por sexos separados a través de los seis años muestreados. Se realizó una comparación mediante un ANOVA de los pesos de crías hembra con los pesos de crías macho de cada año para determinar si existían diferencias significativas entre sexos.

Finalmente, en el programa STATISTICA se analizaron los pesos promedios de las crías (ambos sexos combinados) en función de las anomalías de TSM mediante una gráfica de dispersión para inferir si existía una relación entre estos y para determinar si esta relación era estadísticamente significativa se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson.

RESULTADOS

Abundancia de lobos marinos de California en Los Islotes 2013–2018

La abundancia mensual promedio incluyendo todas las clases de edad y sexo fue mínima durante mayo y máxima durante junio-agosto. Este patrón se repitió durante los seis años de muestreo. Mientras que la abundancia total anual promedio de la colonia presentó un declive del 23% de 2013 (424 ind.) a 2018 (322 ind.) (Fig. 2 y 3).

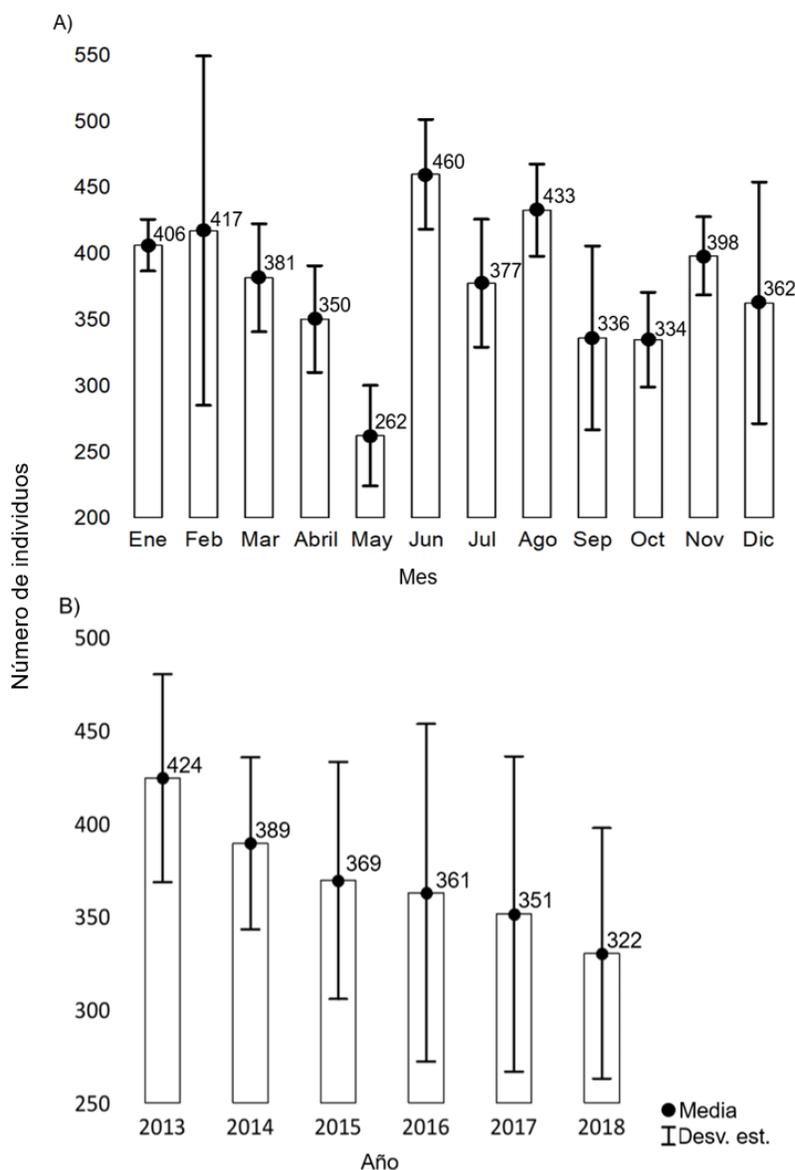


Figura 2. Variación mensual (A) y anual (B) de la abundancia promedio y desviación estándar de la colonia de lobos marinos de California (*Z. californianus*) de Los Islotes durante 2013-2018.

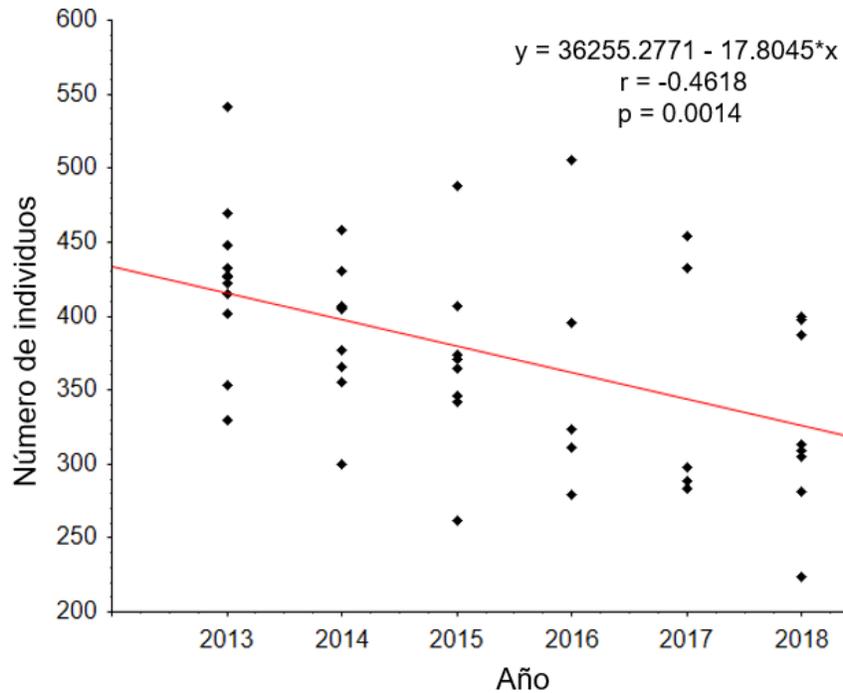


Figura 3. Correlación inversa entre la abundancia de lobos marinos de California (*Z. californianus*) de Los Islotes y el tiempo (años 2013-2018).

La abundancia total observada durante las temporadas reproductivas se mantuvo estable entre 400 y 506 individuos mostrando un ligero declive de 2016 a 2018. Cada clase de edad mostró un patrón diferente, en el caso de las hembras adultas mostró baja variabilidad a través de los seis años de muestreo (rango 221-258 ind./año) mostrando las menores abundancias durante el 2015, 2016 y 2018. La abundancia de crías presentó un decremento del 50-60% durante 2014 y 2015 en comparación con 2013. La abundancia de juveniles mostró un aumento en los años 2015 y 2016, en comparación con el resto de los años del muestreo, siendo el 2018 el año con la abundancia más baja de esta clase de edad. La abundancia máxima de machos adultos fue registrada en 2013 (34 ind.) y la mínima en 2016 (18 ind.). La abundancia de machos subadultos presentó un declive del 58% de 2015 (48 ind.) a 2018 (20 ind.) (Fig. 5).

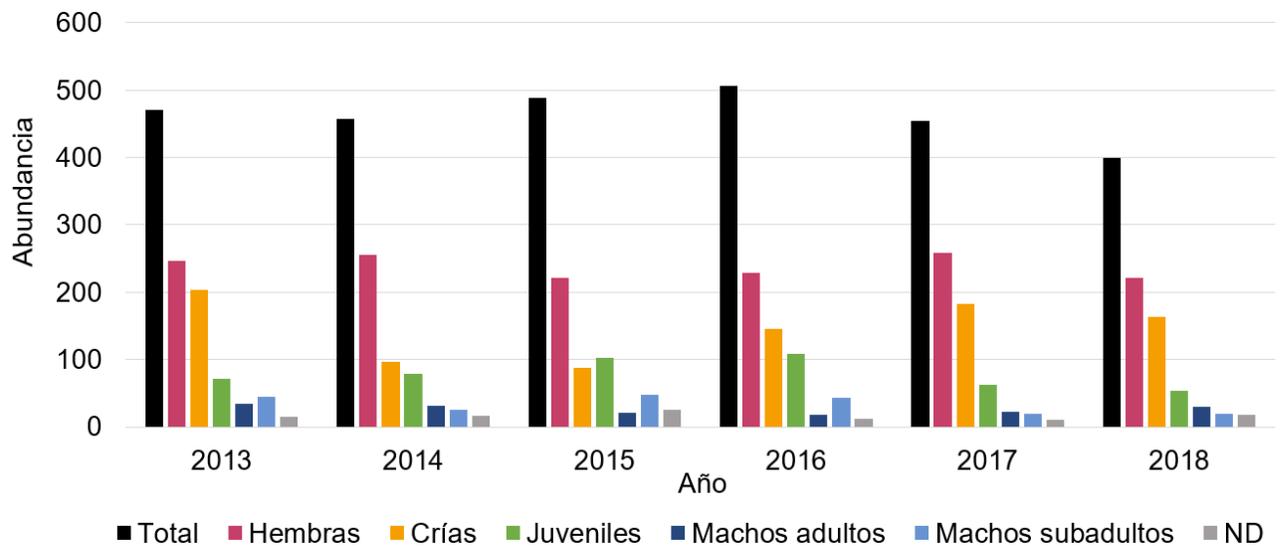


Figura 4. Variación de la abundancia total (todas las clases de edad combinadas) y de las distintas clases de edad y sexo de lobo marino de California (*Z. californianus*) de Los Islotes durante las temporadas reproductivas del periodo 2013-2018.

La abundancia total de individuos varió mensualmente a través de los seis años de muestreo, registrando las abundancias más bajas durante 2018 (Fig. 6). Se evidenciaron distintos patrones de variación mensual de la abundancia por clase de edad y sexo. La variación mensual de la abundancia de las hembras adultas (Fig. 7) fue la más similar a la variación mensual de la abundancia total de la colonia.

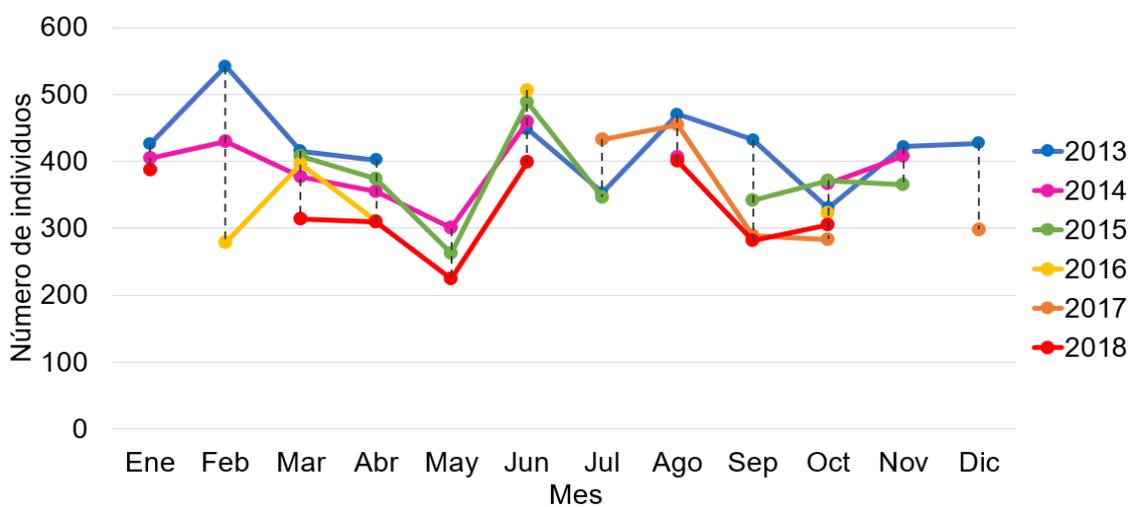


Figura 5. Variación mensual de la abundancia total de lobos marinos de California (*Z. californianus*) de Los Islotes durante 2013-2018.

