



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**



**EFFECTO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL  
NÚMERO DE NACIMIENTOS DE LOBO  
MARINO DE CALIFORNIA (*Zalophus  
californianus*) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA**

**TESIS**

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

**PRESENTA**

**LILI PELAYO GONZÁLEZ**

**LA PAZ, B.C.S., JUNIO DEL 2018**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

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

**“EFECTO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL NÚMERO DE NACIMIENTOS DE LOBO MARINO DE CALIFORNIA (*Zalophus californianus*) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA”**

Presentada por el alumno:

<b>PELAYO</b> Apellido paterno	<b>GONZÁLEZ</b> materno	<b>LILI</b> nombre(s)
		Con registro: <b>B 1 6 0 9 4 1</b>

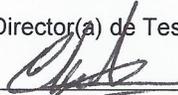
Aspirante de:

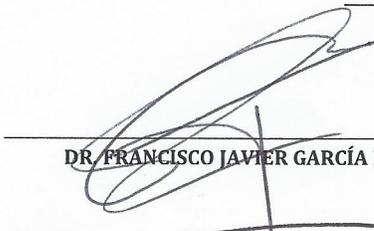
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

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

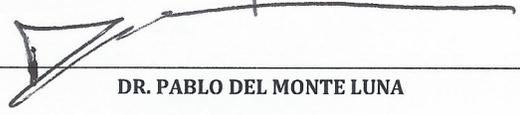
**LA COMISION REVISORA**

Director(a) de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
**DRA. CLAUDIA JANETL HERNÁNDEZ CAMACHO**

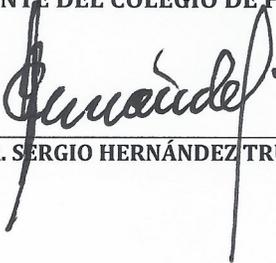
  
\_\_\_\_\_  
**DR. FRANCISCO JAVIER GARCÍA RODRÍGUEZ**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. RODRIGO MONCAYO ESTRADA**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. PABLO DEL MONTE LUNA**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. EDUARDO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ**

**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO**



**I.P.N.  
CICIMAR  
DIRECCIÓN**



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

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 06 del mes de Junio del año 2018

El (la) que suscribe BIÓL LILI PELAYO GONZÁLEZ Alumno (a) del Programa  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B160941 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

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

DRA. CLAUDIA JANETL HERNÁNDEZ CAMACHO

y cede los derechos del trabajo titulado:

"EFECTO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL NÚMERO DE NACIMIENTOS DE LOBO MARINO

DE CALIFORNIA (*Zalophus californianus*) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA"

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: lilipelayo0105@gmail.com - jcamacho@ipn.mx

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

BIÓL. LILI PELAYO GONZÁLEZ

*Nombre y firma del alumno*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi directora de tesis la Dra. Claudia J. Hernández Camacho por todo su valioso apoyo, conocimiento y oportunidades que me ha brindado desde el principio. Gracias por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo y por haber enriquecido cada detalle de esta tesis.

A mi comité revisor que fue integrado por el Dr. Francisco J. García Rodríguez, el Dr. Pablo del Monte Luna, el Dr. Eduardo González Rodríguez y el Dr. Rodrigo Moncayo Estrada. Muchas gracias por su disposición y por haber enriquecido este trabajo.

Agradecimiento especial a la Dra. Martha Patricia Rosas Hernández, Dra. María Enriqueta Velarde González, Dr. Mauricio Ramírez Rodríguez, Dr. Rubén Rodríguez Sánchez y al M. en C. José Alejandro Ramos Rodríguez.

A todos los integrantes del laboratorio de Ecología de Pinnípedos "Burney J. LeBoeuf".

A mis amigos que me apoyaron durante este proceso: Ale, Cristina, Evelyn, Ana, David, Germán, Luis Miguel, Mike, Gaby, Armando, Nohemí, Chuy.

Al Instituto Politécnico Nacional

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico durante la realización de esta tesis.

A los siguientes proyectos:

Estudio integral sobre la lactancia en el lobo marino de California: periodo crítico en la supervivencia de las crías. CONACYT (No. 132415).

Estrategias de conducta materna y supervivencia de crías de lobo marino de California en la colonia Los Islotes, B.C.S. SIP 20100911

Estudio sobre la lactancia en el lobo marino de California, *Zalophus californianus*. SIP 20110299.

Población, hábitat y dieta del lobo marino de California, *Zalophus californianus*, en la región de Bahía Magdalena, Baja California Sur. SIP20120069

Población, hábitat y dieta del lobo marino de California, *Zalophus californianus*, en la región de Bahía Magdalena, Baja California Sur. SIP 20130402

Monitoreo de la dieta, nivel trófico y acumulación de metales traza en un depredador tope de la región del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas SIP 20140111

Monitoreo de la dieta, nivel trófico y acumulación de metales traza en un depredador tope de la región del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas SIP 20150347

Viajes y áreas de alimentación del lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus townsendi*) de las islas San Benito, B. C. SIP 20160055

Monitoreo de la población de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en las colonias de reproducción del Golfo de California. PROMOBI-CONANP 2011-2015, PROMANP-CONANP 2016.

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	I
ÍNDICE DE FIGURAS .....	III
ÍNDICE DE TABLAS .....	IV
GLOSARIO.....	V
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	4
3. JUSTIFICACIÓN .....	7
4. HIPÓTESIS .....	8
5. OBJETIVOS .....	8
5.1. General .....	8
5.2. Particulares.....	8
6. ÁREA DE ESTUDIO.....	9
7. MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
7.1. Análisis de variables poblacionales .....	11
7.2. Análisis de la dieta.....	12
7.3. Análisis de capturas de pelágicos menores.....	16
7.4. Análisis de variables ambientales.....	17
8. RESULTADOS .....	22
8.1. Análisis de variables poblacionales .....	22
8.2. Análisis de la dieta.....	25
8.3. Análisis de capturas de pelágicos menores.....	29
8.4. Análisis de variables ambientales.....	31
9. DISCUSIÓN .....	37
9.1. Análisis de variables poblacionales .....	37
9.2. Análisis de la dieta.....	40
9.3. Análisis de capturas de pelágicos menores.....	45
9.4. Análisis de variables ambientales.....	47
10. CONCLUSIONES.....	52
11. RECOMENDACIONES .....	53

12. REFERENCIAS.....	54
13. ANEXOS .....	68
Anexo 1. Tasas de crecimiento de las colonias reproductivas del golfo de California (tomadas de Szteren <i>et al.</i> , 2006) y número de nacimientos en el 2016 (Hernández-Camacho <i>et al.</i> , datos no publicados).....	68
Anexo 2. Fecundidad calculada en las trece colonias reproductivas del golfo de California.....	69
Anexo 3. Número de nacimientos por región y valores de temperatura superficial del mar y clorofila a de cada región. Eventos El Niño (áreas sombreadas).....	71
Anexo 4. Capturas anuales de sardina Monterrey y valores de temperatura superficial del mar de cada región. Eventos El Niño (áreas sombreadas).....	72
Anexo 5. Relación entre el número de nacimientos de lobo marino de California en las islas del canal de California (modificado de Melin <i>et al.</i> , 2012) y en las tres regiones (norte, centro y sur) del golfo de California y las anomalías de temperatura superficial del mar. Temperatura crítica (área sombreada). .....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las colonias reproductivas en el golfo de California. A) Regionalización de las trece colonias del golfo de California propuesta por Ward et al., (2009) (línea punteada) y por Szteren y Auriolles (2011) (círculos de color)). B) Regiones oceanográficas propuestas por Lavín y Marinone (2003). 1. Rocas Consagradas, 2. San Jorge, 3. Isla Lobos, 4. Granito, 5. Los Cantiles (Ángel de la Guarda), 6. Los Machos (Ángel de la Guarda), 7. El Partido, 8. El Rasito, 9. San Esteban, 10. San Pedro Mártir, 11. San Pedro Nolasco, 12. Farallón de San Ignacio y 13. Los Islotes. ....	3
Figura 2. Áreas de pesca de peces pelágicos menores en el golfo de California (números romanos). Tomado y modificado de Nevárez-Martínez <i>et al.</i> , 2001. ....	17
Figura 3. Áreas de alimentación de las trece colonias reproductivas de lobo marino de California (círculos rojos). ....	18
Figura 4. Relación entre el número de nacimientos y hembras adultas en las trece colonias del golfo de California (1979-2016). ....	24
Figura 5. Tasa de fecundidad histórica promedio en las colonias reproductivas de lobo marino de California del golfo de California para el periodo de 1979 al 2016. ....	25
Figura 6. Similitud de las dietas en las colonias reproductivas del golfo de California. ....	29
Figura 7. Relación entre el número de nacimientos en Los Islotes y la captura anual de pelágicos menores (a) y macarela (b). ....	31
Figura 8. Correlación entre el número de nacimientos en El Partido y las capturas de macarela con desfase de dos años, $\rho = 0.61$ y $p < 0.05$ (a). Tendencia de las capturas de macarela en el golfo de California (-▲-) y el número de nacimientos histórico desfasado dos años (-●-) en la colonia El Partido (b)). ....	31
Figura 9. Variabilidad histórica de la temperatura superficial del mar (a) y concentración de clorofila a (b) en las regiones Norte (-▲-), Centro (-●-) y Sur (-■-) del golfo de California. Eventos El Niño (área sombreada). ....	32
Figura 10. Anomalías de TSM de las tres regiones del golfo de California y promedios anuales del MEI. ....	33
Figura 11. Distribución de las anomalías de temperatura superficial del mar y el número de nacimientos en las regiones Norte (a)), Centro (b)) y Sur (c)). Promedio histórico de nacimientos (línea). Temperatura crítica para los nacimientos (área sombreada). ....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Colonias VISITADAS y año en que se realizó el muestro de dieta de lobo marino de California en el golfo de California por distintos autores. ....	13
Tabla 2. Correlaciones de Spearman entre el número de nacimientos y el número de hembras en cada colonia reproductiva. ....	22
Tabla 3. Presas principales del lobo marino de California (IIMPi > 10) en las diferentes colonias reproductivas en el periodo de 1981-2016.....	26
Tabla 4. Correlaciones de Spearman de las capturas anuales de pelágicos menores. En negritas son valores de $\rho$ (rho) cuya $p < 0.05$ .....	30
Tabla 5. Correlaciones de Spearman de las capturas anuales de pelágicos menores y el número de nacimientos en las diferentes colonias reproductivas. En negritas son valores de $\rho$ (rho) cuya $p < 0.05$ .....	30
Tabla 6. Correlación entre las variables ambientales y el Índice Multivariado de El Niño en las distintas regiones oceanográficas del golfo de California. En negritas son valores de $\rho$ (rho) cuya $p < 0.05$ .....	34
Tabla 7. Correlación entre el número de nacimientos en las diferentes regiones del golfo de California, variables ambientales (temperatura superficial del mar (TSM) y concentración de clorofila a superficial (Clo-a)), el Índice Multivariado de El Niño (MEI) y las capturas de pelágicos menores. En negritas son valores de $\rho$ (rho) cuya $p < 0.05$ . ....	35
Tabla 8. Correlación entre las capturas anuales de pelágicos menores en el golfo de California y los promedios anuales de temperatura superficial del mar, concentración de clorofila a superficial y el Índice Multivariado de El Niño. En negritas son valores de $\rho$ (rho) cuya $p < 0.05$ .....	37

## GLOSARIO

**Anomalía.** Estimación que se obtiene de restar la media a una observación. Valor inusual a partir de lo que normalmente se registra.

**Captura anual.** Toneladas de peces extraídas del mar durante la temporada de pesca que va de octubre a septiembre del año siguiente.

**Clorofila a.** Índice de abundancia fitoplanctónica expresado en  $\text{mg/m}^3$  empleado para estimar la productividad de un ecosistema marino.

**Coefficiente de correlación cofenético.** Correlación entre las distancias iniciales de los datos y las distancias finales resultado del cluster.

**Coefficiente de correlación de Spearman.** Es un estadístico no paramétrico propuesto como una medida de la fuerza de la asociación entre dos variables.

**Colonia reproductiva.** Área o isla donde se lleva a cabo la reproducción de una especie.

**Correlación cruzada.** Medida de la similitud entre dos variables en función de un desfase.

**Dieta.** Conjunto de alimentos que un organismo ingiere regularmente.

**Distancia euclidiana.** Medida de cercanía o alejamiento entre dos elementos calculada a partir de la suma de las diferencias entre los valores de los atributos de cada unidad comparada.

**El Niño.** Oscilación del sistema océano-atmósfera en el Pacífico tropical caracterizado por un incremento en la temperatura superficial.

**Fecundidad.** El número de crías que las hembras pueden tener durante sus años fértiles. El promedio de nacimientos vivos por año por hembra.

**Filopatría.** Tendencia de un individuo a regresar o mantenerse en la zona de su nacimiento.

**Imagen satelital.** Representación visual de la información registrada de manera remota.

**Índice de importancia.** Índice empleado en el análisis de dieta para determinar las especies presa de mayor importancia.

**Modelos aditivos generalizados.** Modelos semiparamétricos que no siguen una relación lineal y que establecen una relación entre la media de la variable de respuesta y la suma de las funciones suavizadoras no lineales de las variables explicativas.

**Índice Multivariado de El Niño.** Índice basado en la combinación lineal de la presión sobre el nivel del mar, componentes zonales y meridionales de los vientos superficiales, la nubosidad y las temperaturas superficiales del mar y del aire para estimar la intensidad de un evento El Niño.

**Oscilación Decadal del Pacífico Norte.** Variabilidad en la temperatura superficial del océano pacífico en latitudes mayores a los 20°N y en escalas interanuales y decadales. Esta variación está relacionada con la posición y la fuerza del centro de baja presión de las Aleutianas.

**Otolito.** Uno de los tres cuerpos calcáreos del oído de un pez óseo (teleósteo), que cumple la función de la orientación.

**Pelágicos menores.** Peces marinos que forman grandes cardúmenes, tienen una distribución cosmopolita y constituyen los principales recursos pesqueros en todo el mundo.

**Pico de cefalópodo.** Estructura quitinosa del aparato digestivo de los cefalópodos encargada de rasgar y triturar el alimento para posteriormente ser procesados por la rádula.

**Pinnípedo.** Del latín *pinna* y *pedis* que significan “patas de o en forma de pies”. Mamíferos marinos anfibios que se reproducen en tierra y se alimentan en el mar. En este grupo están incluidos las focas, lobos marinos, lobos finos y morsas.

**Población.** Grupo de individuos de la misma especie que viven en un área definida y en un tiempo determinado.

**Temperatura superficial del mar.** Medida de la energía debida al movimiento de las moléculas en la capa superior del océano. Las temperaturas se miden aproximadamente de 10  $\mu\text{m}$  por debajo de la superficie (bandas de infrarrojos) hasta 1 mm (bandas de microondas) usando radiómetros.

**Temporada reproductiva.** Periodo donde los machos establecen sus territorios, ocurren los nacimientos y las cópulas.

## RESUMEN

El lobo marino de California se reproduce en trece colonias ubicadas en el golfo de California (GC), México, las cuales presentan tasas variables de nacimientos y tendencias de crecimiento distintas. La población y el número de nacimientos de esta especie en el GC han disminuido notablemente en las últimas décadas. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de algunas variables ambientales en el número de nacimientos para el periodo comprendido entre 1979-2016. Se calculó la fecundidad por colonia y se realizaron correlaciones entre el número de hembras y crías a partir de conteos históricos. Se recopiló información de dieta, se identificaron las presas principales y se determinó la similitud entre las dietas de las colonias con distancia euclidiana. Las capturas de pelágicos menores (pesquerías) y el número de nacimientos se analizaron con correlaciones simples y cruzadas. También se analizó la relación entre las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM), clorofila a superficial (imágenes satelitales), el Índice Multivariado de El Niño y las tasas de nacimientos a través de correlaciones y con un modelo aditivo generalizado. La tasa de nacimientos fue una mejor medida del éxito reproductivo que la fecundidad. Las presas principales fueron la anchoveta (*Engraulis mordax*), sardina Monterrey (*Sardinops sagax*), el pez sable (*Trichiurus lepturus*), peces sapo (*Porichthys spp*) y mictófidios. Las correlaciones entre las capturas de pelágicos menores y la tasa de nacimientos en Los Islotes fueron significativas. El número de nacimientos disminuyó cuando las anomalías de TSM fueron mayores a 0.5 °C en la región Norte del GC, 1 °C en la región Centro y no se observó un efecto evidente en la región Sur. El Niño no tuvo un efecto aparente en el número de nacimientos. Aunque no se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre las variables analizadas y los nacimientos, sí se observaron tendencias positivas entre las capturas de pelágicos menores y el número de nacimientos durante determinados periodos. También se observaron tendencias negativas entre la TSM y el número de nacimientos, indicando posibles cambios en la disponibilidad de presas y en la composición de su dieta. Se sugiere la realización de estudios de dieta de manera sistemática en todas las colonias reproductivas del GC, así como análisis sobre calidad de las presas para conocer su posible efecto en el número de nacimientos.

## ABSTRACT

The 13 California sea lion (CSL) breeding colonies in the Gulf of California (GC), Mexico, each have distinct birth rates and growth trends. This species' population and birth rate in the GC have diminished notably over the past few decades. The goal of this study was to assess the effect of certain environmental variables on the number of births between 1979 and 2016. Fecundity per colony was calculated using historical counts and correlations were performed between the number of females and the number of pups at each colony. The main prey species were identified and Euclidean distance was used to assess the similarity between the distinct diets of each colony. Simple and cross correlations were used to compare the small pelagic fish catches (fisheries) and the number of births. The relationship between anomalies in the sea surface temperature (SST), the chlorophyll-a concentration (satellite images), the El Niño Multivariate Index, and the CSL birth rate were assessed using correlations and a generalized additive model. The birth rate was found to be a better measure of reproductive success than fertility. The main prey included anchovies (*Engraulis mordax*), Pacific sardines (*Sardinops sagax*), largehead hairtail (*Trichiurus lepturus*), midshipman fishes (*Porichthys spp*) and myctophids. The correlation between small pelagic fish catches and the CSL birth rate at Los Islotes was significant. The number of births decreased when the SST anomalies were  $> 0.5$  °C in the northern region of the GC or  $> 1$  °C in the center; no significant effect was observed in the southern region. El Niño did not have a significant effect on the birth rate. Although there were no statistically significant relationships between the number of births and the environmental variables analyzed, positive trends were observed between the small pelagic fish catches and the birth rate during certain periods. Negative trends were observed between the SST and the number of births, reflecting possible changes in prey availability and diet composition. Future research should include systemic diet studies at all 13 GC breeding colonies as well as evaluation of prey quality in order to assess any possible effects on the birth rate.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los pinnípedos son depredadores tope sensibles a cambios en las características oceanográficas de su hábitat (Trillmich & Ono, 1991; Beuplet *et al.*, 2005; Weise & Harvey, 2008; Melin *et al.*, 2012). En particular, las especies que habitan en las costas del Pacífico oriental, son muy vulnerables a los cambios de régimen ocasionados por procesos oceanográficos de mediana y de gran magnitud, como El Niño y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés) respectivamente (Benson & Trites, 2002). Estos fenómenos modifican las características oceanográficas a distintos niveles y modulan la abundancia y distribución de los organismos, incluyendo las presas importantes de los pinnípedos (Guinet *et al.*, 1994; Benson & Trites, 2002; Forcada *et al.*, 2005; Gibbens & Arnould, 2009).

Para conocer el efecto de estos y otros factores ambientales en la tendencia de crecimiento de las poblaciones, es necesario contar con series de tiempo del tamaño poblacional. Sin embargo, debido a que no todas las clases de edad y sexo se encuentran en las colonias al momento de los conteos, es difícil tener datos confiables de abundancia, especialmente en otáridos. Por lo que el número de nacimientos se ha utilizado como un indicador de la población total, siempre y cuando ésta tenga una estructura estable de edades y se cuente con la tabla de vida de la especie en cuestión (Berkson & De Master, 1985; Lowry *et al.*, 2014).

El número de nacimientos en algunos pinnípedos, como el lobo marino de Galápagos (*Zalophus wolfebaeki*) en Galápagos, el lobo marino antártico (*Arctocephalus gazella*) en las islas Georgia del sur y el lobo marino sudamericano (*Otaria flavescens*) en Perú, ha disminuido en las últimas tres décadas a causa de fenómenos ambientales como El Niño. Este fenómeno genera aumento en la temperatura superficial del océano, debilita las corrientes y las surgencias, lo que eventualmente puede modificar la abundancia y distribución de las presas de esos pinnípedos (Trillmich & Limberger, 1985; Soto *et al.*, 2004; Forcada *et al.*, 2005).

