



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



**ABUNDANCIA Y HÁBITAT TERRESTRE DEL  
LOBO MARINO DE CALIFORNIA EN EL GOLFO  
DE CALIFORNIA**

**TESIS**

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

**PRESENTA**

**KAREN ADAME FERNÁNDEZ**

**LA PAZ, B.C.S., NOVIEMBRE DE 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 12 del mes de Noviembre 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:

**"ABUNDANCIA Y HÁBITAT TERRESTRE DEL LOBO MARINO DE CALIFORNIA  
EN EL GOLFO DE CALIFORNIA"**

Presentada por el alumno:

<b>ADAME</b> Apellido paterno	<b>FERNÁNDEZ</b> materno	<b>KAREN</b> nombre(s)
		Con registro: A 1 7 0 6 0 6

Aspirante de:

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

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

**LA COMISION REVISORA**

Directores de Tesis

DR. FERNANDO RICARDO ELORRIAGA WERPLANCKLEN  
Director de Tesis

DR. MARIO ANDRÉS PARDO RUEDA

DR. JAIME GÓMEZ GUTIÉRREZ

DRA. KARINA ACEVEDO WHITEHOUSE

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO





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

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 15 del mes de Noviembre del año 2018

El (la) que suscribe BM. KAREN ADAME FERNÁNDEZ Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A170606 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

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

DR. FERNANDO RICARDO ELORRIAGA VERPLANCKEN y DR. MARIO ANDRÉS PARDO RUEDA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"ABUNDANCIA Y HÁBITAT TERRESTRE DEL LOBO MARINO DE CALIFORNIA

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: karenadamef@gmail.com - elofe7@gmail.com - mpardo@cicese.com

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

BM. KAREN ADAME FERNÁNDEZ

*Nombre y firma del alumno*

## ÍNDICE

Índice.....	iv
Índice de figuras.....	vii
Índice de tablas.....	xi
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción.....	1
Antecedentes.....	5
Abundancia histórica.....	5
Técnicas de monitoreo.....	7
Hábitat terrestre.....	10
Hipótesis.....	12
Planteamiento del problema.....	13
Objetivos.....	15
General.....	15
Particulares.....	15
Área de estudio .....	16
El golfo de California.....	16
Las 13 colonias reproductivas de lobos marinos de California del golfo de California.....	17

Metodología.....	20
Obtención de datos.....	20
Conteos desde embarcación.....	24
Conteos aéreos.....	26
Análisis de datos.....	35
Abundancia temporada reproductiva de 2016.....	35
Tendencia de abundancia histórica.....	36
Comparación de técnicas.....	40
Hábitat terrestre.....	41
 Resultados.....	 44
Abundancia en la temporada reproductiva 2016.....	46
Variación histórica de lobos marinos de California en el golfo de California....	50
Comparación de técnicas de conteo de lobos marinos de California del golfo de California.....	53
Hábitat terrestre de lobos marinos de California del golfo de California.....	57
Preferencia de sustrato.....	58
Zonas de alta tasa de encuentro en las colonias.....	63
 Discusión.....	 77
Estimación de abundancia en la temporada reproductiva 2016 de lobos marinos de California en el golfo de California.....	77
Estado y cambios en la población de lobos marinos de California en el golfo de California.....	81
Cambios en la abundancia del lobo marino de California en el golfo y en cada colonia.....	81
Cambios en las proporciones de clase de edad y sexo del lobo marino de California en el golfo y en cada colonia.....	85
Efecto de la dieta como probable causa de las tendencias observadas....	87
Hábitat terrestre del lobo marino de California en el golfo de California.....	93

Conclusiones.....	96
Sugerencias.....	97
Referencias.....	I
Sugerencias.....	XII

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Abundancia de lobos marinos de California (*Zalophus californianus*) en el golfo de California. Los valores sobre los puntos indican el número de colonias incluidas en los conteos. Los factores de corrección aplicados, en su caso, consistieron en duplicar los conteos de crías y en añadir un porcentaje variable de hembras para incluir aquellas que potencialmente estaban realizando viajes de alimentación.....6

**Figura 2.** Mapa del área de estudio: golfo de California, donde se localizan 13 colonias reproductivas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*).....18

**Figura 3.** Fotografía del observador contando lobos marinos con ayuda de binoculares (superior). Ejemplo de lo que el observador visualiza desde la embarcación durante sus conteos (inferior).....25

**Figura 4.** El vehículo aéreo no tripulado utilizado en este estudio: DJI Phantom 3 Advanced, y su control remoto.....26

**Figura 5.** Fotografía del equipo del vehículo aéreo no tripulado, realizando un despegue para la toma de fotografías, mediante las cuales se realiza el conteo.....28

**Figura 6.** Ejemplo del funcionamiento de la herramienta CountTool en Photoshop, con la cual se contabilizaron los lobos marinos de California en las fotografías aéreas. Fotografía tomada en Los Islotes. En azul se marcan a los machos subadultos, en rosa a las hembras, en verde a los juveniles y en amarillo a las crías.....29

**Figura 7.** Ejemplos de fotografías de canto rodado. A) Isla San Jorge. B) Roca Consag. C) Los Machos.....30

**Figura 8.** Ejemplos de fotografías de acantilados. A) San Pedro Nolasco. B) San Pedro Mártir. C) Los Islotes.....31

**Figura 9.** Ejemplos de fotografías de plataforma rocosa. A) Los Cantiles. B) Los Islotes. C) Isla San Jorge.....32

**Figura 10.** Ejemplos de fotografías de conglomerado de rocas. A) Roca Consag. B) Isla San Jorge. C) Los Islotes.....33

<b>Figura 11.</b> Histograma de frecuencia de las observaciones de la abundancia relativa de lobo marino de California en transectos de 100 m en las colonias reproductivas del golfo de California.....	42
<b>Figura 12.</b> Abundancia total del lobo marino de California en las 13 colonias del golfo de California, registradas mediante la técnica del VANT durante la temporada reproductiva de 2016 (ND = individuos no determinados) .....	46
<b>Figura 13.</b> Abundancia durante la temporada reproductiva 2016 del lobo marino de California en cada colonia reproductiva, por clases de edad y sexo.....	47
<b>Figura 14.</b> Proporción redondeada de clases de edad y sexo de lobos marinos de California encontrada en cada colonia reproductiva en el golfo de California en verano de 2016.....	49
<b>Figura 15.</b> Variación histórica del lobo marino de California en las 13 colonias reproductivas del golfo de California (1980–2016). Los modelos son del tipo lineal generalizado, de primer, segundo o tercer orden, y con una intervalo de confianza del 95%.....	51
<b>Figura 16.</b> Comparación de la abundancia obtenida en cada colonia reproductiva del golfo de California mediante dos técnicas: desde embarcación y mediante fotografías aéreas tomadas por un VANT en verano de 2016. Las colonias se enlistan en orden de mayor a menor porcentaje de subestimación por parte de los conteos desde embarcación.....	54
<b>Figura 17.</b> Variabilidad de las subestimaciones observadas en cada clase de edad y sexo de las 13 colonias. La línea dentro de la caja es la mediana, la caja engloba el primer y tercer cuartil, el valor numérico sobre el punto amarillo representa el promedio, el bigote llega hasta el valor más alto o bajo sin superar el rango intercuartil multiplicado por 1.5, los datos individuales restantes son datos extremos.....	55
<b>Figura 18.</b> Probabilidad posterior de la tasa de encuentro (número de individuos por 100 m de línea de costa) de lobos marinos de California en relación al tipo de sustrato. Las líneas verticales bajo las curvas de probabilidad indican los valores observados.....	59

**Figura 19.** Probabilidad posterior de la media de la tasa de encuentro de crías (número de crías por 100 m) en relación al tipo de sustrato. Las líneas verticales bajo las curvas de probabilidad indican los valores observados.....60

**Figura 20.** Probabilidad posterior de la media de la tasa de encuentro de machos (número de machos subadultos por 100 m de línea de costa) en relación al tipo de sustrato. Las líneas verticales bajo las curvas de probabilidad indican los valores observados.....61

**Figura 21.** Mapa de Rocas Consag con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.....64

**Figura 22.** Mapa de San Jorge con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.....65

**Figura 23.** Mapa de Lobos con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.....66

**Figura 24.** Mapa de Granito con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.....67

**Figura 25.** Mapa de Los Cantiles con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa. Los asteriscos azules marcan el inicio y final de la colonia.....68

**Figura 26.** Mapa de Los Machos con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa. Los asteriscos azules marcan el inicio y final de la colonia.....69

**Figura 27.** Mapa de El Partido con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto

representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.....70

**Figura 28.** Mapa de El Rasito con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.....71

**Figura 29.** Mapa de San Esteban con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.....72

**Figura 30.** Mapa de San Pedro Mártir con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.....73

**Figura 31.** Mapa de San Pedro Nolasco con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.....74

**Figura 32.** Mapa de Farallón de San Ignacio con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.....75

**Figura 33.** Mapa de Los Islotes con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.....76

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Información de ubicación y área de las colonias reproductivas del golfo de California, listadas de norte a sur.....	19
<b>Tabla 2.</b> Lista de las colonias reproductivas (listadas de norte a sur) de lobos marinos de California donde se llevaron a cabo los conteos, así como la fecha, hora y duración del conteo.....	21
<b>Tabla 3.</b> Características morfológicas de las distintas clases de edad y sexo del lobo marino de California.....	22
<b>Tabla 4.</b> Descripción de los distintos tipos de sustrato asignados (Arias-del-Razo, 2011).....	34
<b>Tabla 5.</b> Lista de las colonias reproductivas (listadas de norte a sur) de lobos marinos de California y sus conteos históricos comparables (conteos desde embarcación y durante la temporada reproductiva) con nuestro conteo.....	37
<b>Tabla 6.</b> Estadísticos correspondientes a los 13 modelos de tendencia (modelos lineales generalizados) creados para cada colonia reproductiva de lobo marino de California del golfo de California.....	39
<b>Tabla 7.</b> Conteos obtenidos durante la temporada reproductiva de 2016 del lobo marino de California en cada colonia reproductiva del golfo de California, estimada por técnica de VANT y en embarcación (bote) en función de la clase de edad y sexo.....	45
<b>Tabla 8.</b> Porcentaje de variación en cada colonia de lobo marino de California, en comparación a la abundancia reportada por Szteren <i>et al.</i> (2006).....	52
<b>Tabla 9.</b> Estadísticos correspondientes a los modelos de tasa de encuentro (número de individuos cada 100 m lineales de costa) por tipo de sustrato para cada curva de probabilidad posterior.....	62

**RESUMEN.** El monitoreo de la abundancia de la población del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en el golfo de California ha sido intermitente y variable entre 1967–2016. La más reciente estimación de la abundancia se basó en conteos realizados entre 1997–2004, estimando 17,484 individuos y registrando una disminución del 20% de la población en comparación a conteos realizados entre 1981-1991. El objetivo del presente estudio fue estimar la abundancia poblacional durante el periodo reproductivo de 2016 en las 13 colonias reproductivas del golfo de California mediante dos técnicas, e inferir las preferencias de hábitat terrestre de *Z. californianus*. Los conteos obtenidos desde embarcación se compararon con los conteos históricos realizados con la misma técnica, mientras que los conteos obtenidos mediante fotografías aéreas tomadas por un dron se utilizaron para obtener una estimación de abundancia más precisa y menos subestimada. La población del lobo marino de California en el golfo estimada desde embarcación ha disminuido 45% durante los últimos 12-19 años (1997–2004). De acuerdo a los conteos aéreos y aunado a factores de corrección, la población del golfo se estimó en 20,651–22,806 individuos. Los conteos aéreos no son comparables con los conteos de embarcación. Además del declive, se encontraron cambios en la estructura poblacional. La proporción de crías fue 10% menor a la estimada previamente (de 25% a 15%), posiblemente indicando ciclos reproductivos menos exitosos. Es posible que esto se relacione a variaciones ambientales que conducen a cambios en la alimentación. *Z. californianus* tuvo mayor preferencia de hábitat a plataformas rocosas y conglomerados de rocas para reproducción, mientras que los cantos rodados fueron utilizados más frecuentemente para reposo. Se crearon mapas con puntos de alta tasa de encuentro en cada colonia, así como su tipo de uso (reproductivo, reposo, mixto, y de solteros). Esta información es útil para el manejo de zonas para pesca y turismo que se desarrollen cerca de las colonias reproductivas.

**ABSTRACT.** The monitoring of the abundance of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California has been intermittent and variable since 1967 to 2016. The last abundance estimate was based on counts made in 1997–2004, counting 17,484 individuals and finding a 20% decrease of the population in comparison to counts made in 1981–1991. The goal of this study was to estimate the abundance during the breeding season of 2016, in the 13 rookeries of the Gulf of California using two techniques, as well as to identify terrestrial habitats preferred by *Z. californianus*. Boat-based counts were used to compare the current abundance at each rookery to past boat-based estimates, while counts obtained from drone photographs were used to find a more accurate and less underestimated abundance estimate. The California sea lion population within the gulf has decreased 45% in the last 12-19 years (1997–2004), according to boat-based counts. According to drone counts with added correction factors, the gulf population was estimated of 20,651–22,806 individuals. Drone counts are not comparable to boat counts. Besides the decline, we found changes in the population structure. The proportion of pups was 10% lower to the one estimated previously (from 25% to 15%), possibly indicating less successful reproductive cycles. It is possible that these findings have a relation with environmental change that lead to changes in the foraging habits. *Z. californianus* had a higher preference for rocky platforms and rock conglomerates for breeding purposes, while cobblestones were more often used to rest. We created maps that show the locations of high encounter rates in each rookery, as well as the type of use for it (breeding, resting, mixed, and males haul-outs). This information is useful for the management of fishing and ecotourism activities that occur near the rookeries.

## INTRODUCCIÓN

El lobo marino de California (*Zalophus californianus*, Lesson, 1828) es uno de los pinnípedos que se distribuyen en México, junto al lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*), la foca de puerto (*Phoca vitulina*) y el elefante marino (*Mirounga angustirostris*). *Z. californianus* es la especie más abundante y la única de las cuatro especies que se distribuye y reproduce en el golfo de California (Maravilla-Chávez *et al.*, 2006). El lobo marino de California, al igual que todos los de la familia Otariidae, se diferencia de los fócidos principalmente por la presencia de pabellón auricular, una cintura pélvica funcional y desplazamiento en tierra con sus cuatro extremidades (Scheffer, 1958; William-Jameson & Peeters, 2004).

La especie se vio sujeta a una fuerte explotación humana, debido al interés por su carne, vibrisas y grasa. Esto ocurrió hasta la década de los setenta, a partir de la cual la especie fue protegida. Antes de este esfuerzo de protección, la abundancia del lobo marino de California en el golfo de California era menor a 10,000 individuos (Lluch, 1969; Orr *et al.*, 1970), pero comenzó a aumentar después de su protección, alcanzando alrededor de los 30,000 individuos en los noventa (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994; Szteren *et al.*, 2006). Algunos factores antropogénicos que en la actualidad pueden tener un impacto negativo en su tamaño poblacional son la interacción con pesquerías, particularmente los enmalles (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2003; Elorriaga-Verplancken, 2004) y la caza furtiva (Carretta *et al.*, 2013). Sin embargo, el impacto poblacional por parte de estos factores es considerado mínimo. Esto, aunado a la tendencia al incremento de abundancia que se ha observado en la población general ha resultado en que se clasifique como una especie de “menor preocupación” en el Libro Rojo Internacional (IUCN, 2018), mientras que en la legislación mexicana está listada como “sujeta a protección especial” de acuerdo a la NOM-059-ECOL-2001.

El lobo marino de California se distribuye en la costa oeste de Norte América, desde la península de Baja California y Baja California Sur en México, hasta

Columbia Británica en Canadá. Los avistamientos más extremos llegan incluso hasta el sureste de Alaska, y hasta el estado de Guerrero, e incluso hasta la frontera de México con Guatemala (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2014). Su rango de distribución reproductiva es más restringido, comprendiendo desde las costas del sur de California en Estados Unidos de América, hasta la península de Baja California y Baja California Sur, así como el golfo de California, en México (Peterson & Bartholomew, 1967). Con base en estudios de genética poblacional se ha inferido que la población del golfo de California, del Pacífico subtropical, y la que se distribuye frente a California se encuentran relativamente aisladas entre regiones (Maldonado *et al.*, 1995; Carretta *et al.*, 2003; Schramm *et al.*, 2009). La población de lobos marinos de California en el golfo de California se estructura genéticamente en tres grupos o unidades poblacionales: norte, centro y sur (Schramm, 2002).

En la región norte de la Corriente de California existen cuatro colonias reproductivas (islas de San Miguel, Santa Bárbara, San Nicolás y San Clemente), que en conjunto tienen una abundancia estimada entre 238,000 y 241,000 individuos. En el Pacífico Mexicano existen seis colonias reproductivas (islas Coronados, San Benito, Cedros, Asunción y Santa Margarita) con una población estimada de entre 75,000 y 85,000 individuos. Estas estimaciones se basaron en conteos realizados en la década de los noventa (Lowry y Maravilla-Chávez, 2005). En el golfo de California, existen 13 colonias reproductivas y aproximadamente 16 colonias de reposo. Las colonias reproductivas en el golfo de California son, de norte a sur: Roca Consag, San Jorge (colonias del norte), Lobos, Granito, Los Cantiles, Los Machos, El Partido, El Rasito, San Esteban, San Pedro Mártir (colonias del centro), San Pedro Nolasco, Farallón de San Ignacio y Los Islotes (colonias del sur). La última estimación de abundancia en el golfo de California se basó en conteos realizados durante la época reproductiva, que abarca de junio a agosto, entre 1997-2004 en estas 13 colonias. En total contabilizaron poco más de 17,000 individuos, sin incluir factores de corrección (Szteren *et al.*, 2006). Las colonias más abundantes fueron San Esteban, San Jorge e Isla Lobos, y las menos abundantes Farallón de San Ignacio, Los Islotes, Partido y Rasito. En comparación con conteos realizados entre 1981-1991

(Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994), Los Islotes fue la colonia con el mayor aumento en abundancia, seguida por Roca Consag y San Jorge. Los Cantiles, Isla Granito, Los Machos, El Partido y Farallón de San Ignacio disminuyeron en abundancia. Lobos, Nolasco, Rasito y San Pedro Mártir presentaron reducciones no significativas. En total, se reportó una disminución del 20% en comparación a la estimación previa (Aurioles-Gamboa y Zavala-González, 1994). Desde entonces no se han publicado resultados de monitoreos formales de abundancia formales de la población de *Z. californianus* en el golfo de California.