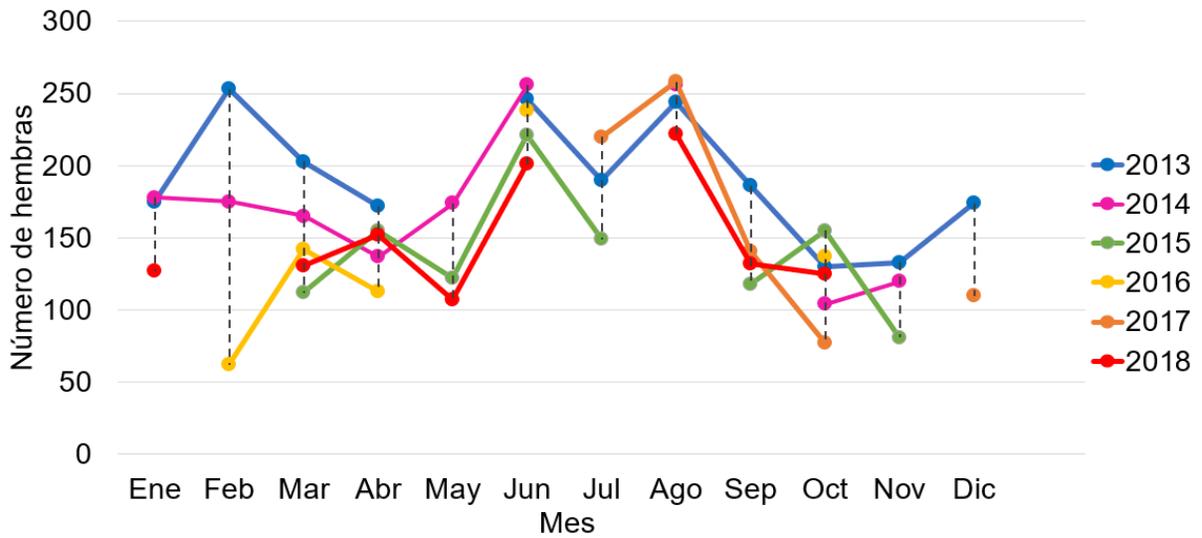


Figura 6. Variación mensual de la abundancia de hembras adultas de lobo marino de California (*Z. californianus*) de Los Islotes durante 2013-2018.

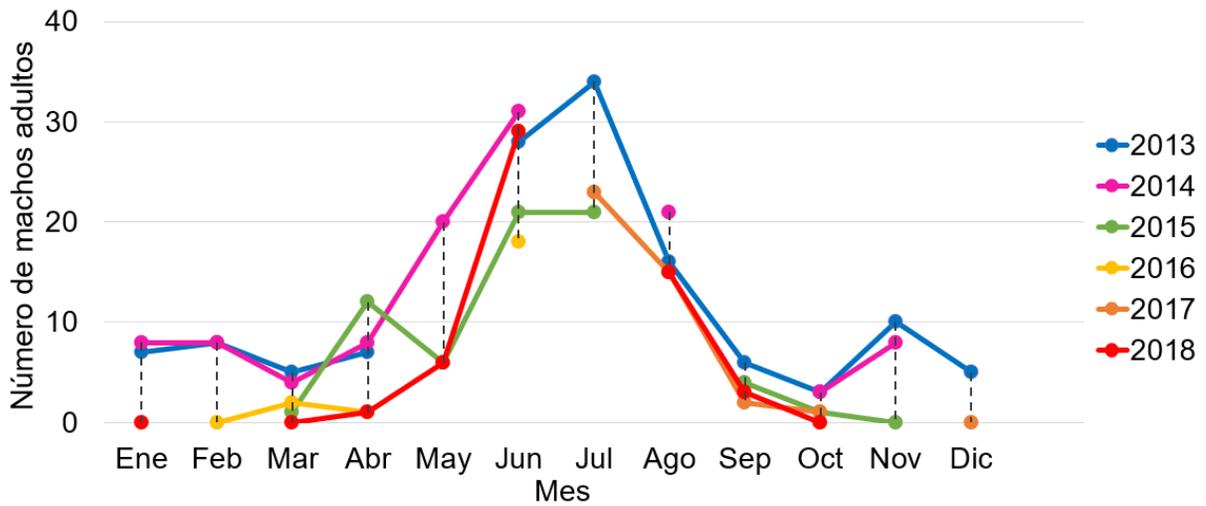


Figura 7. Variación mensual de la abundancia de machos adultos de lobos marinos de California (*Z. californianus*) de Los Islotes durante 2013-2018.

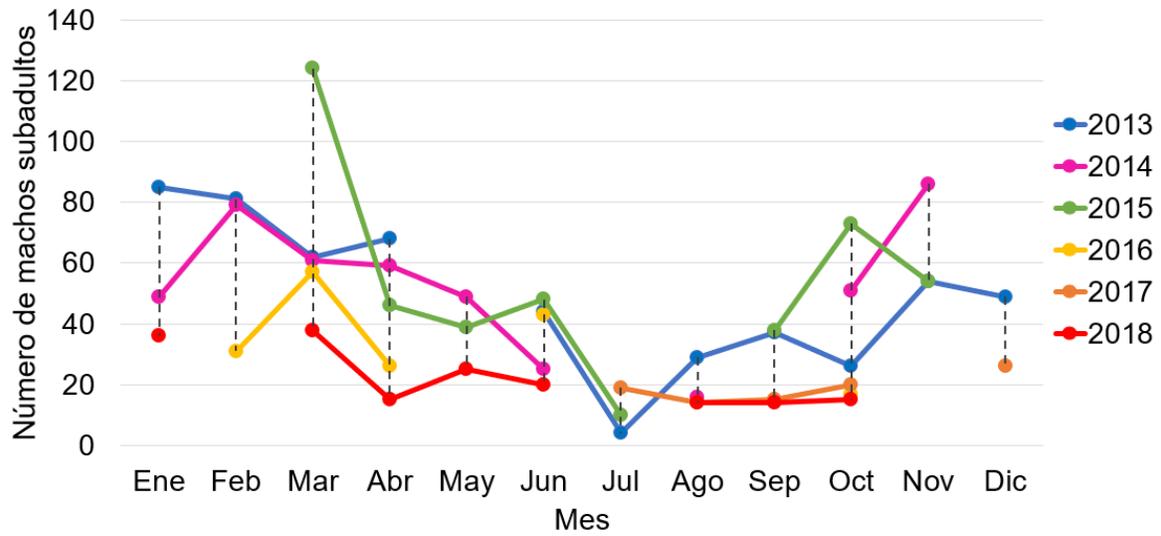


Figura 8. Variación mensual de la abundancia de machos subadultos de lobos marinos de California (*Z. californianus*) de Los Islotes durante 2013-2018.

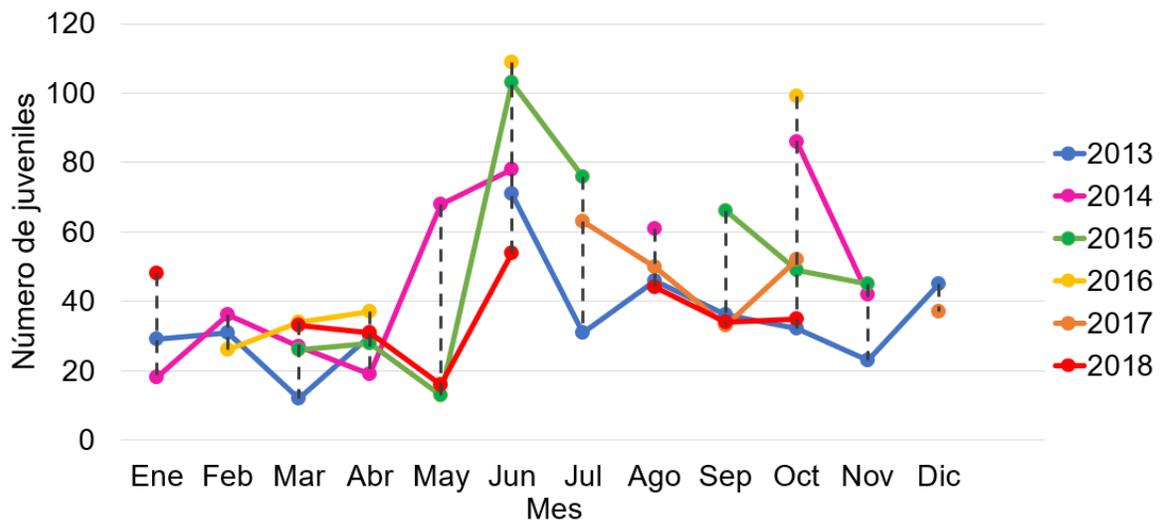


Figura 9. Variación mensual de la abundancia de juveniles de lobos marinos de California (*Z. californianus*) de Los Islotes durante 2013- 2018.

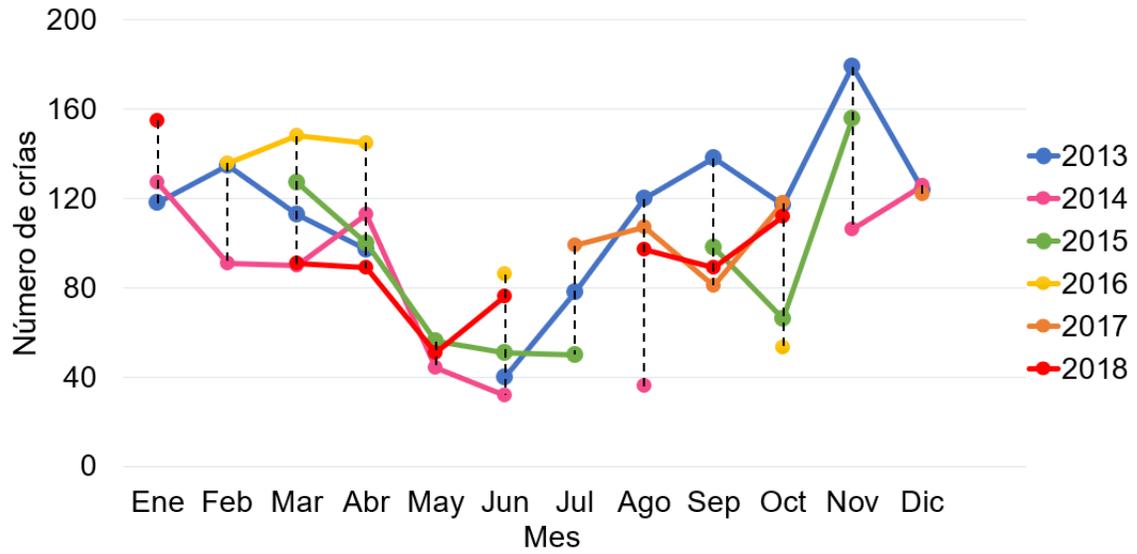


Figura 10. Variación mensual de la abundancia de crías de lobos marinos de California (*Z. californianus*) de Los Islotes durante 2013-2018.

Amplitud alimentaria

Los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ fueron similares entre los años de muestreo, en contraste, los valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ en 2016 fueron más bajos que durante el resto de los años. También se encontró que los datos de ambas razones isotópicas presentaron una mayor desviación estándar durante 2016 que durante el resto de los años muestreados (Tabla 3).

Tabla 3. Promedio y desviación estándar de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de pelo de crías de lobos marinos de California (*Zalophus californianus*) de Los Islotes durante 2013-2018.

Año	Promedio (‰)		Desviación estándar	
	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰
2013	-15.34	21.99	0.354	0.265
2014	-15.67	22.25	0.576	0.282
2015	-15.73	22.17	0.428	0.383
2016	-15.25	21.18	0.786	0.531
2017	-15.70	22.30	0.562	0.371
2018	-15.60	22.70	0.540	0.465

Los nichos isotópicos anuales mostraron que 2016 presentó los valores más bajos de $\delta^{15}\text{N}$. También la mayor amplitud del nicho ocurrió durante 2016 con un área total de 3.18‰^2 seguido de 2018 con un área total de 2.88‰^2 (Fig. 15, Tabla 4).