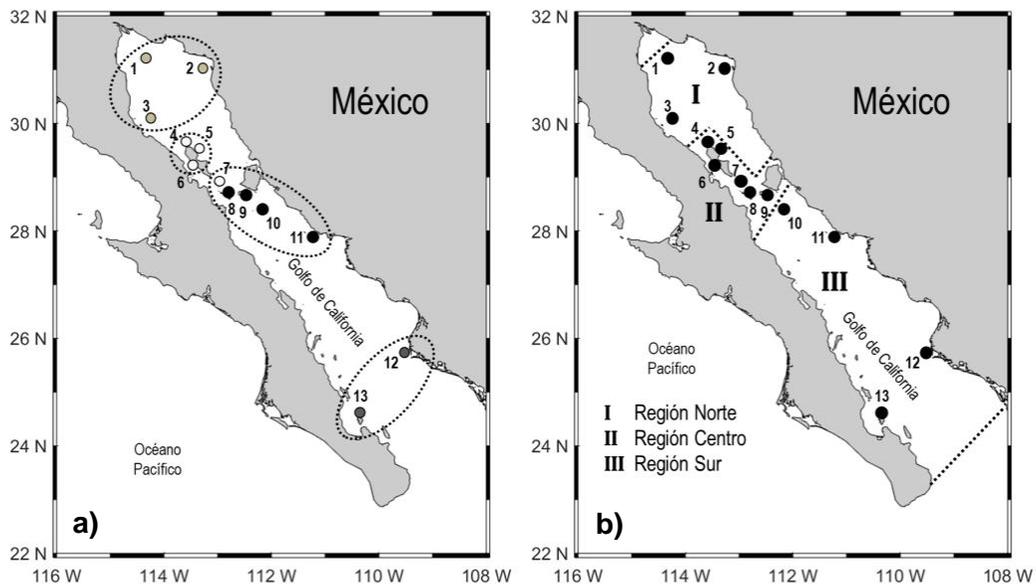
La disminución en la disponibilidad de presas como resultado de esos eventos, ocasiona que las hembras adultas inviertan más tiempo y gasten más energía durante la búsqueda de alimento, y que consuman presas con menor contenido energético (Boyd, 1984, 1996; Costa *et al.*, 1989; Trites & Donnelly, 2003). El consumo de presas con bajo contenido energético o de menor calidad, influye negativamente en las tasas de nacimientos, lo cual tiene un efecto a corto y largo plazo en el estado de las poblaciones (DeLong *et al.*, 1991; Rosen & Trites, 2000; Diaz-Gomez *et al.*, 2016).

El lobo marino de California, *Zalophus californianus*, es uno de los pinnípedos cuyas poblaciones han disminuido notablemente en las últimas décadas. Esta especie se reproduce desde las islas ubicadas en el canal de California en Estados Unidos hasta la isla Santa Margarita en México, incluyendo el golfo de California (Peterson & Bartholomew, 1967; Lowry & Forney, 2005). En el golfo de California, la reproducción ocurre en trece colonias que en conjunto han presentado una disminución de 44 % en su abundancia y de 36 % en la producción de crías en los últimos treinta años. Individualmente estas colonias presentan tasas de crecimiento y probabilidades de extinción distintas (Hernández-Camacho *et al.*, datos no publicados). Para el 2015, la población en el GC se estimó en 17,807 individuos y la producción de crías en 6,748 individuos aproximadamente (Hernández-Camacho *et al.*, datos no publicados).

Las colonias de lobos marinos en el golfo de California están agrupadas en cuatro unidades o sub-poblaciones que incluyen colonias con características ecológicas similares, aunque con diferentes grados de vulnerabilidad (Szteren *et al.*, 2006; Ward *et al.*, 2010). Las colonias están agrupadas en función de su estructura genética, tendencia poblacional y de los patrones de algunas variables ecológicas, especialmente la dieta (Fig. 1a; Szteren *et al.*, 2006; González-Suárez *et al.*, 2009; Schramm *et al.*, 2009; Ward *et al.*, 2010). Los límites de las sub-poblaciones de lobo marino coinciden con los distintos regímenes oceanográficos presentes en el golfo de California: zona poco profunda en el norte del golfo, zona de alta

productividad y grandes cambios de marea en la región de las Grandes Islas y la región profunda que se extiende hasta la boca del golfo (Santamaría-del-Angel *et al.*, 1994; Lavín & Marinone, 2003).

Las hembras de lobo marino son residentes permanentes de una misma zona, debido a su alto grado de filopatría (pasan la mayor parte de su vida en el sitio de nacimiento) y a que regresan a las colonias donde dieron a luz a amamantar a sus crías continuamente a lo largo del periodo de lactancia. Por tanto, al estar confinadas a un área, están expuestas a los mismos patrones de variabilidad ambiental local (i.e. presión selectiva). Este comportamiento ha sido fundamental en el proceso de diferenciación genética y aislamiento poblacional observado en el golfo de California (González-Suárez *et al.*, 2009; Schramm *et al.*, 2009).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de las colonias reproductivas en el golfo de California. a) Regionalización de las trece colonias del golfo de California propuesta por Ward *et al.*, (2009) (línea punteada) y por Szteren y Auriolles (2011) (círculos de color)). b) Regiones oceanográficas propuestas por Lavín y Marinone (2003). 1. Rocas Consagradas, 2. San Jorge, 3. Isla Lobos, 4. Granito, 5. Los Cantiles (Ángel de la Guarda), 6. Los Machos (Ángel de la Guarda), 7. El Partido, 8. El Rasito, 9. San Esteban, 10. San Pedro Mártir, 11. San Pedro Nolasco, 12. Farallón de San Ignacio y 13. Los Islotes.

Personal del laboratorio de Ecología de Pinnípedos “Burney J. Le Boeuf” de CICIMAR, ha monitoreado las 13 colonias de lobo marino de California en el golfo de California desde hace tres décadas. A partir de esta información, se ha determinado la tendencia de crecimiento y viabilidad de todas las colonias (Anexo 1; Szteren *et al.*, 2006; Hernández-Camacho *et al.*, datos no publicados). Las colonias que están creciendo son Rocas Consagradas y Los Islotes, las colonias que disminuyen son Isla Lobos, Granito, Los Cantiles, Los Machos, El Rasito y San Pedro Nolasco, y las colonias que son estables son San Jorge, El Partido, San Esteban, San Pedro Mártir y Farallón de San Ignacio (Szteren *et al.*, 2011; Hernández-Camacho *et al.*, datos no publicados).

Sin embargo, no se conoce cuáles son los factores ambientales ni en qué medida influyen en las tendencias de crecimiento de las colonias en cada región. En el presente trabajo, se evaluó la relación entre el número de nacimientos y algunas variables ambientales (p. ej. la concentración de clorofila superficial y la temperatura superficial del mar) registradas en los alrededores de las colonias reproductoras, con distintas tendencias de crecimiento de la región norte, centro y sur del golfo de California durante el periodo 1997-2016.

## **2. ANTECEDENTES**

Actualmente existen 34 especies de pinnípedos en todo el mundo, de las cuales, aproximadamente 30 % están incluidas en alguna categoría de amenaza (En Peligro Crítico, En Peligro y Vulnerable) dentro de la lista roja de especies en riesgo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Kovacs *et al.*, 2012). La vulnerabilidad de estas especies se refleja, en general, en el reducido tamaño de sus poblaciones y a que éstas disminuyen de manera continua (IUCN, 2001).

La especie más conocida por la drástica disminución de su población es el lobo marino de Steller (*Eumetopias jubatus*). Su población comenzó a disminuir progresivamente en las islas Aleutianas y en algunas colonias en el golfo de Alaska durante la fase positiva del PDO (Oscilación Decadal del Pacífico) entre 1970 y 1990 (Merrick *et al.*, 1987; Trites & Larkint, 1996). Como consecuencia del cambio de régimen climático, la variación en la temperatura desencadenó cambios en la red trófica y modificó la disponibilidad de presas para esta especie. La dieta de las colonias donde se presentaron las tasas más rápidas de disminución poblacional, era menos diversa y estaba compuesta por presas de menor contenido energético en comparación con la dieta de las colonias donde y cuando aumentó la población (Merrick *et al.*, 1997; Sinclair & Zeppelin, 2002; Trites & Donnelly, 2003; Trites, *et al.*, 2007). Los individuos de las colonias en disminución experimentaron estrés nutricional debido al consumo de especies de baja calidad (Trites & Donnelly, 2003).

El lobo marino sudamericano (*Otaria flavescens*) es otra especie cuya abundancia y número de nacimientos han disminuido por cambios en la disponibilidad de sus presas. Debido al fenómeno de El Niño 1997-1998, los nacimientos de este pinnípedo fueron seriamente afectados y la población se redujo alrededor de 81 % (de 144,087 a 27,991 individuos) en las costas de Perú; en el 2013 la población se recuperó 76 % aproximadamente y se estimaron 105,000 individuos (Arias-Schreiber & Rivas, 1998; Arias-Schreiber, 2000; Cardenas Alayza *et al.*, 2016). En esta región, el lobo marino sudamericano se alimenta principalmente de anchoveta peruana (*Engraulis ringens*), la cual es una especie que ante condiciones El Niño, disminuye su abundancia y cambia su distribución a zonas más costeras (Ñiquen & Bouchon, 2004), provocando un decremento en el número de nacimientos de lobo marino debido a su limitada disponibilidad (Soto *et al.*, 2004).

El fenómeno de El Niño también modifica las condiciones oceanográficas en la corriente de California (King *et al.*, 2011) y afecta negativamente la producción de crías de lobo marino de California en la costa occidental de Estados Unidos, ya

que cambia la disponibilidad de presas (Melin *et al.*, 2012). A partir de conteos anuales de crías realizados en los últimos cuarenta años en las islas del Canal de California en Estados Unidos, se detectó que nacen menos crías cuando se presentan condiciones cálidas anómalas; las reducciones en los nacimientos fueron alrededor de 40 % cuando se presentaron fenómenos El Niño moderados o fuertes (Melin *et al.*, 2012; Lowry *et al.*, 2017). Desde 1970, se registró una tendencia positiva en el crecimiento de la población, sin embargo, cuando se presentaron condiciones El Niño y la temperatura superficial del mar fue alrededor de 1°C por encima de lo normal (anomalía positiva), se interrumpió el crecimiento; mientras que cuando la anomalía alcanzó los 2 °C, la tendencia de crecimiento poblacional fue negativa (Laake *et al.*, 2017).

Las colonias del lobo marino de California en la costa occidental de la península de Baja California y el golfo de California en México, han disminuido notablemente en las últimas tres décadas (Szteren *et al.*, 2006; Hernández-Camacho *et al.*, datos no publicados). El número de nacimientos también es afectado negativamente cuando se presentan condiciones El Niño fuertes; por ejemplo, en isla Santa Margarita (costa occidental de la península de Baja California) se registró una disminución del 45 % en la producción de crías cuando sucedió El Niño de 1982-83. Esta disminución se detectó al comparar el número de nacimientos promedio de cuatro años (Aurioles & Le Boeuf, 1991). En el archipiélago de San Benito, localizado también en la costa occidental de la península de Baja California, el fenómeno de El Niño 2015-16 afectó negativamente los nacimientos (disminución del 62 % aproximadamente) al compararlo con el número de nacimientos del 2014 (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016). En contraste, en el golfo de California no se han registrado disminuciones en las tasas de nacimientos cuando se presenta el fenómeno de El Niño (Aurioles & Le Boeuf, 1991; Hernández-Camacho *et al.*, 2008).

Al igual que en otros pinnípedos, los cambios en la disponibilidad de las presas tiene un impacto significativo en el número de nacimientos de lobo marino de

California, pero éste debe variar dependiendo de la región donde se encuentren las colonias. Esta especie se alimenta de distintas especies de peces y cefalópodos, aunque tiene preferencia por algunas presas (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994; García-Rodríguez, 1999). La dieta varía geográficamente en función de la distribución de sus presas principales y las características oceanográficas de las distintas regiones del golfo de California: 1) en la región norte las principales presas son el pez sable (*Trichiurus lepturus*), la sardina bocona (*Cetengraulis mysticetus*), los peces sapo (*Porichthys spp*) y los mictofidos; 2) en la región centro son la anchoveta (*Engraulis mordax*), el pez sable, la sardina Monterey (*Sardinops sagax*), la macarela (*Scomber japonicus*), la sardina bocona, los peces sapo y los mictófididos; 3) en la región sur consumen principalmente serranos (*Serranus aequidens*), calamar (*Abraliopsis affinis*), anchoveta, pez lagarto (*Aulopus bajacali*) y peces sapo (García-Rodríguez & Aurioles-Gamboa, 2004; Porras-Peters, 2004; Espinoza de los Reyes-Ayala, 2007). Hasta ahora no se conoce cómo la diversidad de la dieta y las características nutricionales de las presas influyen en el éxito reproductivo y supervivencia de los individuos.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Las colonias de lobo marino dentro del golfo de California son de particular interés para la comunidad científica y las autoridades a cargo de su conservación. Su menor tamaño poblacional (comparadas con las colonias de la costa occidental del Pacífico de Baja California) y su aislamiento del resto de las colonias en el Pacífico (Schramm *et al.*, 2009), las hace más vulnerables a cambios drásticos en el ambiente (Hernández-Camacho *et al.*, 2015). Para poder implementar acciones de manejo que garanticen la viabilidad de estas colonias, es necesario entender qué factores modulan su dinámica dentro de las distintas subpoblaciones en las que se divide la población en el golfo de California.

## **4. HIPÓTESIS**

El tamaño de las capturas de pelágicos menores es un indicador de la abundancia de lobo marino de California, por lo tanto, se espera que conforme varíen las capturas de pelágicos menores (presas del lobo marino), que a su vez están relacionadas con las variaciones de la temperatura superficial del mar, el número de nacimientos de lobo marino también varíe.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Determinar el efecto del ambiente local en el número de nacimientos de lobo marino de California en el golfo de California durante el periodo 1979-2016.

### **5.2. Particulares**

Analizar la relación entre el número de nacimientos y el número de hembras durante la temporada reproductiva en cada colonia.

Determinar las presas principales en cada colonia reproductiva y la similitud de las dietas entre colonias.

Determinar la relación entre las capturas de pelágicos menores en el golfo de California y el número de nacimientos en las diferentes colonias reproductivas.

Analizar las variaciones en la concentración de clorofila a superficial y en la temperatura superficial del mar en los alrededores de las colonias reproductivas y explorar su relación con el número de nacimientos durante el periodo de 1997 - 2016.

## 6. ÁREA DE ESTUDIO

Las colonias reproductivas de lobo marino de California se encuentran en varias islas ubicadas en el golfo de California. Éste tiene alrededor de 1200 km de extensión (norte-sur) y 150 km de ancho; de acuerdo a sus características oceanográficas se ha dividido en tres regiones (Fig. 1b; Le Boeuf *et al.*, 1983; Zavala-González & Mellink, 1997; Lavín & Marinone, 2003; Lluch-Cota *et al.*, 2007). En la región norte del golfo se encuentran las colonias Rocas Consagradas, San Jorge e Isla Lobos. En esta región, la profundidad máxima es de 200 m aproximadamente. En términos de temperatura superficial del mar (TSM), la temperatura promedio es de 17 °C en invierno y de 30 °C en verano; la concentración de clorofila a superficial (Clo-a) es alrededor de 1.2 mg/m<sup>3</sup> en invierno y 0.5 mg/m<sup>3</sup> en verano (Lavín *et al.*, 1998; Lluch-Cota *et al.*, 2007). Se presenta una alta tasa de evaporación, con valores de salinidad promedio de 38 y lluvias durante el invierno; la mezcla vertical causada por las mareas se da a lo largo de todo el año (Álvarez-Borrego, 2010). Debido a los vientos del noroeste que soplan en invierno, se producen giros anticiclónicos y cuando soplan los del sureste en verano, inducen una circulación ciclónica (Beier, 1997; Lavín *et al.*, 1997, 1998).

La región centro del golfo incluye a las grandes islas, la cual es un área productiva debido a la mezcla vertical ocasionada por las mareas (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991; Lavín & Marinone, 2003a). La TSM promedio es de 23 °C, el máximo se registra en verano (29 °C) y el mínimo en invierno (18 °C aproximadamente). La Clo-a promedio al año es de 1.4 mg/m<sup>3</sup>, siendo la más baja en verano con alrededor de 0.96 mg/m<sup>3</sup> y la más alta en primavera con 2.16 mg/m<sup>3</sup> aproximadamente (Lluch-Cota *et al.*, 2007; Escalante *et al.*, 2013). En esta región se encuentra también el canal de Ballenas, el cual se localiza entre la península e isla Ángel de la Guarda, donde se presentan profundidades mayores a los 1600 m

y persistencia de temperaturas bajas (promedio anual de 20.4 °C) y alta Clo-a (2.2 mg/m<sup>3</sup>) debido a la mezcla por mareas (Halfar *et al.*, 2004).

En el lado oriental de la isla se encuentra la cuenca Tiburón, la cual tiene una profundidad promedio de 550 m (Robinson, 1973; Álvarez *et al.*, 1984; Badan-Dangon *et al.*, 1985). En esta región, la mezcla por marea causa turbulencia que rebasa los 500 m trayendo consigo agua fría y rica en nutrientes a la superficie. Las lluvias se dan entre junio y octubre (Álvarez-Borrego, 2002). Las colonias reproductivas en esta región son: Granito, Los Cantiles y Los Machos en isla Ángel de la Guarda, al sur de la isla se ubica El Partido y El Rasito y al suroeste de isla Tiburón se encuentra San Esteban.

En la región sur (desde el sur de la región de las grandes islas hasta la entrada del golfo) encontramos a las colonias San Pedro Mártir, San Pedro Nolasco, Farallón de San Ignacio y Los Islotes. En esta región, la TSM promedio anual es de 25 °C aproximadamente, registrándose en invierno 19 °C y en verano 29 °C. La Clo-a promedio es 0.83 mg/m<sup>3</sup>, la más alta de 1.2 mg/m<sup>3</sup> en primavera y la más baja en verano de 0.44 mg/m<sup>3</sup>. Las surgencias tienen lugar en el lado este del golfo durante el invierno y son causadas por los vientos del noroeste, y en el lado de la península en verano por los vientos del sureste. Sin embargo, debido a la estratificación de la columna de agua en la costa de la península, los vientos tienen un efecto pobre sobre la biomasa fitoplanctónica a diferencia de la costa continental, cuyas surgencias intensas favorecen la productividad primaria (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1999; Álvarez-Borrego, 2010). Durante el verano se observa una circulación ciclónica y durante el invierno una circulación anticiclónica (Beier, 1997).

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1. Análisis de variables poblacionales

El análisis de variables poblacionales se realizó a partir de una base de conteos históricos (1979-2016) de las trece colonias reproductivas de lobo marino de California en el golfo de California. Los conteos se estructuraron por clases de sexo y edad (machos adultos, machos subadultos, hembras adultas, juveniles y crías; Le Boefu et al. 1983).

Los conteos se realizaron durante la temporada reproductiva (junio a agosto) y siguiendo la misma metodología todos los años (Le Boeuf *et al.*, 1983). Se eligió la temporada reproductiva porque es cuando ocurren los nacimientos y los individuos de todas las clases de edad se encuentran en las colonias (Peterson & Bartholomew, 1967). El máximo de nacimientos se da a finales de junio y a mediados de julio (García-Aguilar & Auriolles-Gamboa, 2003a). Durante este periodo menos de 6% de las crías muere, por ello el conteo de crías es considerado como el total de nacimientos y usado como referencia para estimar las otras clases de edad (Berkson & DeMaster, 1985; Hernández Camacho, 2001). En este trabajo se eligió utilizar el número de nacimientos en lugar de la población total porque este parámetro está relacionado con las condiciones del ambiente que prevalecieron durante el periodo de gestación y los primeros días de lactancia. En cambio, la población total, es el resultado de otros procesos poblacionales (mortalidad, fecundidad y migración) ocurridos a lo largo de varios años.

Las observaciones se realizaron con ayuda de binoculares desde una embarcación menor, a aproximadamente 40 m de distancia de la colonia, durante marea baja y por los mismos observadores en la mayoría de las ocasiones (Auriolles-Gamboa & Sinsel, 1988; García-Aguilar & Auriolles-Gamboa, 2003b). Se contabilizaron los animales que se encontraban en ese momento en tierra y aquellos que estaban en el agua entre la colonia y la embarcación. Debido a que

durante las observaciones algunas hembras están en el mar realizando viajes de alimentación y otras no se ven desde la embarcación, se aplicó un factor de corrección del 28 % a sus conteos (Hernández-Camacho *et al.*, datos no publicados). El factor de corrección para los conteos de crías es del 50 % ya que desde la embarcación no se logran visualizar a las crías que están entre las rocas (Le Boeuf *et al.*, 1983).

La relación entre el número de nacimientos y el número de hembras adultas, así como la relación entre el número de nacimientos y la abundancia en cada colonia, se determinó mediante una correlación de Spearman. Se escogió este método debido a que los datos no presentaron una distribución normal.