Existen dos tipos de colonias: reproductivas y de reposo. Las reproductivas se encuentran generalmente en islas o islotes a lo largo de su distribución donde los individuos de *Z. californianus* se congregan en tierra para reproducirse durante el verano donde ocurren las cópulas y nacimientos (Maravilla-Chávez *et al.*, 2006). En cambio, en las colonias de reposo se encuentran principalmente machos adultos y subadultos, así como juveniles y en ocasiones algunas hembras, sin que ocurran nacimientos (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994).

El lobo marino de California es una especie poligínica con acentuado dimorfismo sexual (Peterson & Bartholomew, 1967; Odell, 1975). Durante la época reproductiva, en una colonia reproductiva se encuentran zonas de territorios reproductivos, en donde los machos adultos territoriales pueden aparearse con 10-15 hembras adultas congregadas dentro de estos espacios. Los machos subadultos, que no establecen territorios, se suelen congregan en zonas aisladas de la zona reproductiva de la colonia. A estas zonas se les denomina “zonas de solteros”. A diferencia de las colonias del norte del golfo de California, en las colonias del sur los machos realizan migraciones donde los machos adultos son abundantes en verano, mientras que los subadultos son abundantes únicamente durante invierno y primavera (Aurioles-Gamboa *et al.*, 1983; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018).

El ciclo reproductivo del lobo marino de California es anual, con una gestación de nueve meses (Riedman, 1990). En la colonia más sureña, Los Islotes, los

nacimientos empiezan a finales de mayo y terminan a finales de julio, siendo el pico de nacimientos en la primera semana de junio. En cambio, en las colonias ubicadas en el centro y norte del golfo hay un cierto desfase; por ejemplo, en Los Cantiles, los nacimientos empiezan y terminan alrededor de dos semanas antes (García-Aguilar & Auriolles-Gamboa, 2003). El periodo de cópula abarca desde finales de julio hasta mediados de agosto (García-Aguilar & Auriolles-Gamboa, 2003). Las hembras adultas destetan gradualmente a sus crías después de una lactancia que típicamente dura un año, aunque puede llegar a durar dos años (Elorriaga-Verplancken, 2009). Durante la lactancia realizan viajes de alimentación de uno a tres días (García-Aguilar & Auriolles-Gamboa, 2003). Debido a lo anterior, las hembras adultas son residentes de la colonia a lo largo del año y suelen presentar filopatría (Peterson & Bartholomew, 1967; Odell, 1975; Auriolles-Gamboa *et al.*, 1983; Hernández-Camacho, 2001).

La especie se alimenta principalmente de varias especies de peces, y en menor medida de cefalópodos y crustáceos (Sweeney & Harvey, 2011). Su dieta varía a lo largo del año en función de la abundancia de sus presas, que a su vez varía en respuesta a las condiciones ambientales alrededor de las colonias (Lowry *et al.*, 1991; Kuhn & Costa 2014). Existe una segregación trófica en las distintas colonias del golfo de California. Para 10 de las colonias en el golfo, cinco especies de peces y una de calamar obtuvieron un índice de importancia > al 5%: el pez sapo (*Porichthys* spp.), la anchoveta del Pacífico (*Cetengraulis mysticetus*), la macarela del Pacífico (*Trachurus symmetricus*), la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*), la anchoveta del norte (*Engraulis mordax*), y el calamar (*Leachia* spp.; Porrás-Peters *et al.*, 2008). Otras especies que se encontraron en estudios de heces de lobos marinos en el sur de California son la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*), el pez roca (*Sebastes* spp.), y el calamar (*Loligo opalescens*) (Lowry *et al.*, 1991). Los cefalópodos tienden a ser más comunes en las dietas de las colonias al sur de la región de las Grandes Islas del golfo de California, aunque los peces siguen siendo sus principales presas (García-Rodríguez, 1999).

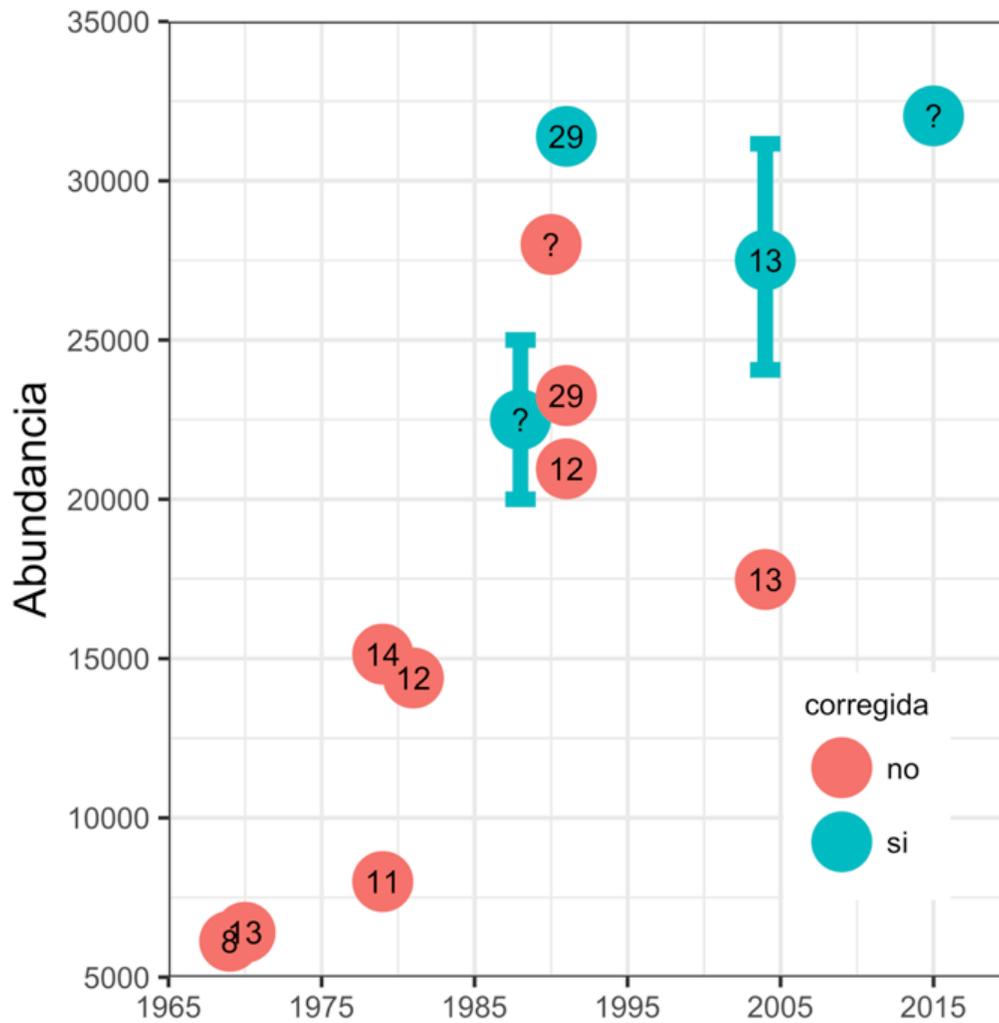
## ANTECEDENTES

### Abundancia histórica

En la primera estimación de abundancia de *Z. californianus* en el golfo de California se contaron 6,027 individuos en solo ocho colonias durante el verano de 1965 (Lluch, 1969). Es decir, durante el periodo reproductivo de esta especie, cuando se encuentra la mayor cantidad de individuos en tierra (García-Aguilar & Auriolles-Gamboa, 2003a; García-Aguilar & Auriolles-Gamboa, 2003b). Durante el verano de 1970, se censaron 13 colonias, con una estimación de 6,406 lobos marinos (Orr *et al.*, 1970). Casi una década después, en 1979, se hizo un censo durante la primavera, el cual incluyó 11 colonias estimando alrededor de 8,000 individuos (Auriolles-Gamboa, 1982). Al mismo tiempo, se estaban realizando los conteos más completos que se tendrían hasta ese momento, cubriendo parte de las temporadas reproductivas (junio y julio) de 1979 y 1981. En estos conteos se incluyeron 14 colonias con 15,140 y 12 colonias con 14,389 individuos (Le Boeuf *et al.*, 1983). Posteriormente a estas estimaciones se adicionaron abundancias estimadas en islas no consideradas en los conteos previos, así como ajustes por errores del método de conteo, resultando en un total estimado de 20,000-25,000 individuos en el golfo de California (Auriolles-Gamboa, 1988). En 1990, la población para el golfo ya era de aproximadamente 28,000 lobos marinos (Zavala-González, 1990; Auriolles-Gamboa & Zavala-González, 1994). La última estimación de abundancia en el golfo se basó en conteos realizados entre 1997-2004, los cuales, sin incluir ajustes por errores censales, estimaron poco más de 17,000 individuos en las 13 colonias reproductivas (Szteren *et al.*, 2006). Además, se concluyó que la población presentaba un decremento de un 20% respecto a la estimación previa de 28,000 individuos (Zavala-González, 1990; Auriolles-Gamboa & Zavala-González, 1994) (Fig. 1), con tendencias temporales variables en las distintas colonias.

En el presente estudio, con base en conteos históricos previamente publicados, se analizó la variación en la abundancia en comparación a Szteren *et al.*, (2006) y se describieron patrones de aumento o decremento poblacional para el golfo

y para cada una de las 13 colonias reproductivas.



**Figura 1.** Abundancia de lobos marinos de California (*Zalophus californianus*) en el golfo de California. Los valores sobre los puntos indican el número de colonias incluidas en los conteos. Los factores de corrección aplicados, en su caso, consistieron en duplicar los conteos de crías y en añadir un porcentaje variable de hembras para incluir aquellas que potencialmente estaban realizando viajes de alimentación.

## Técnicas de monitoreo

Las estimaciones de abundancia de *Z. californianus* en el golfo de California se han obtenido mediante conteos desde tierra y desde embarcación. El conteo desde embarcación es el método más usado (Aurioles-Gamboa *et al.*, 1983; Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994; Angell, 2014; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2015, 2016; Adame-Fernández *et al.*, 2017). Estos conteos consisten en rodear la colonia reproductiva en una embarcación con motor fuera de borda a unos 15–30 m de la orilla de la isla o islote, mientras un observador cuenta y categoriza, en voz alta, por clase de edad y sexo (con ayuda de binoculares) a los lobos marinos visibles y un auxiliar toma nota. Los conteos desde tierra consisten en acercarse caminando a los lobos marinos tratando de pasar desapercibidos, a una distancia de 15–20 m, y de igual manera que con los conteos desde embarcación, un observador cuenta y clasifica a todos los lobos marinos, mientras que otra persona anota los datos en una bitácora. Los conteos desde embarcación pueden traer consigo una subestimación, debido al ángulo disponible de observación, al relieve del sustrato y al comportamiento de los animales (Le Boeuf *et al.*, 1983; Adame-Fernández *et al.*, 2017). Los conteos desde tierra pueden ser disruptivos, ocasionando estampidas hacia el agua, complicando el conteo de individuos (Snyder *et al.*, 2001).

El uso de fotografías y videos tomadas por vehículos aéreos, tales como avionetas tripuladas, para monitorear a poblaciones de mamíferos marinos es una metodología que ha resultado ser eficaz debido al ángulo de observación (Koski *et al.*, 2009; Hodgson *et al.*, 2010; Watts & Perry, 2010; Perryman *et al.*, 2011; Martin *et al.*, 2012; Koski *et al.*, 2013; Goebel *et al.*, 2015; Linchant *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2016). También se ha utilizado para mastofauna terrestre (Vermeulen *et al.*, 2013; Mulero-Pázmány *et al.*, 2014) y aves (Sardà-Palomera *et al.*, 2012; Vas *et al.*, 2015; Chabot & Francis, 2016; McClelland *et al.*, 2016). Sin embargo, es un método costoso que involucra riesgo humano y que no permite tomar fotos en acantilados o terrenos rocosos. Sin embargo, el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) es relativamente económico y los riesgos son prácticamente inexistentes para humanos

y los lobos marinos. Además, a partir de los VANT es posible tomar fotografías de alta resolución a poca altura, cada conteo puede ser asociado a una coordenada geográfica precisa, su portabilidad permite realizar conteos en zonas aisladas y la subjetividad del observador es minimizada, ya que la abundancia y categorización de los individuos puede ser corroborada en más de una ocasión por distintas personas (Watts & Perry, 2010; Sardà-Palomera *et al.*, 2012; Hodgson *et al.*, 2013; Koski *et al.*, 2013). Diversos estudios han revisado el potencial e impacto de los VANT en el estudio de mamíferos marinos (Hodgson *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2016; Christiansen *et al.*, 2016; Hodgson & Koh, 2016; Fiori *et al.*, 2017; Colefax *et al.*, 2018).

Diversos estudios han utilizado imágenes aéreas para estimar la producción de crías de otáridos. Lowry (1999) utilizó fotografías tomadas desde una avioneta para censar lobos marinos de California (*Zalophus californianus*) de Isla San Nicolás en California, E.U.A., y comparó los conteos con los realizados desde tierra, concluyendo que los conteos con base en fotografías aéreas presentaron menos variabilidad entre observadores que entre los observadores que realizaron conteos en tierra. El mismo tipo de comparaciones se realizó entre conteos con fotografías aéreas y desde tierra para el lobo marino de Steller (*Eumetopias jubatus*), pero concluyeron que los conteos no eran estadísticamente diferentes entre sí (Westlake *et al.*, 1997; Snyder *et al.*, 2001). Las focas de Groenlandia (*Pagophilus groenlandicus*), las focas grises (*Halichoerus grypus*) y los lobos finos de Australia (*Arctocephalus pusillus doriferus*) también han sido sujetos de conteos aéreos desde principios de los noventa para conocer el estado de sus poblaciones, incluyendo la producción de crías (Stenson *et al.*, 2003; Kirkwood *et al.*, 2005; Bowen *et al.*, 2007). Recientemente, en la colonia más sureña de lobo marino de California, Los Islotes, se realizó un estudio que comparó conteos de *Z. Californianus* desde embarcación con conteos realizados con fotografías aéreas tomadas por un VANT (tipo dron). Este estudio determinó que los conteos totales de embarcación subestiman cerca de 30% en promedio de los conteos del VANT; mientras que en el caso de crías la subestimación puede ser de hasta 70% durante la época reproductiva debido a su pequeño tamaño y el terreno rocoso, en el cual las crías pasan fácilmente

desapercibidas (Adame-Fernández *et al.*, 2017). Otro estudio que realizó una comparación directa entre conteos obtenidos por un VANT y conteos tradicionales desde tierra encontró una subestimación de entre 20% y 32% para la estimación de crías del lobo fino de Australia realizadas con métodos tradicionales (McIntosh *et al.*, 2018).

## Hábitat terrestre

El lobo marino de California es una especie que se asocia a un hábitat terrestre para reproducirse y descansar (Bowen *et al.*, 2009). El golfo de California tiene más de 200 islas e islotes, sin embargo, el lobo marino de California se agrega solamente en 13 colonias reproductivas y 16 colonias de reposo (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994). Algunos estudios han investigado qué características hacen a estas islas o islotes particularmente atractivas para los lobos marinos *Z. Californianus*. Se ha sugerido que estos sitios que son atractivos porque ofrecen protección térmica y refugio a las crías (González-Suárez & Gerber, 2008; Arias-del-Razo *et al.*, 2016). La comparación de espacios ocupados y no ocupados por los lobos marinos en el golfo de California muestra que prefieren hábitats con piedras grandes (50–200 cm), con sustratos de color claro y líneas de costa convexas, las cuales ofrecen fácil y rápido acceso al agua. También se analizaron otros factores como orientación, presencia de pozas de agua, disponibilidad de área para descansar, tipo de sustrato, sombra e inclinación. González-Suárez & Gerber (2008) argumentaron que, por las altas temperaturas del aire (hasta 44°C en verano) en el golfo de California (SEMARNAT, 2000), es importante para estos animales encontrar sitios que ofrezcan protección térmica, como piedras de color claro que no se calienten tanto y piedras grandes que ofrezcan sombra y acceso fácil al agua. González-Suárez & Gerber (2008) dividieron los tipos de sustrato por diámetro del sustrato: arena (0-2 mm), grava (0.2-10 cm), canto rodado (10-50 cm), piedras grandes (50-200 cm) y bloques de rocas (>2 m).

Otro estudio analizó las preferencias de hábitat para cuatro especies de pinnípedos en la costa occidental de la península de Baja California (Arias-del-Razo *et al.*, 2016). Se consideró tipo de sustrato, presencia de pozas de agua, exposición a las olas y profundidad en los primeros 100 m después de la costa. El tipo de sustrato lo dividieron en playas de arena con poca inclinación, playas de canto rodado con poca inclinación, plataformas rocosas y piedras grandes con poca inclinación y acantilados. Ellos encontraron que los adultos de los lobos marinos de California y los lobos finos de Guadalupe utilizaron todos los tipos de sustrato, pero la

abundancia de crías fue baja en los acantilados. En contraste, la abundancia de crías fue alta en zonas protegidas del oleaje (plataformas rocosas, piedras grandes y playas). Sin embargo, en el golfo de California la protección del oleaje no fue un factor evidente para la selección de hábitat de los lobos marinos (González-Suárez & Gerber, 2008), debido a que el oleaje en el golfo es considerablemente menor al de las costas del Pacífico.

Este estudio analizó la preferencia de hábitat terrestre en las colonias reproductivas de *Z. Californianus* del golfo de California, dividiendo las preferencias de acuerdo a dos clases de edad y sexo (crías y machos subadultos) representativas de dos tipos de uso; crías para zonas reproductivas y machos subadultos para zonas de solteros. Se determinaron zonas de alta tasa de encuentro y su relación con el tipo de sustrato de la zona.

## HIPÓTESIS

Bajo la premisa de que la distribución de *Z. Californianus* en el golfo de California presentó un declive entre 1997 y 2004 del 20% en comparación a la estimación previa realizada en la década de los ochenta se plantea la hipótesis de que la población habitante del golfo de California sigue disminuyendo con diferente variabilidad dependiendo de la colonia.

Sabiendo que los lobos marinos de California buscan sustratos que ofrecen protección de la temperatura alta, del oleaje, y de depredadores, las zonas con sustrato de conglomerado de rocas serán las ocupadas por territorios reproductivos; es decir, alta abundancia de crías, ya que este sustrato ofrece sombra, pozas de agua y refugio. En cambio, las agregaciones de machos solteros están en zonas como los cantos rodados, las cuales no ofrecen protección pero favorece acceso al agua.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El monitoreo de las tendencias poblacionales de mamíferos marinos es clave para la conservación y el manejo responsable de ellos y las zonas donde habitan (Hodgson *et al.*, 2013; Linchant *et al.*, 2015). Esto es especialmente relevante para poblaciones genéticamente aisladas, como lo es la población de *Z. Californianus* en el golfo de California (Carretta *et al.*, 2013; Szteren *et al.*, 2006; Schramm *et al.*, 2009).