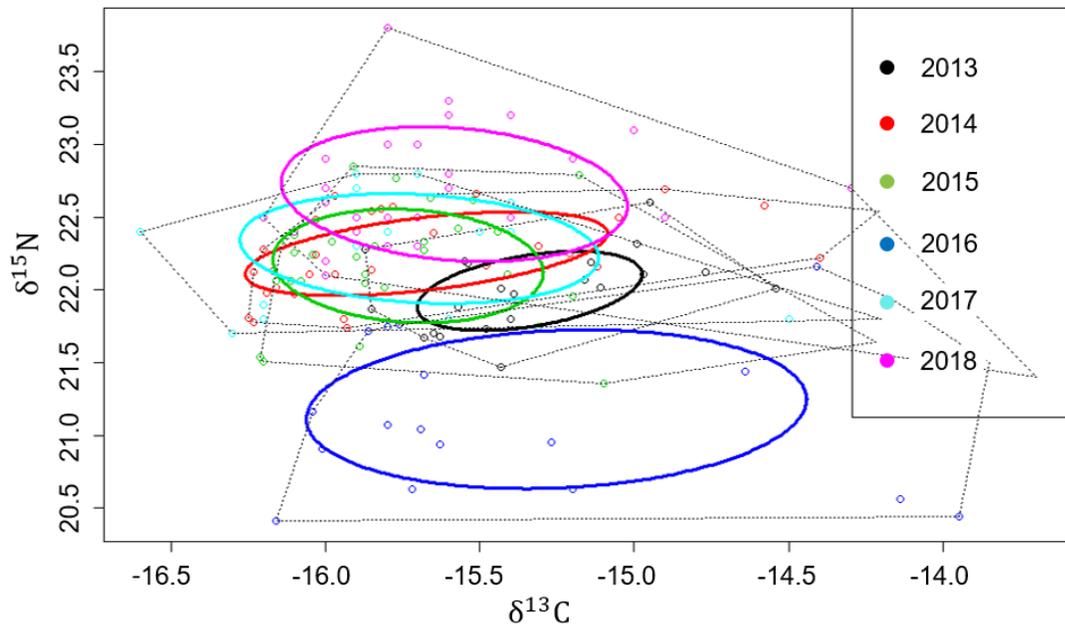


Figura 11. Nicho isotópico de las crías de lobo marino de California (*Z. californianus*) de Los Islotes representativo de los tres meses previos al muestreo realizado durante las temporadas reproductivas de 2013 a 2018.

Tabla 4. Tamaño de área de la elipse estándar corregida (elipses) (SEAC‰²) y tamaño del área total del polígono (línea punteada) (TA‰²).

Año	SEAC ‰ ²	TA ‰ ²
2013	0.28	0.90
2014	0.46	1.28
2015	0.53	1.99
2016	1.38	3.18
2017	0.68	1.54
2018	0.80	2.88

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA, $F= 3.2119$, $p= 0.00893$) y $\delta^{15}\text{N}$ (ANOVA, $F= 35.054$, $p= 0.0000$) mostraron diferencias significativas entre años. La prueba post hoc mostró que $\delta^{13}\text{C}$ solo tuvo diferencias significativas entre 2015 y 2016 ($p=0.022$) (Tabla 5), mientras que para el $\delta^{15}\text{N}$ se encontraron diferencias significativas entre 2016 y 2018; así como también ambos con respecto al resto de los años (2013-2015, 2017) (Tabla 6).

Tabla 5. ANOVA la comparación de promedios de $\delta^{13}\text{C}$ de las crías de lobo marino de California (*Z. californianus*) de Los Islotes por año (2013-2018). Las diferencias significativas están marcadas en negritas ($p < 0.05$).

Año	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	-15.32	-15.67	-15.73	-15.22	-15.71	-15.57
2013						
2014	0.240					
2015	0.105	0.998				
2016	0.992	0.065	0.022			
2017	0.244	0.999	0.999	0.076		
2018	0.641	0.981	0.877	0.285	0.959	

Tabla 6. ANOVA la comparación de promedios de $\delta^{15}\text{N}$ de las crías de lobo marino de California (*Z. californianus*) de Los Islotes por año (2013-2018). Las diferencias significativas están marcadas en negritas ($p < 0.05$).

Año	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	21.99	22.25	22.16	21.18	22.27	22.66
2013						
2014	0.195					
2015	0.641	0.960				
2016	0.000	0.000	0.000			
2017	0.187	0.999	0.919	0.000		
2018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	

Variabilidad ambiental

La TSM en el sur del Golfo de California durante los tres meses previos a de la temporada de nacimientos varió a través de los años de muestreo con un rango de 23.5 a 27° C (Fig. 13).

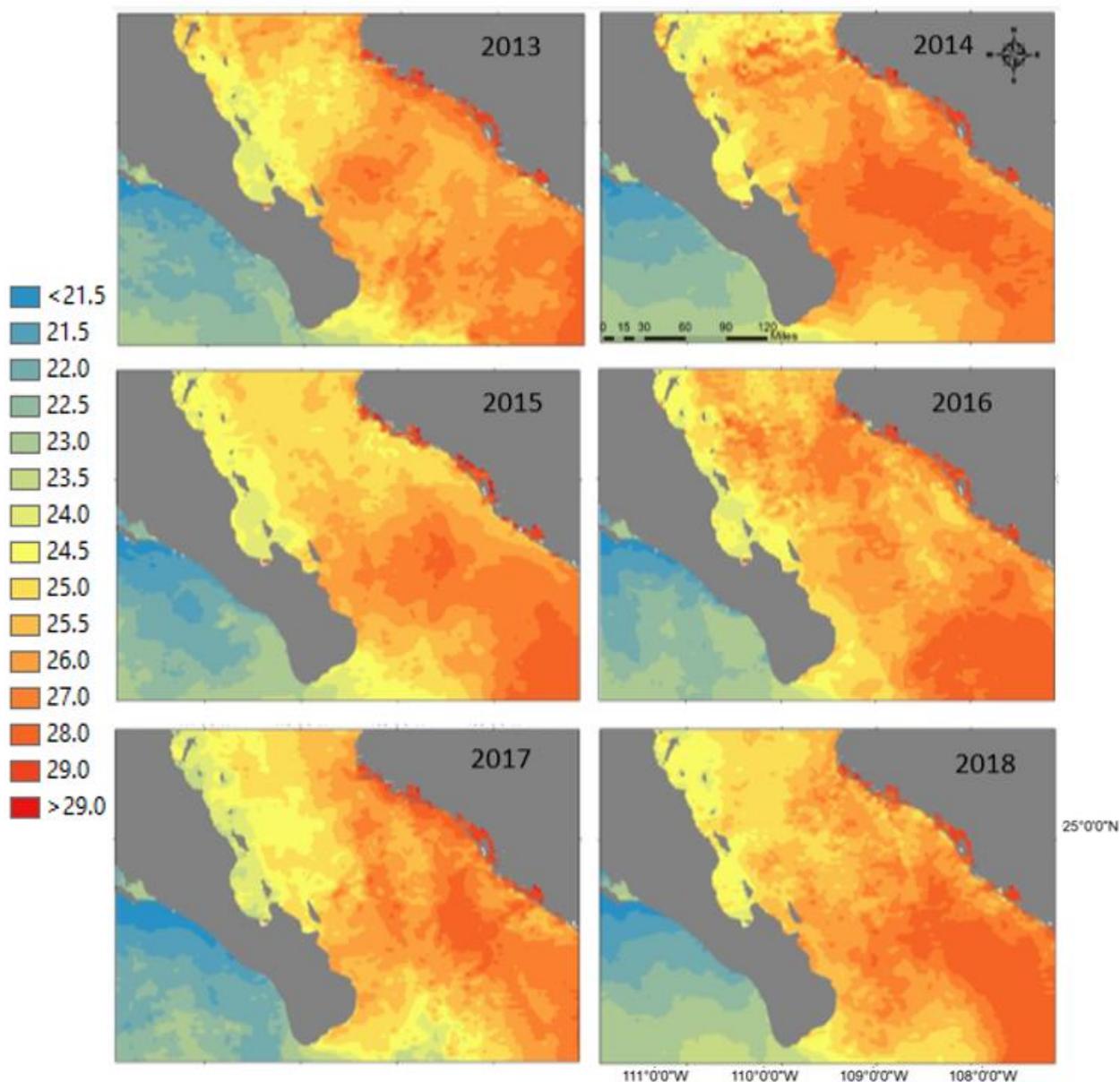


Figura 12. Imágenes de temperatura superficial del mar en el sur del Golfo de California, mostrando la temperatura en escala de 4 x 4 km promediada para abril–junio de cada año de 2013 a 2018.

Las anomalías de TSM en la parte sur del Golfo de California en relación al 2013 fueron positivas durante los años 2014, 2017 y 2018 en la cercanía del Archipiélago Espíritu Santo. La mayor cobertura de anomalía positiva en la boca de la Bahía de La Paz fue observada durante el 2018 (Fig. 14).

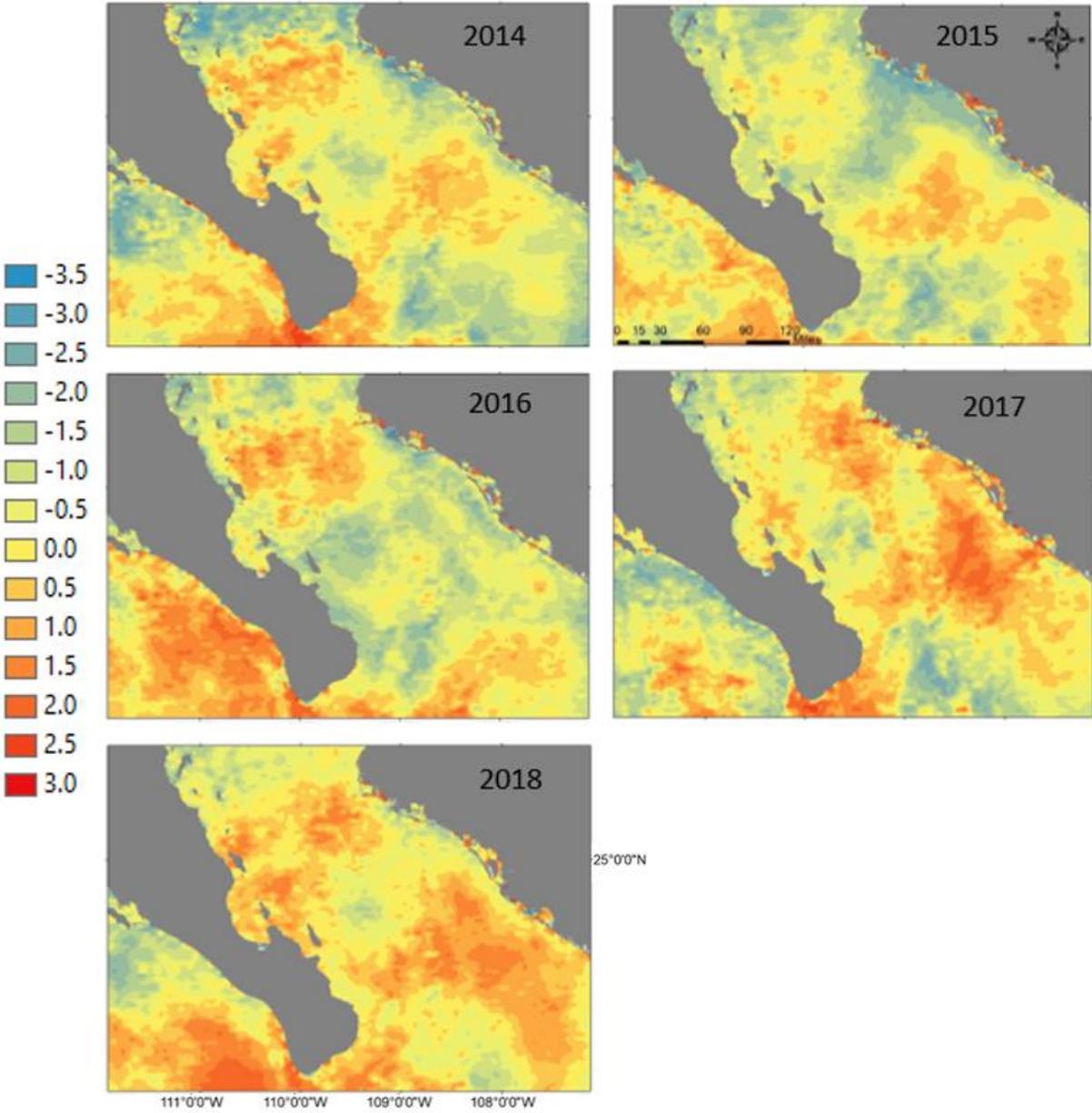


Figura 13. Imágenes de anomalía de temperatura superficial del mar en el sur del Golfo de California, registrada durante abril–junio del 2014 al 2018 con relación a 2013.