Se calcularon las tasas de fecundidad en todas las colonias para tener otra estimación del éxito reproductivo, además del número de nacimientos.

$$F = \frac{x}{h} (100)$$

$F$  = Tasa de fecundidad (%)

$x$  = Número de crías por colonia

$h$  = Número de hembras adultas por colonia

## 7.2. Análisis de la dieta

Se realizó una búsqueda bibliográfica sobre información de la dieta del lobo marino de California que habita en el golfo de California. Esta búsqueda incluyó artículos, tesis y datos no publicados (Tabla 1). De las fuentes bibliográficas se tomó en cuenta la colonia, la fecha de muestreo, el número de heces analizadas, la lista de especies que componen la dieta y el Índice de Importancia de Presa (IIMPI; Garcia-Rodriguez & Aurióles-Gamboa, 2004) calculado como:

$$IIMP_i = \frac{1}{U} \sum_{j=1}^u \frac{x_{ij}}{x_j}$$

*IIMP<sub>i</sub>* = Índice de importancia por presa

*x<sub>j</sub>* = Frecuencia del taxón *i* en el copro *j*

*x<sub>j</sub>* = Número de estructuras identificadas en el copro *j*

*u* = Número de copros en donde el taxón *i* se encontró

*U* = Número de copros total

Además, en octubre de 2016 se recolectaron heces fecales en las colonias Granito, Los Cantiles, Los Machos, El Partido y El Rasito para determinar la dieta de ese año. Las heces se tamizaron para extraer las estructuras duras (otolitos y picos de cefalópodos), las cuales fueron cuantificadas e identificadas al nivel taxonómico más bajo posible. Por último, se calculó el IIMP<sub>i</sub> para compararlo con la información reportada en la literatura.

**Tabla 1.** Colonias visitadas y año en que se realizó el muestro de dieta de lobo marino de California en el golfo de California por distintos autores.

Año	Colonia*	Fuente
1980 y 1981	13	Aurioles-Gamboa <i>et al.</i> , (1984)
1986 y 1987	8	Orta-Dávila (1988)
1989	4 y 5	Sánchez-Arias (1992) <sup>1</sup>
1990	13	García-Rodríguez (1995)
1993	4 y 5	Bautista-Vega (2000) <sup>1</sup>
1995 y 1996	3, 4, 5, 6, 8, 9 y 10	García-Rodríguez (2004) <sup>1</sup>
1998 y 1999	2	Romero-Saavedra (2000) <sup>1</sup>
2000	13	Cárdenas-Palomo (2003)

**Tabla 1.** Continuación...

<b>Año</b>	<b>Colonia*</b>	<b>Fuente</b>
2002	1, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13	Porras-Peters <i>et al.</i> , (2008) <sup>1</sup>
2011	2, 3 y 6	PROMOBI-CONANP <sup>1</sup>
2012	2, 10, 12 y 13	PROMOBI-CONANP <sup>1</sup>
2013	2, 9, 10, 11, 12 y 13	PROMOBI-CONANP (2013) y Zavaleta-Romero (2015) <sup>1</sup>
2014	2, 9, 10, 11 y 12	PROMOBI-CONANP
2015	2, 5, 9, 10, 11, 12 y 13	PROMOBI-CONANP <sup>1</sup>
2016	4, 5, 6, 7, 8 y 13	Este trabajo

\**Rocas Consagradas (1); San Jorge (2); Lobos (3); Granito (4); Los Cantiles (5); Los Machos (6); El Partido (7); El Rasito (8); San Esteban (9); San Pedro Mártir (10); San Pedro Nolasco (11); Farallón de San Ignacio (12); Los Islotes (13).*

<sup>1</sup> *Colonias visitadas durante la temporada reproductiva*

Debido a que los estudios de dieta no fueron realizados en años consecutivos en todas las colonias y a que hay un periodo de ausencia de información de ocho años (2003 - 2010), sólo se consideraron los estudios cuyo muestreo fue realizado durante la temporada reproductiva (junio-agosto). De estos trabajos se identificó la colonia y se extrajo la lista de las especies presa con sus respectivos valores de IIMPi.

Se promediaron los valores del IIMPi históricos de cada especie por colonia y se identificaron como presas principales las que tuvieron un valor promedio de IIMPi mayor a diez (García-Rodríguez & Aurióles-Gamboa, 2004). Para determinar la similitud del elenco de presas que conforman la dieta entre las diferentes colonias se implementó un análisis de agrupamientos. Se midió la distancia euclidiana y el método de ligamiento fue el del vecino más lejano o enlace completo.

$$D(x_a, x_b) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ia} - x_{ib})^2}$$

$D(x_a, x_b)$  = Distancia euclidiana entre la lobera a y la lobera b

$x_{ia}$  = Abundancia de la especie i en la lobera a

$x_{ib}$  = Abundancia de la especie i en la lobera b

$n$  = Número total de especies

Se calculó el coeficiente de correlación cofenético para determinar el grado de ajuste de los grupos. Este coeficiente se calcula a través de la correlación entre las distancias originales (matriz de similitud) y las distancias calculadas a partir del dendrograma. Si el valor del coeficiente de correlación cofenético es mayor a 0.8, entonces el dendrograma es una buena representación de la matriz de similitud (Sokal & Rohlf, 1962; Rohlf, 1970; Saraçlı *et al.*, 2013).

$$C = \frac{\sum_{a < b} (x(a, b) - x)(t(a, b) - t)}{\sqrt{[\sum_{a < b} (x(a, b) - x)^2][\sum_{a < b} (t(a, b) - t)^2]}}$$

$C$  = Coeficiente de correlación cofenético

$x(a, b)$  = Distancia euclidiana calculada entre la lobera a y la lobera b

$t(a, b)$  = Distancia en el dendrograma entre la lobera a y la lobera b

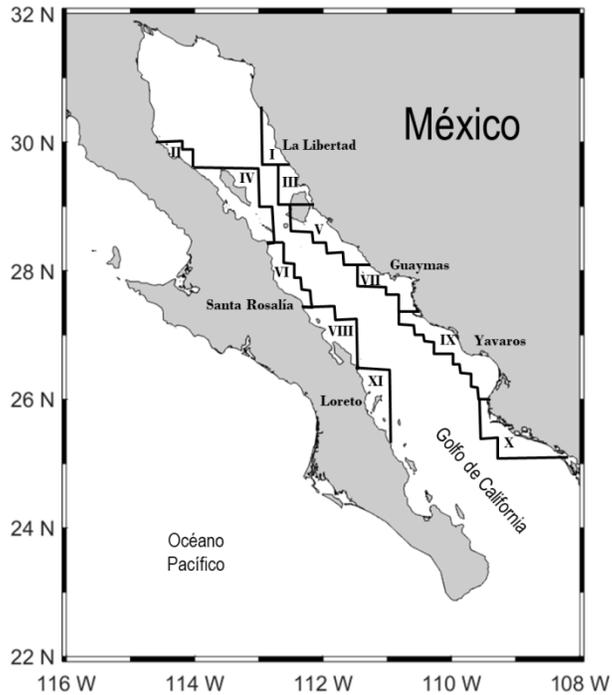
$x$  = Distancia promedio entre las abundancias de las especies en las loberas a y b

$t$  = Distancia promedio entre las abundancias de las especies en las loberas a y b en el dendrograma

### 7.3. Análisis de capturas de pelágicos menores

Se identificaron las especies que son presas principales del lobo marino de California y que también son de importancia comercial dentro del golfo. Para tener información sobre la pesca de estas especies, se revisaron los informes técnicos del Programa Operativo Anual que pertenece al Programa de Pelágicos Menores de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). Este programa se encarga del monitoreo de la pesquería de sardina monterrey (*Sardinops sagax*), sardina crinuda (*Opisthonema* spp.), sardina japonesa (*Etrumeus teres*), anchoveta (*Engraulis mordax*), sardina bocona (*Cetengraulis mysticetus*) y macarela (*Scomber japonicus*). La flota pesquera opera en las costas del golfo de California, con excepción del alto golfo y de la región sur de la costa este. Las áreas de pesca donde se concentra la actividad pesquera van desde la región de las grandes islas hasta el norte de Sinaloa (Fig. 2). En los informes técnicos se reportan los resultados del análisis de la captura, el esfuerzo y la operación de la flota pesquera a partir de información recabada en los Avisos de Arribo de las Oficinas Federales de Pesca CONAPESCA-SAGARPA), las cuales se encuentran en Guaymas y Huatabampo, Sonora. Esta información se reporta trimestralmente, a partir de octubre que es cuando inicia la temporada de pesca, hasta septiembre del siguiente año cuando finaliza.

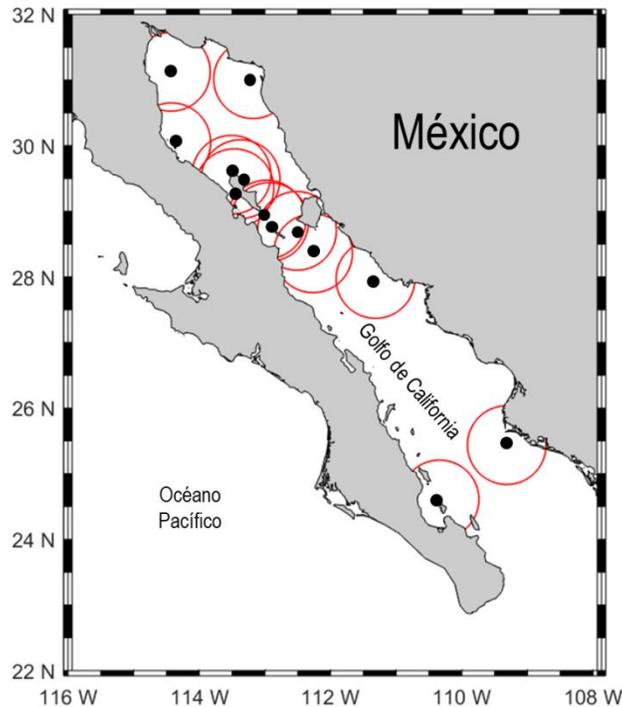
Se utilizaron las capturas anuales de la sardina monterrey, anchoveta, macarela, sardina bocona y la captura anual de todas las especies de pelágicos menores de 1979 al 2016. Las capturas anuales de estas especies fueron consideradas como un indicador de su disponibilidad para el lobo marino de California. Se realizaron correlaciones de Spearman entre las capturas anuales de cada una de las especies para determinar si existía relación entre ellas. Se seleccionaron aquellas que no mostraron una correlación significativa para hacer correlaciones simples (relación directa) y cruzadas (relación desfasada) con el número de nacimientos de las diferentes colonias.



**Figura 2.** Áreas de pesca de peces pelágicos menores en el golfo de California (números romanos). Tomado y modificado de Nevárez-Martínez *et al.*, 2001.

#### 7.4. Análisis de variables ambientales

Se obtuvieron valores de TSM y Clo-a para el área circundante a las colonias de lobo marino de California a través de imágenes satelitales para el periodo 1997-2016. Las hembras de lobo marino de California se alimentan en los alrededores de la colonia a una distancia máxima promedio de 60 km (Kuhn, 2006; Villegas-Amtmann, 2009; Rosas-Hernández *et al.*, datos no publicados). Por lo tanto, se extrajeron los valores de TSM y Clo-a a partir de un polígono con radio de 60 km teniendo la colonia ubicada en el centro (área de alimentación; Fig. 3).



**Figura 3.** Áreas de alimentación de las trece colonias reproductivas de lobo marino de California (círculos rojos).

El análisis de la relación entre las variables ambientales por área de alimentación y el número de nacimientos ( $r < 0.4$  y  $p > 0.05$ ) en cada colonia no arrojó resultados concluyentes, además las áreas de alimentación de las colonias de la región de las grandes islas se superponían debido a la cercanía entre ellas. Por estas razones, se decidió agrupar a las colonias de acuerdo a la regionalización ecológica propuesta por Szteren y Auriolles-Gamboa (2011), donde las colonias reproductoras comparten ciertas características, entre ellas la dieta. Se consideraron a las colonias que contaban con la mayor cantidad de datos, que tuvieran los mismos años de información y que estuvieran dentro de las regiones ecológicas.

La colonia Lobos fue la única representante de la región norte con datos suficientes; en la región de las grandes islas (región centro) fueron las colonias Granito, Los Cantiles, Los Machos, El Partido y El Rasito, esta última no pertenece a la región ecológica propuesta por Szteren y colaboradores (2011), sin embargo

se incluyó en el grupo debido a la cercanía que tiene con las demás y por la cantidad de datos. La colonia Los Islotes, que fue la que más años de información tuvo en la región sur.

La información ambiental para el área donde se encuentran los grupos de colonias se obtuvo a partir de las regiones oceanográficas propuestas por Lavín y Marinone, (2003; Fig. 1b). Se consideró la TSM como la variable que puede afectar: 1) la distribución y disponibilidad de las presas de lobo marino; 2) la Clo-a como indicador de la productividad del océano; y 3) la cantidad de alimento disponible. Estos aspectos no pueden inferirse con certidumbre a partir de la información de la dieta ni de los datos generales de la actividad pesquera.

Las imágenes satelitales diarias de TSM se obtuvieron de la NOAA NCEI (NOAA National Centers for Environmental Information), las cuales son el resultado de interpolaciones y extrapolaciones con datos de TSM tomados vía satélite (sensor AVHRR Advanced Very High Resolution Radiometer) e *in situ* (barcos y boyas). Las imágenes son nivel cuatro (L4) con resolución de 0.25° por pixel y están disponibles a partir de 1981 hasta el presente año ([https://data.nodc.noaa.gov/opendap/ghrsst/L4/GLOB/NCEI/AVHRR\\_OI](https://data.nodc.noaa.gov/opendap/ghrsst/L4/GLOB/NCEI/AVHRR_OI)).

La información sobre la concentración de Clo-a se obtuvo del servicio de monitoreo del ambiente marino Copernicus (Copernicus-CMEMS por sus siglas en inglés). Se descargaron imágenes satelitales diarias L4 con resolución de 4 x 4 km por pixel, las cuales se construyen con observaciones tomadas por varios sensores (OLCI-A, MERIS, AquaMODIS, VIIRS y SeaWiFS) y están disponibles a partir de 1997, hasta el 2016 ([http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to%20products/?option=com\\_csw&view=details&product\\_id=OCEANCOLOUR\\_GLO\\_CHL\\_L4\\_REP\\_OBSERVATIONS\\_009\\_082](http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to%20products/?option=com_csw&view=details&product_id=OCEANCOLOUR_GLO_CHL_L4_REP_OBSERVATIONS_009_082)).

Se obtuvieron promedios diarios de estas variables para cada una de las regiones (Fig. 1b). Posteriormente se calcularon promedios y anomalías anuales de julio a junio del siguiente año (periodo que abarca desde el apareamiento hasta que la hembra da a luz el siguiente año) y de octubre a junio del siguiente año (desde que el cigoto se implanta hasta que nace la cría en la siguiente temporada reproductiva). Las anomalías se calcularon tomando en cuenta el promedio de los meses de interés y a ese valor se le restó el promedio calculado de los meses considerados a lo largo de la serie de tiempo. También se calcularon promedios y anomalías semestrales y estacionales para explorar el efecto de las variables ambientales en el número de nacimientos a distintas escalas de tiempo. Con los promedios calculados de cada variable, se realizaron correlaciones de Spearman para determinar si existía relación entre ellas y poder seleccionar aquellas que no, para omitir información redundante. Se realizaron correlaciones simples y cruzadas con los promedios y anomalías de las variables ambientales y el número de nacimientos por región, así como con los datos de captura de algunas especies de pelágicos menores pero ahora por regiones.

Se obtuvieron los valores mensuales del Índice Multivariado del ENSO (MEI por sus siglas en inglés) para el periodo de 1997 a 2016 debido a que son los años para los que se tiene información de todas las variables ambientales, registros de las capturas de pelágicos menores y conteos en la mayoría de las colonias reproductivas. Los valores mensuales de este índice están disponibles para el periodo 1950-2017 (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>). Se calcularon promedios anuales (julio a junio del siguiente año y de octubre a junio del siguiente año), semestrales y trimestrales (estacionales) a partir de la información mensual del MEI. Se hicieron correlaciones de Spearman para determinar la relación entre el MEI y el número de nacimientos de lobo marino en cada colonia reproductiva, la relación con los nacimientos por región y con las capturas de algunos pelágicos menores.

Las variables explicativas no presentaron una relación estrictamente lineal con la variable de respuesta, por ello se decidió analizar la información a través de un modelo aditivo generalizado (GAMs por sus siglas en inglés), ya que son modelos que se utilizan cuando no se tienen relaciones lineales y que, por ser aditivos, es posible evaluar el efecto de cada variable explicativa y la contribución de todas en la variable de respuesta (Hastie & Tibshirani, 1990; James *et al.*, 2013).

Estos modelos usan una función enlace que establece una relación entre la media de la variable de respuesta y la suma de las funciones suavizadoras no lineales de las covariantes. Se dice que estos modelos son semi paramétricos debido a que la variable de respuesta presenta una distribución de probabilidad que puede ser especificada. Para seleccionar el mejor modelo se puede utilizar el porcentaje de devianza o el valor de la validación cruzada generalizada (GCV por sus siglas en inglés), el cual es una medida del error de predicción, mientras menor sea este mejor se ajusta el modelo (Kohavi, 1995; Guisan *et al.*, 2002; James *et al.*, 2013).

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p f_j(x_{ij}) + \epsilon_i$$

$$y_i = \beta_0 + f_1(x_{i1}) + f_2(x_{i2}) + \dots + f_p(x_{ip}) + \epsilon_i$$

$y_i$  = Variable de respuesta

$\beta_0$  = Constante

$f_j$  = Función suavizadora de las covariantes

$x_{ij}$  = Covariantes

$\epsilon_i$  = Error

Como variable de respuesta se utilizó el número de nacimientos por región, las variables explicativas fueron los promedios y las anomalías anuales de TSM y Cloa de cada región, también se utilizaron las capturas anuales de sardina Monterrey,

anchoveta y macarela y los promedios anuales del MEI. Se probaron distintas distribuciones (gaussiana, poisson, gamma, entre otras) siendo la gaussiana la que mejor se ajustó y se utilizó la función de splines. Es importante señalar que sólo se pudieron probar modelos con una sola covariante debido al número de observaciones (n=20). Se utilizó la paquetería **mgcv** en lenguaje R (Wood, 2011).

## 8. RESULTADOS

### 8.1. Análisis de variables poblacionales

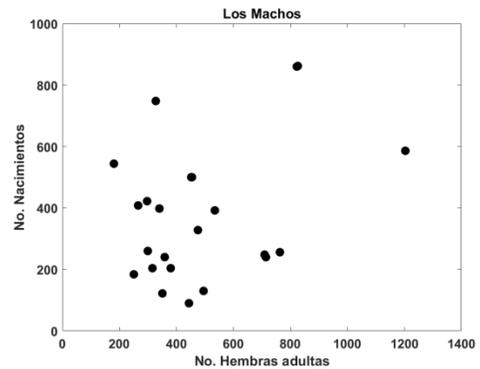
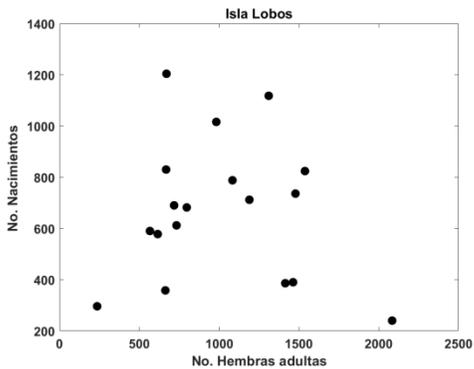
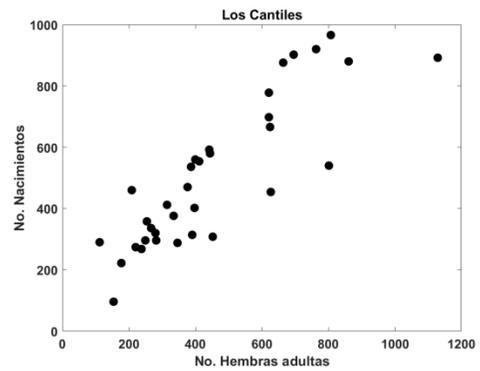
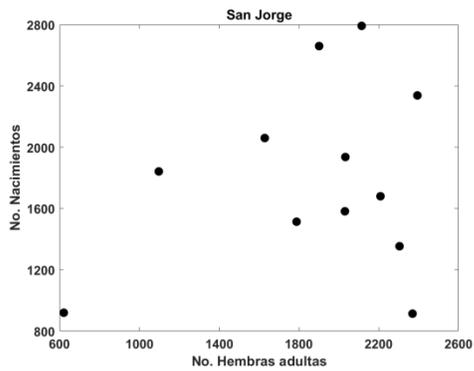
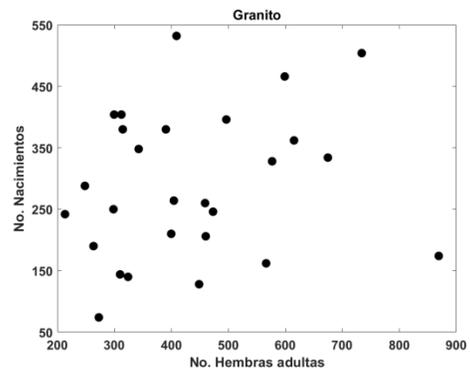
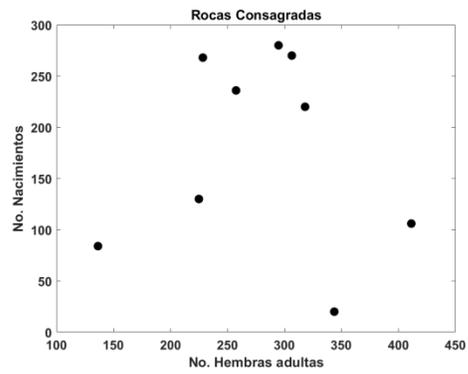
El número de nacimientos y el número de hembras adultas se correlacionaron significativamente en las colonias Los Cantiles ( $\rho(\text{rho})=0.85$ ,  $p<0.01$ ), Farallón de San Ignacio ( $\rho(\text{rho})=0.82$ ,  $p<0.01$ ) y Los Islotes ( $\rho(\text{rho})=0.86$ ,  $p<0.01$ ; Tabla 2; Fig. 4).