La importancia de estimar la abundancia de lobos marinos de California a través del tiempo y espacio de la manera más posiblemente precisa, se basa en que estos han sido descritos como bioindicadores ecológicos del ecosistema marino, debido a que son sensibles a cambios ambientales (Trillmich & Limberger, 1985; Trillmich & Ono, 1991; Le Boeuf *et al.*, 2002; Aguirre & Tabor, 2004; Moore, 2008; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016). Esto confiere a *Z. Californianus* un rol de especie centinela (Le Boeuf *et al.*, 2002), especialmente al contar con una posición trófica alta, ser abundante, ampliamente distribuido y longevo (Aguirre & Tabor, 2004; Moore, 2008). Las crías del lobo marino de California son particularmente vulnerables y altamente dependientes del éxito de los viajes de alimentación de sus madres. Las crías proveen un parámetro clave para entender la dinámica poblacional de la especie, así como el estado del ambiente circundante y cambios a lo largo del tiempo (Lowry, 1999; Snyder *et al.*, 2001; Kirkwood *et al.*, 2005; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016). El último estudio que estimó la abundancia para el golfo de California fue realizado entre 1997–2004 utilizando el método tradicional de conteo desde embarcación (Szteren *et al.*, 2006). Este método no es tan preciso en comparación con la técnica de toma de imágenes aéreas, especialmente en el caso de las crías (Adame-Fernández *et al.*, 2017).

El lobo marino de California es considerado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza como una especie de “preocupación menor” (IUCN, 2018). Sin embargo, considerando que desde el 2006 se describió un decremento del 20% en la población del golfo de California (Szteren *et al.*, 2006), y que desde

entonces no se ha estimado su abundancia, es importante conocer el estado de la población. De esta manera, habrá más información al momento de definir si se requiera un nuevo estado de conservación para esta especie en esta región, especialmente al aislamiento genético de la población del golfo (Schramm *et al.*, 2009).

El hábitat terrestre del lobo marino de California ha sido previamente investigado en el golfo de California y en el Pacífico mexicano (González-Suárez, 2008; Arias-del-Razo *et al.*, 2016), sin embargo, estos dos estudios no investigaron si la preferencia de hábitat es similar entre colonias o entre clases de edad y sexo. Conocer la distribución por tipo de hábitat terrestre permite identificar las zonas de reproducción en las colonias. De esta manera, estas zonas pueden ser sujetas a una protección especial para evitar interacciones negativas con actividades de pesca o de ecoturismo.

## **OBJETIVOS**

### General

Determinar el estado actual de la abundancia y tipo de hábitat terrestre de la población de lobo marino de California en el golfo de California.

### Particulares

Estimar la abundancia actual y comparar con la tendencia histórica de la abundancia de lobo marino de California en las 13 colonias reproductivas dentro del golfo de California.

Determinar las preferencias de tipo de sustrato en el hábitat terrestre para la especie (total, crías, y machos subadultos), así como el tipo de uso que se le da a las zonas de alta tasa de encuentro en cada colonia.

## ÁREA DE ESTUDIO

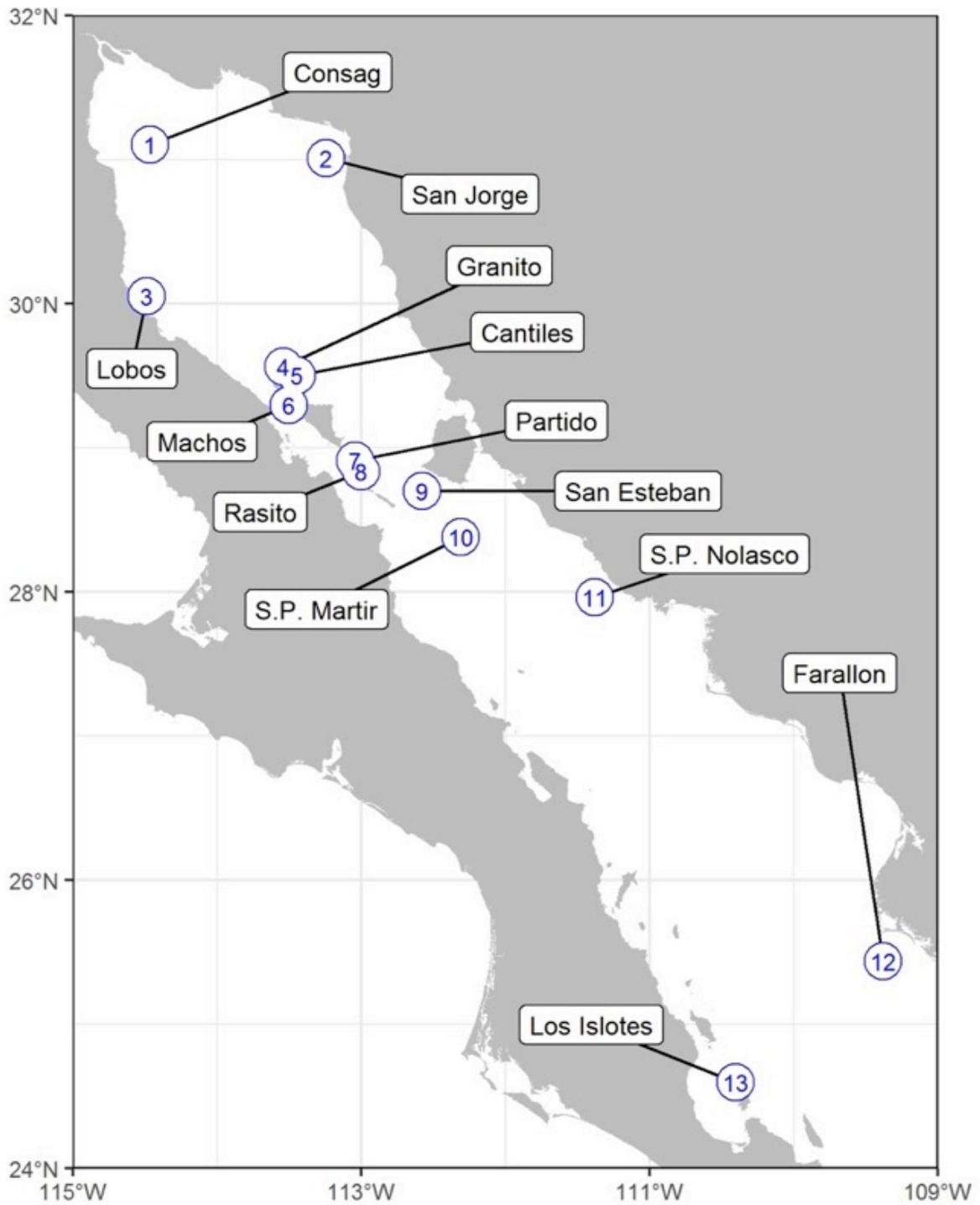
### El golfo de California

El golfo de California es un elongado mar semi-cerrado caracterizado por su alta biodiversidad y moderadas tasas de productividad primaria causadas por su topografía, clima cálido y sistemas de surgencias y mareas (Wilkinson *et al.*, 2009). El golfo se localiza en el Pacífico noreste, entre los 20° y 32° de latitud norte, incluyendo una zona de transición localizada en la boca del golfo, en su región sur. En su lado oeste se encuentra la península de Baja California (Baja California y Baja California Sur) y en su lado este los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit en México. Tiene una longitud de 1,400 km, y un ancho que varía entre 150-200 km. La región norte es relativamente somera extendiéndose sobre la plataforma continental, mientras que la región sur es más profunda. En el sur de la región de las Grandes Islas (Ángel de la Guarda y Tiburón), la plataforma continental oeste es angosta y rocosa, mientras que la del este es más ancha en la región de Sonora y angosta de nuevo en las costas de Sinaloa (Roden, 1958; Álvarez-Borrego, 1983; Lavín & Marinone, 2003). Durante el invierno, la temperatura superficial del mar ronda entre los 13 y 21°C, mientras que en verano entre los 28 y 31°C. La costa este se caracteriza por presentar eventos de surgencias durante invierno y primavera, y en la costa oeste las surgencias ocurren durante el verano, debido al cambio de dirección y velocidad de los vientos. La zona de las Grandes Islas también es una zona rica en surgencias inducidas por forzamiento de los vientos, mezcla por corrientes de mareas y circulación termo-halina (Álvarez-Borrego, 2002). La mayor parte del año la circulación en el golfo gira hacia la izquierda, entrando agua por la costa este y saliendo por la costa oeste (Wilkinson *et al.*, 2009). Durante el invierno, las surgencias en la costa continental son causadas por los vientos del noroeste, mientras que en el invierno se han detectado estos procesos en la costa peninsular debido a vientos del sureste, aunque estas son más débiles debido a que el agua está más estratificada en esta temporada (Roden, 1964; Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1999). Las intensas surgencias de invierno incrementan las biomásas

fitoplanctónicas que son fuente de alimento para numerosas especies de zooplancton que a su vez son presas de depredadores de peces, reptiles, aves y mamíferos marinos (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991).

### Las 13 colonias reproductivas de lobos marinos de California del golfo de California

En el golfo de California existen 13 colonias reproductivas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) ubicadas en cuatro regiones con características ambientales y ecológicas distintivas (Szteren *et al.*, 2006; Szteren & Aurióles-Gamboa, 2011). En el grupo golfo norte existen tres colonias: Rocas Consag, San Jorge y Lobos. En el grupo Ángel de la Guarda son cuatro colonias: Granito, Los Cantiles, Los Machos y El Partido. En el grupo golfo central se engloba a cuatro colonias: El Rasito, San Esteban, San Pedro Mártir y San Pedro Nolasco. Por último, en el grupo del golfo sur incluyen dos colonias: Farallón de San Ignacio y Los Islotes (Fig. 2; Tabla 1).



**Figura 2.** Mapa del área de estudio: golfo de California, donde se localizan 13 colonias reproductivas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*).

**Tabla 1.** Información de ubicación y área de las colonias reproductivas del golfo de California, listadas de norte a sur.

<b>Colonia</b>	<b>Posición geográfica</b>	<b>Línea de costa (km)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
Rocas Consag	31.106819° -114.464047°	0.60	0.02
San Jorge	31.012669° -113.244203°	5.55	0.21
Lobos	30.051106° -114.488932°	2.16	0.21
Granito	29.564582° -113.539447°	3.1	0.19
Los Cantiles	29.502654° -113.443671°	3.57	NA
Los Machos	29.294648° -113.500875°	3.28	NA
El Partido	28.911436° -113.043436°	1.45	0.047
El Rasito	28.836598° -112.999130°	0.39	0.007
San Esteban	28.701134° -112.577367°	30	39.80
San Pedro Mártir	28.381027° -112.308375°	9.82	2.73
San Pedro Nolasco	27.966011° -111.378241°	13	3.36
Farallón de San Ignacio	25.436870° -109.377865°	2.66	0.16
Los Islotes	24.598754° -110.402151°	1.28	0.034

## **METODOLOGÍA**

### Obtención de datos

El trabajo en las colonias de lobo marino de California del golfo de California se realizó con el permiso de investigación 2016 (SGPA/DGVS/00050/16), el cual fue emitido por la Dirección General de Vida Silvestre de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), así como con la autorización de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) de las diferentes zonas que corresponden a las loberas.

Durante el periodo reproductivo (verano) de 2016 se recorrieron 12 de las 13 colonias reproductivas de lobos marinos del California en el golfo de California, como parte de un crucero de investigación interdisciplinario, a bordo del B/I Narval, entre el 26 de junio y el 12 de julio. El crucero inició en La Paz, BCS, y se finalizó en San Felipe, BC. Para la colonia restante, Farallón de San Ignacio, se realizó una salida de campo adicional del 12 al 16 de septiembre. En las primeras 12 colonias, los conteos se realizaron durante la época reproductiva, ya que es cuando más lobos marinos permanecen en la colonia, ya sea por el cuidado de las hembras adultas a sus crías, o por los territorios reproductivos en caso de los machos adultos. A partir de finales de mayo y principios de junio comienzan a darse los primeros nacimientos de la temporada, por lo que para finales de junio y julio, la mayoría de los nacimientos ya ocurrió (García-Aguilar y Aurióles-Gamboa, 2003a).

En cada una de las colonias se realizó un conteo mediante fotografías aéreas y uno desde una embarcación pequeña con motor fuera de borda, simultáneamente. Ambos grupos de observadores realizaron su conteo (u obtención de fotografías) desde la misma embarcación, al mismo tiempo y sobre la misma área de la isla o islote. Todos los conteos se realizaron en la mañana cuando la marea era generalmente baja, a excepción de en Los Islotes, en donde por motivos de logística se realizó después de mediodía (Tabla 2). La consistencia en la hora de muestreo se

hizo con el objetivo de minimizar el efecto de la marea en el número total de animales por variaciones en el área terrestre disponible; también se considera que en la mañana es más probable tener representada la mayor parte de la colonia, ya que es el momento en el que los lobos marinos de California tienden a volver de sus viajes de alimentación (Aurioles-Gamboa 1988; Williams-Jameson & Peeters, 2004). Ambas técnicas de conteo contaron y clasificaron por clase de edad y sexo, las cuales son: macho adulto, macho subadulto, hembra adulta, juvenil, crías, e individuos no determinados (Peterson & Bartholomew, 1967; Lluch, 1969; Orr *et al.*, 1970; Le Boeuf *et al.*, 1983). Las características morfológicas que permiten diferenciar a las clases se pueden consultar en la Tabla 3.

**Tabla 2.** Lista de las colonias reproductivas (listadas de norte a sur) de lobos marinos de California donde se llevaron a cabo los conteos, así como la fecha, hora y duración del conteo.

Colonia reproductiva	Fecha	Hora	Duración (h)	# fotos	Altura del VANT (m)
Rocas Consag	11/07/2016	6:10 am	1:00	72	20
San Jorge	9/07/2016	8:30 am	1:30	416	22
Lobos	8/07/2016	9:50 am	1:00	250	36
Granito	6/07/2016	6:30 am	1:00	169	23
Los Cantiles	7/07/2016	7:30 am	0:55	150	26
Los Machos	5/07/2016	6:00 am	0:40	107	23
El Partido	3/07/2016	7:50 am	0:30	104	27
El Rasito	3/07/2016	5:50 am	0:15	28	21
San Esteban	1-2/07/2016	7:30 y 7:55 am	2:30 y 2:00	982	23
San Pedro Mártir	29/06/2016	6:30 am	1:40	306	18
San Pedro Nolasco	28/06/2016	6:24 am	1:45	447	16
Farallón de San Ignacio	13/09/2016	8:34 am	0:55	153	18
Los Islotes	26/06/2016	2:50 pm	0:50	139	16

**Tabla 3.** Características morfológicas de las distintas clases de edad y sexo del lobo marino de California.

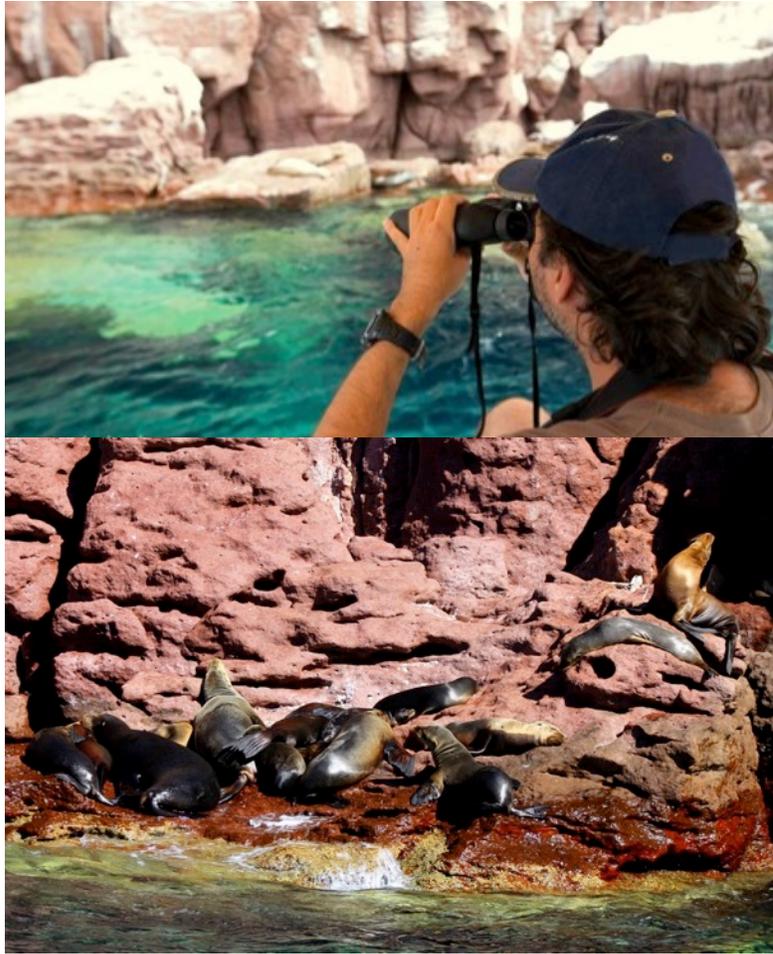
Clase	Características	Foto
Macho adulto	<p>2 –2.5 m de longitud.                      Pronunciada cresta sagital.                      Cuerpo y cuello ancho.                      Coloración oscura del cuerpo, pelaje claro en el rostro.                      &gt; 9 años de edad.</p>	
Macho subadulto	<p>1.4 y 1.6 m de longitud.                      Cresta sagital y cuello ancho menos desarrollado que en machos adultos.                      5–8 años de edad.</p>	
Hembra adulta	<p>1.4–1.6 m de longitud.                      Ausencia de cresta sagital.                      Coloración clara (café claro y dorado).                      Cuello delgado y cara pequeña y afilada.                      &gt; 5 años de edad.</p>	

**Continuación Tabla 3.** Características morfológicas de las distintas clases de edad y sexo del lobo marino de California.

Clase	Características	Foto
Juvenil	<p>1– 1.3 m de longitud.                      &gt;1 a 4 años.                      Cabeza grande en proporción al cuerpo.</p>	
Cría	<p>Individuos recién nacidos a &lt;1 año.                      Pelaje oscuro al nacer y pelaje oscuro más claro &gt;5 meses por la muda.                      Cabeza grande y redondeada con respecto al cuerpo.                      70–80 cm longitud, 8 kg.</p>	
No determinado	<p>Individuos que no se logren clasificar en los conteos</p>	

### *Conteos desde embarcación*

Los conteos desde embarcación consistieron en rodear las colonias reproductivas desde una embarcación pequeña (panga) con motor fuera de borda. La embarcación mantuvo la menor distancia posible de la colonia sin alterar el comportamiento de los lobos marinos y dependiendo de las condiciones ambientales (viento, oleaje y formaciones rocosas). En general, se mantuvo una distancia entre 15-35 m. Todos los conteos fueron realizados por el mismo observador, con el fin de evitar sesgos de experiencia entre diferentes observadores. El observador usó binoculares (Celestron 10x42) para contar y categorizar a los lobos marinos por clases de edad y sexo (Fig 3). El observador dictó a otra persona los individuos que iba contabilizando, para que este los fuera anotando.