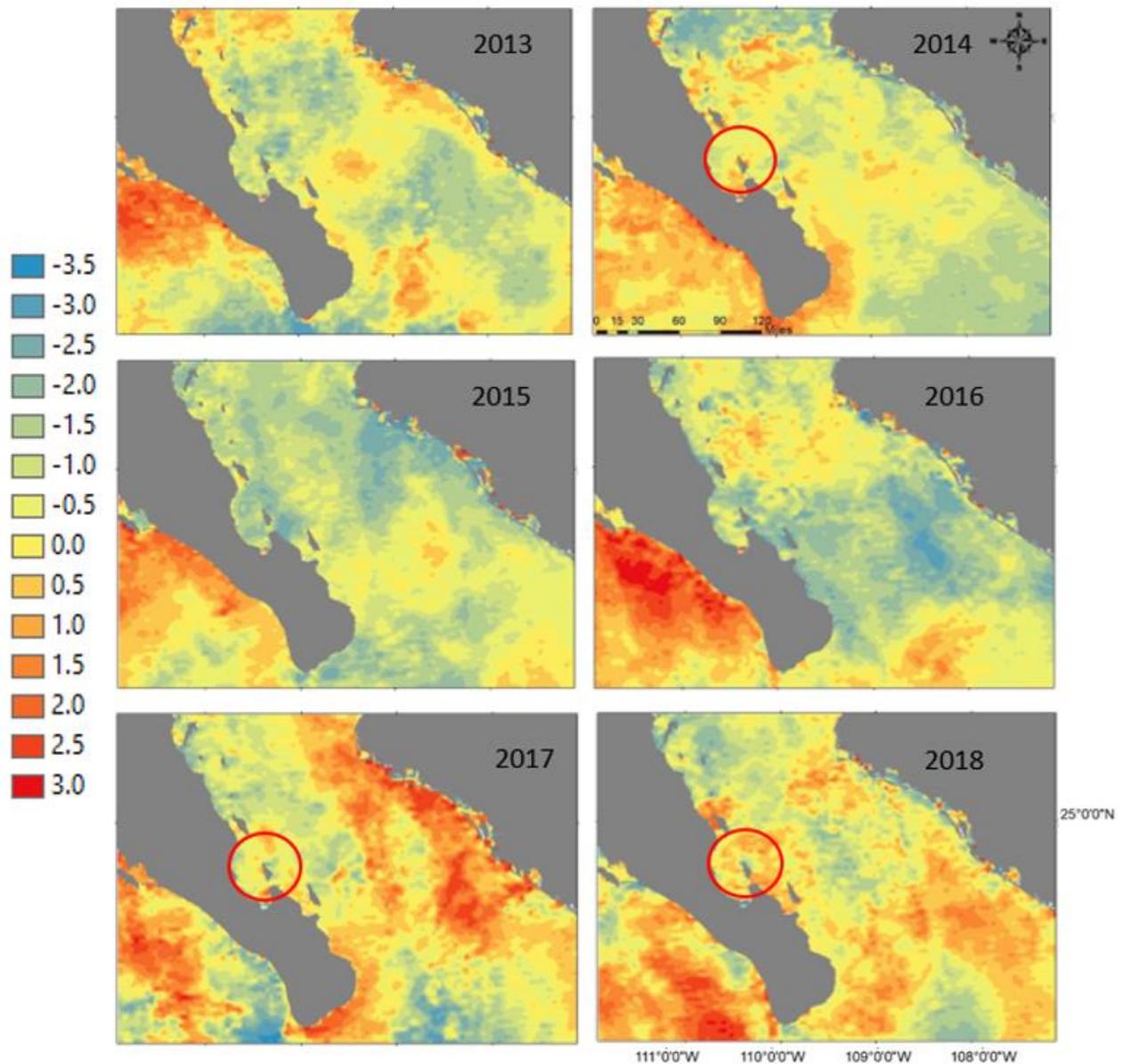


Figura 14. Imágenes de anomalía de temperatura superficial del mar en el sur del Golfo de California durante los meses abril a junio para los años 2013-2018 con respecto al promedio del periodo 2003-2018. Anomalías positivas a 40-50 km a la redonda de Los Islotes encerradas en círculos rojos, en 2014 de 1.5°C, en 2017 de 1°C y en 2018 de 2°C.

Relación con la variabilidad ambiental

La amplitud isotópica tuvo una relación inversa con el número de hembras adultas presentes en la colonia durante la temporada reproductiva (Fig. 16).

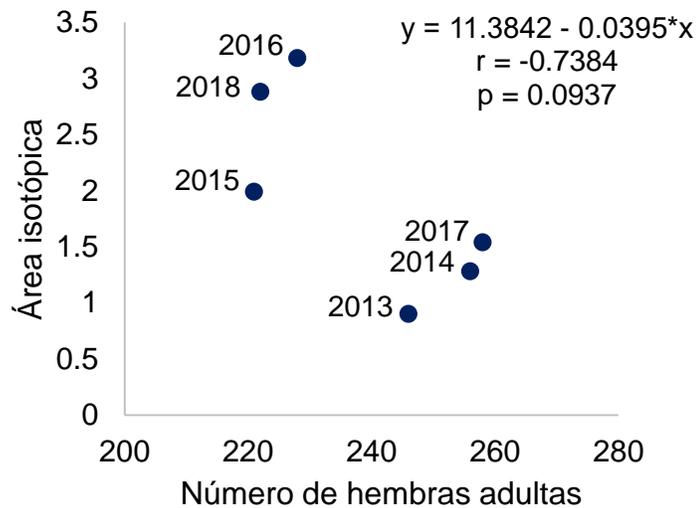


Figura 15. Correlación inversa entre la abundancia de hembras adultas de lobo marino de California (*Z. californianus*) de Los Islotes durante la temporada reproductiva y el tamaño del área total isotópica (polígono de línea punteada) de 2013-2018.

Los pesos de crías macho y hembra fueron significativamente diferentes (Tabla 7). Las crías hembra siempre tuvieron pesos más bajos que las crías macho. Esta diferencia fue más marcada en 2014 y 2018. El año 2017 se caracterizó por tener una amplia variación en pesos de crías de ambos sexos (Fig. 17).

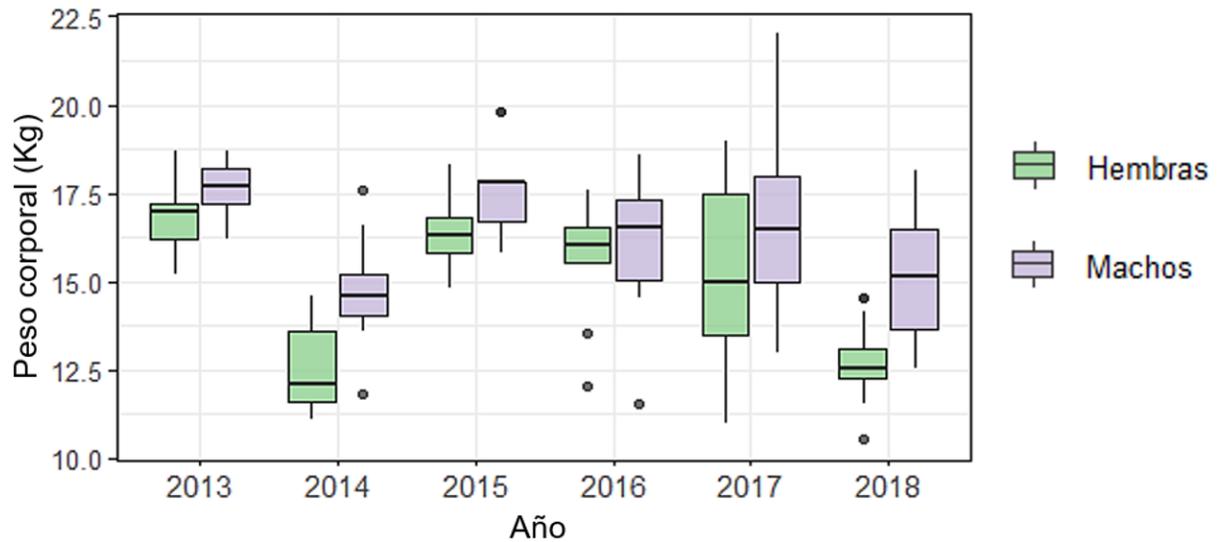


Figura 16. Pesos de las crías de lobo marino de California (*Z. californianus*) por sexo, registrados durante la temporada reproductiva de cada año de 2013-2018.

Tabla 7. Peso promedio y desviación estándar de crías macho y crías hembra de lobo marino de California (*Z. californianus*) de Los Islotes durante el periodo 2013-2018 y probabilidad para detectar diferencias entre sexos por año (ANOVA). Los años con diferencias significativas entre sexos están marcados en negritas ($p < 0.05$).

Años	Peso promedio y desv. est. (kg)		p
	Hembras	Machos	
2013	16.80 ± 1.15	17.65 ± 0.68	0.042
2014	12.59 ± 1.14	14.75 ± 1.37	0.000
2015	16.46 ± 0.90	17.50 ± 1.32	0.015
2016	15.56 ± 1.71	16.19 ± 2.05	0.467
2017	15.30 ± 2.79	16.80 ± 2.57	0.227
2018	12.68 ± 1.18	15.03 ± 1.57	0.000

Durante la temporada reproductiva de 2013 se registró el peso promedio más alto en las crías de la colonia de ambos sexos combinados (17.27 ± 1.2 kg), mientras que los pesos promedio más bajos se registraron en las temporadas reproductivas de 2014 (13.76 ± 1.9 kg) y 2018 (14.09 ± 2.1 kg) (Fig. 18).

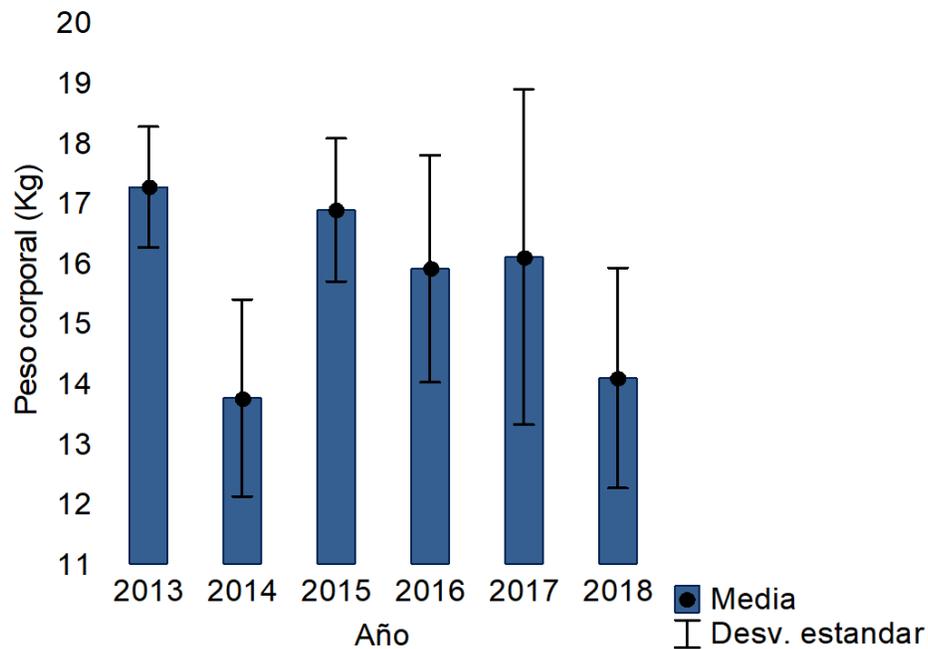


Figura 17. Pesos promedio anual de las crías de lobo marino de California (*Z. californianus*) de ambos sexos combinados, durante las temporadas reproductivas de 2013-2018.

Los pesos promedio de las crías de ambos sexos combinados tuvieron una relación inversa significativa con las anomalías de TSM por año en la zona correspondiente a 40-50 km a la redonda de Los Islotes (Tabla 8, Fig. 19).

Tabla 8. Peso promedio de las crías (ambos sexos combinados) de lobo marino de California (*Z. californianus*) de Los Islotes y grado de anomalía (TSM).