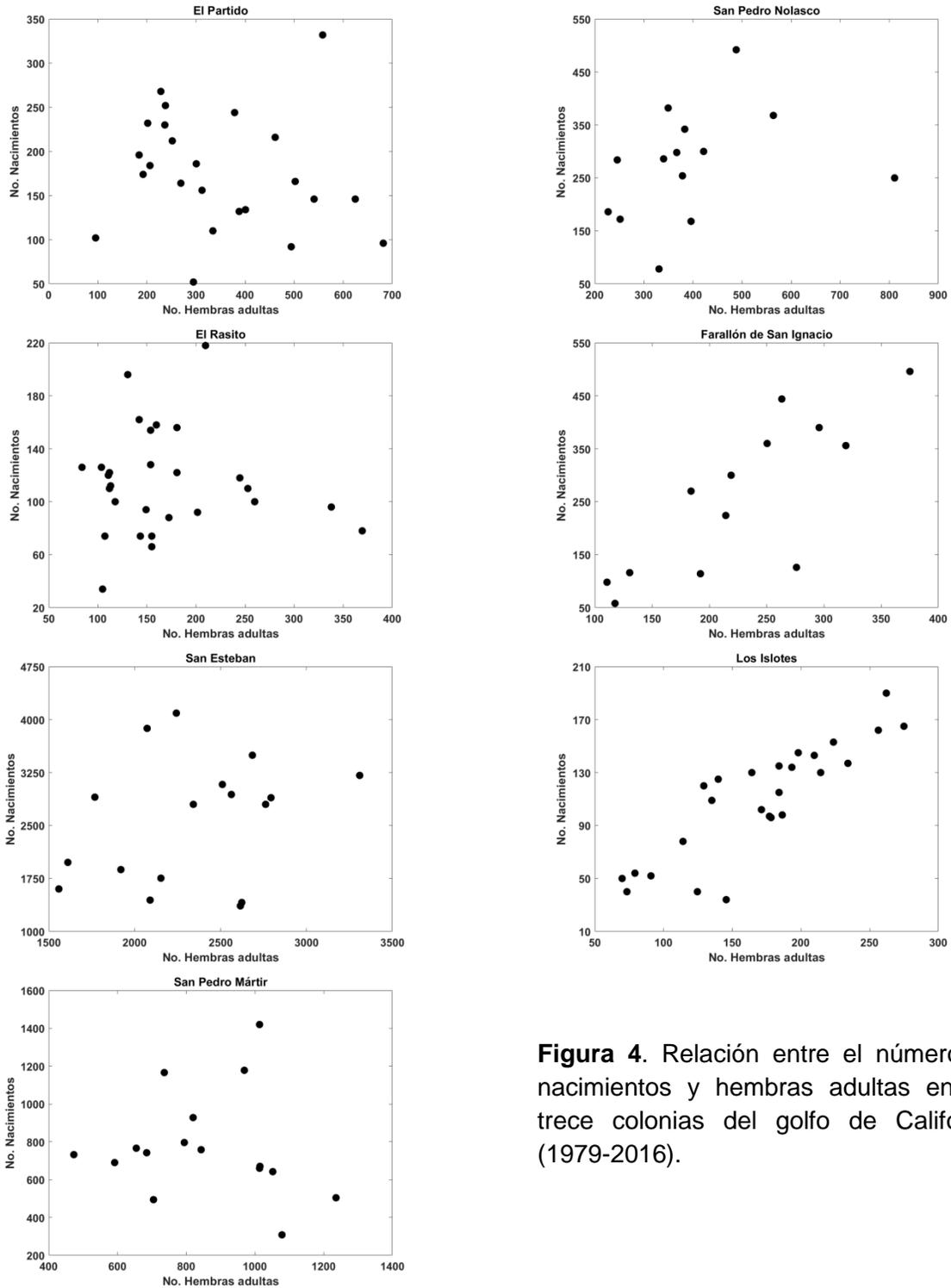
**Tabla 2.** Correlaciones de Spearman entre el número de nacimientos y el número de hembras en cada colonia reproductiva.

Región	Colonia	$\rho$ (rho)	p
Norte	Rocas Consagradas	-0.12	0.78
	San Jorge	0.11	0.66
	Lobos	0.03	0.93
Centro	Granito	0.25	0.19
	Cantiles	<b>0.85</b>	<b>&lt;0.01</b>
	Machos	0.19	0.39
	Partido	-0.28	0.19
	Rasito	-0.05	0.81
	San Esteban	0.19	0.46
	San Pedro Mártir	-0.31	0.25

Tabla 2. Continuación...

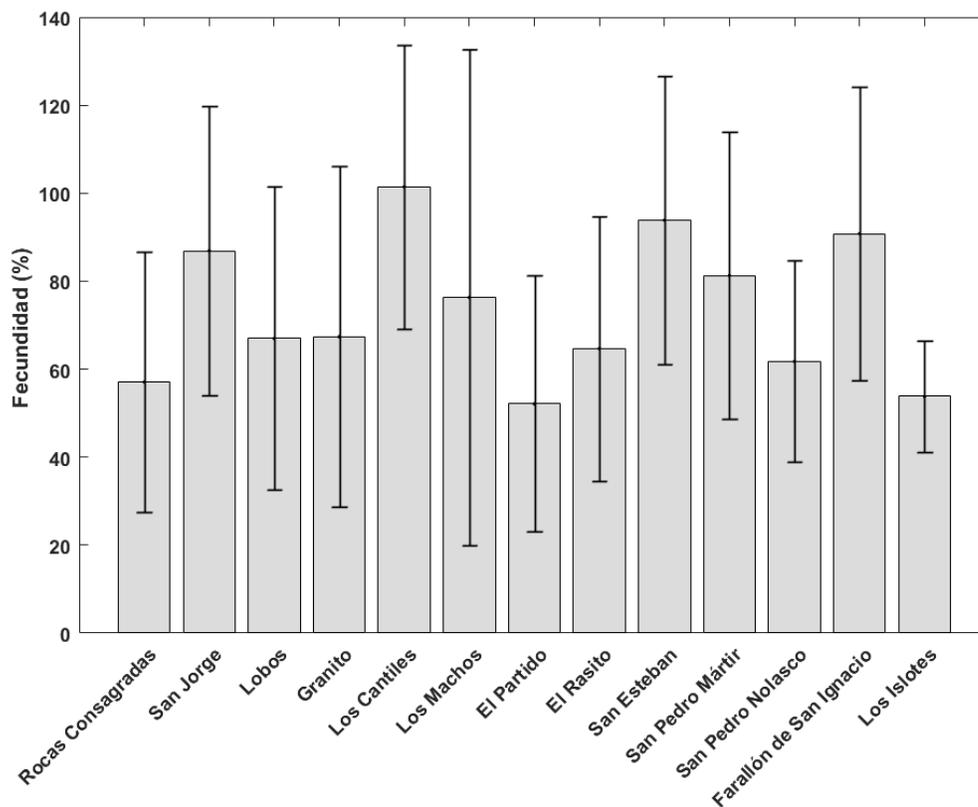
Región	Colonia	$\rho$ (rho)	p
	San Pedro Nolasco	0.42	0.14
Sur	Farallón de San Ignacio	<b>0.82</b>	<b>&lt;0.01</b>
	Los Islotes	<b>0.86</b>	<b>&lt;0.01</b>





**Figura 4.** Relación entre el número de nacimientos y hembras adultas en las trece colonias del golfo de California (1979-2016).

La fecundidad promedio en las colonias reproductoras en el golfo de California fue de 73 % (Fig. 5). La colonia con mayor variabilidad en la fecundidad fue Los Machos y la colonia que mostró menor variabilidad fue Los Islotes. En la mayoría de las colonias se registraron fecundidades mayores al 100 % (debido a un sesgo en los conteos de hembras adultas) excepto en las colonias Rocas Consagradas, El Partido y Los Islotes (Anexo 2).



**Figura 5.** Tasa de fecundidad histórica promedio en las colonias reproductivas de lobo marino de California del golfo de California para el periodo de 1979 al 2016.

## 8.2. Análisis de la dieta

Las especies que fueron presas principales en la mayoría de las colonias reproductivas en el golfo de California son el sable del Atlántico (*Trichiurus*

*lepturus*), la anchoveta (*Engraulis mordax*), la sardina Monterrey (*Sardinops sagax*), la macarela (*Scomber japonicus*), los mictófididos, los peces sapo (*Porichthys spp*), calamares, entre otros (Tabla 3).

**Tabla 3.** Presas principales del lobo marino de California (IIMPi > 10) en las diferentes colonias reproductivas en el periodo de 1981-2016.

<b>Colonia</b>	<b>Especie presa</b>	<b>Nombre común</b>	<b>IIMPi</b>
Rocas Consagradas	<i>Cetengraulis mysticetus</i>	Sardina bocona	61
	<i>Lollingula panamensis</i>	Calamar dedal	14
	<i>Trichiurus lepturus</i>	Sable	14
San Jorge	<i>Engraulis mordax</i>	Anchoveta	17
	<i>Triphoturus mexicanus</i>	Linternilla	17
	<i>Mugil cephalus</i>	Lisa rayada	12
	<i>Sebastes sp</i>	Rocote	11
Lobos	<i>Porichthys sp</i>	Pez sapo	40
	<i>Cetengraulis mysticetus</i>	Sardina bocona	30
	<i>Trichiurus lepturus</i>	Sable	20
	<i>Mictófididos</i>	Linternillas	11
Granito	<i>Trichiurus lepturus</i>	Sable	61
	<i>Engraulis mordax</i>	Anchoveta	49
	<i>Diaphus sp</i>	Linternillas	30
	<i>Citharichthys sp</i>	Lenguado	11
	<i>Clupeidae</i>	Sardinas	11
Cantiles	<i>Porichthys sp</i>	Pez sapo	52
	<i>Trichiurus lepturus</i>	Sable	36
	<i>Citharichthys stigmaeus</i>	Lenguado	31
	<i>Diaphus sp</i>	Linternilla	25
	<i>Loliolopsis diomedeeae</i>	Calamar dardo	21
	<i>Engraulis mordax</i>	Anchoveta	17
	<i>Citharichthys sp</i>	Lenguado	11
Machos	<i>Sardinops sagax</i>	Sardina Monterrey	21
	<i>Scomber japonicus</i>	Macarela estornino	19
	<i>Merluccius sp</i>	Merluza	15
	<i>Trichiurus lepturus</i>	Sable	12
El Partido	<i>Sardinops sagax</i>	Sardina Monterrey	39
	<i>Engraulis mordax</i>	Anchoveta	20
	<i>Scomber japonicus</i>	Macarela estornino	14
	<i>Haemulon sp</i>	Ronco	11

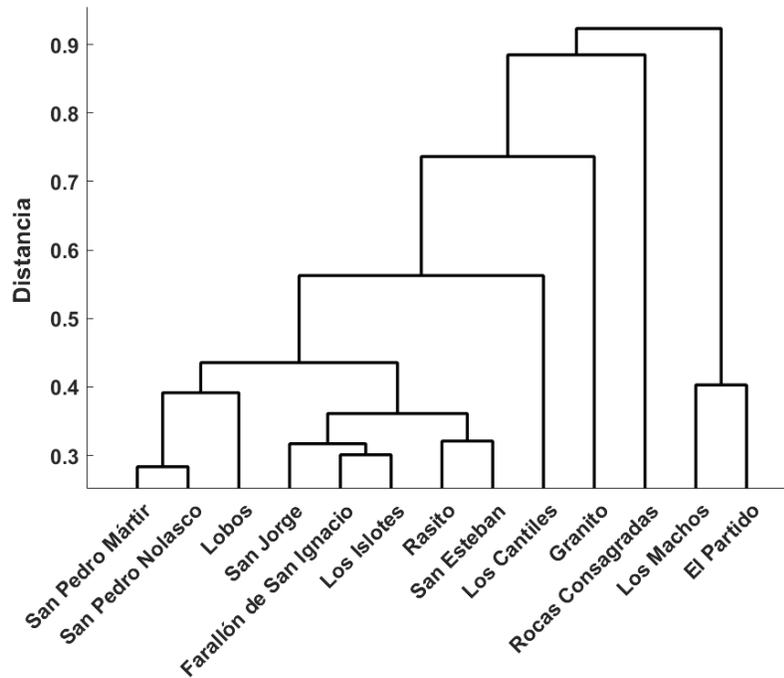
**Tabla 3.** Continuación...

<b>Colonia</b>	<b>Especie presa</b>	<b>Nombre común</b>	<b>IIMPi</b>
El Rasito	<i>Porichthys sp</i>	Pez sapo	25
	<i>Trachurus symmetricus</i>	Charrito	23
	<i>Mictófidus</i>	Linternillas	16
	<i>Scomber japonicus</i>	Macarela estornino	14
	<i>Octopus sp1</i>	Pulpo	12
	<i>Pontinus sp</i>	Lapón	11
	<i>Caelorhynchus scaphopsis</i>	Granadero carepala	11
	<i>Sardinops sagax</i>	Sardina Monterrey	11
San Esteban	<i>Merluccius angustimanus</i>	Merluza enana	35
	<i>Trichiurus lepturus</i>	Sable	25
	<i>Mictófidus</i>	Linternillas	21
	<i>Haemulopsis leuciscus</i>	Ronco roncacho	20
	<i>Trachurus symmetricus</i>	Charrito	20
	<i>Synodus lucioceps</i>	Pez lagarto	15
	<i>Sardinops sagax</i>	Sardina Monterrey	11
	San Pedro Mártir	<i>Leachia sp</i>	Calamar
<i>Engraulis mordax</i>		Anchoveta	25
<i>Merluccius angustimanus</i>		Merluza enana	20
<i>Sebastes sp</i>		Rocote	15
<i>Symbolophorus californiensis</i>		Linternilla	15
<i>Porichthys sp</i>		Pez sapo	14
<i>Argentina sialis</i>		Argentina del Pacífico	13
<i>Diaphus tetha</i>		Linternilla	13
<i>Leuresthes sardina</i>			13
<i>Scomber japonicus</i>		Macarela estornino	13
<i>Trichiurus lepturus</i>		Sable	13
<i>Prionotus stephanophrys</i>		Lapón	11
<i>Sebastes caurinus</i>		Rocote cobrizo	11
San Pedro Nolasco		<i>Cetengraulis mysticetus</i>	Sardina bocona
	<i>Trachurus symmetricus</i>	Charrito	18
	<i>Calamar</i>	Calamar	17
	<i>Leachia pacifica</i>	Calamar	16
	<i>Abraliopsis affinis</i>	Calamar	11
	<i>Haemulopsis leuciscus</i>	Ronco roncacho	11
	<i>Engraulis mordax</i>	Anchoveta	11
	Farallón de San Ignacio	<i>Acanthurus xanthopterus</i>	Cirujano aleta amarilla
<i>Calamar</i>		Calamar	18
<i>Cynoscion parvipinnis</i>		Corvina azul	13
<i>Porichthys sp</i>		Pez sapo	11

**Tabla 3.** Continuación...

Colonia	Especie presa	Nombre común	IIMPi
Los Islotes	<i>Trichiurus nitens</i>	Cintilla	72
	<i>Porichthys notatus</i>	Sapo cabezón	67
	<i>Pronotogrammus eos</i>	Jabonero moteado	49
	<i>Prionotus sp</i>	Lapón	28
	<i>Uroconger viridens</i>	Anguila	28
	<i>Ophidion scrippsae</i>	Anguila	25
	<i>Benthoosema panamense</i>	Linternilla	20
	<i>Pronotogrammus multifasciatus</i>		20
	<i>Serranus aequidens</i>	Serrano	19
	<i>Abraliopsis affinis</i>	Calamar	18
	<i>Engraulis mordax</i>	Anchoveta	15
	<i>Paralabrax spp</i>	Cabrilla	14
	<i>Sardinops sagax</i>	Sardina Monterrey	14
	<i>Diplectrum spp</i>	Serrano	13
	<i>Haemulopsis sp</i>	Ronco/Burro	13
	<i>Aulopus sp</i>	Pez lagarto	12
	<i>Merluccius productus</i>	Merluza norteña	12
	<i>Neobythites stelliferoides</i>	Brotula	12
	<i>Synodus sp1</i>	Chile	12
	<i>Diplectrum sp1</i>	Serrano	11
<i>Aulopus bajacali</i>	Pez lagarto	11	

De acuerdo con el análisis de grupos, las colonias cuya dieta presentó mayor similitud fueron San Pedro Mártir con San Pedro Nolasco (100 km de distancia entre las colonias), Farallón de San Ignacio con Los Islotes y San Jorge (>150 km), El Rasito con San Esteban (38 km) y Los Machos con El Partido (56 km). El valor del coeficiente de correlación cofenético fue igual a 0.85 (Fig. 3) por lo que la formación de todos y cada uno de los grupos es estadísticamente confiable.



**Figura 6.** Similitud de las dietas en las colonias reproductivas del golfo de California.

### 8.3. Análisis de capturas de pelágicos menores

Se registraron los datos de capturas anuales de la sardina Monterrey (*Sardinops sagax*), anchoveta (*Engraulis mordax*), macarela (*Scomber japonicus*) y sardina bocona (*Cetengraulis mysticetus*) en el golfo de California para el periodo de 1979-2016. Las especies que presentaron una correlación positiva fueron la macarela, anchoveta y sardina bocona. La sardina Monterrey mostró una correlación negativa significativa con la anchoveta y positiva con la captura total de pelágicos menores (Tabla 4).

**Tabla 4.** Correlaciones de Spearman de las capturas anuales de pelágicos menores. En negritas son valores de  $\rho$  (rho) cuya  $p < 0.05$ .

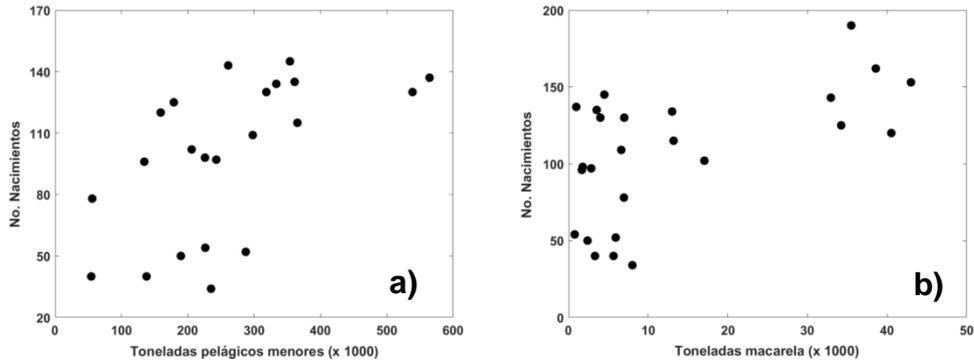
Especies	Total	Sardina M.	Macarela	Anchoveta	Bocona
Total*					
Sardina M.	<b>0.85</b>				
Macarela	<b>0.45</b>	-0.09			
Anchoveta	0.22	<b>-0.4</b>	<b>0.48</b>		
Bocona	0.41	-0.38	<b>0.74</b>	<b>0.6</b>	

\*Captura anual de todas las especies de pelágicos menores (Total)

El número de nacimientos no estuvo relacionado con las capturas de las especies de pelágicos menores en la mayoría de las colonias, excepto Los Cantiles cuyo número de nacimientos se relacionó negativamente con la captura total de pelágicos menores y Los Islotes, donde el número de nacimientos estuvo correlacionado con la captura total de pelágicos menores y la macarela (Tabla 5; Fig. 7).

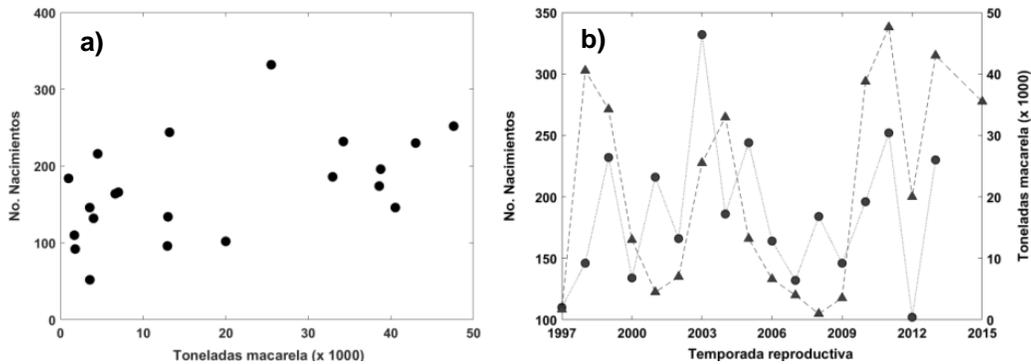
**Tabla 5.** Correlaciones de Spearman de las capturas anuales de pelágicos menores y el número de nacimientos en las diferentes colonias reproductivas. En negritas son valores de  $\rho$  (rho) cuya  $p < 0.05$ .