**Figura 3.** Fotografía del observador contando lobos marinos con ayuda de binoculares (superior). Ejemplo de lo que el observador visualiza desde la embarcación durante sus conteos (inferior).

## Conteos aéreos

Se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT) para obtener fotografías aéreas de la línea de costa de las 13 colonias reproductivas. El VANT que se utilizó fue el modelo DJI Phantom 3 Advanced (Fig. 4), el cual cuenta con una cámara de 12 megapíxeles y tiene una autonomía de entre 15 a 20 min por batería. Aunque el VANT puede alejarse del control remoto hasta casi 2 km, la transmisión de imagen a la pantalla del control remoto tiene un alcance de 300 m, dependiendo de las características del área de vuelo. Además de la imagen en vivo, en la pantalla se puede visualizar información como batería restante, distancia del VANT al control remoto y altura. Para mejorar la calidad de las fotos se puede controlar el brillo de la imagen. Además, a la cámara se le puede instalar un lente polarizado que minimiza el brillo en el agua causado por el reflejo del sol. El ángulo de la cámara se puede modificar de modo que sea vertical, inclinado u horizontal. El VANT resiste hasta 20 nudos de viento y puede elevarse hasta 120 m sobre el nivel del mar.



**Figura 4.** El vehículo aéreo no tripulado utilizado en este estudio: DJI Phantom 3 Advanced, y su control remoto.

Para obtener las fotografías, un equipo compuesto por un piloto y un auxiliar tripularon una embarcación pequeña, donde también se encontraba el equipo de conteo desde embarcación. Desde esta, el auxiliar sostuvo el VANT sobre su

cabeza, con los brazos extendidos, mientras el piloto lo prendía y despegaba utilizando un sistema de control remoto; se recuperó de la misma manera (Fig. 5). Posterior al despegue, el piloto voló el VANT, posicionándolo sobre la línea de costa y tomando fotografías. Debido a la autonomía de aproximadamente 15–20 min del VANT, fue necesario regresarlo a la embarcación para realizar un cambio de batería en varias ocasiones durante los muestreos. Se cubrió el 100% de la línea de costa de las 13 colonias reproductivas (76 km; Tabla 1). Las fotografías tienen un traslape de alrededor del 25%, el cual sirve para evitar la pérdida de lobos marinos o conteos dobles. Las fotografías se tomaron desde una altura entre 6 y 40 m, dependiendo de la respuesta de evasión o no perturbación inicial de los lobos marinos. Algunos estudios en pinnípedos no encontraron reacción por parte de estos cuando el VANT se posicionaba a una altura mayor de 23 m (Perryman *et al.*, 2011; Goebel *et al.*, 2015). Sin embargo, el estudio más reciente (Adame-Fernández *et al.*, 2017), que trabajó con el lobo marino de California en Los Islotes, no detectó reacción cuando el VANT se posicionó sobre los 15 m de altura. Aún así, para asegurar la mínima perturbación a las colonias, en todas se posicionó el VANT a 40 m de altura, donde nunca hubo respuesta por parte de los lobos marinos, y se fue bajando lo más posible sin obtener una reacción de evasión. En promedio, las fotografías se tomaron a 22 m de altura, pero esto fue distinto en cada colonia (Tabla 2). En aquellas donde la altura fue mayor, los lobos marinos fueron más sensibles al ruido producido por el VANT. La resolución de las fotografías es ideal abajo de los 25 m; sin embargo, incluso a 40 m fue posible obtener fotografías con suficiente calidad para los conteos e identificación de sexo y clase de edad.

Las fotografías fueron analizadas posteriormente para determinar el conteo de lobos marinos por clase de edad y sexo: macho adulto, macho subadulto, hembra adulta, juvenil, cría y no determinado (Tabla 3). Los conteos fueron realizados manualmente y posteriormente revisados por el contador desde embarcación, con el objetivo de minimizar el error de categorización por parte del observador. Para contabilizar y categorizar a los lobos marinos se utilizó, en el programa de Adobe

Photoshop, la herramienta de Count Tool. Esta permite marcar y contabilizar distintos grupos en una fotografía, como se visualiza en la Fig. 6.

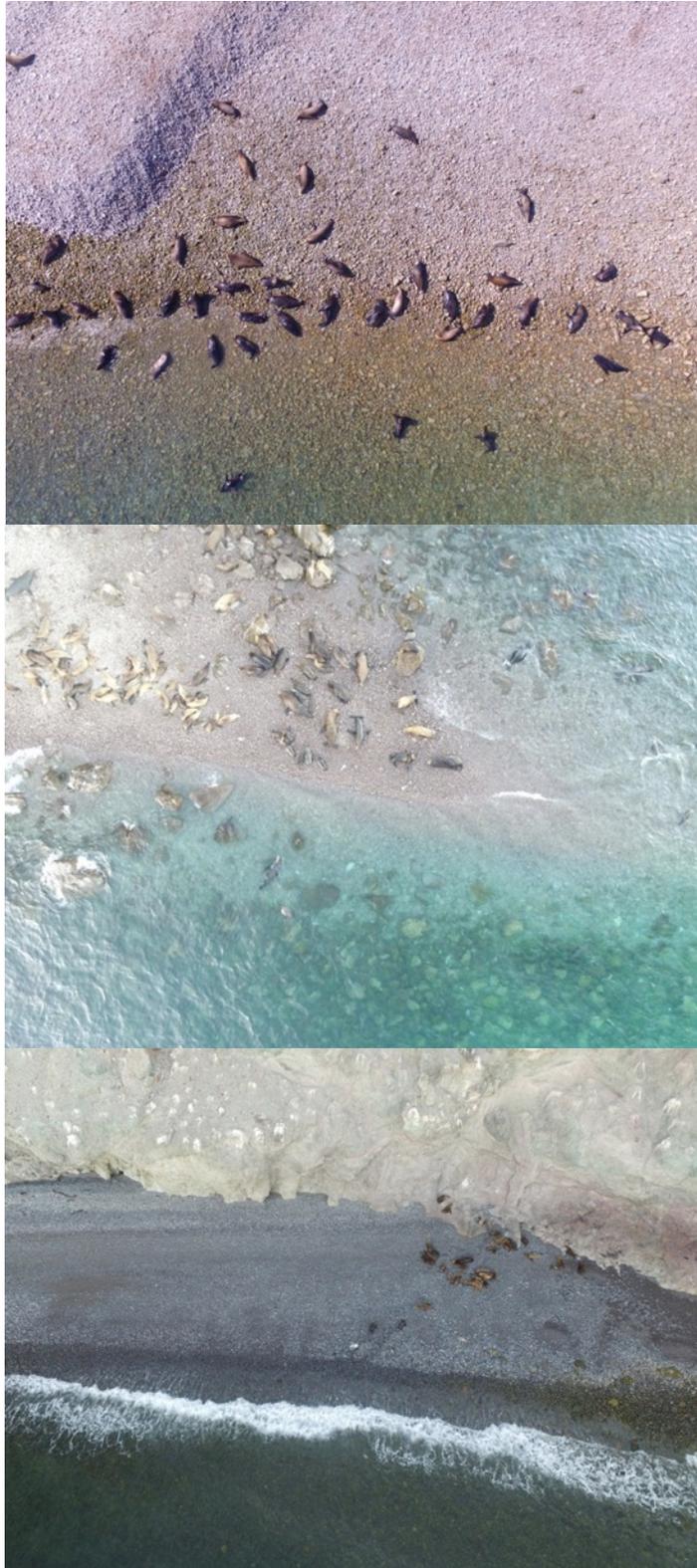


**Figura 5.** Fotografía del equipo del vehículo aéreo no tripulado, realizando un despegue para la toma de fotografías, mediante las cuales se realiza el conteo.

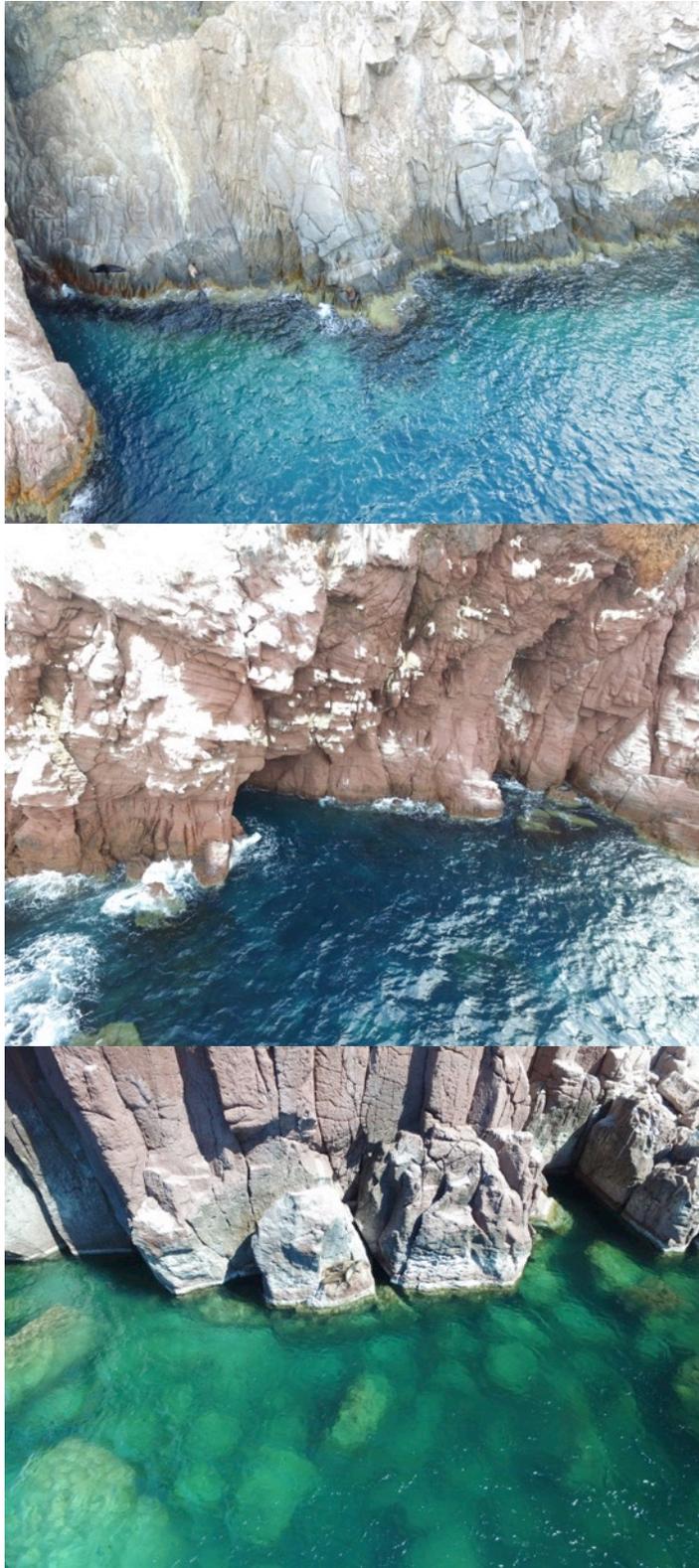


**Figura 6.** Ejemplo del funcionamiento de la herramienta CountTool en Photoshop, con la cual se contabilizaron los lobos marinos de California en las fotografías aéreas. Fotografía tomada en Los Islotes. En azul se marcan a los machos subadultos, en rosa a las hembras, en verde a los juveniles y en amarillo a las crías.

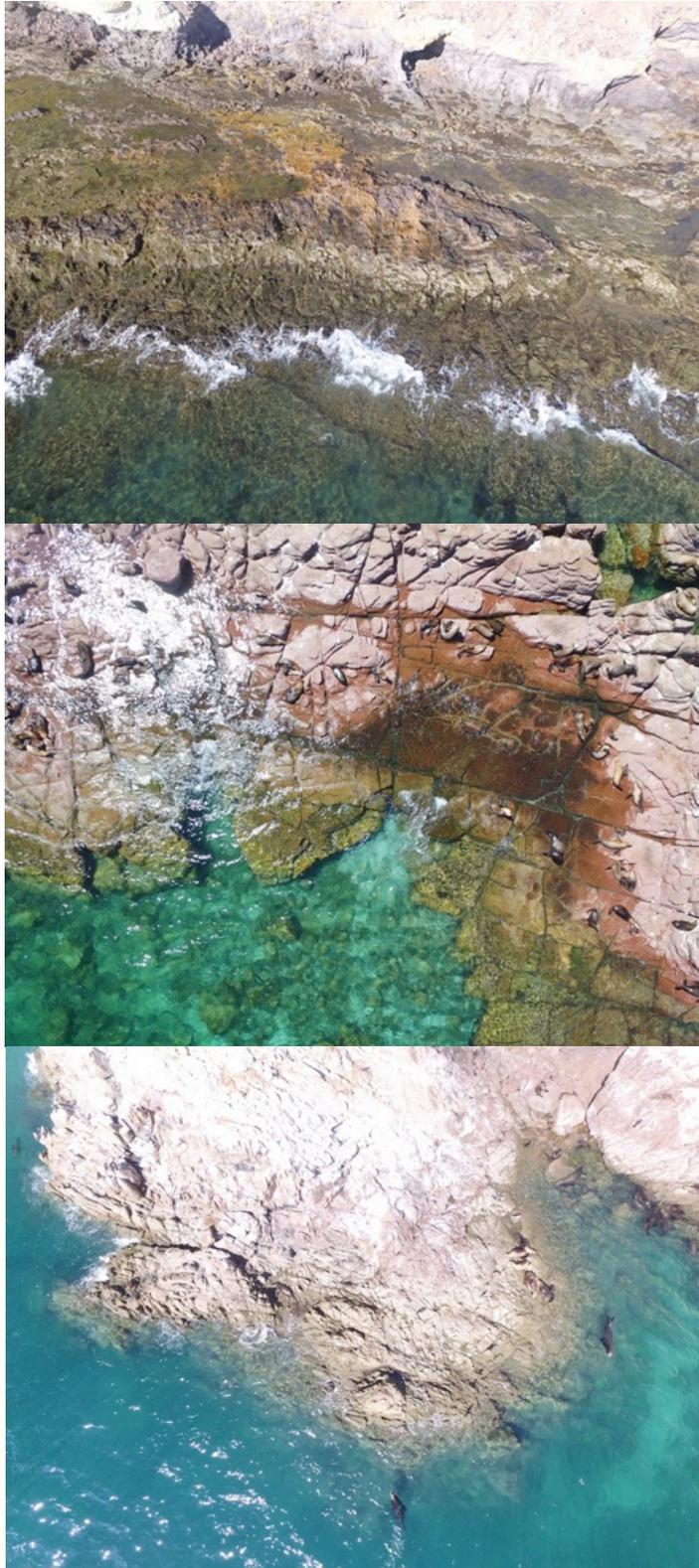
A cada fotografía se le asignó un tipo de sustrato: playa de canto rodado o arena (Fig. 7), acantilado (Fig. 8), plataforma rocosa (Fig. 9; Arias-del-Razo *et al.*, 2016) o conglomerado de rocas (Fig. 10; Tabla 4). El tipo de sustrato “conglomerado de rocas” no había sido descrito previamente para hábitat terrestre del lobo marino de California, ya que se incluía en la categoría de plataforma rocosa. Considero importante separar los conglomerados de rocas de las plataformas rocosas debido a que los conglomerados de rocas proveen más refugio, sombra y protección del oleaje que las plataformas rocosas.



**Figura 7.** Ejemplos de fotografías de canto rodado. A) Isla San Jorge. B) Roca Consag. C) Los Machos.



**Figura 8.** Ejemplos de fotografías de acantilados. A) San Pedro Nolasco. B) San Pedro Mártir. C) Los Islotes.



**Figura 9.** Ejemplos de fotografías de plataforma rocosa. A) Los Cantiles. B) Los Islotes. C) Isla San Jorge.



**Figura 10.** Ejemplos de fotografías de conglomerado de rocas. A) Roca Consag. B) Isla San Jorge. C) Los Islotes

Utilizando el paquete de “exifr” (Dunnington y Harvey, 2016) en el programa de RStudio fue posible hacer una extracción de metadatos de cada foto, por lo que además del conteo por clase de edad y sexo y tipo de sustrato, se tiene posición geográfica (coordenadas), altura, hora y fecha para cada fotografía tomada con el VANT.

**Tabla 4.** Descripción de los distintos tipos de sustrato asignados (Arias-del-Razo, 2011).

<b>Tipo de sustrato</b>	<b>Descripción</b>
Canto rodado y arena	Playas conformadas por arena o rocas sueltas susceptibles a ser transportadas por el oleaje
Plataforma rocosa	Rocas planas de gran tamaño, con poca pendiente, de manera que proveen un sustrato plano para reposar.
Acantilado	Sustratos de roca sólida con pendientes muy elevadas, a veces verticales.
Conglomerado de rocas	Antes incluidos en la plataforma rocosa, se asignó este sustrato a playas de rocas de gran tamaño que no son fácilmente removidas por el oleaje (mayores a canto rodado), o a zonas de derrumbes con rocas grandes o medianas.

## Análisis de datos

### *Abundancia en la temporada reproductiva de 2016*

La abundancia actual se estimó utilizando los conteos obtenidos de las fotografías aéreas, ya que estos tienen una mayor precisión que los obtenidos desde embarcación (Adame-Fernández *et al.*, 2017). Habitualmente, a los conteos de lobos marinos de California se les añaden dos factores de corrección: un 50% adicional al número de crías, el cual pretende incluir aquellas crías que no se pudieron visualizar desde la embarcación (Le Boeuf *et al.*, 1983) y un rango de 23–54% adicional al número de hembras, que supone incluir a las hembras que se encuentran en viajes de alimentación durante la temporada reproductiva (Bonnell & Ford, 1987). El primero se calculó comparando conteos realizados desde una embarcación con los conteos obtenidos desde tierra. Es un factor de corrección con poco sustento estadístico que se estimó empíricamente en trabajo de campo (Le Boeuf *et al.*, 1983). Este factor de corrección no es necesario para los conteos realizados utilizando un vehículo aéreo no tripulado, por lo que no se aplicó. El segundo es un factor que originalmente fue descrito para una colonia reproductiva de California, EUA, sugiriendo que un 23% de los individuos se encuentran en viajes de alimentación a principios de la temporada reproductiva, y un 54% a finales de la temporada. Debido a que no se puede asumir que esta proporción de hembras en viajes de alimentación se mantenga igual en las colonias del golfo de California se ha utilizado como un rango (Szteren *et al.*, 2006). En este estudio, para mantener los datos comparables con estudios previos y futuros, tampoco se aplicó este factor de corrección. Adicionalmente se calcularon las proporciones de clases de edad para cada colonia y para la totalidad del golfo.