Año	Peso de las crías (kg)	Anomalía de TSM
2013	17.27	-2
2014	13.76	1.5
2015	16.88	-2.5
2016	15.91	-2
2017	16.1	1
2018	14.09	2

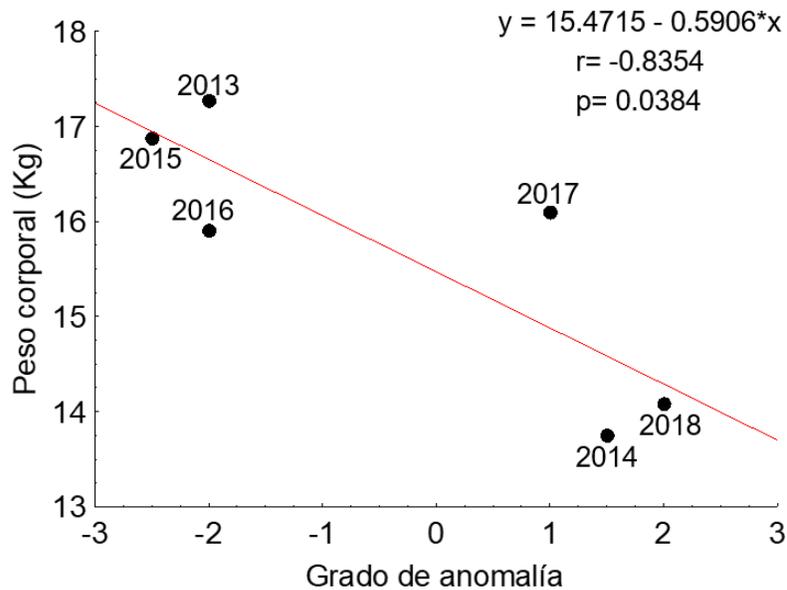


Figura 18. Correlación inversa entre los pesos promedio de las crías de lobo marino de California (*Z. californianus*) de Los Islotes y los grados centígrados de anomalía de TSM durante el periodo 2013-2018.

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo sugieren que las hembras adultas de lobo marino de California presentan plasticidad alimentaria como posible respuesta ante cambios en la disponibilidad de recursos en la región, causados por variaciones en el ambiente en términos de temperatura, provocando que modifiquen sus áreas de alimentación y por ende su abundancia en la colonia a través del tiempo, afectando la abundancia total de la colonia al ser la clase de edad más numerosa. Adicionalmente, durante los años con anomalías positivas de TMS de 1.5–2°C se infirió un mayor esfuerzo alimentario por parte de las hembras, lo cual afectó negativamente la lactancia, ocasionando el empobrecimiento de la condición corporal de las crías durante los eventos de calentamiento más intensos (2014 y 2018).

Abundancia en la colonia de Los Islotes durante 2013-2018

Al analizar la abundancia de lobos marinos de manera intra-anual, se observó el típico patrón estacional de la colonia de Los Islotes, conocido para la especie. Se observó la abundancia más alta durante los meses de junio a agosto, los cuales corresponden a la temporada reproductiva, cuando se congregan el mayor número de individuos en tierra. Durante septiembre y octubre la abundancia descende, ya que al terminar la temporada reproductiva los machos adultos migran y las hembras adultas realizan sus viajes de alimentación con más frecuencia (Aurioles-Gamboa *et al.*, 1983; Aurioles-Gamboa y Zavala, 1994; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2015). La abundancia aumenta durante noviembre a abril por la mayor presencia de machos subadultos migratorios provenientes del Océano Pacífico. Estos individuos entran al golfo de California en busca de alimento durante el invierno y migran de regreso al Pacífico, antes de que inicie la temporada reproductiva (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018), cuando arriban los machos adultos. Este patrón se observó claramente mediante la variación mensual de la abundancia de machos adultos y subadultos a través de los seis años de muestreo. Derivado de lo anterior, durante el mes de mayo se observó la menor abundancia de individuos en la colonia. De acuerdo con la variación histórica de la abundancia de la colonia de lobos marinos de Los Islotes realizada mediante conteos durante las temporadas reproductivas, esta colonia presentaba una tendencia al

incremento hasta 2016 (Adame-Fernández *et al.*, 2018). Sin embargo, en el presente estudio se encontró que la abundancia de Los Islotes durante las temporadas reproductivas de 2017 y 2018 fue menor que en 2016. En la temporada reproductiva del 2019 (fuera de este trabajo) la abundancia fue ligeramente mayor que en 2018 pero no alcanzó la abundancia del 2016 (Elorriaga-Verplancken, datos sin publicar). Debido a lo anterior, es necesario seguir monitoreando esta colonia en diferentes escalas de tiempo, para determinar si este ligero declive corresponde a una fluctuación normal de la abundancia o si perdura a través del tiempo, tal y como ha sucedido con las demás colonias de Golfo de California (Szteren *et al.*, 2006; Adame-Fernández, 2018).

Al analizar la abundancia inter-anual, solo de los periodos reproductivos, tomando en cuenta todas las clases de edad y sexo, no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo, el promedio anual considerando todos los meses de año mostró un decremento del 23% de 2013 a 2018. Dicho decremento en todos los meses, a excepción de las temporadas reproductivas, es el mismo patrón de abundancia que presentaron las hembras adultas. Esta clase de edad, junto con las crías, son la más numerosa en Los Islotes (Adame-Fernández, 2018), por lo cual refleja la misma tendencia de la abundancia total de la colonia.

Las hembras adultas podrían haber estado realizando viajes de alimentación cada vez más largos durante el año (excepto durante la temporada reproductiva) prolongando su ausencia en tierra, provocando un menor número de individuos durante los conteos mensuales. Es probable que esta mayor dispersión durante los viajes de alimentación esté relacionada con cambios en la distribución o abundancia de sus presas, como es el caso de las demás colonias del Golfo de California, en donde su declive se le atribuye, hipotéticamente, a una baja en la disponibilidad de sardina (Szteren *et al.*, 2006).

Uno de los hallazgos más importantes de este trabajo, fue el descenso del 50-60% en el número de crías durante los periodos reproductivos de 2014 y 2015, en comparación con 2013 posiblemente asociado con la anomalía positiva de TSM (aproximadamente $+1.5^{\circ}$ C) que ocurrió durante 2014 en la región alrededor de los

Islotes. Cabe señalar que las crías son la clase de edad más confiable para evaluar las fluctuaciones de abundancia de una colonia de otáridos debido a que su movilidad hacia el mar es mínima en comparación con otras clases (Aurioles-Gamboa y Zavala, 1994).

En las Islas del Canal (Channel Islands) de California, Estados Unidos, se detectó que nacen menos crías de lobo marino de California cuando se presentan condiciones anómalamente cálidas, las reducciones en los nacimientos fueron alrededor de 40% durante fenómenos El Niño moderados o fuertes (Melin *et al.*, 2012; Lowry *et al.*, 2017). Esta población tiene una tendencia positiva en el crecimiento poblacional desde 1970, pero durante eventos El Niño con anomalías positivas de 1°C este crecimiento poblacional se interrumpió, y cuando las anomalías positivas alcanzaron los 2°C la abundancia poblacional decreció (Laake *et al.*, 2018).

Algo similar ocurrió en las colonias de lobo fino de Guadalupe y lobo marino de California del Archipiélago San Benito en la costa occidental de Baja California, México. Elorriaga-Verplancken *et al.* (2016b) encontraron que la TSM de la zona incrementó 2° C en 2015 en comparación con 2014. Como consecuencia, ambas especies disminuyeron su abundancia entre 50-60%, siendo las crías la clase de edad con mayor proporción de disminución. Los cambios alimentarios causados por baja disponibilidad de recursos se asocian con destete precoz, el cual resulta en una mayor mortalidad de neonatos (Melin *et al.*, 2008; NOAA Fisheries, 2015).

Posiblemente la fecundidad (número de nacimientos en relación con el número de hembras) de la colonia de Los Islotes también se vio perjudicada, como resultado de la anomalía positiva de 2014, provocando que no se presentaran tantos embarazos o que estos no llegaran a término. Por esta razón, aunque 2015 fue un año de menor TSM en la Bahía de La Paz, de igual manera se observó un número bajo de crías. Este decremento de crías pudo dar lugar a un mayor número de juveniles en tierra junto con sus madres, durante años posteriores a la anomalía positiva de TSM (2015 y 2016), ya que normalmente los lobos marinos de California de esta región son destetados al año de edad (cuando nace la siguiente cría), pasando a ser juveniles; sin embargo, al presentarse un número menor de nacimientos es probable que los

juveniles continuarán con la lactancia durante un periodo más largo. Existen registros en donde la lactancia llega a extenderse hasta dos o tres años, sin embargo, esto es poco común (Newsome *et al.*, 2006, Elorriaga-Verplancken, 2009).

A partir del 2016 el número de crías de lobo marino de Los Islotes aumentó significativamente, pudiendo estar relacionado con una mayor dispersión por parte de las hembras durante sus viajes de alimentación como posible estrategia ante la baja disponibilidad de recursos. Este es un tema que se discutirá con más detalle en el apartado de amplitud alimentaria. Sin embargo, el número de crías no alcanzó la abundancia observada en 2013.

En las demás colonias reproductivas del Golfo de California también se ha documentado un declive en el número de crías en años recientes. Pelayo-González (2018) sugirió que la disminución de nacimientos de lobos marinos de California en el golfo no es resultado de una baja de fecundidad sino de un menor número de hembras adultas. Sin embargo, Adame-Fernández (2018) encontró que la proporción de hembras en las colonias reproductivas fue similar a la reportada previamente, mientras que la proporción de crías disminuyó un 10%, sugiriendo que no solo existe un menor número de hembras, sino que menos de ellas están teniendo crías. Es probable que los viajes de alimentación de las hembras, en los últimos años, no estén siendo únicamente más largos, sino también menos exitosos, afectando negativamente la fecundidad de las colonias en el Golfo de California.

Amplitud alimentaria

Se observó un desfase notorio del nicho isotópico del 2016, ya que no se traslapo con ninguno de los otros nichos anuales. En ese año se presentaron valores de $\delta^{15}\text{N}$ más bajos que el resto de los años. Se descartó que estos valores más bajos de $\delta^{15}\text{N}$ estuvieran asociados al consumo de presas de menor nivel trófico, ya que la colonia de Los Islotes concentra su actividad alimentaria en pocas especies, siendo las presas principales el serrano de agua profunda (*Serranus aequidens*), el pez lagarto del Pacífico oriental (*Aulopus bajacali*) y el Serrano boga (*Pronotogrammus multifasciatus*) (Cárdenas-Palomo 2003, Porras-Peters 2004), las cuales no han cambiado durante los últimos 20 años (Hernández-Camacho, datos no publicados).

Por lo tanto, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ más bajos pueden ser explicados por viajes de alimentación más largos y posiblemente más cercanos a la boca del Golfo de California, en donde hay una mayor influencia de las aguas del Pacífico (Portela *et al.*, 2016). El Golfo de California está influenciado por diferentes masas de agua, donde el agua proveniente del mismo Golfo de California presenta un ^{15}N enriquecido, relacionado con la geoquímica basal, 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 trama trófica y hasta los depredadores tope (Altabet *et al.*, 1999; Aguiñiga-García, 1999; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018). Lo contrario ocurre en el Océano Pacífico, el cual presenta un ^{15}N empobrecido, debido a una menor presencia de desnitrificación (Altabet *et al.*, 1999). Lo anterior es evidencia de que la señal isotópica, además de reflejarnos el alimento consumido, nos refleja las condiciones biogeoquímicas de la región, las cuales se aprecian isotópicamente desde la base de la trama trófica (Altabet *et al.*, 1999), creando isoterrenos que tienen una influencia sobre depredadores tope como el lobo marino de California del Golfo de California (Burton y Koch, 1999; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018).

El nicho isotópico del 2016 fue el que presentó la mayor amplitud asociada con una mayor variabilidad de fuentes isotópicas, ocasionadas posiblemente por esta mayor dispersión durante los viajes de alimentación (Lewis *et al.*, 2006, Cruz-Vallejo, 2017).

Aunado a lo anterior, durante el 2016 se presentó una anomalía negativa en la boca del golfo que posiblemente favoreció la productividad primaria y la abundancia de peces pelágicos menores, las principales presas del lobo marino de California. Esto podría explicar porque las hembras adultas se alimentaron en esa zona más cercana a la influencia del Pacífico.

En un estudio realizado en 2003 en donde se colocaron transmisores satelitales en seis hembras adultas de lobo marino de California de Los Islotes, se demostró que ellas realizaron viajes de alimentación en un radio de 30 a 50 km (Kuhn *et al.*, 2004). Sin embargo, en el presente estudio se observó como la amplitud de los nichos isotópicos se ha incrementado de 2013 a 2018, como posible consecuencia de la variabilidad ambiental (TSM). Por lo anterior, se puede inferir que el rango geográfico de alimentación observado en 2003 ha cambiado de modo significativo después de 10-15 años. Es necesario realizar nuevos estudios de marcaje satelital en los individuos de esta colonia para confirmar esta mayor dispersión de los individuos inferida por isótopos estables.