Colonia/Capturas	Total	Sardina M.	Macarela	Anchoveta
Rocas Consagradas	0.21	0.05	0.53	0.04
San Jorge	-0.09	-0.12	0.03	-0.36
Lobos	-0.03	-0.14	0.03	0.05
El Granito	0.01	0.16	0.03	0.16
Los Cantiles	<b>-0.41</b>	0.20	-0.29	-0.24
Los Machos	-0.33	-0.03	0.03	0.12
El Partido	0.29	-0.03	0.05	-0.01
El Rasito	0.10	0.14	-0.20	-0.06
San Esteban	0.13	-0.10	0.14	0.61
San Pedro Mártir	0.02	0.01	-0.23	-0.32
San Pedro Nolasco	-0.18	0.13	-0.31	0.21
Farallón de San Ignacio	-0.02	0.25	-0.15	0.14
Los Islotes	<b>0.66</b>	-0.11	<b>0.52</b>	0.27



**Figura 7.** Relación entre el número de nacimientos en Los Islotes y la captura anual de pelágicos menores (a) y macarela (b).

Las correlaciones cruzadas mostraron que el número de nacimientos en la colonia El Partido estuvo correlacionado con la captura anual de macarela con un desfase de dos años (Fig. 8).



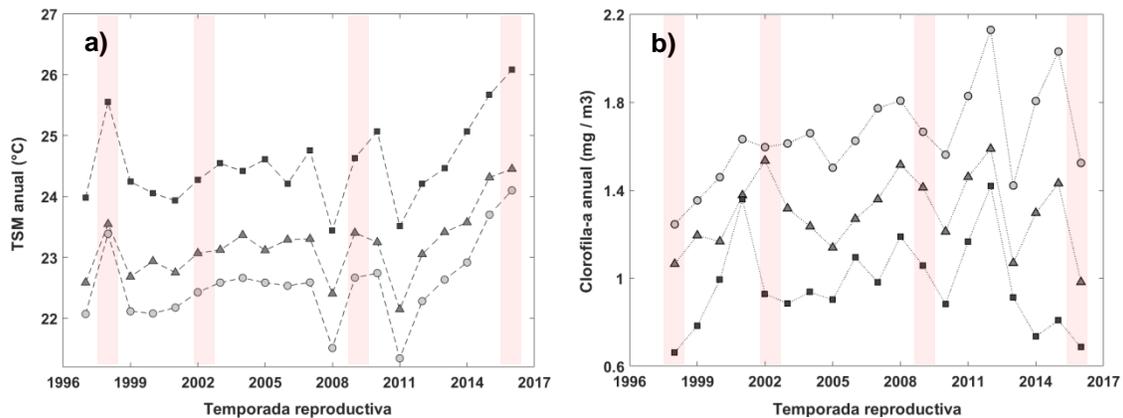
**Figura 8.** Correlación entre el número de nacimientos en El Partido y las capturas de macarela con desfase de dos años,  $\rho = 0.61$  y  $p < 0.05$  (a)). Tendencia de las capturas de macarela en el golfo de California (- $\blacktriangle$ -) y el número de nacimientos histórico desfasado dos años (- $\bullet$ -) en la colonia El Partido (b)).

#### 8.4. Análisis de variables ambientales

Se observaron tendencias similares en los valores de TSM en el área de las tres regiones del golfo de California. Los valores más bajos se detectaron en la región

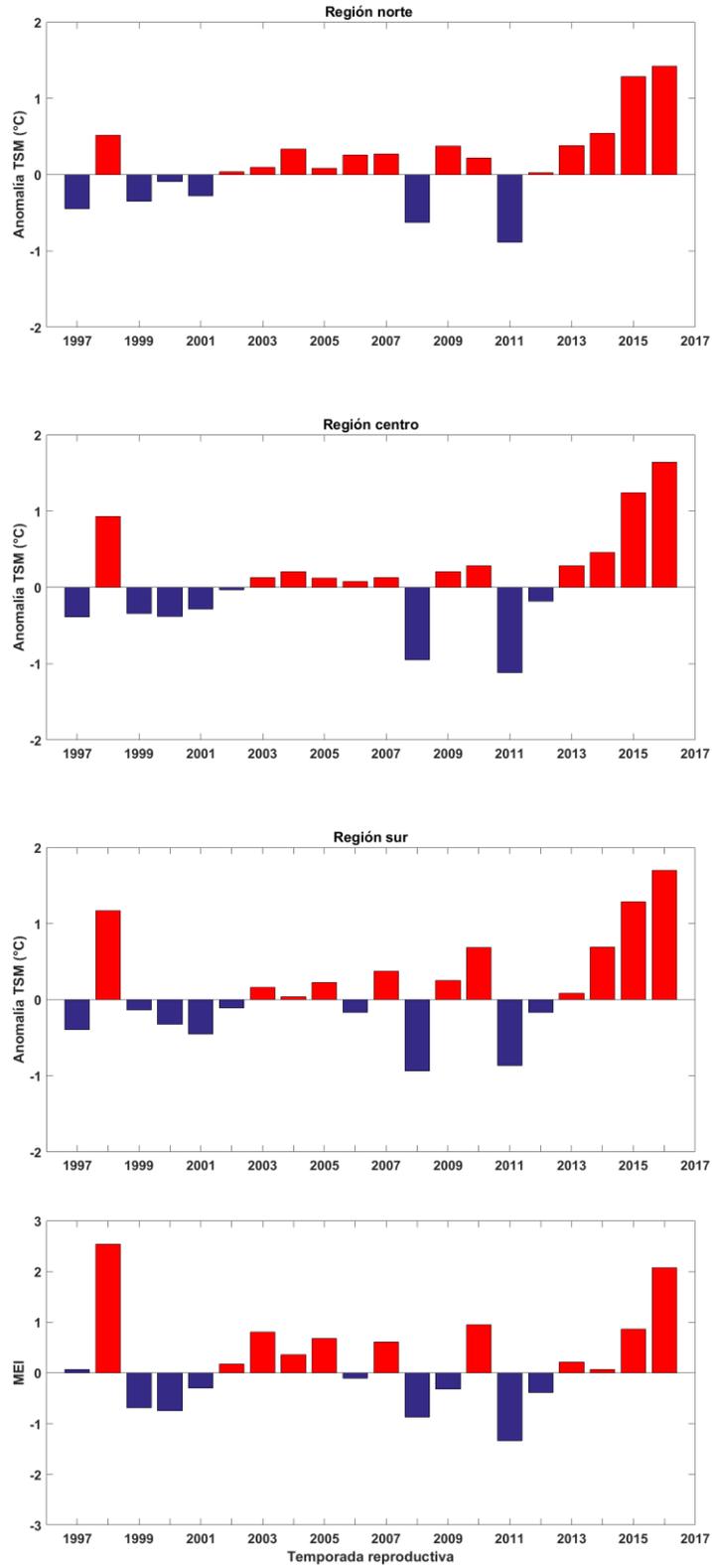
centro y los más altos en la región sur. Se observaron dos valores mínimos en la TSM, una en 2008 y otra en 2011, y una tendencia positiva en las tres regiones a partir del 2011 (Fig. 9a).

La variabilidad interanual en la Clo-a muestra cuatro valores mínimos (2005, 2010, 2013 y 2016). De manera general, los mayores valores de Clo-a se encuentran en la región centro, seguida de la región norte y por último la región sur (Fig. 9b).



**Figura 9.** Variabilidad histórica de la temperatura superficial del mar (a) y concentración de clorofila a (b) en las regiones Norte (-▲-), Centro (-●-) y Sur (-■-) del golfo de California. Eventos El Niño (área sombreada).

Las anomalías positivas de TSM en las tres regiones del golfo de California presentaron distintas magnitudes y coincidieron con valores positivos del MEI. El periodo de estudio incluye varios eventos El Niño de distintas intensidades (97-98, 02-03, 09-10 y 15-16), los cuales se registran con valores positivos del MEI (Fig. 10).



**Figura 10.** Anomalías de TSM de las tres regiones del golfo de California y promedios anuales del MEI.

La TSM no mostró relación con la concentración de Clo-a en las regiones Norte y Centro del golfo de California. En la región Sur la TSM se correlacionó negativamente con los valores de Clo-a. Los valores del MEI estuvieron relacionados positivamente con la TSM de las tres regiones y relacionados de manera negativa con los valores de Clo-a en las regiones norte y sur del golfo de California (Tabla 6).

**Tabla 6.** Correlación entre las variables ambientales y el Índice Multivariado de El Niño en las distintas regiones oceanográficas del golfo de California. En negritas son valores de  $\rho$  (rho) cuya  $p < 0.05$ .

Variables*	TSM-N	CLO-N	TSM-C	CLO-C	TSM-S	CLO-S	MEI
<b>TSM-N</b>							
<b>CLO-N</b>	-0.41						
<b>TSM-C</b>	<b>0.95</b>	-0.41					
<b>CLO-C</b>	-0.09	<b>0.82</b>	-0.11				
<b>TSM-S</b>	<b>0.87</b>	-0.42	<b>0.94</b>	-0.17			
<b>CLO-S</b>	<b>-0.62</b>	<b>0.63</b>	<b>-0.70</b>	<b>0.52</b>	<b>-0.79</b>		
<b>MEI</b>	<b>0.70</b>	<b>-0.49</b>	<b>0.79</b>	-0.33	<b>0.81</b>	<b>-0.71</b>	

\*Región Norte (N); Región Centro (C); Región Sur (S); Clorofila a (CLO).

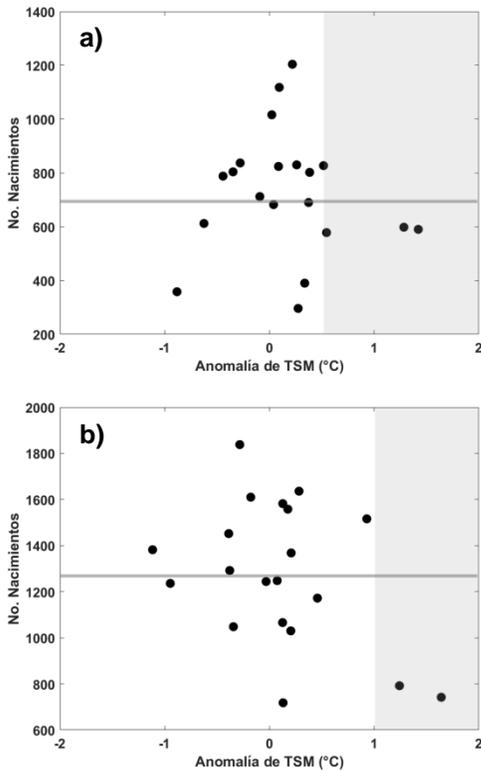
Tampoco se encontraron correlaciones significativas entre las variables ambientales (media y anomalía anual, semestral y estacional de TSM y Clo-a) y el número de nacimientos en las diferentes regiones (Anexo 3). El número de nacimientos tampoco estuvo relacionado con El Niño ni con las capturas de pelágicos menores, excepto en la región sur, cuyo número de nacimientos estuvo relacionado significativamente con las capturas de macarela y anchoveta (Tabla 7).

**Tabla 7.** Correlación entre el número de nacimientos en las diferentes regiones del golfo de California, variables ambientales (temperatura superficial del mar (TSM) y concentración de clorofila a superficial (Clo-a)), el Índice Multivariado de El Niño (MEI) y las capturas de pelágicos menores. En negritas son valores de  $\rho$  (rho) cuya  $p < 0.05$ .

<b>Nacimientos/ Variables</b>	<b>aTSM*</b>	<b>aClo-a*</b>	<b>MEI</b>	<b>Sardina M.</b>	<b>Macarela</b>	<b>Anchoveta</b>
<b>Norte</b>	-0.17	-0.13	0.13	0.06	-0.06	0.02
<b>Centro</b>	-0.25	-0.08	-0.13	0.07	0.03	0.12
<b>Sur</b>	0.26	0.02	0.03	-0.30	<b>0.52</b>	<b>0.65</b>

\*Anomalías anuales de TSM (aTSM); Anomalías anuales de Clo-a (aClo-a).

La temperatura superficial del mar no presentó una relación lineal significativa con los nacimientos, sin embargo, cuando la anomalía positiva de TSM en la región norte rebasó 0.5 °C se registraron disminuciones notables en el número de nacimientos, observándose valores por debajo de la media, lo mismo ocurrió a partir de 1°C en la región centro. En la región sur no se observó una relación evidente entre la TSM y el número de nacimientos (Fig. 11).



**Figura 11.** Distribución de las anomalías de temperatura superficial del mar y el número de nacimientos en las regiones Norte (a)), Centro (b)) y Sur (c)). Promedio histórico de nacimientos (línea). Temperatura crítica para los nacimientos (área sombreada).

Por último, las capturas anuales de sardina Monterrey y anchoveta no estuvieron relacionadas con los valores promedio de TSM ni de Clo-a de las regiones norte y centro del golfo (Anexo 4). La captura de sardina Monterrey estuvo relacionada positivamente con los valores de Clo-a de la región Sur. La macarela estuvo relacionada de manera positiva con la TSM de las regiones centro y sur y negativamente con los valores de Clo-a de la región sur. El MEI no estuvo relacionado con las capturas de pelágicos menores (Tabla 8).

**Tabla 8.** Correlación entre las capturas anuales de pelágicos menores en el golfo de California y los promedios anuales de temperatura superficial del mar, concentración de clorofila a superficial y el Índice Multivariado de El Niño. En negritas son valores de  $\rho$  (rho) cuya  $p < 0.05$ .

<b>Pesquería</b>	<b>TSM-N</b>	<b>CLO-N</b>	<b>TSM-C</b>	<b>CLO-C</b>	<b>TSM-S</b>	<b>CLO-S</b>	<b>MEI</b>
<b>Sardina</b>	-0.45	0.37	-0.42	0.12	-0.43	<b>0.63</b>	-0.34
<b>Anchoveta</b>	-0.14	0.00	-0.06	0.27	0.01	0.04	-0.02
<b>Macarela</b>	0.42	-0.41	<b>0.46</b>	-0.19	<b>0.46</b>	<b>-0.61</b>	0.32

Las variables explicativas utilizadas (medias y anomalías de TSM y Clo-a de cada región, el MEI y las capturas de algunas especies de pelágicos menores) no mostraron relación con la variable de respuesta (número de nacimientos) en las regiones norte y centro del golfo de California al ser analizadas a través de un GAM. El número de nacimientos en la región sur se vio favorecido conforme aumentaron las capturas de macarela como ya se había observado anteriormente con el análisis de correlación.

## 9. DISCUSIÓN

### 9.1. Análisis de variables poblacionales

El crecimiento poblacional en los seres vivos está determinado principalmente por la tasa de nacimientos y la tasa de mortalidad (Mills, 2012). En el caso de los pinípedos, el estado de sus poblaciones ha sido evaluado a partir de conteos históricos de crías recién nacidas debido a que es la única clase de edad presente en las colonias durante la temporada reproductiva y, por lo tanto, se pueden tener estimaciones más precisas de su número. En cambio, las otras clases de edad (hembras adultas, juveniles, machos subadultos y adultos), pueden encontrarse en el mar al momento del conteo y su número ser subestimado.

El número de nacimientos, presumiblemente denso-independientes, presenta gran variabilidad interanual atribuida a cambios en las condiciones ambientales cuya magnitud puede no reflejarse inmediatamente en el tamaño poblacional (Berkson & DeMaster, 1985; Laake *et al.*, 2017; Lowry *et al.*, 2017). Por lo tanto, es importante entender qué factores influyen en este parámetro para eventualmente hacer predicciones acerca de la viabilidad de estas colonias (considerando la capacidad predictiva de los factores) y evaluar la sensibilidad de la tasa de crecimiento poblacional a cambios en las condiciones ambientales (Morris & Doak, 2002).

Los conteos históricos de crías de lobo marino de California en las colonias del golfo de California, presentaron diferentes tendencias y número variable de nacimientos a lo largo del tiempo. Empero, no se observó algún patrón en las tendencias por región (norte, centro y sur); por lo tanto, la fecundidad histórica promedio en las colonias reproductivas también mostró una gran variabilidad. Los nacimientos estuvieron relacionados con el número de hembras adultas en las colonias reproductivas Los Cantiles, Farallón de San Ignacio y Los Islotes.

La fecundidad más baja se registró en la colonia El Partido y la más alta en Los Cantiles (> 100 %). En la mayoría de las colonias se registraron fecundidades con valores mayores a 100 %, es decir, había más crías que hembras en las colonias, y una alta variabilidad a lo largo del tiempo. Este error en la estimación de la fecundidad puede deberse a que al momento de hacer los conteos muchas hembras adultas se encontraban en el mar y a que, pese haber aplicado un factor de corrección a los conteos, su número aún está subestimado. Es posible que el conteo corregido de crías también este subestimado, sin embargo el error debe ser menor debido a que: 1) los conteos se realizaron en general entre finales de junio y principios de julio, cuando la mayoría de las crías han nacido, y 2) las crías permanecen en tierra esperando a que sus madres regresen a alimentarlas (Heath, 1989).

La fecundidad promedio más alta se presentó en Los Cantiles, la colonia cuyos números de nacimientos están disminuyendo a mayor velocidad. Esto puede ser resultado de una respuesta de la población a las bajas densidades que ya ha sido reportada en varias poblaciones de pinnípedos. Al parecer, los individuos alcanzan la madurez sexual a una edad menor y aumentan su tasa de fecundidad cuando la población experimenta varios eventos de disminución (Bowen *et al.*, 1981; Pistorius *et al.*, 2001). Sin embargo, la elevada fecundidad registrada desde hace 37 años y la tendencia continua de reducción poblacional sugieren que factores denso-independientes (p. ej. cambios en la distribución y abundancia de las presas por eventos climáticos extremos) pudieran estar regulando a esta colonia (Laake *et al.*, 2017).

Es posible que las elevadas fecundidades registradas en diferentes colonias (p. ej. Los Cantiles, Los Machos, San Esteban y San Pedro Mártir) se deban a que las hembras viajaron más lejos e invirtieron más tiempo en sus viajes de alimentación en respuesta a cambios en la distribución espacial de sus presas (Melin *et al.*, 2008). Un mayor número de animales se encontraban en el mar al momento de los conteos, dando como resultado valores de fecundidad elevados. Estudios realizados con individuos marcados con hierro caliente durante treinta años en colonias reproductivas con distintas tendencias de crecimiento del golfo de California y de las islas del Canal de California, en California, mostraron que la tasa de fecundidad promedio del lobo marino es aproximadamente 60 - 70 % y que se mantiene a lo largo del tiempo (Melin, 2002; Hernández-Camacho *et al.*, 2008). Estos datos apoyan la idea de que las estimaciones de fecundidad están sobreestimadas y que la disminución en el número de nacimientos posiblemente se deba a que existen menos hembras y no debido a una baja fecundidad. La proporción de hembras adultas en el mar al momento de hacer los conteos impide el cálculo preciso de los parámetros demográficos, es por ello que el número de nacimientos es la mejor estimación del éxito reproductivo para este estudio.

## 9.2. Análisis de la dieta

El éxito reproductivo en pinípedos depende de las características de la dieta y de la disponibilidad de presas, ya que la gestación y la lactancia son procesos con alta demanda energética (Pitcher *et al.*, 1998). La diversidad de la dieta y la calidad de las presas 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 la buena calidad de las presas (alto contenido lipídico) y su disponibilidad son factores que influyen en la supervivencia de las hembras adultas y en el nacimiento de las crías (Lunn *et al.*, 1994; Pitcher *et al.*, 1998; Diaz-Gomez *et al.*, 2016).

La dieta del lobo marino en el golfo de California ha sido estudiada durante los últimos treinta años, sin embargo estos estudios no se han realizado sistemáticamente a lo largo del tiempo y no se ha invertido un esfuerzo equiparable en todas las colonias (Garcia-Rodriguez & Aurióles-Gamboa, 2004; Espinoza de los Reyes-Ayala, 2007; Porrás-Peters *et al.*, 2008).

La composición de la dieta del lobo marino fue similar entre algunas colonias. No obstante, tomando en cuenta que la distancia entre algunas de éstas es mayor a 100 km (San Pedro Mártir con San Pedro Nolasco y Farallón de San Ignacio con Los Islotes), las potenciales áreas de alimentación de aproximadamente 60 km a la redonda de las colonias (Duran Lizárraga, 1998; Villegas-Amtmann, 2009) y las diferencias en el número de estudios de dieta realizados en las diferentes colonias, no permite afirmar que exista una sobreposición trófica entre ellas, es decir, que es probable que los individuos no estén explotando el recurso en el mismo tiempo y espacio (Horn, 1966; Porrás-Peters *et al.*, 2008). Las colonias Rocas Consagradas (región Norte), Granito, Los Cantiles, Los Machos y El Partido (región Centro) fueron las que presentaron las mayores diferencias en cuanto a la composición de la dieta, a pesar de estar tan cerca unas de otras (50 km aproximadamente) y son en las que se han realizado el menor número de estudios

(p. ej. sólo un estudio de dieta en Rocas Consagradas y El Partido). Por lo tanto, no fue posible hacer comparaciones confiables entre colonias ni identificar cambios en el consumo de presas a lo largo del tiempo en cada una ellas.