### *Tendencia de abundancia histórica*

La descripción de las tendencia de la abundancia a través del tiempo se realizó con base en los conteos obtenidos desde embarcación debido a que estos son comparables con los conteos previamente publicados. Para cada colonia, se hizo una línea de tiempo con una tendencia, la cual se basa en conteos históricos existentes (publicados) para cada colonia y el conteo del presente estudio. En la Tabla 5 se muestra cuáles son los conteos históricos comparables que se utilizaron para cada colonia. Para que los conteos fueran comparables se seleccionaron aquellos realizados en verano (época reproductiva), desde una embarcación pequeña y sin factores de corrección. No todos los estudios definen en qué mes de la temporada reproductiva realizaron su conteo, por lo que es posible que algunos conteos se hayan realizado más temprano o más tarde en la temporada reproductiva respecto a otros estudios.

Los modelos de tendencia fueron modelos lineales generalizados, con un intervalo de confianza del 95%. Se seleccionó el modelo con mejor ajuste para cada colonia con base en el menor valor del criterio de información Akaike (AIC), evitando que el número de parámetros fuera mayor que las observaciones. Para cada colonia se probaron regresiones lineales simples y polinómicas de segundo y tercer orden (Tabla 6).

**Tabla 5.** Lista de las colonias reproductivas (listadas de norte a sur) de lobos marinos de California y sus conteos históricos comparables (conteos desde embarcación y durante la temporada reproductiva) con nuestro conteo.

<b>Colonia reproductiva</b>	<b>Referencia y (año del conteo)</b>
Rocas Consag	Le Boeuf <i>et al.</i> , 1983 (1981)
	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2002)
	Le Boeuf <i>et al.</i> , 1983 (1979 y 1981)
	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2004)
San Jorge	Aurioles y Zavala, 1994 (1985)
	Maravilla-Chávez <i>et al.</i> , 2006 (1990)
	Aurioles-Gamboa & Le Boeuf, 1991 (1979 y 1983)
Lobos	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2004)
	Aurioles & Zavala, 1994 (1984)
	Le Boeuf <i>et al.</i> , 1983 (1979)
Granito	Maravilla-Chávez <i>et al.</i> , 2012 (1990)
	Aurioles y Zavala, 1994 (1991)
	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2004)
	Le Boeuf <i>et al.</i> , 1983 (1979 y 1981)
Los Cantiles	Maravilla-Chávez <i>et al.</i> , 2006 (1990)
	Aurioles & Zavala, 1994 (1991)
	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2004)
	Le Boeuf <i>et al.</i> , 1983 (1979)
Los Machos	Maravilla-Chávez <i>et al.</i> , 2006 (1990)
	Aurioles & Zavala, 1994 (1990)
	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2004)
El Partido	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2004)
	Maravilla-Chávez <i>et al.</i> , 2012 (1990)
El Rasito	Aurioles & Zavala, 1994 (1991)
	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2004)
	Le Boeuf <i>et al.</i> , 1983 (1979)
San Esteban	Maravilla-Chávez <i>et al.</i> , 2012 (1990)
	Aurioles & Zavala, 1994 (1990)
	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2004)

**Continuación Tabla 5.** Lista de las colonias reproductivas (listadas de norte a sur) de lobos marinos de California y sus conteos históricos comparables (conteos desde embarcación y durante la temporada reproductiva) con nuestro conteo.

<b>Colonia reproductiva</b>	<b>Referencia y (año del conteo)</b>
San Pedro Mártir	Le Boeuf <i>et al.</i> , 1983 (1979)
	Maravilla-Chávez <i>et al.</i> , 2012 (1990)
	Aurioles & Zavala, 1994 (1991)
	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2004)
San Pedro Nolasco	Le Boeuf <i>et al.</i> , 1983 (1979 y 1981)
	Aurioles-Gamboa & Le Boeuf, 1991 (1983 y 1984)
	Aurioles y Zavala, 1994 (1991)
	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2004)
Farallón de San Ignacio	Maravilla-Chávez <i>et al.</i> , 2012 (1990)
	Le Boeuf <i>et al.</i> , 1983 (1981)
	Aurioles-Gamboa & Le Boeuf, 1991 (1982 y 1983)
	Szteren <i>et al.</i> , 2006 (2004)
Los Islotes	Le Boeuf <i>et al.</i> , 1983 (1979)
	Aurioles-Gamboa & Le Boeuf, 1991 (1978-1985)
	Aurioles & Zavala, 1994 (1993)
	Maravilla-Chávez <i>et al.</i> , 2012 (1990)
	Adame <i>et al.</i> , 2017 (2012–2015)

**Tabla 6.** Estadísticos correspondientes a los 13 modelos de tendencia (modelos lineales generalizados) creados para cada colonia reproductiva de lobo marino de California del golfo de California.

<b>Colonia</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Grados de libertad efectivos</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Consag	1	1	0.21
San Jorge	2	5	0.86
Lobos	1	1	0.91
Granito	2	2	0.82
Cantiles	2	3	0.98
Machos	1	3	0.81
Partido	1	NA	NA
Rasito	2	1	0.98
San Esteban	3	1	0.93
San Pedro Mártir	2	2	0.95
San Pedro	2	5	0.68
Nolasco			
San Ignacio	1	3	0.57
Farallón			
Los Islotes	1	17	0.88

### *Comparación de técnicas*

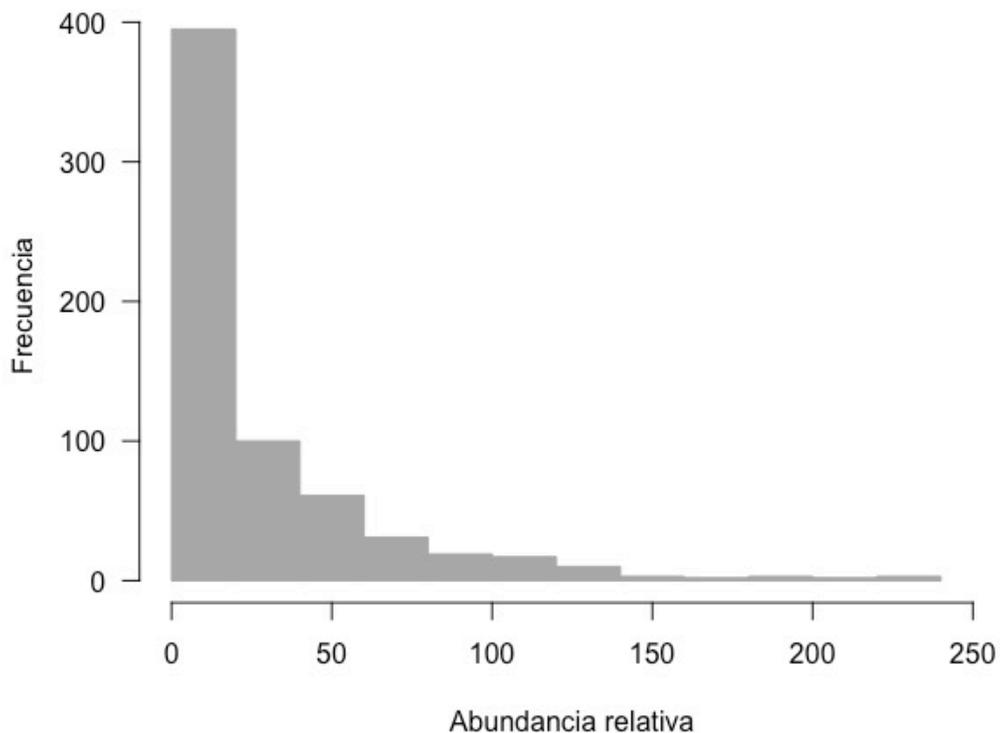
Se comparó la abundancia encontrada para el total de individuos en cada colonia y para cada clase de edad y sexo en todo el golfo. Se calculó la subestimación de los conteos desde embarcación asumiendo que los conteos obtenidos mediante el VANT representaron el 100% de los lobos marinos de California encontrados en cada colonia reproductiva al momento del conteo, con base en el conocimiento de que con esta técnica se contabiliza un número de individuos con mayor precisión (Adame *et al.*, 2017). La variación en la subestimación de la abundancia de cada clase de edad y sexo se visualizó y describió mediante un análisis de caja de bigotes.

## *Hábitat terrestre*

A cada fotografía del VANT se le asignó un tipo de sustrato, así como una posición geográfica obtenida de los metadatos de cada fotografía. Con la herramienta de *Crea un polígono* y de *Crea una ruta* en Google Earth se obtuvo un mapa para cada colonia. Estos mapas se hicieron a la mayor resolución posible y se exportaron como archivos *kml*, mismos que fueron importados a Rstudio (R CoreTeam, 2017). Un archivo *kml* es un listado de coordenadas, que son aquellos puntos que al unirse forman el polígono. Cada archivo *kml* se dividió en subsecciones de aproximadamente 100 m, las cuales llamamos unidades de muestreo. Esto se hizo creando un código en RStudio, el cual utiliza el listado de coordenadas de cada archivo *kml* para determinar de qué punto a qué punto se suma una distancia aproximada a 100 m. Posteriormente, se le asignó un punto medio a cada unidad de muestreo, el cual se usó para determinar qué fotos corresponden a cada unidad de muestreo (con base en la distancia más corta de la posición geográfica de la foto al punto medio de una unidad de muestreo). Después, se definió el tipo de sustrato dominante observado en las fotos, aplicando los criterios que se muestran en la Tabla 4. De esta manera, se contó con unidades de muestreo de alrededor de 100 m en cada colonia, con un conteo por clase de edad y sexo y con un tipo de sustrato dominante. Para obtener la tasa de encuentro por unidad de muestreo se dividieron los individuos contabilizados entre la longitud de la unidad de muestreo y se multiplicó por 100 para estandarizar la tasa de encuentro (número de individuos por 100 m de línea de costa).

El modelo de probabilidad de tasa de encuentro por tipo de sustrato incluyó únicamente las unidades de muestreo donde hubo al menos un individuo correspondiente a la clase o las clases analizadas en cada modelo. El modelo que se aplicó está basado en los supuestos de la con estadística bayesiana, utilizando Rstudio por medio de código en lenguaje JAGS. Para calcular la probabilidad de tasa de encuentro (abundancia relativa y precisión) se utilizó una distribución Log-normal; se realizó un previo examen de la distribución de frecuencias de la variable, que mostró un sesgo hacia valores bajos positivos (Fig. 11). Dado que no existen

estudios sobre la probabilidad de tasa de encuentro por tipo de sustrato, la información previa fue no informativa (i.e. distribución uniforme). La probabilidad posterior se elevó exponencialmente para obtener las tasas de encuentro en la unidad de conteo original. El análisis contó un 1,000,000 iteraciones en 5 cadenas de Markov Monte Carlo, con una fase de calentamiento del 10% inicial y un filtrado (*thinning*) cada 10 iteraciones, para un tamaño final de muestra ( $n_{\text{eff}}$ ) que se puede consultar en la Tabla 9.



**Figura 11.** Histograma de frecuencia de las observaciones de la abundancia relativa de lobo marino de California en transectos de 100 m en las colonias reproductivas del golfo de California.

Este análisis se realizó para el total de individuos, para crías y para machos subadultos. Esto se hizo para conocer qué sustratos son usados por la especie para reproducirse (crías) y qué sustratos para reposar (machos subadultos). Posteriormente se seleccionaron las zonas con la mayor tasa de encuentro.

A partir de este trabajo se generaron criterios propios con base en la biología de la especie (características de las zonas de territorios y de descanso), la cual fue descrita en secciones previas. Esta categorización de zonas podría presentar un cierto margen de error; sin embargo, los criterios aplicados (y su probable error) fueron consistentes para comparar dentro y entre islas. Una zona se consideró de alta tasa de encuentro solo cuando la tasa de encuentro total fue  $> 50$  individuos por 100 m de costa. Posteriormente se clasificaron como zonas reproductivas, zonas de solteros, zonas indefinidas y zonas mixtas. Una zona se consideró reproductiva cuando, dentro de ella, las crías fueron la clase con mayor tasa de encuentro, o en caso de que hayan sido las hembras, que al menos un tercio de ellas tuviera cría. Una zona se consideró mixta cuando cumplió algunos de los criterios utilizados para zonas reproductivas, pero además, el número total de machos superó un tercio del total de hembras. Esto ocurrió cuando una unidad de muestreo englobó tanto una zona con alta presencia de machos, como una con alta presencia de crías y hembras. Una zona se consideró indefinida cuando las crías no presentaron una abundancia mayor a al menos un tercio del número de hembras adultas. Sin embargo, hubo una alta abundancia de hembras, juveniles, y en ocasiones machos. Una zona de solteros fue aquella en la que la abundancia de machos superó la de cualquier otra clase. En estas zonas, la clase con la segunda mayor abundancia fueron siempre los juveniles. Esta información se relacionó al tipo de sustrato y se realizaron mapas para visualizar las zonas de alta tasa de encuentro. En estos se reporta la tasa de encuentro total para la zona.

## RESULTADOS

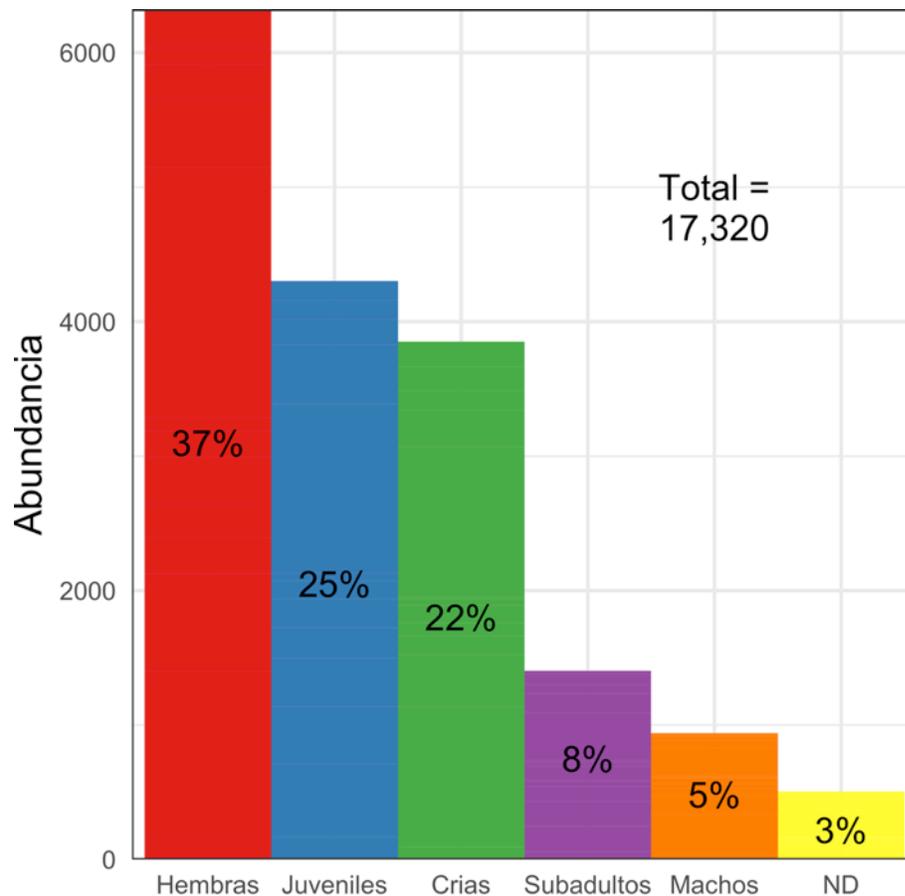
Se obtuvieron 3,323 fotografías, las cuales se analizaron mediante conteo manual doble, extracción de metadatos y creación de base de datos a una velocidad aproximada de 20 fotos por hora. También se obtuvo un conteo *in situ* durante los conteos desde embarcación. El conteo por cada técnica, para cada colonia, por clase de edad y sexo de lobo marino de California se expone en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Conteos obtenidos durante la temporada reproductiva de 2016 del lobo marino de California en cada colonia reproductiva del golfo de California, estimada por técnica de VANT y en embarcación (bote) en función de la clase de edad y sexo.