El éxito reproductivo en pinnípedos depende de las características y disponibilidad de sus presas (Trillmich y Ono, 1991; Pitcher *et al.*, 1998). Durante mucho tiempo se pensó que el lobo marino de California era una especie oportunista y que el hecho de que algunas presas fueran más frecuentes en su dieta se debía a la variación estacional en la abundancia de grandes cardúmenes en algunas épocas del año (Antonelis y Fiscus, 1980; De Anda, 1985; Orta, 1988; Bautista-Vega, 2002). Sin embargo, muchos trabajos han demostrado que, aunque el lobo marino de California se alimenta de una gran cantidad de presas, sólo pocas especies contribuyen a la mayor parte de su consumo (Antonelis *et al.*, 1984; Aurióles-Gamboa, 1988; Lowry *et al.*, 1990; Lowry *et al.*, 1991; García-Rodríguez, 1999; Porras-Peters, 2004; Camacho-Ríos, 2004). Esta especie suele consumir un número bajo de recursos en mucha cantidad y un alto número de especies en bajas frecuencias, indicando una fuerte conexión entre el éxito reproductivo y las fluctuaciones poblacionales de sus principales presas. Por lo tanto, podría ser considerado como un “especialista

plástico”, ya que enfoca sus hábitos en capturar presas que son abundantes en la región y que son fáciles de capturar (Espinoza de los Reyes-Ayala, 2007).

La diversidad y calidad de la dieta son factores que determinan la cantidad de energía disponible para la supervivencia y reproducción de los organismos. Las dietas altamente diversas no necesariamente proveen la energía suficiente para satisfacer las demandas energéticas de la reproducción; en cambio el consumo de presas de alta calidad (alto contenido lipídico), y su disponibilidad en tiempo y espacio son factores que influyen en la supervivencia de las hembras adultas y en el nacimiento de las crías de diferentes especies de otáridos (Lunn *et al.*, 1994; Pitcher *et al.*, 1998; Díaz-Gómez *et al.*, 2016), ya que la gestación y la lactancia son procesos con alta demanda energética (Pitcher *et al.*, 1998). Un estudio reciente evidenció que los lobos marinos de California que habitan en diferentes localidades de California, EEUU, han cambiado su alimentación a lo largo del periodo 2004-2014 reemplazando el consumo de presas como sardina y anchoveta a otras presas como calamares y peces del género *Sebastes*, ocasionando una baja condición corporal de las crías durante este periodo (McClatchie *et al.*, 2016).

La disponibilidad de presas cambia cuando se presentan alteraciones en las condiciones ambientales (p. ej. El Niño, La mancha u ondas de calor regional), lo que implica un mayor gasto energético en los lobos marinos que no es compensado ni por consumir esas presas (Feldkamp *et al.*, 1989; Trillmich, 1990). En ocasiones, la distribución de las presas, más que el contenido energético puede ser el principal factor que explique porque los individuos presentan una baja condición corporal (King & Murphy, 1985; Trites y Donnelly, 2003).

Los efectos de las anomalías de TSM se han registrado en diferentes especies de otáridos en Perú, como el lobo fino Sudamericano y el lobo marino Sudamericano. Edwards (2018) documentó que la fase cálida del ENSO 2014-2016 tuvo una fuerte influencia sobre los valores de $\delta^{15}\text{N}$, ocasionando que se presentarán los valores más bajos. Por el contrario, el $\delta^{13}\text{C}$ se enriqueció en la fase cálida del ENSO 2014-2016, mientras que durante la fase fría el $\delta^{13}\text{C}$ se empobreció. Esto podría indicar que a

medida que TSM aumentó, la disponibilidad de presas en sus zonas de forrajeo cambió.

El aumento en la amplitud alimentaria inferida isotópicamente en las hembras adultas de lobo marino de California de Los Islotes durante años anómalos cálidos (La Mancha y El Niño 2015-2016), ya ha sido previamente registrado en esta especie y en el lobo fino de Guadalupe en el Archipiélago San Benito, Elorriaga-Verplancken *et al.* (2016b) encontraron un aumento en la amplitud o área isotópica de ambas especies durante el año 2015 a comparación del 2014, sugiriendo una mayor cobertura durante los viajes de alimentación de las hembras.

Los resultados obtenidos en el presente estudio apoyan la inferencia de que las mayores amplitudes isotópicas registradas en 2016 y 2018, están relacionadas con cambios en la cobertura de área durante los viajes de alimentación de las hembras, siendo estos más largos y/o amplios, como estrategia de adaptación de las hembras lactantes ante cambios en la distribución de sus presas. Aparentemente, esta mayor dispersión les permitió obtener el alimento necesario para llevar a cabo la gestación y lactancia de la manera más eficiente posible, lo cual se vio reflejado en un mayor número de crías a diferencia de los años pasados (2014 y 2015). Durante los años de mayor amplitud isotópica se observó un número ligeramente menor de hembras adultas en tierra durante los periodos reproductivos, indicando viajes de alimentación de mayor duración, lo cual apoya la idea de una mayor dispersión, coincidiendo con lo documentado con los datos isotópicos.

Efecto de la variabilidad ambiental en la condición corporal de las crías

Durante el periodo de estudio se registraron diversas anomalías positivas de TSM en amplias regiones del sur del Golfo de California. Sin embargo, se considera que las anomalías que tuvieron una mayor influencia sobre la colonia de lobos marinos de Los Islotes fueron la que se presentaron aproximadamente entre 40-50 km alrededor del archipiélago Espíritu Santo, debido a que las hembras adultas dependen en gran medida de los recursos dentro de este radio aproximadamente. Por esta razón, la duración y el éxito de sus viajes de alimentación dependen de las condiciones térmicas y de productividad de la región (Kunh *et al.*, 2004; García-Rodríguez y Auriol-Gamboa, 2004; McClatchie *et al.*, 2016).

Las anomalías positivas ocurridas en la región de Los Islotes tuvieron diferentes orígenes. Las de 2017 y 2018 se asociaron a fenómenos de calentamiento regionales con limitada cobertura fuera del Golfo de California. Estas fueron distintas a la anomalía de 2014 que fue una onda de calor simultánea al fenómeno “La Mancha” que, aunque este fenómeno ocurrió en el Océano Pacífico tuvo una gran influencia sobre la corriente de California (Peterson *et al.*, 2015; Cavole *et al.*, 2016), por lo que pudo tener consecuencias dentro del Golfo de California (Kintisch., 2015; NOAA., 2018), sin embargo, esto aún no se ha explicado en su totalidad. Este incremento de TSM en aguas adyacentes a La Bahía de La Paz se relacionó con la presencia sin precedente de orcas falsas (*Feresa attenuata*) en el sur del Golfo de California a finales de 2014 (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016c).

Se ha reportado que el incremento en la TSM durante eventos de El Niño o la fase positiva de la variabilidad Decadal del Océano Pacífico (Pacific Decadal Oscillation en inglés) afectan las condiciones del Golfo de California (Lavin *et al.*, 2003; López *et al.*, 2006). Por esta razón, producen cambios en la abundancia y la estructura de las comunidades en este mar semi-cerrado. Durante estos eventos anómalamente cálidos se han registrado especies poco frecuentes como la macarela o los inmigrantes tropicales en las Islas Canal al sur de California, las cuales no son presas adecuadas para los lobos marinos debido a su tamaño, defensas fuertes y altas velocidades de nado; algunos cardúmenes se distribuyen en aguas más profundas y no forman

densos bancos como las anchovetas y las sardinas. Además, las macarelas son a menudo depredadores de las etapas tempranas de las presas comunes de los lobos marinos (DeLong *et al.*, 1982; Pearcy *et al.* 1985; Brodeur y Pearcy, 1986). También puede haber retrasos importantes en el reclutamiento de especies como la anchoveta, sardina y otras especies, causadas por el evento El Niño, dando como resultado que la alimentación para los pinnípedos tenga poca certidumbre en los años posteriores al evento (Trillmich y Ono, 1991).

La condición corporal de las crías ha sido utilizada como un indicador de la inversión materna y del estado de salud de las colonias (Green *et al.*, 2010; French *et al.*, 2011). Banuet-Martínez *et al.* (2017) encontraron una relación entre las anomalías positivas de la TSM (causadas por ejemplo por El Niño, La Mancha u ondas de calor regional) y la inmuno-competencia de crías de los lobos marinos de California. Durante eventos con TSM anómalamente 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 TSM mostraban una inmuno-depresión, lo que las hace más susceptibles a enfermedades. La salud de los lobos marinos es un indicador del impacto del ambiente sobre las colonias, especialmente bajo un escenario donde la población de lobos marinos de California ha declinado abruptamente en las últimas décadas (Adame-Fernández, 2018), ya que independientemente de sus bajas abundancias son animales que podrían ser más susceptibles a enfermedades (Banuet-Martínez *et al.*, 2017), en comparación con otras colonias fuera del Golfo de California.

La condición de las crías es determinada entre otros factores por la calidad de la leche, el tiempo que pasan las hembras en el mar alimentándose y la duración de los amamantamientos en tierra (García-Aguilar y Auriol-Gamboa, 2003). En este sentido, en el presente trabajo se encontró una relación inversa significativa entre los pesos promedio de las crías y las anomalías positivas de TSM, lo cual probablemente está relacionado con la baja disponibilidad de recursos alimentarios en los años con mayores temperaturas (2014 y 2018).

Esta relación ya se ha reportado anteriormente en otras colonias de pinnípedos en el Océano Pacífico, como es el caso del lobo fino de Guadalupe de Isla Guadalupe, las anomalías positivas de TSM en 2014 y 2015 observadas durante a La Macha (2014) y El Niño (2015-2016) tuvieron un efecto negativo sobre la condición corporal de las crías (bajos pesos de recién nacidos) particularmente para la cohorte de 2014 (Gálvez *et al.*, 2020). De igual manera en el Archipiélago San Benito, Elorriaga-Verplancken *et al.* (2016b) también encontraron que las crías de lobo marino de California que nacieron durante el 2015 tuvieron pesos corporales significativamente más bajos con respecto a los que nacieron en 2014 asociados con el aumento de 2°C en la TSM de la zona en 2015 respecto al 2014.

Aunado a lo anterior, el presente estudio demostró diferencias en el peso entre sexos de las crías de lobo marino de California. Las crías hembra presentaron pesos ligeramente más bajos que las crías macho durante 2013-2018. Sin embargo, esta diferencia fue más notable en los años donde se registraron las anomalías positivas más intensas (2014 y 2018). Anteriormente ya se ha sugerido que la duración de los eventos de amamantamiento y la frecuencia de amamantamiento es mayor en las crías macho, manteniendo así las diferencias morfométricas entre sexos durante los primeros meses de vida (Ono y Boness 1996; Issa-Cabrera, 2006). Además, la energía que obtienen las crías macho mediante la leche materna se utiliza principalmente para la formación de tejido muscular y óseo, mientras que en crías hembra se concentra más hacia la formación reservas lipídicas (Arnould *et al.* 1996, Luque y Auriolles-Gamboa 2001). Por esta razón, tiene sentido que, en los años con mayor TSM cuando las hembras adultas posiblemente están consumiendo presas de menor contenido lipídico, las crías hembra se vean más afectadas, empobreciendo su condición corporal de manera más drástica en comparación con las crías macho.

Consideraciones finales

El presente trabajo presenta evidencia importante sobre la ecología de lobos marinos de California de Los Islotes, no solo porque se trata de un asentamiento ubicado dentro de un área natural protegida, como lo es el Parque Marino Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo, se trata de la única colonia de lobos marinos del Golfo de California que, hasta años recientes, ha presentado una tendencia de abundancia de incremento o estabilidad (Szteren *et al.*, 2006; Adame-Fernández, 2018). Nuestros hallazgos enmarcan la susceptibilidad de la colonia de Los Islotes hacia anomalías de TSM, mostrando fluctuaciones en tres niveles (abundancia, amplitud alimentaria y condición de las crías), evidenciando su vulnerabilidad potencial hacia factores que han sido razón de declive de otras colonias de la misma especie. Por ende, este estudio resalta la necesidad de seguir monitoreando esta colonia, tanto inter-anual como intra-anualmente, y así generar conocimiento útil para su adecuado manejo y conservación.

CONCLUSIONES

La abundancia total (todas las clases de edad) de lobo marino de California en Los Islotes, durante los periodos reproductivos, no mostró diferencias significativas entre años. Sin embargo, al considerar todos los meses del año, se observó un ligero decremento de 2013 a 2018. Lo anterior resalta la importancia de tomar en cuenta todos los meses del año para evaluar la abundancia y no solamente la temporada reproductiva.