Porras-Peters (2004) realizó un muestreo de heces en once de las trece colonias reproductivas de lobo marino en el golfo de California durante el 2002. Encontró que los individuos de las colonias Rocas Consagradas, Isla Lobos (región Norte) y Los Cantiles (región Centro) consumían una dieta menos diversa con respecto al resto; las dietas de Farallón de San Ignacio y San Pedro Nolasco (región Sur) presentaron los valores más altos de diversidad. No se asoció una dieta altamente diversa con un crecimiento poblacional positivo, debido a que las colonias cuya dieta fue más diversa mostraron tendencias de crecimientos distintas (San Pedro Nolasco con tasa de crecimiento negativa, Farallón de San Ignacio estable y Los Islotes con tasa de crecimiento positiva; Szteren *et al.*, 2006; Hernández-Camacho *et al.*, datos no publicados). Lo mismo ocurrió en las colonias de la región norte, las cuales presentaron las dietas menos diversas (Rocas Consagradas con tendencia de crecimiento positiva e Isla Lobos con tasa de crecimiento negativa) (Szteren *et al.*, 2006; Hernández-Camacho *et al.*, datos no publicados).

La calidad de las presas de pinípedos se mide en función del contenido energético asimilado, es por ello que las especies ricas en lípidos son consideradas de buena calidad debido a que estos proveen más energía que las proteínas y carbohidratos, y son relativamente más fáciles de digerir (Anthony *et al.*, 2000; Diaz Gomez *et al.*, 2016). Aunque no se tienen estudios sobre la calidad de las presas de lobo marino en el golfo de California, algunos trabajos sobre fisiología y bioquímica han reportado el contenido energético de algunas especies: 100 g de sardina Monterrey (*S. sagax*) contienen 12% de lípidos y 25% proteínas; en la anchoveta (*E. mordax*) el 4% son lípidos y 20 % proteínas, en la macarela (*S. japonicus*) 8 % son lípidos y 20 % proteínas; y en la merluza (*Merluccius productus*) el 1% son lípidos y 18% proteínas (<https://www.fishwatch.gov>). En mictófidis y calamares los lípidos representan el 50 y 20 % respectivamente del

peso seco (Van Pelt *et al.*, 1997). La sardina bocona (*C. mysticetus*) es otra especie considerada como de buena calidad debido a su elevado contenido lipídico (González-Medina *et al.*, 2018).

De acuerdo con Porras-Peters (2004), la dieta de la colonia Rocas Consagradas es de las menos diversas ya que está compuesta principalmente por calamar, sardina bocona y el pez sable. Las primeras dos especies representan el 75 % de la dieta y son consideradas de buena calidad por su elevado contenido lipídico (Van Pelt *et al.*, 1997). Esta colonia, ubicada en el norte del golfo de California, presenta una tendencia de crecimiento positiva, la cual posiblemente se deba a que los lobos marinos satisfacen sus demandas energéticas al consumir presas de buena calidad y por ello, la supervivencia y la reproducción no se han visto afectadas. Cabe aclarar que sólo se ha realizado un estudio de dieta en esta colonia y se desconocen las variaciones en la dieta a lo largo del tiempo. Las colonias Isla Lobos (tendencia de crecimiento negativa) y San Jorge (estable) ubicadas también en la región norte del golfo, comparten presas como los mictófidios y la sardina bocona, pero sus presas más importantes son otras. Debido a la falta de información sobre la calidad de sus presas no fue posible establecer una relación entre la dieta y sus tendencias de crecimiento.

En contraste, en la región centro del golfo las colonias están disminuyendo en número a pesar de que sus individuos consumen presas con alto contenido energético: pelágicos menores, peces sapo, mictófidios y calamares. La disponibilidad de presas cambia cuando se presentan alteraciones en las condiciones ambientales (p.ej. El Niño), lo cual puede resultar en viajes de alimentación más largos por parte de las hembras adultas (debido al cambio en la distribución de las presas) lo que implica un mayor gasto energético que no es compensado ni por consumir esas presas (Feldkamp *et al.*, 1989; Trillmich, 1990). Así, la distribución de las presas más que su contenido energético puede ser lo que ocasiona que los individuos tengan una condición corporal pobre y que no se

lleven a cabo óptimamente los procesos de gestación y lactancia (King & Murphy, 1985; Trites & Donnelly, 2003).

Por último, las colonias en la región sur son las que tienen la dieta más diversa y tendencias de crecimiento distintas. San Pedro Nolasco y Farallón de San Ignacio, ambas colonias con tendencias de crecimiento negativas, consumen dietas altamente diversas en las que el calamar, la anchoveta y la sardina bocona son algunas de sus presas principales. Pueden existir limitaciones nutricionales cuando la disponibilidad de algunas de estas presas es baja. Por ejemplo, cuando la abundancia de la sardina Monterrey y de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el golfo se ha reducido varias veces más del 90% durante fenómenos de calentamiento (Lluch-Belda *et al.*, 1986; Robinson *et al.*, 2013, 2016). Aunque estas especies no son de las más importantes para estas colonias (pero sí la sardina Monterrey para las del centro del golfo), los cambios en sus abundancias, y por tanto en su disponibilidad como presas para el lobo, son un reflejo de las condiciones ambientales.

La dieta en la colonia Los Islotes está compuesta por un gran número de especies y es una colonia que está creciendo. A diferencia del resto de las colonias, Los Islotes tiene un mayor número de presas importantes de las cuales, la anchoveta, la sardina Monterrey, el calamar y la merluza son consideradas de buena calidad. Aunque no se cuenta con datos sobre la disponibilidad y la calidad de todas sus presas, es posible que esta colonia esté creciendo por cubrir sus demandas energéticas al depredar sobre una variedad de presas más grande y que, aunque no todas las especies sean de elevada calidad, la composición de su dieta sea nutricionalmente adecuada y haya un mayor número de presas disponible (King & Murphy, 1985).

Los cambios en la composición de la dieta han tenido un efecto negativo en el número de nacimientos y en el crecimiento de algunas poblaciones de pinípedos, debido a que el aporte calórico de las diferentes especies presa es diferente

(Rosen & Trites, 2000; Melin et al., 2012; Diaz Gomez *et al.*, 2016). La población de lobo marino de Steller disminuyó alrededor de 80 % durante la fase positiva del PDO (1975-2000). Esta disminución fue atribuida a la diversidad de su dieta, las colonias con dieta menos diversa (número de especies presa menor para satisfacer sus demandas energéticas) disminuyeron su abundancia; sin embargo, al analizar la composición energética de las presas, resultó que cuando la población comenzó a declinar, los lobos marinos se estaban alimentando de presas de baja calidad que sustituyeron a otras de mejor calidad, lo cual provocó estrés nutricional (Merrick *et al.*, 1997; Trites & Donnelly, 2003).

Otro ejemplo es la población de lobo fino del Norte (*Callorhinus ursinus*) en el mar de Bering, cuya tasa de nacimientos disminuyó 3.7% anualmente entre 1975 y 2014. Una posible explicación de esta disminución es el consumo de presas con bajo contenido energético, ya que estos organismos al consumir una dieta compuesta por presas de buena calidad obtienen mayor energía que al consumir una dieta altamente diversa compuesta principalmente por presas de baja calidad, siendo más importante la calidad que la diversidad en términos de nutrición (Towell *et al.*, 2014; Diaz Gomez *et al.*, 2016).

La información sobre la dieta de lobo marino en el golfo de California es escasa y no se tienen datos para años consecutivos, por lo tanto no fue posible identificar si ha habido un cambio en la composición de su dieta y, de ser así, si este ha tenido un efecto en el éxito reproductivo de esta especie. Sin embargo, con la información disponible se identificó que los individuos en las colonias reproductivas comparten ciertas preferencias por algunas especies a pesar de que la distancia que los separa indica que no se están alimentando en las mismas áreas.

### 9.3. Análisis de capturas de pelágicos menores

El lobo marino de California se alimenta de especies que son consideradas de importancia comercial como la sardina Monterrey, la anchoveta, macarela, sardina bocona, entre otras. Las capturas de pelágicos menores por parte de las pesquerías han sido consideradas como indicadores de su disponibilidad para los depredadores tope (Soto *et al.*, 2004).

El número de nacimientos en la mayoría de las colonias reproductivas no estuvo relacionado con las capturas de pelágicos menores en el golfo de California; excepto en Los Islotes, donde los nacimientos mostraron una relación positiva con las capturas totales de pelágicos menores y con las capturas de macarela. La macarela, anchoveta y sardina no formaron parte de la dieta de la colonia Los Islotes, además, las áreas de pesca de pelágicos menores en el golfo de California no coinciden con las áreas de alimentación del lobo marino en Los Islotes. Por lo tanto, la relación encontrada entre el número de nacimientos con las capturas de pelágicos menores y la macarela, no necesariamente una relación causa-efecto.

Por otro lado, los nacimientos en la colonia El Partido al desfasarse dos años se correlacionaron con las capturas de macarela. Este pelágico menor es una presa principal de los individuos de esta colonia y las áreas de pesca coinciden con las áreas de alimentación del depredador. Sin embargo, se esperaba una relación directa y no con desfase, ya que el número de nacimientos depende de la alimentación de las madres durante la gestación, es decir, de la alimentación de nueve meses previos al parto (Porrás-Peters *et al.*, 2008; Martínez-Zavala *et al.*, 2010).

En la región de las grandes islas se encuentra isla Rasa, que es un área que alberga poblaciones reproductoras de aves marinas como el charrán elegante (*Thalasseus elegans*) y la gaviota mexicana (*Larus heermanni*), las cuales han sido estudiadas por más de tres décadas. Estas aves se alimentan principalmente de sardina Monterrey y anchoveta. Durante eventos de calentamiento como El

Niño, las aves abandonan isla Rasa antes de anidar o antes de completar la incubación de los huevos, por ello que presentan una relación negativa entre el número de nidos y la temperatura superficial del mar, así como una relación positiva entre el número de nidos y las capturas de sardina (Velarde *et al.*, 2015).

El porcentaje de sardina y anchoveta en la dieta de estas aves está relacionado de manera positiva con las capturas de sardina y anchoveta. Cuando se presentan condiciones El Niño, la termoclina se encuentra más profunda y los pelágicos menores quedan por debajo de ésta, impidiendo que las aves puedan alcanzarlos, es por ello, que ante estas condiciones anómalas el éxito reproductivo, la supervivencia y la condición corporal de las aves disminuye. También se ha observado que las capturas anuales de estos pelágicos menores disminuye en periodos de calentamiento (Velarde *et al.*, 2013).

La supervivencia y el número de nacimientos de lobo marino de California en el golfo de California no se han visto afectados ante condiciones El Niño y no se encontró una relación positiva con las capturas de pelágicos menores (Aurioles & Le Boeuf, 1991; Hernández-Camacho *et al.*, 2008). A diferencia de las aves que bucean en promedio dos metros para alcanzar a sus presas, el lobo marino tiene la capacidad de bucear más de 200 m y depredar sobre una mayor variedad de especies; también puede realizar buceos y viajes de alimentación más duraderos ante cambios en la disponibilidad de presas (Haney & Stone, 1988; Feldkamp *et al.*, 1989). Por esta razón, las colonias de lobos marinos, en comparación con las aves, se ven menos afectadas durante estos eventos de calentamiento y por ello, no se encontró una relación directa con los datos de pesquerías, como la que se ha descrito para las aves.

En este análisis no se encontraron relaciones significativas entre el número de nacimientos y la captura anual de pelágicos menores, lo cual puede deberse a que el tamaño de la captura de estas especies no es un buen indicador de la disponibilidad de presas para el lobo marino de California.

#### 9.4. Análisis de variables ambientales

El uso de variables ambientales como indicadores de las condiciones del océano y disponibilidad de presas ha sido utilizado ampliamente en estudios poblacionales de pinípedos (Trillmich & Limberger, 1985; DeLong *et al.*, 1991; Melin *et al.*, 2012). La temperatura es un factor que modula la abundancia y distribución de los organismos en los diferentes niveles tróficos como los pelágicos menores. Estos son sensibles a los cambios en la temperatura del océano; estimaciones vía remota de la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila *a* se han utilizado como indicadores de la disponibilidad de alimento para otros organismos (Mitchell-Innes & Pitcher, 1992; Castillo *et al.*, 1996; Block *et al.*, 2011).

El golfo de California es una cuenca que presenta una variedad de ambientes con características oceanográficas particulares y una dinámica estacional marcada (Lavín & Marinone, 2003a; Lluch-Cota *et al.*, 2007). La mayoría de las colonias reproductivas de lobo marino de California se encuentran en la región de las grandes islas, la cual es un área altamente productiva gracias a la mezcla por mareas y las surgencias (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). Sin embargo, la mayoría de estas colonias presentan tasas de crecimiento negativas y una alta variabilidad en el número de nacimientos (Szteren *et al.*, 2006).

Los cambios en la TSM y en la concentración de Clo-*a* en los alrededores de las colonias reproductivas (áreas de alimentación) no mostraron tener un efecto en el número de nacimientos de lobo marino. Específicamente, en la región de las grandes islas, las colonias se encuentran más cerca unas de otras (50 km aproximadamente) y es probable que las áreas de alimentación se superpongan. La agrupación de las colonias en tres regiones permitió evaluar el efecto del ambiente en el número de nacimientos por región, tomando en cuenta las características oceanográficas y los fenómenos de mesoescala de las distintas regiones del golfo de California (Lavín & Marinone, 2003). Por lo tanto, al considerar el número de nacimientos por región y las características

oceanográficas de las regiones del golfo fue posible hacer un análisis a una escala espacial mayor.

El número de nacimientos de lobo marino no mostró una relación significativa con los cambios en la TSM ni con la concentración de Clo-a en las diferentes regiones. Los valores más bajos de Clo-a se registraron en la región sur, así como las temperaturas más elevadas, al contrario de la región norte y centro. Esto se debe principalmente a que en el norte, la intensa mezcla por mareas y surgencias que traen a la superficie agua fría y rica en nutrientes que favorecen la productividad primaria (Alvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). Sin embargo, los datos sugieren una relación no lineal entre nacimientos y variables ambientales: el número de nacimientos se redujo (valores por debajo del promedio histórico de nacimientos) en la región norte, cuando se presentaron anomalías positivas mayores a 0.5 °C y mayores a 1°C en la región centro. En la región sur no se observó una disminución evidente con el aumento de la temperatura.

En el sur del golfo es donde se registran las mayores profundidades (>3000 m) y es una zona donde especies mesopelágicas pueden realizar migraciones verticales y ser áreas de alimentación de calamares y otros peces, a diferencia del norte del golfo que es un área somera con aproximadamente 200 m de profundidad. La región de las grandes islas es un área altamente productiva debido a las mareas y surgencias, sin embargo cuando se presentan condiciones anómalamente cálidas muchas especies suspenden la reproducción y modifican su distribución. Por ejemplo, la sardina suspende su movimiento hacia el centro y sur del golfo y la presencia de sus larvas disminuye de manera significativa (Sánchez-Velasco *et al.*, 2000).

En términos de diversidad de macrofauna, las regiones norte y centro del golfo (grandes islas) son menos diversas en comparación con la región sur del golfo de California (Brusca *et al.*, 2005). Las disminuciones considerables en el número de nacimientos en las regiones norte y centro del golfo, pueden deberse a cambios

en la disponibilidad de presas ocasionados a su vez por aumentos en la temperatura superficial del mar. El cambio en el número de nacimientos en la región sur no fue drástico ante condiciones de calentamiento, posiblemente porque en esta región hay una mayor disponibilidad de presas, ya que es una zona donde pueden converger una mayor cantidad de especies (Bakun *et al.*, 2010).

Las colonias del canal de California en Estados Unidos, han registrado disminuciones en el número de nacimientos de lobo marino de California cuando hay calentamiento de alrededor de 1 °C (Melin *et al.*, 2012; Lowry *et al.*, 2017). En esa región sí se encontró una relación positiva entre el número de nacimientos y la temperatura superficial del mar con quince años de información (Melin *et al.*, 2012). En este trabajo, usando 20 años de información, no se encontraron relaciones significativas. Al comparar los datos de ambos trabajos, se observa una distribución similar (aunque el número de nacimientos en el golfo de California es más variable). Esto sugiere que la temperatura modula la disponibilidad de presas y, eventualmente, la reproducción de esta especie (Anexo 5).

El número de nacimientos de lobo marino de California en las islas del canal de California ha disminuido cuando se presenta el fenómeno de El Niño, ya que disminuyen la productividad primaria y la disponibilidad de presas para el lobo marino, provocando que las hembras adultas no satisfagan las demandas energéticas de la gestación (Lowry *et al.*, 2017).

Los valores del MEI estuvieron correlacionados positivamente con los valores de TSM en las tres regiones del golfo de California y negativamente con los valores de Clo-a, excepto para la región centro debido a las mareas y surgencias que favorecen la productividad primaria. Los nacimientos de lobo marino en las tres regiones no estuvieron relacionados con los valores promedio del MEI. Sin embargo El Niño 2015-2016, habiendo sido uno de los más fuertes, corresponde al año donde se registraron los valores más altos de TSM en el golfo de California.

También en este año se registraron reducciones en el número de nacimientos por debajo del promedio histórico de nacimientos para la región norte y centro.

La población de lobo marino de California en Estados Unidos ha aumentado en las últimas décadas y, al parecer, en los últimos años este crecimiento ya se detuvo. A pesar de ello, esta población es vulnerable y puede presentar un crecimiento negativo cuando se presentan fenómenos de calentamiento como El Niño, afectando el número de nacimientos y la supervivencia de los individuos (Laake *et al.*, 2017). La población de esta especie en el golfo de California está disminuyendo, sin embargo las diferentes tendencias de crecimiento de sus colonias, resaltan que no están siendo reguladas de forma directa por esa variable ambiental.

El análisis por separado de cada una de las variables con el número de nacimientos en cada colonia y en cada región, evidenció que las relaciones no seguían estrictamente una relación lineal, por ello se decidió utilizar los modelos aditivos generalizados. Estos son una herramienta útil cuando se presentan este tipo de situaciones, ya que el modelo se construye con la suma de funciones suavizadoras no lineales de las covariantes.

Las variables analizadas en este trabajo (capturas de pelágicos menores, MEI, TSM y Clo-a) no parecen estar relacionadas individual y linealmente con la variabilidad en el número de nacimientos de lobo marino de California en las colonias reproductivas del golfo de California. En cambio, el número de nacimientos de lobo marino en las islas del canal de California, se relacionó negativamente con la TSM y el MEI; durante El Niño, la termohalina es más profunda, las surgencias se debilitan y las anomalías positivas de temperatura rebasan los 2°C. Esta combinación de fenómenos, alteran la distribución y abundancia de las presas (Melin *et al.*, 2012; Jacox *et al.*, 2016).

En el golfo de California el efecto de El Niño no es homogéneo, la productividad primaria muestra gran variabilidad y débil relación con el MEI (en particular en la región de las grandes islas) y las anomalías positivas de TSM no rebasan los 2°C (Herrera-Cervantes *et al.*, 2010). Estas variables influyen solo indirectamente en el número de nacimientos de lobo marino, a través del cambio en la abundancia y distribución de sus presas. Por esta razón, se consideró a la dieta y a la calidad de las presas como variables explicativas de la condición corporal de las hembras adultas.

De acuerdo con el modelo aditivo generalizado, el número de nacimientos en la colonia Los Islotes incrementó conforme aumentó la cantidad de macarela. Sin embargo, esta especie no es considerada importante en la dieta de esta colonia de acuerdo a los nueve años de información de dieta y por tanto, esta relación no se considera real.

La producción de crías de lobo marino en el golfo de California sigue disminuyendo. La región de las grandes islas es un área crítica debido a que alberga aproximadamente el 70 % de la población reproductora y son las colonias con las mayores tasas de disminución (Le Boeuf *et al.*, 1983; Hernández-Camacho *et al.*, datos no publicados). El hecho de que las colonias que disminuyen están relativamente cerca unas de otras, sugiere que son afectadas por los mismos factores, sin embargo falta determinar con precisión qué factores influyen en los nacimientos de los individuos y cómo éstos afectan la tasa de crecimiento de las poblaciones.

## 10. CONCLUSIONES

El número de nacimientos es una estimación más confiable del éxito reproductivo del lobo marino de California para las colonias ubicadas en el golfo de California.

Los datos de capturas de pelágicos menores por parte de las pesquerías, no mostraron relación con el número de nacimientos de lobo marino de California en el golfo de California. Es importante considerar la distribución de los recursos pesqueros más que sus capturas, ya que brinda información relevante sobre la distribución de las presas de lobo marino. Respecto a las presas, las más importantes fueron pelágicos menores, peces sapo, mictófidios y calamares. La similitud entre las dietas no estuvo relacionada con que compartan áreas de alimentación.