	<b>Machos adultos</b>		<b>Machos subadultos</b>		<b>Hembras adultas</b>		<b>Juveniles</b>		<b>Crías</b>		<b>No determinado</b>		<b>Total</b>	
	VANT	Bote	VANT	Bote	VANT	Bote	VANT	Bote	VANT	Bote	VANT	Bote	VANT	Bote
<b>Rocas Consag</b>	33	13	58	22	130	130	164	80	91	22	10	12	486	279
<b>San Jorge</b>	302	182	188	199	1268	705	547	246	1043	357	37	82	3385	1771
<b>Lobos</b>	139	85	185	153	725	361	424	111	388	101	40	22	1901	833
<b>Granito</b>	58	30	112	87	269	282	360	169	140	76	29	12	968	656
<b>Los Cantiles</b>	28	18	43	24	252	177	225	69	95	52	24	12	667	352
<b>Los Machos</b>	41	21	106	118	349	212	216	120	132	40	13	22	857	533
<b>El Partido</b>	9	18	27	14	194	161	138	79	49	32	13	8	430	312
<b>El Rasito</b>	8	4	13	9	95	57	60	66	15	11	3	6	194	153
<b>San Esteban</b>	209	89	358	317	1861	1336	1254	560	1114	467	195	123	4991	2892
<b>San Pedro Mártir</b>	57	16	143	91	517	282	439	146	274	86	75	47	1505	668
<b>San Pedro Nolasco</b>	33	13	66	38	255	94	191	231	147	39	29	18	721	433
<b>Farallón de San Ignacio</b>	5	3	79	37	121	88	141	38	174	73	24	10	544	249
<b>Los Islotes</b>	17	18	24	43	285	238	143	109	188	86	14	12	671	506
<b>Total</b>	939	510	1402	1152	6321	4123	4302	2024	3850	1442	506	386	17320	9637

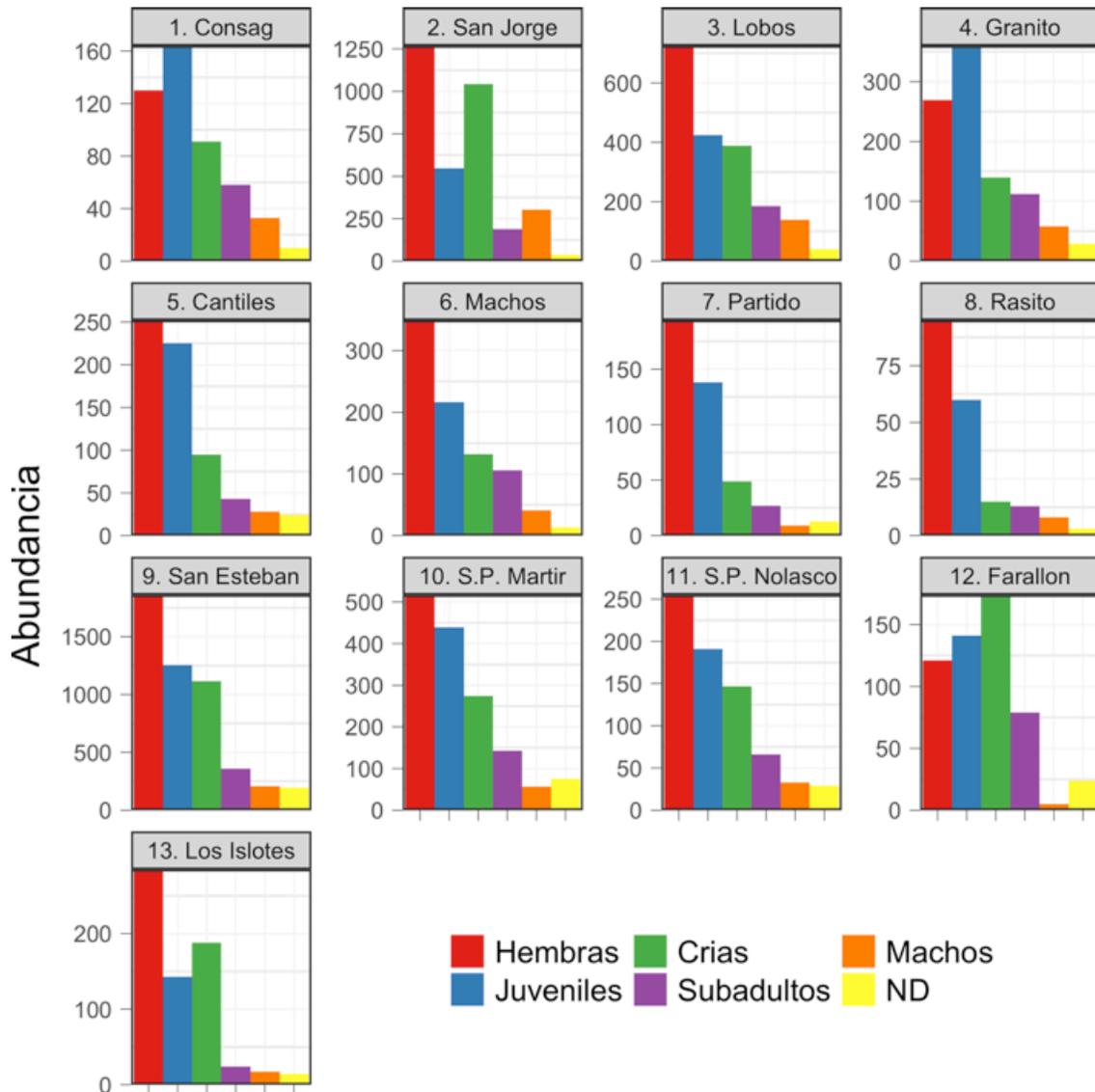
### Abundancia en la temporada reproductiva 2016

Mediante fotografías aéreas, se contó un total de 17,320 lobos marinos de California en las 13 colonias reproductivas en el golfo de California. La clase de edad y sexo más abundante fue la de hembras adultas (37%), seguida de las crías (25%), juveniles (22%), machos subadultos (8%) y machos adultos (5%). Un 3% del total de los lobos marinos contabilizados no se pudo asignar a una clase de edad y sexo, quedando categorizados como individuos no determinados (Fig. 12).



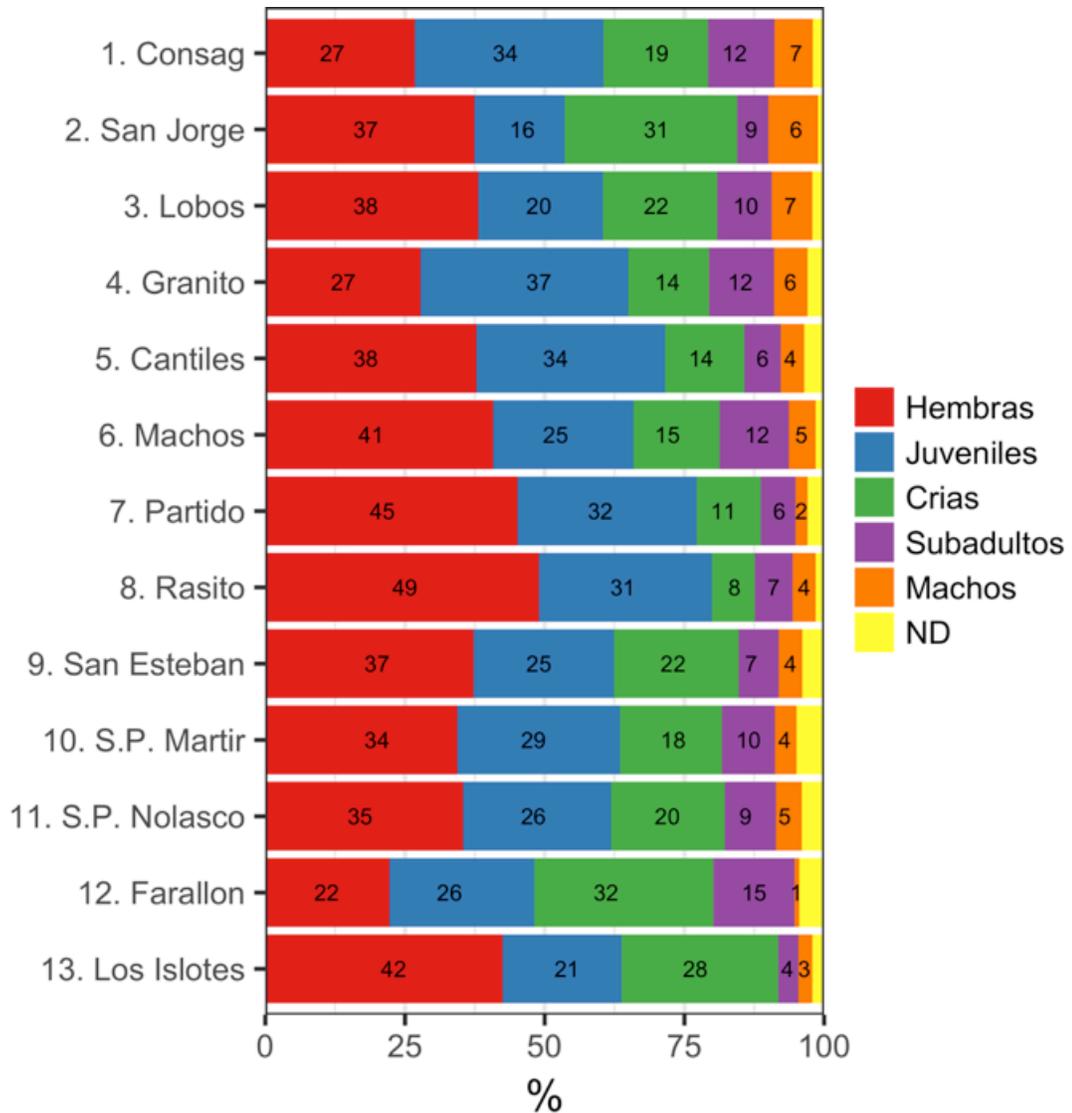
**Figura 12.** Abundancia total del lobo marino de California en las 13 colonias del golfo de California, registradas mediante la técnica del VANT durante la temporada reproductiva de 2016 (ND = individuos no determinados).

Las abundancias del 2016 del lobo marino de California en cada una de sus 13 colonias reproductivas muestran que las cuatro colonias más abundantes fueron San Esteban (4,991), San Jorge (3,385), isla Lobos (1,901) y San Pedro Mártir (1,505), representando en conjunto el 67% de la abundancia dentro del golfo. Estas colonias fueron seguidas por Granito (968), Los Machos (857), San Pedro Nolasco (721), Los Islotes (671), Los Cantiles (667), Farallón de San Ignacio (544), Rocas Consag (468), El Partido (430) y El Rasito (194; Fig. 13).



**Figura 13.** Abundancia durante la temporada reproductiva 2016 del lobo marino de California en cada colonia reproductiva, por clases de edad y sexo.

Las proporciones de clase de edad y sexo encontradas en cada colonia muestran que la proporción de crías en todas las colonias varió entre el 8% y el 32% con respecto al total para esa localidad (Fig. 14). Las colonias que se encuentran en la zona alrededor de las grandes islas (Granito, Los Cantiles, Los Machos, Partido y Rasito) tuvieron las proporciones de crías más bajas (8–14%) observadas en el golfo. Las colonias que presentaron una mayor proporción de crías fueron Farallón de San Ignacio (32%), San Jorge (31%) y Los Islotes (28%). Las hembras adultas fueron la clase de edad más abundante (22–49% del total de cada colonia) en todas las colonias con excepción de Consag, Granito y Farallón, donde los juveniles o las crías fueron la clase más abundante. Se observó un aparente gradiente latitudinal en la proporción de machos adultos, decreciendo de norte (Consag y Lobos: 7%) a sur (Farallón de San Ignacio y Los Islotes: 1–3%). Aunque Farallón de San Ignacio tuvo <1% de machos adultos, tuvo la mayor proporción de machos subadultos (14%). Los Islotes tuvo la menor proporción de machos subadultos (<4%). La proporción de juveniles varió entre colonias con un mínimo en San Jorge (16%) y un máximo en Granito (37%).

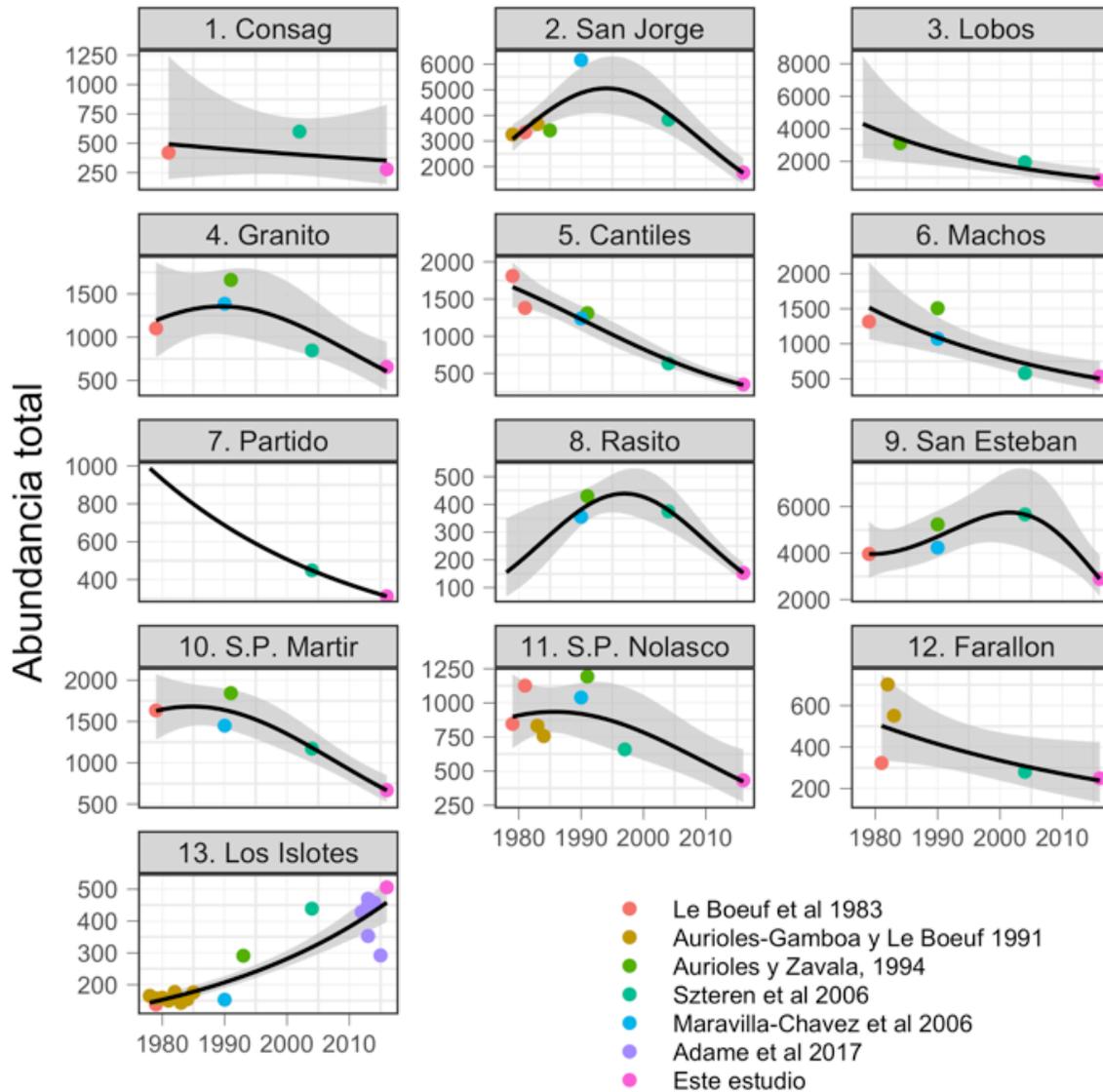


**Figura 14.** Proporción redondeada de clases de edad y sexo de lobos marinos de California encontrada en cada colonia reproductiva en el golfo de California en verano de 2016.

## Variación histórica de lobos marinos de California en el golfo de California

La variación histórica se comparó utilizando únicamente los conteos realizados desde embarcación. Como se puede visualizar en las líneas de tiempo de la Fig. 15, todas las colonias, con excepción de Los Islotes, van en decremento. En comparación con la última estimación de la abundancia poblacional de cada colonia (Szteren *et al.*, 2006), estas han presentado una tasa de variación distinta entre sí (Tabla 8). Los estadísticos correspondientes a cada modelo de tendencia (Fig. 15) se encuentran en la Tabla 6.

Algunas colonias presentan una tendencia al declive desde el inicio de la serie de tiempo (1980s); otras comenzaron mostraron esta disminución más recientemente (1990s) y principios de la década 2000.



**Figura 15.** Variación histórica del lobo marino de California en las 13 colonias reproductivas del golfo de California (1980–2016). Los modelos son del tipo lineal generalizado, de primer, segundo o tercer orden, y con una intervalo de confianza del 95%.

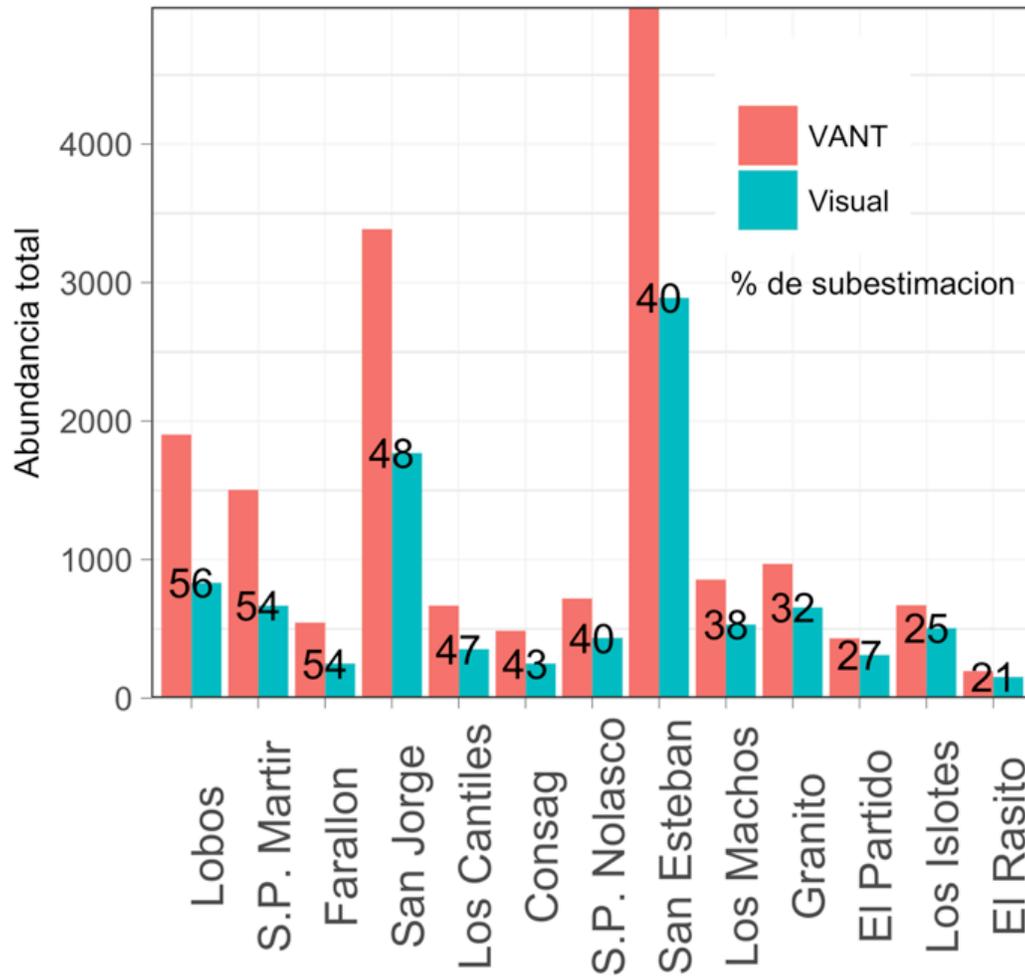
De acuerdo a las tasas anuales de cambio (Tabla 8), las colonias que disminuyeron con mayor velocidad fueron las del norte (isla Lobos, San Jorge y, Rocas Consag) y algunas del centro (El Rasito, San Esteban, Los Cantiles, San Pedro Mártir y El Partido). La tasa anual (2004–2016) de variación para el golfo de California fue de -3.74% por año.

**Tabla 8.** Porcentaje de variación en cada colonia de lobo marino de California, en comparación a la abundancia reportada por Szteren *et al.* (2006).