La abundancia de crías en 2014 y 2015 disminuyó 50-60% en comparación con 2013 asociado a un incremento de TSM de aproximadamente 2°C en 2014 en la región alrededor de Los Islotes. Esta anomalía positiva pudo haber derivado en una baja disponibilidad de recursos alimentarios para las hembras adultas y por ende afectó la supervivencia de las crías y posiblemente la fecundidad de la colonia en ambos años.

Durante 2016 y 2018 se observaron las mayores amplitudes tróficas, relacionadas con cambios en la cobertura de área aprovechada por las hembras adultas. Aunado a lo anterior, en estos dos años se observó un número ligeramente menor de hembras adultas durante los periodos reproductivos, indicándonos una mayor ausencia en tierra, como aparente plasticidad ante cambios en la disponibilidad de recursos en la región.

Se encontró una relación inversa significativa entre los pesos de las crías y las anomalías de TSM en respuesta a la menor disponibilidad de recursos durante periodos anómalamente cálidos, afectando negativamente la calidad de la leche materna y por ende empobreciendo la condición corporal de las crías.

SUGERENCIAS PARA ESTUDIOS FUTUROS

Es necesario continuar monitoreando la abundancia de la colonia de Los Islotes en una escala mensual y determinar las causas del declive poblacional registrado en años recientes.

Realizar nuevos estudios de marcaje satelital en los individuos de esta colonia para confirmar esta mayor dispersión de los individuos inferida por isótopos estables.

Utilizar vibrisas de hembras adultas para el análisis de isótopos estables para determinar si existen variaciones alimentarias estacionales.

Conseguir muestras de excretas de la colonia de Los Islotes mensualmente con la finalidad de ver si sus presas cambian a través del tiempo y poder contrastar esta información con la del análisis de isótopos estables.

Se recomienda hacer estudios que analicen el impacto de los cambios de dieta sobre la salud y reproducción de la colonia de Los Islotes.

Analizar otros factores que pudieran afectar la salud de la colonia de Los Islotes, tales como interacción con pesquerías, turismo, contaminación, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- Adame-Fernández, K., Pardo, M., Acevedo-Whitehouse, K., Elorriaga-Verplancken, F. R. 2017a. Current California sea lion abundance and distribution in the Gulf of California, Mexico. 22nd Biennial Conference of Biology of Marine Mammals 23-27 octubre 2017. Halifax, Nueva Escocia, Canadá.
- Adame-Fernández, K., Pardo, M. A., Salvadeo, C., Beier, M., Elorriaga-Verplancken, F. R. 2017b. Detectability and categorization of California sea lions using an unmanned aerial vehicle. *Marine Mammal Science*. 33(3): 913–925.
- Adame-Fernández, K. 2018. Abundancia y hábitat terrestre del lobo marino de California en el Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - IPN, La Paz, B.C.S., México. 97 p.
- Aguilar-Rodríguez, J.L., H. De Anda y F. Horta. 1988. Análisis alimenticio del lobo marino *Zalophus californianus californianus* en isla San Martín, Baja California, México. Verano 1983 - Primavera 1984. XIII Reunión Internacional sobre el Estudio de los Mamíferos Marinos en México. Asociación Mexicana para el Estudio de los Mamíferos Marinos. 6-9 Abril. La Paz, B.C. S, México
- Aguirre, A.A. y G. Tabor. 2004. Introduction: Marine Vertebrates as Sentinels of Marine Ecosystem Health. *Ecohealth* 1:236–238. doi: 10.1007/s10393-004-00919.
- Aguñiga-García, S. 1999. Geoquímica de la Cuenca estuarina del Río Colorado: $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ 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.
- Amador-Capitanachi, M. J., Moreno-Sánchez, X. G., Juárez-Ruiz, A., Ferretto, G., & Elorriaga-Verplancken, F. R. (2017). Trophic Variation Between the Two Existing Guadalupe Fur Seal Colonies on Guadalupe Island and the San Benito Archipelago, Mexico. *Aquatic mammals*, 43(1).
- Amador-Capitanachi, M.J., 2018. Variabilidad en el nicho isotópico (2013-2016) y análisis del desplazamiento mediante telemetría en el lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii towsendi*). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas La Paz, B. C. S., México, pp. viii, 72 h.
- Antonelis, G.A., C.H. Fiscus y R.L. DeLong. 1984. Spring and summer prey of California sea lions, *Zalophus californianus*, at San Miguel Island, California, 1978-79. *Fishery Bulletin*. 82 (1): 67-75.

- Álvarez-Borrego, S. 1983. The Gulf of California. En: Ecosystems of the world: Estuaries and enclosed seas. Ed. Ketchum, B.H. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. 427-449.
- Álvarez-Molina L., Álvarez-Borrego S., Lara-Lara J. R. and Marinone S. G. 2013. Annual and semiannual variations of phytoplankton biomass and production in the central Gulf of California estimated from satellite data. *Ciencias Marinas* 39(2):217–230.
- Arnould J.P.Y., Boyd I.L. y D.G. Socha. 1996. TMilk consumption and growth efficiency in in Antarctic fur seal (*Arctocephalus gazella*) pups. *Journal of Zoology* 239: 769-782.
- Aurioles D, Sinsal F, Fox C, Alvaro E, Maravilla O (1983) Winter migration of the subadult male California sea lions in the southern part of Baja California. *J Mammal* 64:513-518.
- Aurioles D, Sinsal F (1988) Mortality of California sea lion pups at Los Islotes Baja California Sur, Mexico. *J Mammal* 69:180-183.
- 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., I. Castro-González, F. García-Rodríguez, S. Luque-Flores, C. Godínez-Reyes, D.M. Brousset, J. Montaña-Hirose, A. Parás, S. Montaña y F. Pérez-Gil Romo. 2000. Estado de salud de las poblaciones de lobo marinos (*Zalophus californianus*) en el Golfo de California. Primer Congreso de Responsables de Proyectos de Investigación en Ciencias Naturales, CONACYT. Veracruz, México.
- Aurioles-Gamboa, D., P. Koch & B. Le Boeuf. 2006. Differences in foragine 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. FloresMorán, P.P. García, M. Camacho y K. Acevedo-Whitehouse. 2017. Climatic anomaly affects the immune competence of California sea lions. *PLoS ONE* 12(6): e0179359. doi: 10.1371/journal.pone.0179359

- 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.
- Bond N. A., Cronin M. F., Freeland H. and Mantua N. 2015. Causes and Impacts of the 2014 Warm Anomaly in the NE Pacific. *Geophysical Research Letters* 42(9):3414–3420.
- Bowen, W. D., y Iverson, S. J. (2013). Methods of estimating marine mammal diets: A review of validation experiments and sources of bias and uncertainty. *Marine Mammal Science*, 29(4): 719–754.
- Block, B.A., I.D. Jonsen, S.J. Jorgensen, A.J. Winship, S.A. Shaffer, S.J. Bograd, E.L. Hazen, D.G. Foley, G.A. Breed & A.-L. Harrison. 2011. Tracking apex marine predator movements in a dynamic ocean. *Nature* 475: 86.
- Brodeur RD, Pearcy WG (1986) Distribution and relative abundance of pelagic nonsalmonid nekton off Oregon and Washington, 1979-84. NOAA Tech Rep NMFS 46, 85 pp.
- Burges Othón T. A. 2018. Biomasa y producción fitoplanctónicas derivadas de satélite en la parte central del Golfo de California, en 2002-2017. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, B.C., México. 63 p.
- Burton R. K, y P. L. Koch. 1999. Isotopic tracking of foraging and long-distance migration in northeastern Pacific pinnipeds. *Oecologia*. 119: 578-585.
- Camacho-Ríos, F.J. 2004. Estructura alimentaria y posición trófica de dos especies de otáridos *Zalophus californianus* y *Arctocephalus townsendi* en las islas San Benito, B.C., México. Tesis de Maestría. IPN. CICIMAR. La Paz, B.C.S. 52 pp.
- Cárdenas-Palomo, N. 2003. Hábitos alimenticios y amplitud trófica de machos y hembras adultos del lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*) en Los Islotes, B.C.S., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Mérida, Yuc. 79 pp.
- Casper, R. M., N.J. Gales, M.A. Hindell y S.M. Robinson. 2006. Diet estimation based on an integrated mixed prey feeding experiment using *Arctocephalus* seals. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 328(2): 228–239.
- Castillo, J., M.A. Barbieri & A. Gonzalez. 1996. Relationships between sea surface temperature, salinity, and pelagic fish distribution off northern Chile. *ICES Journal of Marine Science* 53: 139–146.
- Cavole L. M., Demko A. M., Diner R. E., Giddings A., Koester I., Pagniello C. M. L. S., Paulsen M., RamirezValdez A., Schwenck S M., Yen N. K., Zill M. E., and

- Franks P. J. S. 2016. Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: Winners, losers, and the future. *Oceanography* 29(2):273–285.
- Cruz-Vallejo, R. A. 2017. Cambios tróficos entre colonias de lobos marinos de California y elefantes marinos del norte que habitan en el Pacífico Mexicano, medidos a través de concentraciones isotópicas. Tesis de Licenciatura. Universidad de Occidente (Unidad Los Mochis). 48 pp.
- De Anda-Delgado, M.H. 1985. Hábitos alimenticios del lobo marino (*Zalophus californianus*) en las islas Coronado, B.C., México de noviembre de 1983 a octubre de 1984. Tesis de Licenciatura. UABC. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Ensenada, B.C. 63 pp.
- DeLong, R., G. Antonelis, C. Oliver, B. Stewart, M. Lowry y P. Yochem. 1991. Effects of the 1982-83 El Niño on several population parameters and diet of California sea lions on the California Channel Islands. En: F. Trillmich y K. A. Ono, eds. *Pinnipeds and El Niño: Responses to environmental stress*. Springer-Verlag, Berlín, Alemania. 166–172 p.
- Edwards Rae Mickie. 2018. *Peruvian Pinnipeds as Archivists of ENSO Effects*. Master's thesis. Nova Southeastern University. Retrieved from NSUWorks. (495).
- Elorriaga-Verplancken, F. R. 2004. Incidencia y efectos del enmalle sobre el lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en Los Islotes, B. C. S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, BCS, México.
- Elorriaga-Verplancken, F. R.. 2009. Variación de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en colágeno dental de lobos marinos del género *Zalophus*: patrones ontogénicos y geográficos. CICIMAR-IPN. México. 163 pp.
- Elorriaga-Verplancken, F. R., D. G. Aurióles, S. D. Newsome y S. Díaz. 2013 a. $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ 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. R., Juárez-Ruiz, A., Aquino-Baleytó, M., Galván-Magaña, F., Aguíñiga-García, S. 2016a. Isotopic variation between adult female Guadalupe fur seals and their offspring: Implications for the use of neonates as proxies for maternal foraging. *Aquatic Mammals*. 42(3): 268-276.
- Elorriaga-Verplancken, F. R., Sierra-Rodríguez, G. E., Rosales-Nanduca, H., Acevedo-Whitehouse, K., Sandoval-Sierra, J. 2016b. Impact of the 2015 El Niño-Southern Oscillation on the abundance and foraging habits of Guadalupe fur seals and California sea lions from the San Benito Archipelago, México. *PLoS ONE*. 11(5): e0155034
- Elorriaga-Verplancken, F. R., Rosales-Nanduca, H., Paniagua-Mendoza, A., Martínez-Aguilar, S., Nader-Valencia, A., Robles-Hernández, R., Gómez-Díaz, F., Urbán