El aumento en la temperatura superficial del mar tiene un efecto negativo, aparentemente no lineal, en el número de nacimientos en las diferentes regiones del golfo de California. Los límites en las anomalías positivas de TSM para las regiones norte y centro son 0.5 y 1 °C respectivamente. En cambio, el número de nacimientos en las islas del canal de California se ve afectado cuando las anomalías rebasan los 2°C. Los cambios en la concentración de Clo-a superficial no estuvieron relacionados directamente con el éxito reproductivo de esta especie.

Los eventos de El Niño no influyeron linealmente en el número de nacimientos de lobo marino en ninguna región como ya se había reportado en El Niño 1982-83 para la colonia Los Islotes. Sin embargo, El Niño 15-16 aparentemente tuvo un efecto negativo en los nacimientos de las regiones norte y centro del golfo de California.

Los resultados no descartan que exista una relación entre las variables ambientales y el número de nacimientos de lobo marino de California, solo que ésta posiblemente no sea lineal. Se consideraron esas variables como posibles

indicadores de la disponibilidad de presas debido a la falta de información sobre dieta. Se requiere mayor información sobre la dieta, disponibilidad y calidad de las presas, salud, tasas de mortalidad, entre otros, para entender qué factores modulan el éxito reproductivo de los individuos de esta especie y tomar decisiones adecuadas en cuanto a la protección de la especie.

## **11. RECOMENDACIONES**

Es importante realizar estudios de seguimiento de hembras marcadas para conocer la fecundidad y hábitos alimenticios. No se tiene hasta el momento información relacionada con la mortalidad en estos organismos, ya sea por enfermedades, captura incidental, tráfico ilegal, entre otros.

Los estudios sobre la composición de la dieta y la calidad de las presas brindan información sobre la fuente directa de energía del lobo marino. Se deben realizar muestreos de heces fecales en todas las colonias de manera sistemática, para generar bases de datos históricas que permitan evaluar el efecto de la dieta en el número de nacimientos de esta especie en el golfo de California.

Son necesarios estudios sobre la distribución y abundancia de las especies que son presas importantes de lobo marino, para poder analizar la relación entre la disponibilidad de presas y el éxito reproductivo de esta especie.

## 12. REFERENCIAS

- Álvarez-Borrego, S. 2010. Physical, chemical, and biological oceanography of the Gulf of California. *The Gulf of California: biodiversity and conservation. University Arizona Press, Arizona* 24–48.
- Álvarez-Borrego, S. 2002. Physical oceanography. A new island biogeography of the Sea of Cortes. *Oxford University Press* 41–59.
- Álvarez-Borrego, S. & J.R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. *The gulf and peninsular province of the Californias* 47: 555–567.
- Álvarez, L.G., A. Badan-Dangon & J.M. Robles. 1984. Lagrangian observations of near-surface currents in Canal de Ballenas. *CalCOFI Rep* 25: 35–42.
- Anthony, J.A., D.D. Roby & K.R. Turco. 2000. Lipid content and energy density of forage fishes from the northern Gulf of Alaska. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 248: 53–78.
- Arias-Schreiber, M. 2000. Los lobos marinos y su relación con la abundancia de la anchoveta peruana durante 1979-2000.
- Arias-Schreiber, M. & C. Rivas. 1998. Distribución, tamaño y estructura de las poblaciones de lobos marinos (*Arctocephalus australis* y *Otaria byronia*) en el litoral peruano, en noviembre 1996 y marzo 1997. IMARPE.
- Aurioles-Gamboa, D., C. Fox, F. Sinsel & G. Tanos. 1984. Prey of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the bay of La Paz, Baja California Sur, México. *Journal of Mammalogy* 65: 519–524.
- Aurioles-Gamboa, D. & F. Sinsel. 1988. Mortality of California sea lion pups at Los Islotes, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Mammalogy* 69: 180–183.
- Aurioles-Gamboa, D. & A. Zavala-González. 1994. Algunos factores ecológicos que determinan la distribución y abundancia del lobo marino *Zalophus californianus*, en el golfo de California. *Ciencias Marinas* 20: 535–553.

- Aurioles, D. & B.J. Le Boeuf. 1991. Effects of the El Niño 1982–83 on California sea lions in Mexico. *In Pinnipeds and El Niño*, 112–118. Springer.
- Badan-Dangon, A., C. Koblinisky & T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta* 8: 13–22.
- Bakun, A., E.A. Babcock, S.E. Lluch-Cota, C. Santora & C.J. Salvadeo. 2010. Issues of ecosystem-based management of forage fisheries in “open” non-stationary ecosystems: the example of the sardine fishery in the Gulf of California. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 20: 9–29.
- Beauplet, G., C. Barbraud, M. Chambellant & C. Guinet. 2005. Interannual variation in the post-weaning and juvenile survival of subantarctic fur seals: Influence of pup sex, growth rate and oceanographic conditions. *Journal of Animal Ecology* 74: 1160–1172.
- Beier, E. 1997. A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography* 27: 615–632.
- Benson, a J. & a W. Trites. 2002. Ecological effects of regime shifts in the Bering Sea and eastern North Pacific Ocean. *Fish and Fisheries* 3: 95–113.
- Berkson, J.M. & D.P. DeMaster. 1985. Use of pup counts in indexing population changes in pinnipeds. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42: 873–879.
- 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.
- Le Boeuf, B.J., D. Aurioles, R. Condit, C. Fox, R. Gisiner, R. Romero & F. Sinsel. 1983. Size and distribution of the California sea lion population in Mexico. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 43: 77–85.
- Bowen, W.D., C.K. Capstick & D.E. Sergeant. 1981. Temporal changes in the reproductive potential of female harp seals (*Pagophilus groenlandicus*).

*Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 495–503.

Boyd, A.I.L., J.P.Y. Arnould, T. Barton & J.P. Croxall. 1994. Foraging Behaviour of Antarctic Fur Seals During Periods of Contrasting Prey Abundance. *63*: 703–713.

Boyd, I.L. 1996. Individual variation in the duration of pregnancy and birth date in Antarctic fur seals: the role of environment, age, and sex of fetus. *Journal of Mammalogy* 77: 124–133.

Boyd, I.L. 1984. The relationship between body condition and the timing of implantation in pregnant Grey seals (*Halichoerus grypus*). *Journal of Zoology* 203: 113–123.

Brusca, R.C., L.T. Findley, P.A. Hastings, M.E. Hendrickx, J.T. Cosio & A.M. van der Heiden. 2005. Macrofaunal diversity in the Gulf of California. *Biodiversity, ecosystems, and conservation in Northern Mexico* 179: .

Cardenas Alayza, S., E.A. Crespo & L. Oliveira. 2016. *Otaria byronia*, South American Sea Lion.

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.

Costa, D.P., J.P. Croxall & C.D. Duck. 1989. Foraging energetics of antarctic fur seals in relation to changes in prey availability. *Ecology* 70: 596–606.

DeLong, R.L., G.A. Antonelis, C.W. Oliver, B.S. Stewart, M.C. Lowry & P.K. Yochem. 1991. Effects of the 1982–83 El Nino on several population parameters and diet of California sea lions on the California Channel Islands. *In Pinnipeds and El Niño*, 166–172. Springer.

Diaz Gomez, M., D.A.S. Rosen & A.W. Trites. 2016. Net energy gained by northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) is impacted more by diet quality than by diet diversity. *Canadian Journal of Zoology* 94: 123–135.

- Duran Lizárraga, M. 1998. Caracterización de los buceos de alimentación del lobo marino *Zalophus californianus* y su relación con variables ambientales en la Bahía de La Paz, BCS.
- Elorriaga-Verplancken, F.R., G.E. Sierra-Rodríguez, H. Rosales-Nanduca, K. Acevedo-Whitehouse & J. Sandoval-Sierra. 2016. Impact of the 2015 El Niño-southern oscillation on the abundance and foraging habits of Guadalupe fur seals and California sea lions from the San Benito Archipelago, Mexico. *PLoS ONE* 11: 1–16.
- Escalante, F., J.E. Valdez-Holguín, S. Álvarez-Borrego & J.R. Lara-Lara. 2013. Temporal and spatial variation of sea surface temperature, chlorophyll a, and primary productivity in the Gulf of California. *Ciencias Marinas* 39: .
- Espinoza de los Reyes-Ayala, M.G. 2007. Variabilidad espacial de la dieta del lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*, Lesson 1828). CICESE.
- Feldkamp, S.D., R.L. DeLong & G.A. Antonelis. 1989. Diving patterns of California sea lions, *Zalophus californianus*. *Canadian Journal of Zoology* 67: 872–883.
- Forcada, J., P.N. Trathan, K. Reid & E.J. Murphy. 2005. The effects of global climate variability in pup production of Antarctic fur seals. *Ecology* 86: 2408–2417.
- García-Aguilar, M.C. & D. Aurióles-Gamboa. 2003a. Breeding season of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Aquatic Mammals* 29: 67–76.
- García-Rodríguez, F.J. 1999. Cambios espaciales y estacionales en la estructura trófica y consumo del lobo marino de California, *Zalophus californianus*, en la región de las grandes islas, Golfo de California. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- García-Rodríguez, F.J. & D. Aurióles-Gamboa. 2004. Spatial and temporal variation in the diet of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the

- Gulf of California, Mexico. *Fishery Bulletin* 102: 47–62.
- Georges, J.-Y., Y. Tremblay & C. Guinet. 2000. Seasonal diving behaviour in lactating subantarctic fur seals on Amsterdam Island. *Polar Biology* 23: 59–69.
- Gibbens, J. & J.P.Y. Arnould. 2009. Interannual variation in pup production and the timing of breeding in benthic foraging Australian fur seals. *Marine Mammal Science* 25: 573–587.
- González-Medina, E., J.A. Castillo-Guerrero, S.Z. Herzka & G. Fernández. 2018. High quality diet improves lipid metabolic profile and breeding performance in the blue-footed booby, a long-lived seabird. *PloS one* 13: e0193136.
- González-Suárez, M., R. Flatz, D. Aurióles-Gamboa, P.W. Hedrick & L.R. Gerber. 2009. Isolation by distance among California sea lion populations in Mexico: Redefining management stocks. *Molecular Ecology* 18: 1088–1099.
- Guinet, C., P. Jouventin & J.Y. Georges. 1994. Long term population changes of fur seals *Arctocephalus gazella* and *Arctocephalus tropicalis* on subantarctic (Crozet) and subtropical (St. Paul and Amsterdam) islands and their possible relationship to El Niño Southern Oscillation. *Antarctic Science* 6: 473–478.
- Guisan, A., T.C. Edwards & T. Hastie. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling* 157: 89–100.
- Halfar, J., L. Godínez-Orta, M. Mutti, J.E. Valdez-Holguín & J.M. Borges. 2004. Nutrient and temperature controls on modern carbonate production: An example from the Gulf of California, Mexico. *Geology* 32: 213–216.
- Haney, J.C. & A.E. Stone. 1988. Seabird foraging tactics and water clarity: Are plunge divers really in the clear? *Marine Ecology Progress Series* 1–9.
- Hastie, T.J. & R. Tibshirani. 1990. Generalized additive models. *Statistical Science* 1: 297–318.
- Heath, C.B. 1989. The behavioral ecology of the California sea lion, *Zalophus*

californianus. University of California, Santa Cruz.

Hernández-Camacho, C.J., D. Aurióles-Gamboa, J. Laake & L.R. Gerber. 2008. Survival rates of the California sea lion, *Zalophus californianus*, in Mexico. *Journal of Mammalogy* 89: 1059–1066.

Hernández-Camacho, C.J., V.J. Bakker, D. Aurióles-Gamboa, J. Laake & L.R. Gerber. 2015. The Use of Surrogate Data in Demographic Population Viability Analysis: A Case Study of California Sea Lions. *Plos One* 10: 16.

Hernández-Camacho, C.J., D. Aurióles-Gamboa & L.R. Gerber. 2008. Age-specific birth rates of California sea lions (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science* 24: 664–676.

Hernández Camacho, C.J. 2001. Tabla de vida del lobo marino de California *Zalophus californianus californianus* en la lobera Los Islotes. Tesis de Maestría. BCS, México. 63 pp.

Herrera-Cervantes, H., S.E. Lluch-Cota, D.B. Lluch-Cota, G. GUTIÉRREZ DE VELASCO SANROMÁN & D. Lluch-Belda. 2010. ENSO influence on satellite-derived chlorophyll trends in the Gulf of California. *Atmósfera* 23: 253–262.

Horn, H.S. 1966. Measurement of “overlap” in comparative ecological studies. *The American Naturalist* 100: 419–424.

Jacox, M.G., E.L. Hazen, K.D. Zaba, D.L. Rudnick, C.A. Edwards, A.M. Moore & S.J. Bograd. 2016. Impacts of the 2015–2016 El Niño on the California Current System: Early assessment and comparison to past events. *Geophysical Research Letters* 43: 7072–7080.

James, G., D. Witten, T. Hastie & R. Tibshirani. 2013. An introduction to statistical learning. Springer.

King, J.R., V.N. Agostini, C.J. Harvey, G.A. McFarlane, M.G.G. Foreman, J.E. Overland, E. Di Lorenzo, N.A. Bond & K.Y. Aydin. 2011. Climate forcing and the California Current ecosystem. *ICES Journal of Marine Science* 68: 1199–1216.

- King, J.R. & M.E. Murphy. 1985. Periods of nutritional stress in the annual cycles of endotherms: Fact or fiction? *American Zoologist* 25: 955–964.
- Kohavi, R. 1995. A Study of Cross-Validation and Bootstrap for Accuracy Estimation and Model Selection 2 Methods for Accuracy Estimation. *Proc. of IJCAI'95* 1137–1145.
- Kovacs, K.M., A. Aguilar, D. Aurióles, V. Burkanov, C. Campagna, N. Gales, T. Gelatt, S.D. Goldsworthy, S.J. Goodman & G.J.G. Hofmeyr. 2012. Global threats to pinnipeds. *Marine Mammal Science* 28: 414–436.
- Kuhn, C.E. 2006. Measuring at sea feeding to understand the foraging behavior of pinnipeds. University of California.
- 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.F., R. Durazo, E. Palacios, M.L. Argote & L. Carrillo. 1997. Lagrangian observations of the circulation in the northern Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography* 27: 2298–2305.
- Lavín, M.F., V.M. Godínez & L.G. Alvarez. 1998. Inverse-estuarine features of the Upper Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 47: 769–795.
- Lavín, M.F. & S.G. Marinone. 2003a. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics* 173–204.
- Lluch-Belda, D., F.J. Magallón & R.A. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: possible causes. *CalCOFI Rep* 27: 136–140.
- Lluch-Cota, S.E., E.A. Aragon-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurióles-Gamboa, J.J. Bautista-Romero, R.C. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortés-Altamirano, P. Del-Monte-Luna & A. Esquivel-Herrera. 2007. The Gulf of California: review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress*

*in oceanography* 73: 1–26.

- Lowry, M.S., R. Condit, B. Hatfield, S.G. Allen, R. Berger, P.A. Morris, B.J. Le Boeuf & J. Reiter. 2014. Abundance, distribution, and population growth of the northern elephant seal (*Mirounga angustirostris*) in the United States from 1991 to 2010. *Aquatic Mammals* 40: 20.
- Lowry, M.S. & K.A. Forney. 2005. Abundance and distribution of California sea lions (*Zalophus californianus*) in central and northern California during 1998 and summer 1999. *Fishery Bulletin* 103: 331–343.
- Lowry, M.S., S.R. Melin & J.L. Laake. 2017. Breeding Season Distribution and Population Growth of California Sea Lions, *Zalophus californianus*, in the United States During 1964-2014. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-574.
- 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.
- Martínez-Zavala, M. de los Á., M.O. Nevárez-Martínez, M.L. Anguiano-Carrasco, J.P. Santos-Molina & Á.R. Godínez-Cota. 2010. Captura de peces pelágicos menores en el golfo de California, temporada de pesca 2007-2008. *Ciencia Pesquera* 18: 5–18.
- Melin, S.R. 2003. The foraging ecology and reproduction of the California sea lion (*Zalophus californianus californianus*). University of Minnesota.
- Melin, S.R., R.L. DeLong & D.B. Siniff. 2008. The effects of El Niño on the foraging behavior of lactating California sea lions (*Zalophus californianus californianus*) during the nonbreeding season. *Canadian Journal of Zoology* 86: 192–206.
- Melin, S.R., A.J. Orr, J.D. Harris, J.L. Laake & R.L. DeLong. 2012. California sea lions: An indicator for integrated ecosystem assessment of the California current system. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 53: 140–152.
- Melin, S.R., A.J. Orr, J.D. Harris, J.L. Laake, R.L. DeLong, F.M.D. Gulland & S.

- Stoudt. 2010. Unprecedented mortality of California sea lion pups associated with anomalous oceanographic conditions along the central California coast in 2009. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 51: 182–194.
- Merrick, R.L., M.K. Chumbley & G.V. Byrd. 1997a. Diet diversity of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) and their population decline in Alaska: a potential relationship. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54: 1342–1348.
- Merrick, R.L., T.R. Loughlin & D.G. Calkins. 1987. Decline in Abundance of the Northern Sea Lion *Eumetopias-Jubatus* in Alaska USA 1956-86. *U S National Marine Fisheries Service Fishery Bulletin* 85: 351–366.
- Mills, L.S. 2012. Conservation of wildlife populations: demography, genetics, and management. John Wiley & Sons.
- 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.
- Morris, W.F. & D.F. Doak. 2002. Quantitative conservation biology.
- Nevárez-Martínez, M.O., D. Lluch-Belda, M.A. Cisneros-Mata, J.P. Santos-Molina, M. De los Angeles Martínez-Zavala & S.E. Lluch-Cota. 2001. Distribution and abundance of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California and their relation with the environment. *Progress in Oceanography* 49: 565–580.
- Ñiquen, M. & M. Bouchon. 2004. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 51: 563–574.
- Ono, K.A., D.J. Boness & O.T. Oftedal. 1987. The effect of a natural environmental disturbance on maternal investment and pup behavior in the California sea lion. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 21: 109–118.

- Van Pelt, T.I., J.F. Piatt, B.K. Lance & D.D. Roby. 1997. Proximate composition and energy density of some North Pacific forage fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 118: 1393–1398.
- Peterson, R.S. & G.A. Bartholomew. 1967. The natural history and behaviour of the California sea lion. *The American Society of Mammalogists*.
- Pistorius, P.A., M.N. Bester, S.P. Kirkman & F.E. Taylor. 2001. Temporal changes in fecundity and age at sexual maturity of southern elephant seals at Marion Island. *Polar Biology* 24: 343–348.
- Pitcher, K.W., V.N. Burkanov, D.G. Calcins, B.J. Le Boeuf, E. Mamaev, R.L. Merrick & G.W. Pendleton. 2001. Spatial and temporal variation in the timing of births of Steller sea lions. *Journal of Mammalogy* 82: 1047–1053.
- 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., D. Aurióles-Gamboa, V.H. Cruz-Escalona & P.L. Koch. 2008. Trophic level and overlap of sea lions (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science* 24: 554–576.
- Porras Peters, H.J. 2004. Nivel, amplitud y superposición trófica de las colonias de lobo marino *Zalophus californianus* del Golfo de California, México.
- Robinson, C.J., J. Gómez-Gutiérrez & D.A.S. de León. 2013. Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) landings in the Gulf of California related to remotely sensed SST and concentrations of chlorophyll a (1998–2012). *Fisheries Research* 137: 97–103.
- Robinson, C.J., J. Gómez-Gutiérrez, U. Markaida & W.F. Gilly. 2016. Prolonged decline of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) landings in the Gulf of California is associated with chronically low wind stress and decreased chlorophyll a after El Niño 2009–2010. *Fisheries research* 173: 128–138.
- Robinson, M.K. 1973. Atlas of monthly mean sea surface and subsurface

- temperatures in the Gulf of California, Mexico. *Soc. Nat. Hist. Mem.*
- Rohlf, F.J. 1970. Adaptive hierarchical clustering schemes. *Systematic Biology* 19: 58–82.
- Rosen, D.A. & A.W. Trites. 2000. Pollock and the decline of Steller sea lions: testing the junk-food hypothesis. *Canadian Journal of Zoology* 78: 1243–1250.
- Sánchez-Velaso, L., B. Shirasago, M.A. Cisneros-Mata & C. Avalos-García. 2000. Spatial distribution of small pelagic fish larvae in the Gulf of California and its relation to the El Niño 1997–1998. *Journal of Plankton Research* 22: 1611–1618.
- Santamaría-del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego, R. Millán-Núñez & F.E. Müller-Karger. 1999. Sobre el efecto débil de las surgencias de verano en la biomasa fitoplanctónica del Golfo de California. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat* 49: 207–212.
- Santamaría-del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego & F.E. Müller-Karger. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 99: 7411–7421.
- Saraçlı, S., N. Doğan & İ. Doğan. 2013. Comparison of hierarchical cluster analysis methods by cophenetic correlation. *Journal of Inequalities and Applications* 2013: 203.
- Schramm, Y., S.L. Mesnick, J. De La Rosa, D.M. Palacios, M.S. Lowry, D. Aurióles-Gamboa, H.M. Snell & S. Escorza-Treviño. 2009. Phylogeography of California and Galápagos sea lions and population structure within the California sea lion. *Marine Biology* 156: 1375–1387.
- Sinclair, E.H. & T.K. Zeppelin. 2002. Seasonal and Spatial Differences in Diet in the Western Stock of Steller Sea Lions (*Eumetopias Jubatus*). *Journal of Mammalogy* 83: 435–451.
- Sokal, R.R. & F.J. Rohlf. 1962. The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon* 11: 33–40.