<b>Colonia</b>	<b>Porcentaje de variación (%)</b>	<b>Tasa anual de variación (%)</b>
Rocas Consag	-53.50	-3.81
San Jorge	-53.80	-4.48
Lobos	-57.28	-4.77
Granito	-22.64	-1.88
Los Cantiles	-44.48	-3.70
Los Machos	-8.10	-0.67
El Partido	-30.51	-2.54
El Rasito	-59.20	-4.93
San Esteban	-48.96	-4.08
San Pedro Mártir	-42.95	-3.57
San Pedro Nolasco	-34.29	-1.80
Farallón de San Ignacio	-11.07	-0.92
Los Islotes	15.26	1.24
<b>Total</b>	<b>-44.88</b>	<b>-3.74</b>

## Comparación de técnicas de conteo de lobos marinos de California del golfo de California

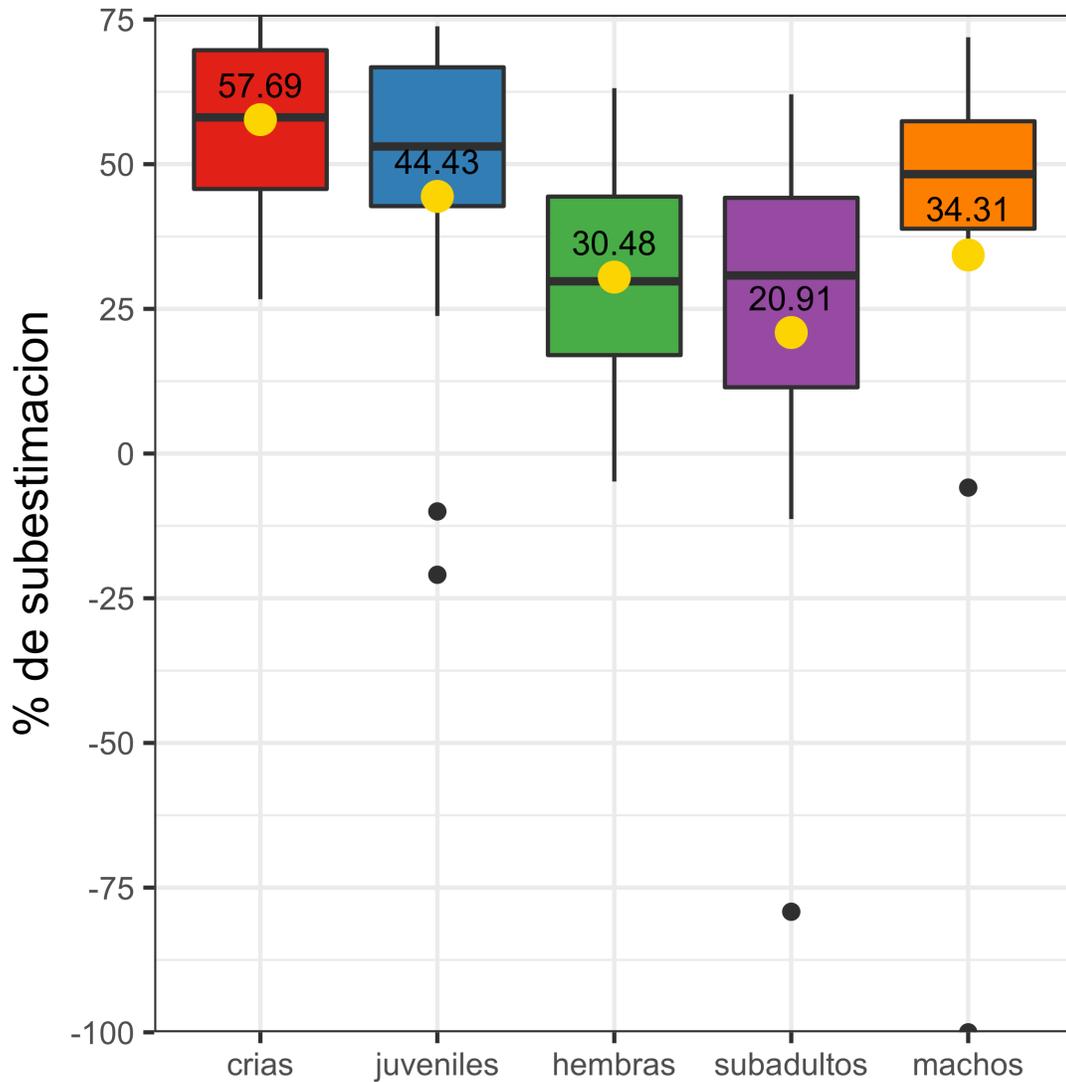
Se contó un total de 9,637 lobos marinos de California con el método de embarcación. En comparación al conteo obtenido de las fotografías aéreas tomadas por el VANT esto es una subestimación del 43.9%. La abundancia y porcentaje de subestimación estimada desde embarcación y mediante las fotografías aéreas con un VANT en cada colonia varió por colonias (Fig. 16). La menor subestimación se estimó en El Rasito (21%) y la mayor en isla Lobos (56%). El promedio de la subestimación de todas las colonias fue de 40%.



**Figura 16.** Comparación de la abundancia obtenida en cada colonia reproductiva del golfo de California mediante dos técnicas: desde embarcación y mediante fotografías aéreas tomadas por un VANT en verano de 2016. Las colonias se enlistan en orden de mayor a menor porcentaje de subestimación por parte de los conteos desde embarcación.

El grado de subestimación varió entre clases de edad y sexo (Fig. 17) y por técnicas de conteo. Las crías fueron la clase de edad más subestimada en promedio (57.7%), seguida de juveniles (44.4%), machos adultos (34.3%), hembras (30.5%) y machos subadultos (20.9%). Las crías fueron la única clase de la que no se obtuvieron conteos más altos desde la embarcación que mediante el VANT. En los conteos de machos adultos y subadultos se encontraron los valores más altos de

sobrestimación usando la técnica de conteo desde la embarcación. Esto también ocurrió con menores valores para las clases de juveniles y hembras adultas (Fig. 17).



**Figura 17.** Variabilidad de las subestimaciones observadas en cada clase de edad y sexo de las 13 colonias. La línea dentro de la caja es la mediana, la caja engloba el primer y tercer cuartil, el valor numérico sobre el punto amarillo representa el promedio, el bigote llega hasta el valor más alto o bajo sin superar el rango intercuartil multiplicado por 1.5, los datos individuales restantes son datos extremos.

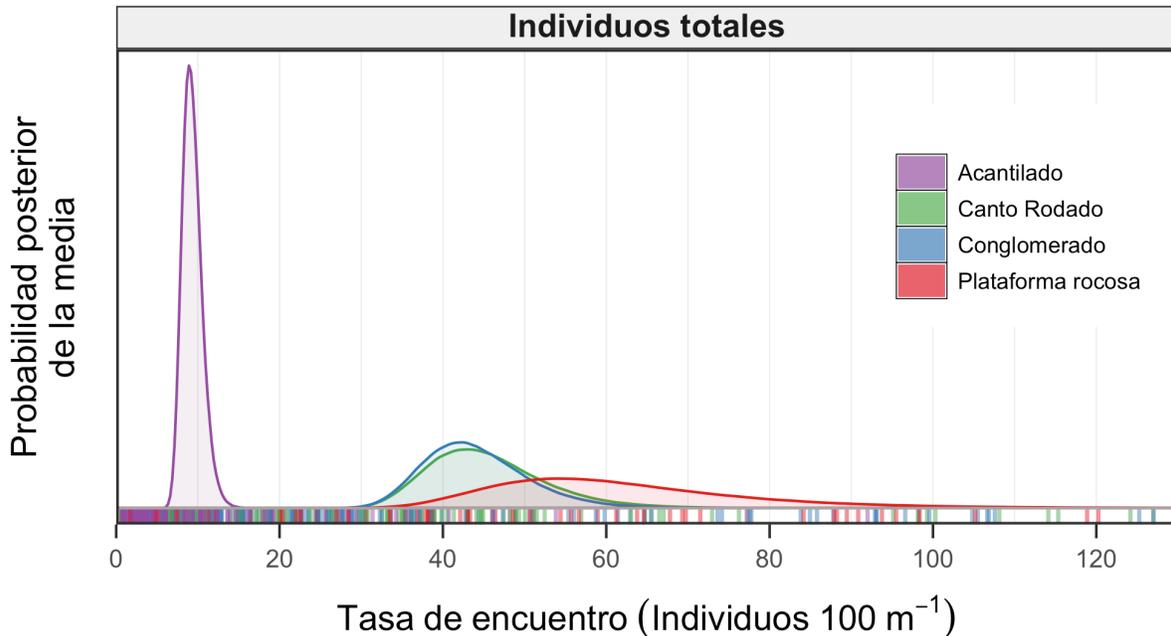
El orden de abundancia de las colonias fue similar a la estimada por el método de embarcación y con VANT: San Esteban, San Jorge, Lobos (suman el 64% del total), Granito, Los Machos, Los Islotes, San Pedro Nolasco, Los Cantiles, El Partido, Rocas Consag, Farallón de San Ignacio y El Rasito (suman el 34% restante). Las proporciones de abundancia por clases de edad y sexo también fueron similares entre métodos de conteo: hembras adultas (43%), juveniles (21%), crías (15%), machos subadultos (12%), machos adultos (5%) e individuos sin determinar (4%). Las crías fueron la clase de edad cuya proporción varió sustancialmente de 15% con método de embarcación a 25% con el método de VANT.

## Hábitat terrestre de lobos marinos de California del golfo de California

La línea de costa se dividió en transectos de 118.8 m en promedio (desviación estándar: 21.3 m). A cada uno de estos transectos se le llamó unidad de muestreo. A cada unidad de muestreo se le asignó un tipo de sustrato dominante con base en el tipo de sustrato asignado a cada fotografía correspondiente a cada unidad de muestro. En orden de mayor presencia, el 38.6% de los transectos a lo largo de las diferentes islas tuvo un sustrato predominante de acantilados, 27.2% de conglomerado de rocas, 20.4% de canto rodado, y 13% de plataforma rocosa. No se encontraron los cuatro tipos de sustratos en todas las islas. Por ejemplo, Consag solo presentó acantilados y conglomerados de roca, El Rasito solo presentó acantilados y plataformas rocosas, Farallón no presentó cantos rodados, Granito presento solamente conglomerados de roca y cantos rodados, Los Islotes no persentó cantos rodados, y en Lobos solo hubo conglomerados de roca y cantos rodados. Las demás colonias (Cantiles, Machos, San Pedro Nolasco, San Pedro Mártir, San Esteban, Partido, San Jorge) presentaron transectos con sustratos dominantes de los cuatro tipos de sustratos (Anexo 1).

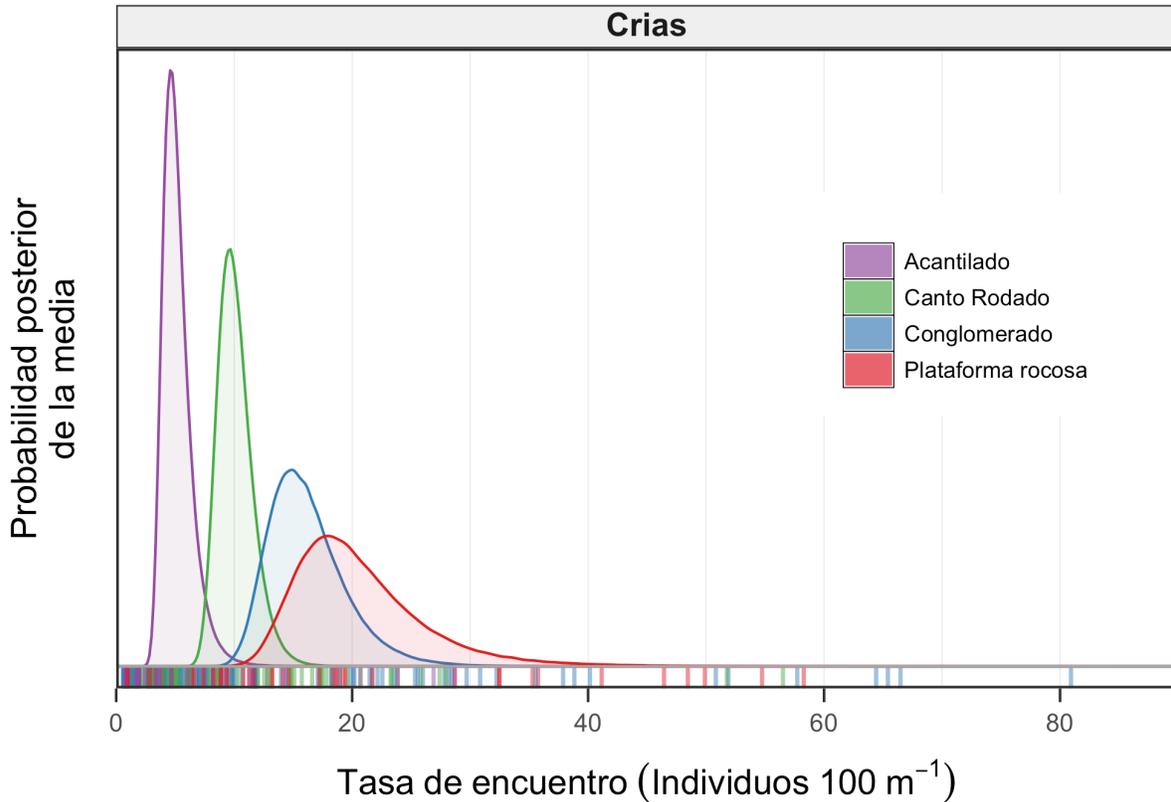
### *Preferencia de sustrato*

Las curvas de probabilidad posterior de la media de encontrar cierta tasa de encuentro (número de individuos cada 100 m de costa) en cada uno de los cuatro tipos de sustrato son mostradas en la Fig. 18. Esta curva de probabilidad posterior no discrimina entre clases de edad y sexo, como se observa en las Fig. 19 de crías y Fig. 20 de machos. La plataforma rocosa es el tipo de sustrato donde se pueden encontrar las tasas más elevadas de encuentro de lobos marinos de California (IC 95%: media de 39–103 individuos cada 100 m de costa; Tabla 9). Los siguientes tipos de sustratos que son más frecuentemente habitados por los lobos marinos son los cantos rodados y los conglomerados de roca. Existe una pequeña diferencia entre las tasas de encuentro promedio entre estas zonas (canto rodado: IC 95%: media de 34-62 individuos cada 100 m de costa; conglomerados: IC 95%: media de 34-59 individuos cada 100 m de costa). Los hábitats donde se registraron las mayores tasas de encuentro (incluso más que en plataforma rocosa) ocurrieron en cantos rodados y conglomerados de roca.



**Figura 18.** Probabilidad posterior de la tasa de encuentro (número de individuos por 100 m de línea de costa) de lobos marinos de California en relación al tipo de sustrato. Las líneas verticales bajo las curvas de probabilidad indican los valores observados.

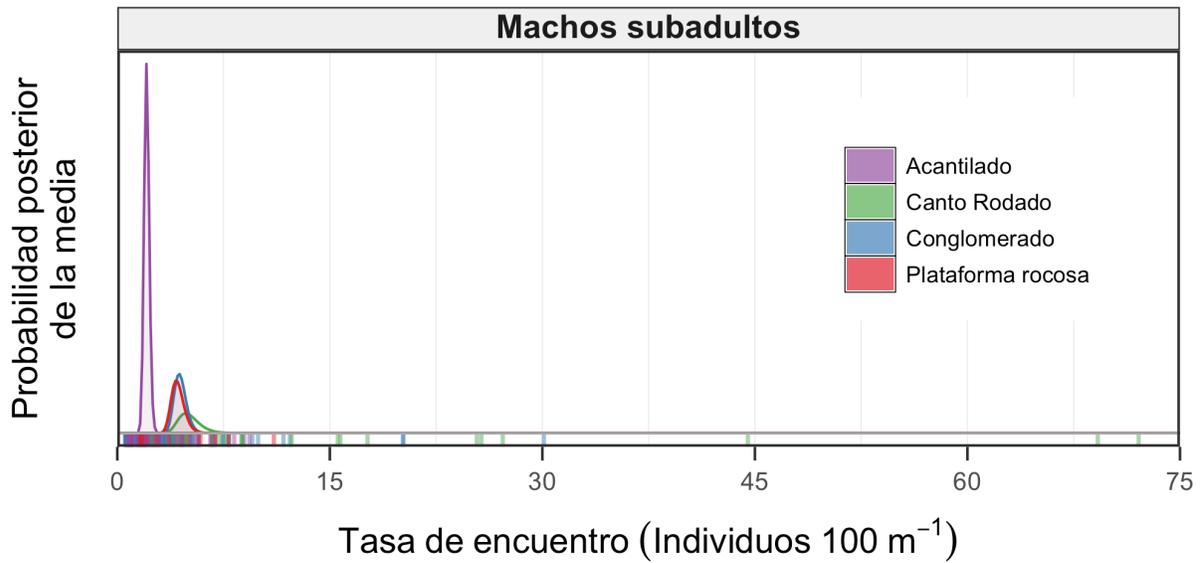
El mismo modelo de probabilidad de encuentro se aplicó para encontrar la preferencia de sustrato de las crías debido a que estas son indicadoras del sitio dónde las hembras se reproducen. Es decir, una alta probabilidad de encuentro de crías indica inequívocamente un territorio reproductivo. En la Fig. 19 se observan las preferencias por cada tipo de sustrato con base en las tasas de encuentro. Al igual que para todas las clases de edad (Fig. 18), las tasas de encuentro de crías fueron mayores en plataforma rocosas, seguido de conglomerados de rocas (donde se observaron los mayores valores de tasa de encuentro), cantos rodados, y por último acantilados.



**Figura 19.** Probabilidad posterior de la media de la tasa de encuentro de crías (número de crías por 100 m) en relación al tipo de sustrato. Las líneas verticales bajo las curvas de probabilidad indican los valores observados.

Debido a que en las colonias reproductivas existen zonas ocupadas principalmente por machos subadultos, se ajustó el mismo modelo para este grupo. De esta manera se puede analizar si la probabilidad de tasa de encuentro de territorios reproductivos y de zonas de solteros difieren entre sí por el tipo de sustrato. En la Fig. 20 se observan las preferencias de sustrato de los machos subadultos. Los cantos rodados son las zonas donde se encuentran las tasas de encuentro más elevadas. Aunque el modelo indica que se encontrará una media entre 3–7 machos subadultos cada 100 m, se estimaron valores considerablemente más elevados (>60 machos subadultos en 100 m de costa). Los conglomerados de rocas y plataformas rocosas fueron los siguientes sustratos más frecuentemente habitados por los machos, y por último los acantilados. Los estadísticos

correspondientes a los modelos de preferencia de hábitat terrestre se muestran en la Tabla 9.



**Figura 20.** Probabilidad posterior de la media de la tasa de encuentro de machos (número de machos subadultos por 100 m de línea de costa) en relación al tipo de sustrato. Las líneas verticales bajo las curvas de probabilidad indican los valores observados.