- R. J. 2016c. 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., Sandoval-Sierra, J., Paniagua-Mendoza, A., Robles, R. 2018. Seasonality and potential foraging grounds of migratory California sea lions from La Paz Bay, Southern Gulf of California, Mexico. *Aquatic Mammals*. 44(1): 56-61
- Espinoza de los Reyes-Ayala, M.G. 2007. Variabilidad espacial de la dieta del lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*, Lesson 1828). Tesis de maestría. CICESE
- Feldkamp, S. D., DeLong, R. L., & Antonelis, G. A. (1989). Diving patterns of California sea lions, *Zalophus californianus*. *Canadian Journal of Zoology*, 67(4), 872-883.
- 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
- French S.S., González-Suárez M., Young J.K., Durham S. y L.R. Gerber. 2011. Human disturbance influences reproductive success and growth rate In California sea lions (*Zalophus californianus*). *PLoS ONE* 6(3): e17686
- Gálvez, C., Pardo, M. A., & Elorriaga-Verplancken, F. R. (2020). Impacts of extreme ocean warming on the early development of a marine top predator: The Guadalupe fur seal. *Progress in Oceanography*, 180, 102220.
- García-Aguilar MC, Aurióles-Gamboa D (2003) Breeding season of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Aquatic Mammals* 29:67–76
- García-Rodríguez, F. J. y 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.
- Gentemann, C. L., Fewings, M. R., & García-Reyes, M. (2017). Satellite sea surface temperatures along the West Coast of the United States during the 2014–2016 northeast Pacific marine heat wave. *Geophysical Research Letters*, 44(1), 312-319.
- Green D.S., Young J.K, Hernandez-Camacho C.J. y L.R. Gerber. 2010. Developing a NonInvasive Indicator of Pinniped Health: Neonate Behavior and Growth in California Sea Lions (*Zalophus californianus*). *Ciencias Marinas* 36(3): 311-321

- Heath, C.B. y J.M. Francis. 1983. California sea lion population dynamics and feeding ecology with applications for management. Results of 1981-1982. Research on Santa Barbara and San Nicolas Islands. Report. January 1983.
- 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., J. F. Piatt and J. Pitocchelli. 1994. Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. Journal of Animal Ecology 63:786–798
- Holser R.H., Robinson P., Peterson S., Huckstadt L., & Costa D. (2017). Influence of a large-scale oceanographic anomaly on northern elephant seal foraging behavior. 22nd Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals
- Hodgson, A., N. Kelly y D. Peel. 2013. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying Marine Fauna: A dugong case study. PLoS ONE 8(11).
- Issa-Cabrera M. 2006. Conducta materna y condición corporal de crías de lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*) en dos zonas reproductivas de la colonia los Islotes, B.C.S., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México. 58 p.
- Jiménez-Illescas, A.R., M. Obeso-Nieblas y D.A. Salas de León. 1997. Oceanografía física de la Bahía de La Paz, B.C.S. En: Urbán, R. J. y M. Ramírez (Eds). La Bahía de La Paz Investigación y Conservación. UABCS, CICIMAR, SCRIPPS. La Paz, B.C.S., México. Pp. 31-41.
- Kuhn, C.E., D. Aurióles-Gamboa y D.P. Costa. 2004. Habitat utilization, diving and foraging behavior of adult female California sea lions (*Zalophus californianus*). En memorias de: XXIX Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz, México. 78 pp.
- Laake, J.L., M.S. Lowry, R.L. Delong, S.R. Melin & J. V. Carretta. 2018. Population growth and status of California sea lions. The Journal of Wildlife Management 1–13
- Lavín, M. y S. Marinone. 2003. An Overview of the Physical Oceanography of the Gulf of California. En: O.U. Velasco Fuentes et al. (eds.) Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics. Kluwer Academic Publishers. Holanda. 173-204 p.
- Le Boeuf, B., D. Aurióles-Gamboa, R. Condit, C. Fox, R. Gisiner, R. Romero & F. Sinsal. 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.

- Le Boeuf, B. J., Giesy, J. P., Kannan, K., Kajiwara, N., Tanabe, S., & Debier, C. (2002). Organochloride pesticides in California sea lions revisited. *BMC ecology*, 2(1), 11.
- 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
- Linchant, J., J. Lisein, J. Semeki, P. Lejeune y C. Vermeulen. 2015. Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mammal Review* 45: 239–252. doi: 10.1111/mam.12046
- 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.
- Lowry, M.S., B.S. Stewart, C.B. Heath, P.K. Yochem y J.M. Francis. 1991. Seasonal and annual variability in the diet of 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.
- Luque S.P. y D. Auriol-Gamboa. 2001. Sex differences in body size and body condition of California sea lion (*Zalophus californianus*) pups from the Gulf of California. *Marine Mammal Science* 17(1):147-160
- Lunn, N.J., I.L. Boyd & J.P. Croxall. 1994. Reproductive performance of female Antarctic fur seals: the influence of age, breeding experience, environmental variation and individual quality. *Journal of Animal Ecology* 827–840.
- 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 SG & MF Lavín. 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California. *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Monografía 3: 113-139.
- Marinone SG. 2003. A three-dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research* 108(C10): 3325, 10.1029/2002JC001720.
- Martin S. 2004. *An introduction to Ocean Remote Sensing*. Cambridge University Press. 425 p.

- 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*
- Melin, S. R., Orr, A. J., Harris, J. D., Laake, J. L., & DeLong, R. L. (2012). California sea lions: an indicator for integrated ecosystem assessment of the California current system. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 53, 140-152.
- Merrifield M & C Winant. 1989. Shelf circulation in the Gulf of California: A description of the variability. *Journal of Geophysical Research* 94(C12): 18133-18160.
- Michener, R.H., and M.Schell.1994.Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. Pages 138–157 in K. Lajtha and R. H. Michener, eds. *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Blackwell Scientific Publications, Boston, MA.
- McCabe R. M., Hickey B. M., Kudela R. M., Lefebvre K. A., Adams N. G. and Bill B. D. 2016. An unprecedented coast-wide toxic algal bloom linked to anomalous ocean condition. *Geophys. Res. Lett.* 43:366376.
- Milanés-Salinas, M.A. 2012. Abundancia y distribución del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en el Pacífico Mexicano. Tesis de Maestría en Oceanografía Costera, Fac. de Ciencias Marinas, UABC.
- Mirabal-Gómez U., Álvarez-Borrego S. and Lara-Lara J. R. 2018. Satellite-derived phytoplankton biomass and production variability in 2 contrasting coastal areas: off southern California and off northern Baja California. *Cienc. Mar.* 43(4):229-248.
- Mitchell-Innes, B.A. & G.C. Pitcher. 1992. Hydrographic parameters as indicators of the suitability of phytoplankton populations as food for herbivorous copepods. *South African Journal of Marine Science* 12: 355–365.
- Moore, S.E. 2008. Marine mammals as ecosystem sentinels. *Journal of Mammalogy* 89(3): 534–540. doi: 10.1644/07-MAMM-S-312R1.1
- 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.
- Newsome, S. D., Clementz, M. T., & Koch, P. L. (2010). Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology. *Marine Mammal Science*, 26(3), 509-572.

- NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration. 2018. Office of satellite and products operations. National environmental satellite, data, and information services. Accessed December 2017–April 2018 <http://www.ospo.noaa.gov>.
- Odell, D. K. 1975. Breeding biology of the California sea lion, *Zalophus californianus*. *Rapports et Procés-verbeaux des Reünions Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 169: 374-378.
- Ono K.A. y D.J. Boness. 1996. Sexual dimorphism in sea lion pups: differential maternal investment, or sex-specific differences in energy allocation? *Behavioral Ecology and Sociobiology* 38: 31-41.
- Ortiz-Ahumada J. C., Álvarez-Borrego S. and Gómez-Valdés J. 2018. Effects of seasonal and interannual events on satellite-derived phytoplankton biomass and production in the southernmost part of the California Current System during 2003-2016.
- Owens, P.J.N. 1987. Natural variations in ^{15}N in the marine environment. *Advances in Marine Biology*, 24: 389-451.
- Páez-Rosas D. & D. Aurióles-Gamboa. 2010. Alimentary niche partitioning in the Galapagos sea lion, *Zalophus wolfebaeki*. *Marine Biology*, 157: 2769-2781.
- Páez-Rosas, D., Valdovinos, L. A. Elorriaga-Verplancken, F.R. **2017**. Northernmost record of the Galapagos fur seal (*Arctocephalus galapagoensis*): A Consequence of anomalous warm conditions around the Galapagos Archipelago. *Aquatic Mammals*. 43(6): 629-634.
- Pearcy WG, Fisher J, Brodeur R, Johnson S (1985) Effects of the 1983 El Niño on coastal nekton off Oregon and Washington. In: Wooster WS, Fluharty DL (eds) El Niño North. Washington Sea Grant Progr, Univ Washington, Seattle, pp 188-204.
- Pelayo González, L. 2018. Número de nacimientos de Lobo Marino de California (*Zalophus californianus*) en el golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario De Ciencias Marinas - IPN. La Paz, B.C.S., México. 73 p.
- Pardo, M. A., Silverberg, N., Gendron, D., Beier, E., & Palacios, D. M. (2013). Role of environmental seasonality in the turnover of a cetacean community in the southwestern Gulf of California. *Marine Ecology Progress Series*, 487, 245-260.
- Peterson R. y G. Bartholomew. 1967. The natural history and behavior of the California sea lion. *Am. Soc. Mammal. Spec. Pub*, 1: 79 pp.
- Peterson, W., Robert, M., & Bond, N. (2015). The warm blob-Conditions in the northeastern Pacific Ocean. *PICES Press*, 23(1), 36.
- Pitcher, K.W., D.G. Calkins & G.W. Pendleton. 1998. Reproductive performance of female Steller sea lions: an energetics-based reproductive strategy? *Canadian Journal of Zoology* 76: 2075–2083.

- 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. IPN. CICIMAR. La Paz, B.C.S. 55 pp.
- Porras-Peters, H., D. Aurióles-Gamboa, V.H. Cruz-Escalona y P.L. Koch. 2008. Trophic level and overlap of sea lions (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science*, 24(3): 554–576.
- Portela, E., Beier, E., Barton, E. D., Castro, R., Godínez, V., Palacios-Hernández, E., & Trasviña, A. (2016). Water masses and circulation in the tropical Pacific off central Mexico and surrounding areas. *Journal of Physical Oceanography*, 46(10), 3069-3081.
- King, J. R., & Murphy, M. E. (1985). Periods of nutritional stress in the annual cycles of endotherms: Fact or fiction?. *American Zoologist*, 25(4), 955-964.
- Riofrío-Lazo, M., D. Aurióles-Gamboa, y B.J. Le Boeuf. 2012. Ontogenetic changes in feeding habits of northern elephant seals revealed by $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ analysis of growth layers in teeth. *Marine Ecology Progress Series*, 450: 229–241.
- Rubenstein, D. R., & Hobson, K. A. (2004). From birds to butterflies: animal movement patterns and stable isotopes. *Trends in ecology & evolution*, 19(5), 256-263.
- Sandoval-Sierra, J. 2016. Nicho isotópico de dos colonias de lobo marino de California (*Zalophus californianus*): Análisis de amplitud, uso de hábitat y la relación entre crías y adultos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, UABCS. 71 pp.
- Sandoval-Sierra, J. 2018. Nichos isotópicos del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) y su papel como indicador de cambios ambientales en el golfo de California, México. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN. La Paz, B.C.S., México, 64 p.
- Santamaría-del-Ángel E., Álvarez-Borrego S. and Müller-Karger F. 1994. The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal zone color scanner imagery: Ocean color from space: a coastal zone color scanner retrospective. *Journal of Geophysical Research* 99(C4):7423-7431
- Szteren D., D. Aurióles-Gamboa y 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.
- Szteren, D., & Aurióles-Gamboa, D. (2011). Ecological regionalization of *Zalophus californianus* rookeries, as a tool for conservation in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 37(3), 349-368.

- Temte, J.L. 1993. Latitudinal variation in the birth timing of captive California sea lion and other captive north Pacific pinnipeds. *Fish. Bull.* 91: 710-717.
- Trillmich, F. y D. Limberger D. 1985. Drastic effects of El Niño on Galápagos pinnipeds. *Oecologia* 67: 19–22. doi: 10.1007/BF00378445
- Trillmich, F. (1990). The behavioral ecology of maternal effort in fur seals and sea lions. *Behaviour*, 114(1-4), 3-20.
- Trillmich, F., y Ono, K. 1991. *The effects of El Niño on pinniped populations in the eastern Pacific*. New York, Springer-Verlag.
- Trites, A. W., & Donnelly, C. P. (2003). The decline of Steller sea lions *Eumetopias jubatus* in Alaska: a review of the nutritional stress hypothesis. *Mammal review*, 33(1), 3-28.
- Villegas-Amtmann, S. 2003. Alimentación del lobo marino de California *Zalophus californianus* en Isla Magdalena, BCS, a partir de restos duros en copros. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. 84 pp.
- Weise, M.J., D.P. Costa y R.M. Kudela. 2006. Movement and diving behavior of male California sea lion (*Zalophus californianus*) during anomalous oceanographic conditions of 2005 compared to those of 2004. *Geophysical Research Letters* 33: L22S10. doi: 10.1029/2006GL027113
- 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.