- Soto, K.H., A.W. Trites & M. Arias-Schreiber. 2004. The effects of prey availability on pup mortality and the timing of birth of South American sea lions (*Otaria flavescens*) in Peru. *Journal of Zoology* 264: 419–428.
- Szteren, D., D. Aurioles & L.R. Gerber. 2006a. Population status and trends of the California sea lion (*Zalophus californianus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Sea Lions of the World* 369–384.
- Szteren, D., D. Aurioles & L.R. Gerber. 2006b. Population status and trends of the California sea lion (*Zalophus californianus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Sea Lions of the World* 369–384.
- Towell, R., R.R. Ream, J. Bengtson & J. Sterling. 2014. northern fur seal pup production and adult male counts on the Pribilof Islands, Alaska. Alaska Fisheries Science Center, National Marine Mammal Laboratory.
- Trillmich, F. 1990. The behavioral ecology of maternal effort in fur seals and sea lions. *Behaviour* 114: 3–20.
- Trillmich, F. & D. Limberger. 1985. Drastic effects of El Niño on Galápagos pinnipeds. *Oecologia* 67: 19–22.
- Trillmich, F. & K.A. Ono. 1991. Pinnipeds and El Niño. Responses to environmental stress. F. Trillmich & K. A. Ono [eds.], Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Trillmich, F., K.A. Ono, D.P. Costa, R.L. DeLong, S.D. Feldkamp, J.M. Francis, R.L. Gentry, C.B. Heath, B.J. Le Boeuf & P. Majluf. 1991. The effects of El Niño on pinniped populations in the eastern Pacific. *In* Pinnipeds and El Niño, 247–270.
- Trites, A.W., D.G. Clakins & A.J. Winship. 2007. Diets of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) in Southeast Alaska, 1993 – 1999. *Fishery Bulletin* 105: 234–248.
- Trites, A.W. & C.P. Donnelly. 2003. The decline of Steller sea lions *Eumetopias jubatus* in Alaska: A review of the nutritional stress hypothesis. *Mammal*

Review 33: 3–28.

- Trites, A.W. & P.A. Larkint. 1996. Changes in the abundance of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) in Alaska from 1956 to 1992: how many were there? *Aquatic Mammals* 223: 153–1.
- Trites, A.W., A.J. Miller, H.D.G. Maschner, M.A. Alexander, S.J. Bograd, J.A. Calder, A. Capotondi, K.O. Coyle, E. Di Lorenzo, B.P. Finney, E.J. Gregr, C.E. Grosch, S.R. Hare, G.L. Hunt, J. Jahncke, N.B. Kachel, H.J. Kim, C. Ladd, N.J. Mantua, C. Marzban, W. Maslowski, R. Mendelsohn, D.J. Neilson, S.R. Okkonen, J.E. Overland, K.L. Reedy-Maschner, T.C. Royer, F.B. Schwing, J.X.L. Wang & A.J. Winship. 2007. Bottom-up forcing and the decline of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) in Alaska: Assessing the ocean climate hypothesis. *Fisheries Oceanography* 16: 46–67.
- IUCN [IUCN]. 2001. IUCN Red List Categories and Criteria, Version 3.1. Prepared by the IUCN Species Survival Commission. 2001.
- Velarde, E., E. Ezcurra & D.W. Anderson. 2013. Seabird diets provide early warning of sardine fishery declines in the Gulf of California. *Scientific Reports* 3: 1–6.
- Velarde, E., E. Ezcurra, M.H. Horn & R.T. Patton. 2015. Warm oceanographic anomalies and fishing pressure drive seabird nesting north. *Science advances* 1: e1400210.
- Villegas-Amtmann, S. 2009. Seasonal variation in the physiological ecology of the Galapagos (*Zalophus wollebaeki*) and California (*Zalophus californianus*) sea lions. University of California.
- Ward, E.J., H. Chirakkal, M. González-Suárez, D. Aurióles-Gamboa, E.E. Holmes & L. Gerber. 2010. Inferring spatial structure from time-series data: Using multivariate state-space models to detect metapopulation structure of California sea lions in the Gulf of California, Mexico. *Journal of Applied Ecology* 47: 47–56.

- Weise, M.J., D.P. Costa & 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: .
- Weise, M.J. & J.T. Harvey. 2008. Temporal variability in ocean climate and California sea lion diet and biomass consumption: Implications for fisheries management. *Marine Ecology Progress Series* 373: 157–172.
- Wood, S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* 73: 3–36.
- Zavala-González, A. & E. Mellink. 1997. Entanglement of California sea lions, *Zalophus californianus californianus*, in fishing gear in the central-northern part of the Gulf of California, Mexico. *Fishery Bulletin* 95: 180–184.

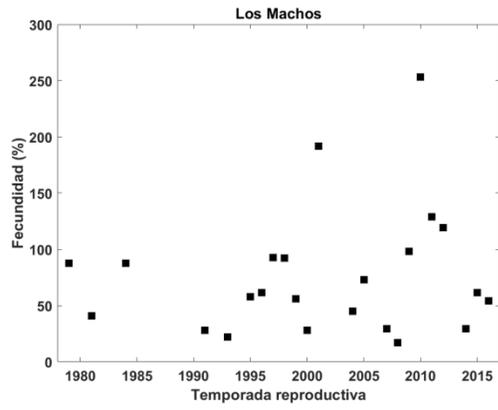
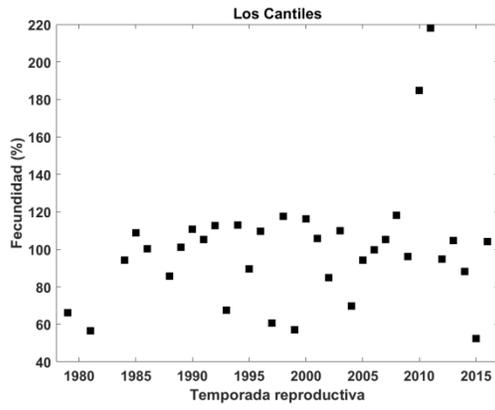
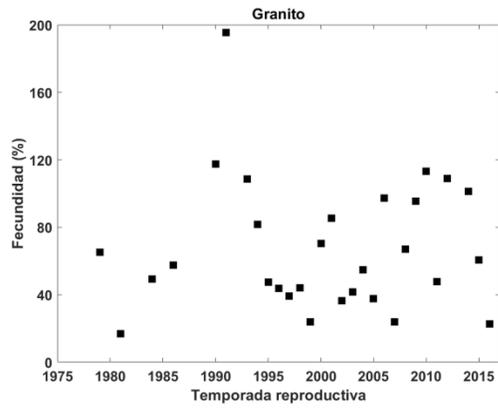
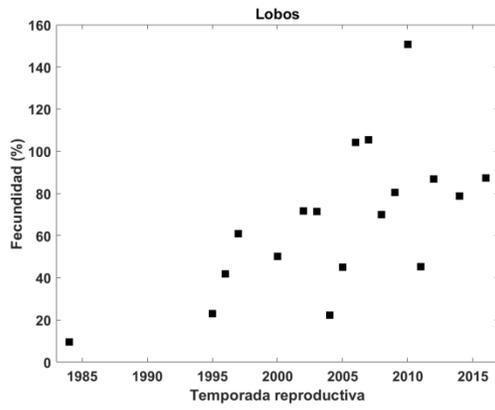
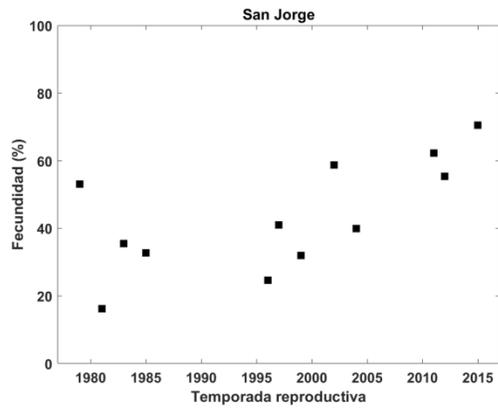
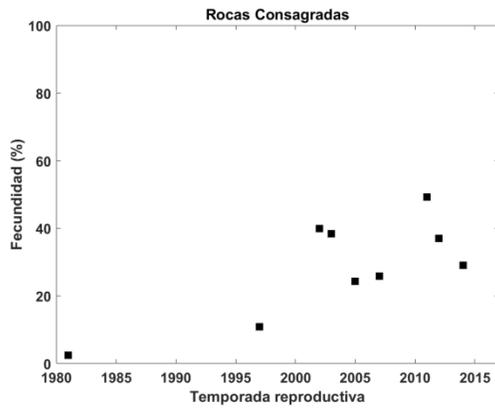
### 13. ANEXOS

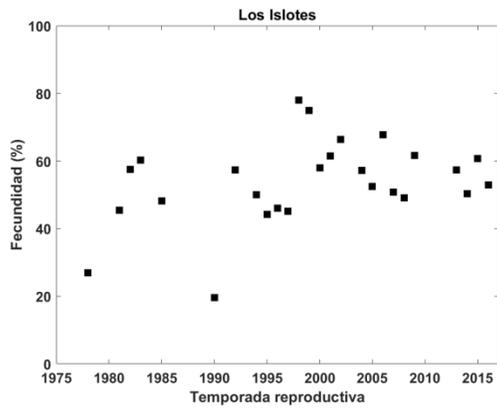
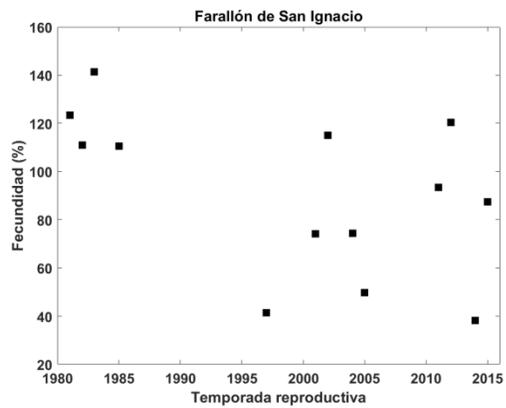
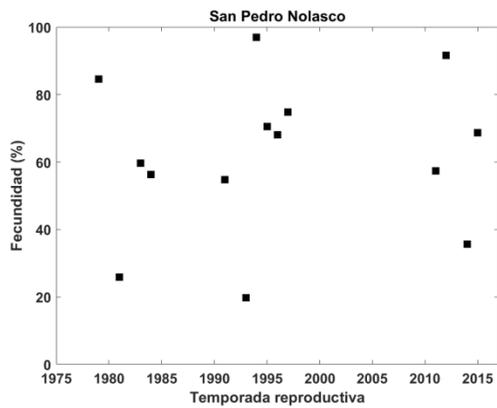
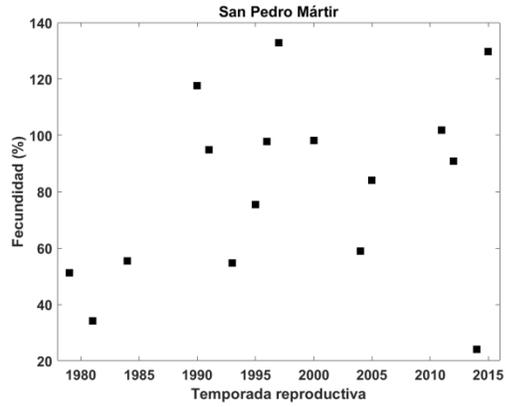
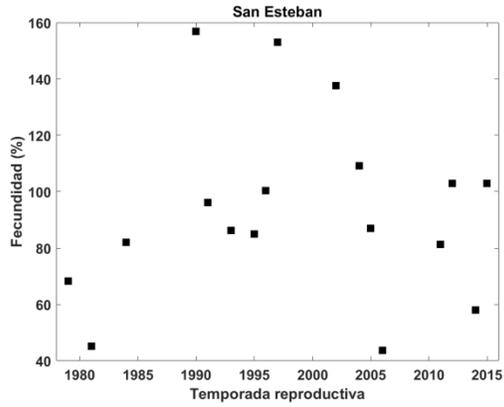
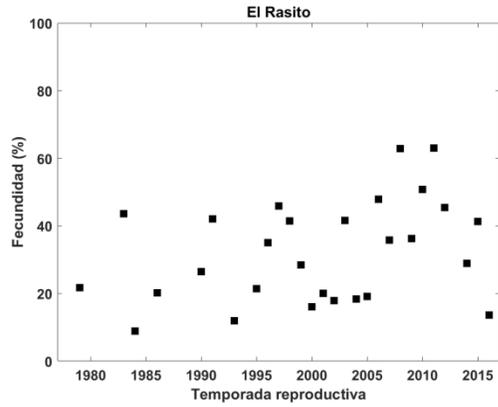
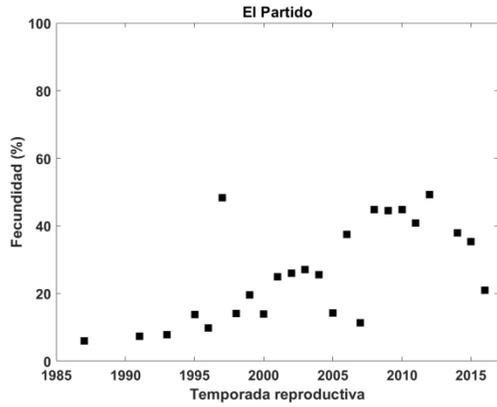
**Anexo 1.** Tasas de crecimiento de las colonias reproductivas del golfo de California (tomadas de Szteren *et al.*, 2006) y número de nacimientos en el 2016 (Hernández-Camacho *et al.*, datos no publicados).

Colonia	Tasa de crecimiento ( $\lambda$ )*	Nacimientos 2016
Rocas Consagradas	1.037 (0.987 –01.089)	220
San Jorge	1.009 (0.983 -1.035)	1842
Los Lobos	1.011 (0.950-1.076)	590
El Granito	1.025 (0.934-1.126)	163
Los Cantiles	0.972 (0.920-1.026)	274
Los Machos	0.987 (0.923-1.056)	204
El Partido	1.040 (0.909-1.189)	156
El Rasito	1.121 (1.014-1.240)	34
San Esteban	1.032 (0.978-1.089)	1978
San Pedro Mártir	1.041 (0.957-1.133)	732
San Pedro Nolasco	1.038 (0.908-1.186)	186
Farallón de San Ignacio	1.046 (0.914-1.196)	224
Los Islotes	1.043 (0.990-1.098)	162
Total	1.037	6748

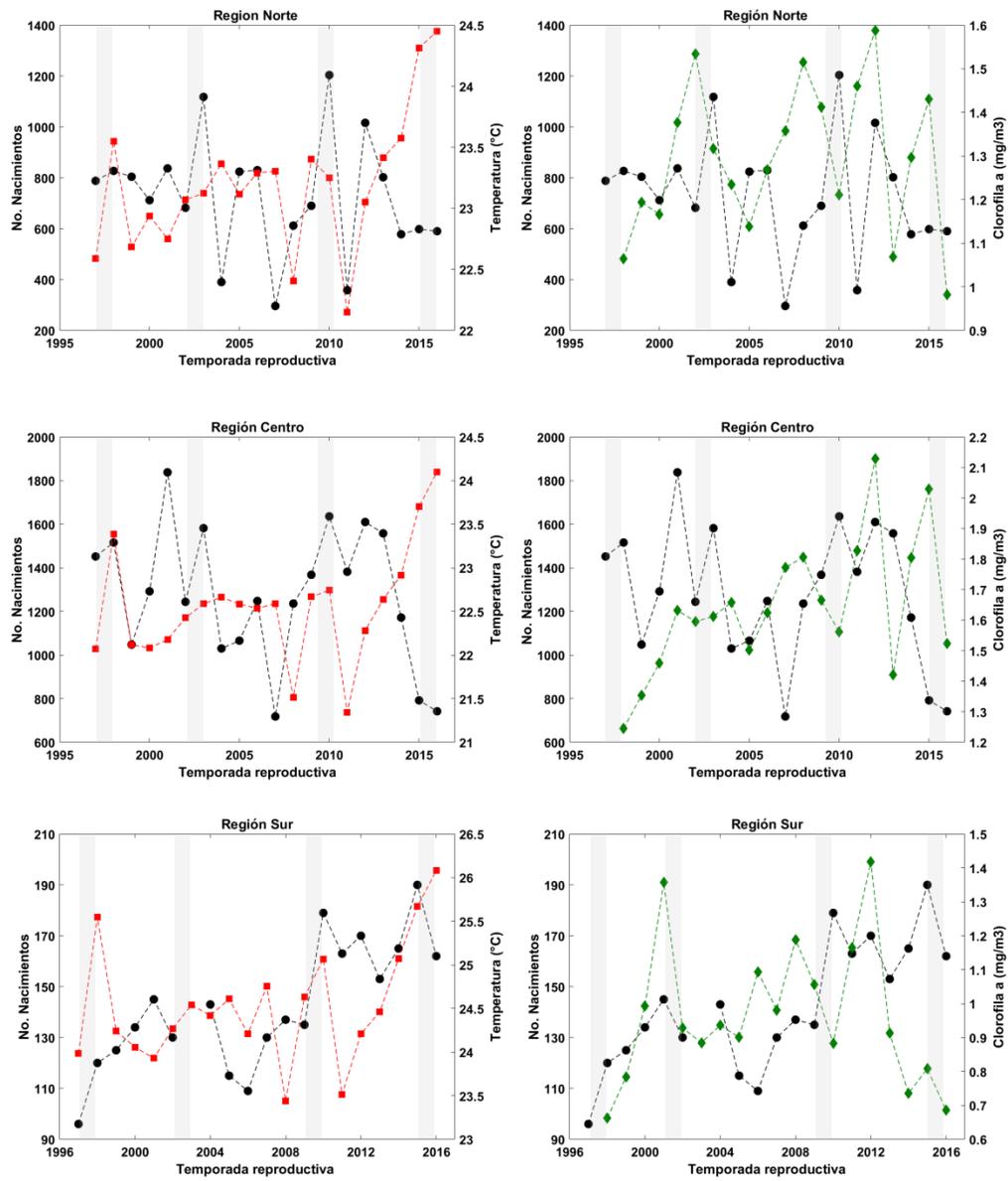
\* $\lambda < 1$  indica que la población disminuye;  $\lambda > 1$  la población aumenta;  $\lambda = 1$  población estable

**Anexo 2.** Fecundidad calculada en las trece colonias reproductivas del golfo de California.

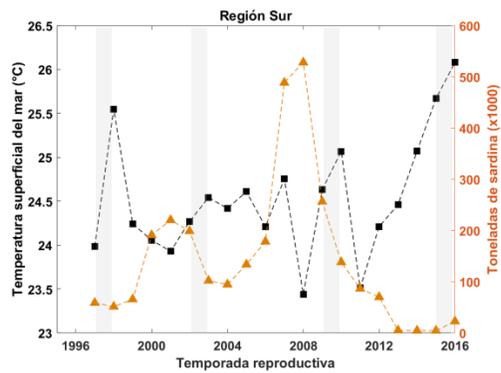
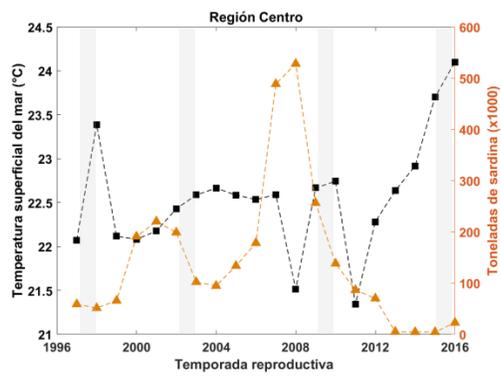
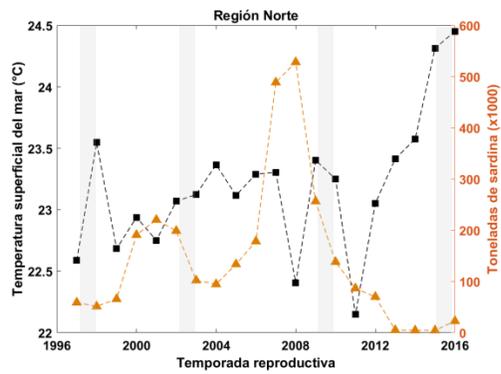




**Anexo 3.** Número de nacimientos por región y valores de temperatura superficial del mar y clorofila a de cada región. Eventos El Niño (áreas sombreadas).



**Anexo 4.** Capturas anuales de sardina Monterrey y valores de temperatura superficial del mar de cada región. Eventos El Niño (áreas sombreadas).



**Anexo 5.** Relación entre el número de nacimientos de lobo marino de California en las islas del canal de California (modificado de Melin *et al.*, 2012) y en las tres regiones (norte, centro y sur) del golfo de California y las anomalías de temperatura superficial del mar. Temperatura crítica (área sombreada).