**Tabla 9.** Estadísticos correspondientes a los modelos de tasa de encuentro (número de individuos cada 100 m lineales de costa) por tipo de sustrato para cada curva de probabilidad posterior.

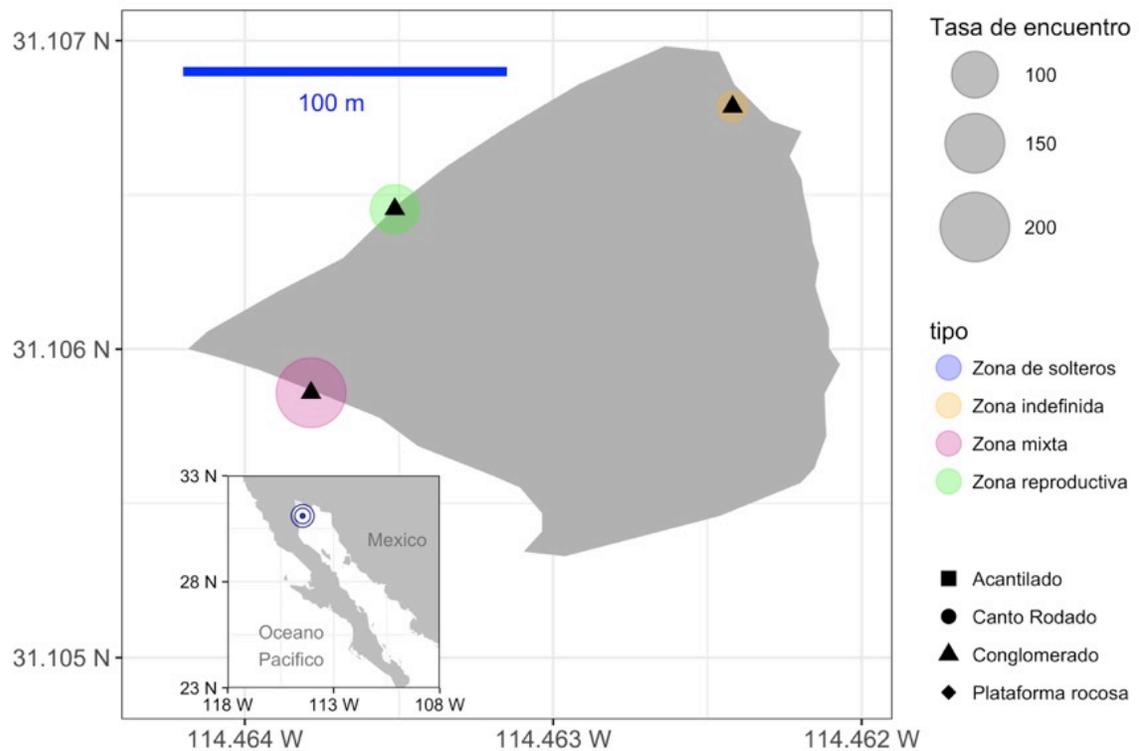
Población	Tipo de sustrato	IC al 95%		Mediana	Media	Desviación estándar	R de Rubins	n.eff
		2.50%	97.50%					
<b>Total</b>	Acantilado	7.32	12.10	9.21	9.34	1.22	1.001	440000
	Canto rodado	33.85	62.41	44.55	45.47	7.32	1.001	290000
	Conglomerado	33.64	58.82	43.39	44.14	6.47	1.001	450000
	Plataforma rocosa	39.09	103.53	59.23	62.30	16.79	1.001	450000
<b>Machos subadultos</b>	Acantilado	1.80	2.42	2.07	2.08	0.16	1.001	440000
	Canto rodado	3.85	6.91	5.01	5.10	0.78	1.001	240000
	Conglomerado	3.73	5.39	4.42	4.46	0.42	1.001	110000
	Plataforma rocosa	3.52	5.32	4.24	4.29	0.46	1.001	450000
<b>Crías</b>	Acantilado	3.43	8.33	4.97	5.20	1.28	1.001	200000
	Canto rodado	7.71	13.58	9.93	10.11	1.50	1.001	210000
	Conglomerado	11.22	24.06	15.71	16.20	3.31	1.001	450000
	Plataforma rocosa	13.02	34.63	19.59	20.67	5.67	1.001	450000

### *Zonas de alta tasa de encuentro en las colonias*

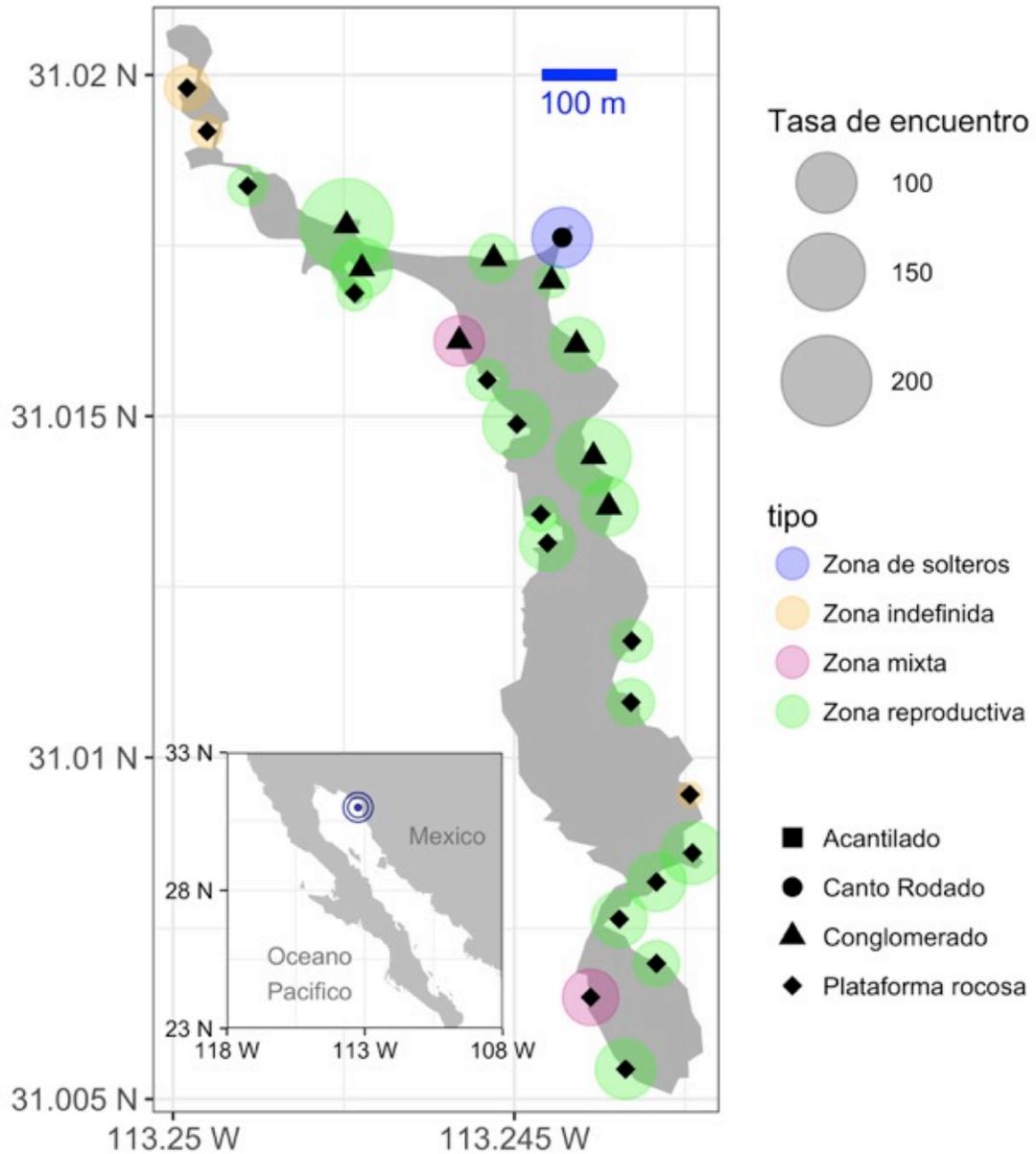
En cada colonia se definieron zonas de alta tasa de encuentro (>50 individuos por 100 m de línea de costa). Los tipos de zonas se definieron como: reproductivas, solteros, mixtas e indefinidas (definidas en sección de métodos). En todas las colonias se detectaron zonas reproductivas excepto en El Rasito, donde solo hubo dos zonas indefinidas de alta tasa de encuentro (con bajo número de crías). En las colonias Lobos, Los Machos, San Pedro Mártir y San Jorge se detectaron zonas de solteros completamente separadas de las zonas reproductivas. Sin embargo, en Rocas Consag, San Esteban y San Jorge también hubo colonias con zonas mixtas. Es decir, las zonas de solteros estuvieron en todas las colonias del norte del golfo, algunas del centro y ninguna del sur.

De las 65 zonas reproductivas que se detectaron, 44.6% ocurrieron en conglomerados de rocas, 29.2% en plataformas rocosas, 21.5% en cantos rodados, y 4.6% en acantilados. El 100% de las cuatro zonas de solteros ocurrieron en cantos rodados. De las cuatro zonas mixtas, 50% ocurrió en conglomerados de rocas, 25% en cantos rodados y 25% en plataformas rocosas. De las 16 zonas indefinidas, 43.8% se presentó en conglomerados de rocas, 31.3% en plataformas rocosas, y 25.0% en cantos rodados.

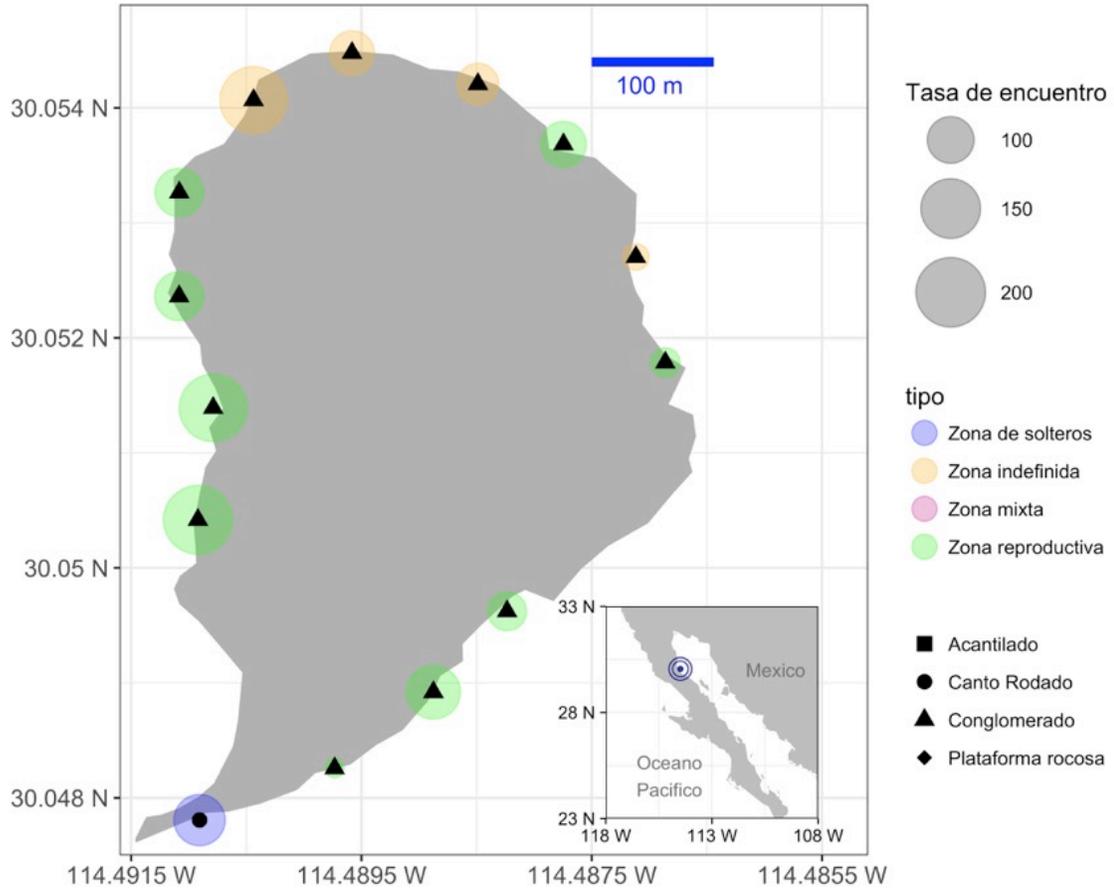
La tasa de encuentro de lobos marinos (cualquier edad y sexo) más alta se registró en la colonia de San Jorge, siendo del tipo reproductivo con una tasa de encuentro de 212 individuos por 100 m de costa. En esta misma colonia también se encontró el mayor número de zonas de alta tasa de encuentro (26) en una colonia (Fig. 22). La segunda zona con mayor tasa de encuentro se localizó en Rocas Consag, con 200 individuos por 100 m de costa, siendo del tipo mixta (Fig. 21). La tercera fue una zona reproductiva en Lobos, con 196 individuos por 100 m de costa (Fig. 23). Los mapas con los puntos de alta tasa de encuentro en cada colonia, por tipo y por sustrato, son mostrados en las Figs. 21-33.



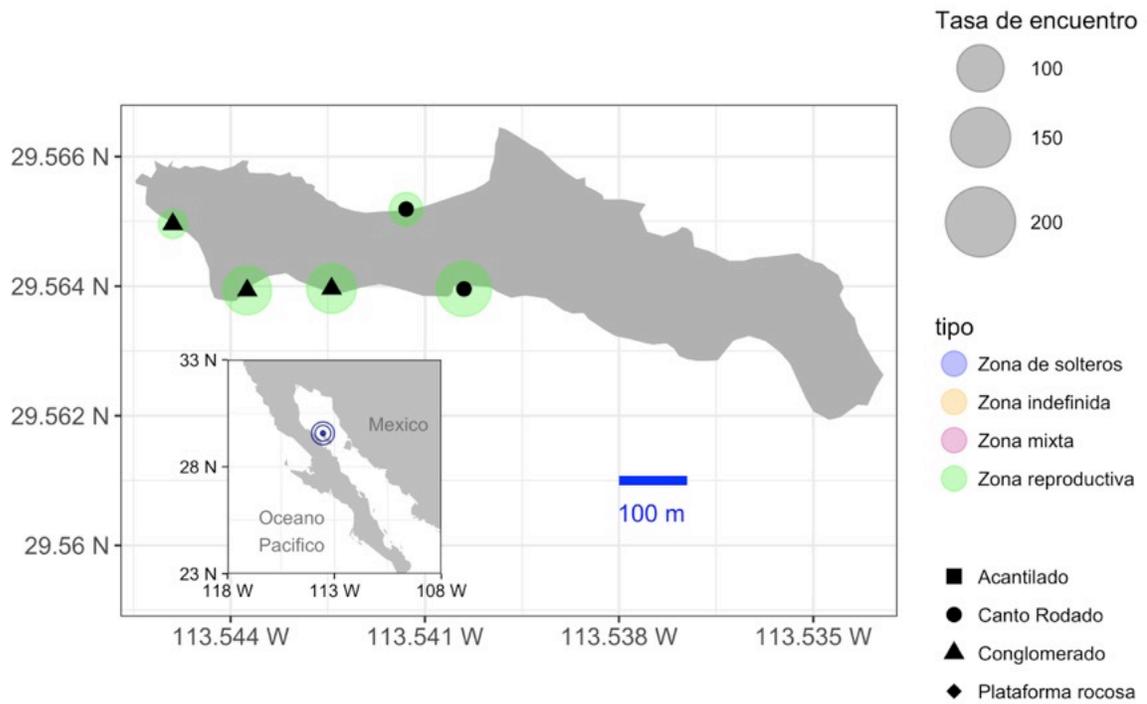
**Figura 21.** Mapa de Rocas Consag con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.



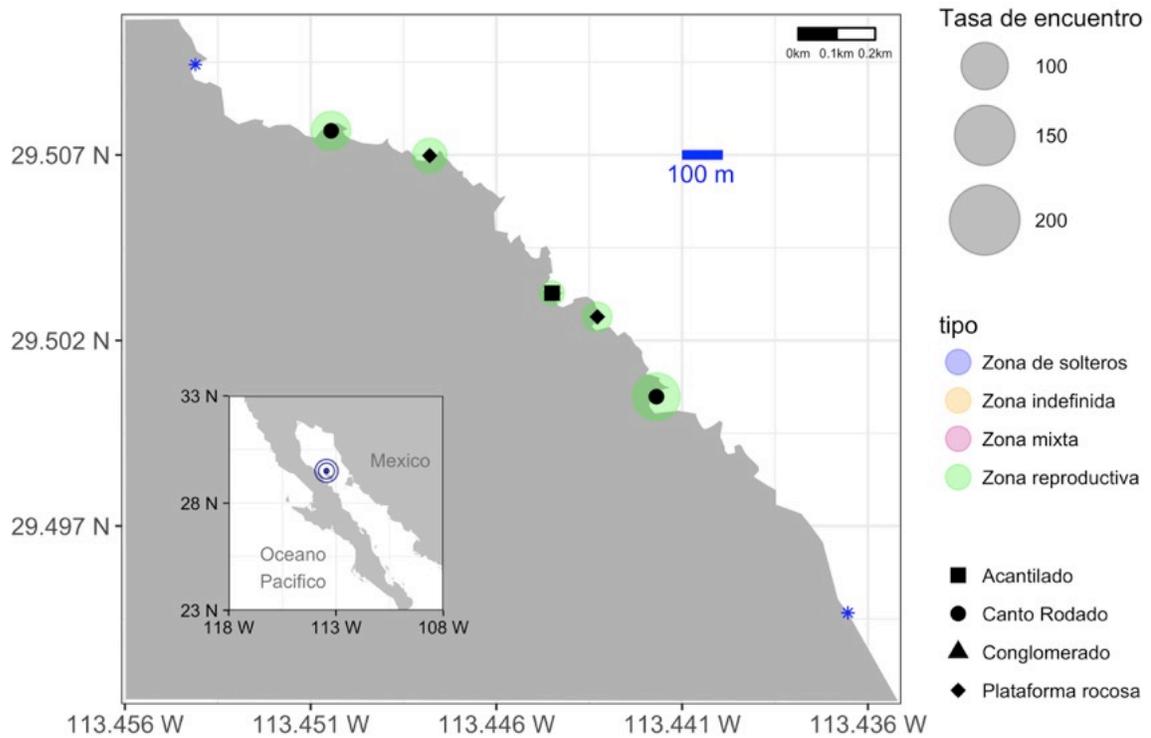
**Figura 22.** Mapa de San Jorge con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.



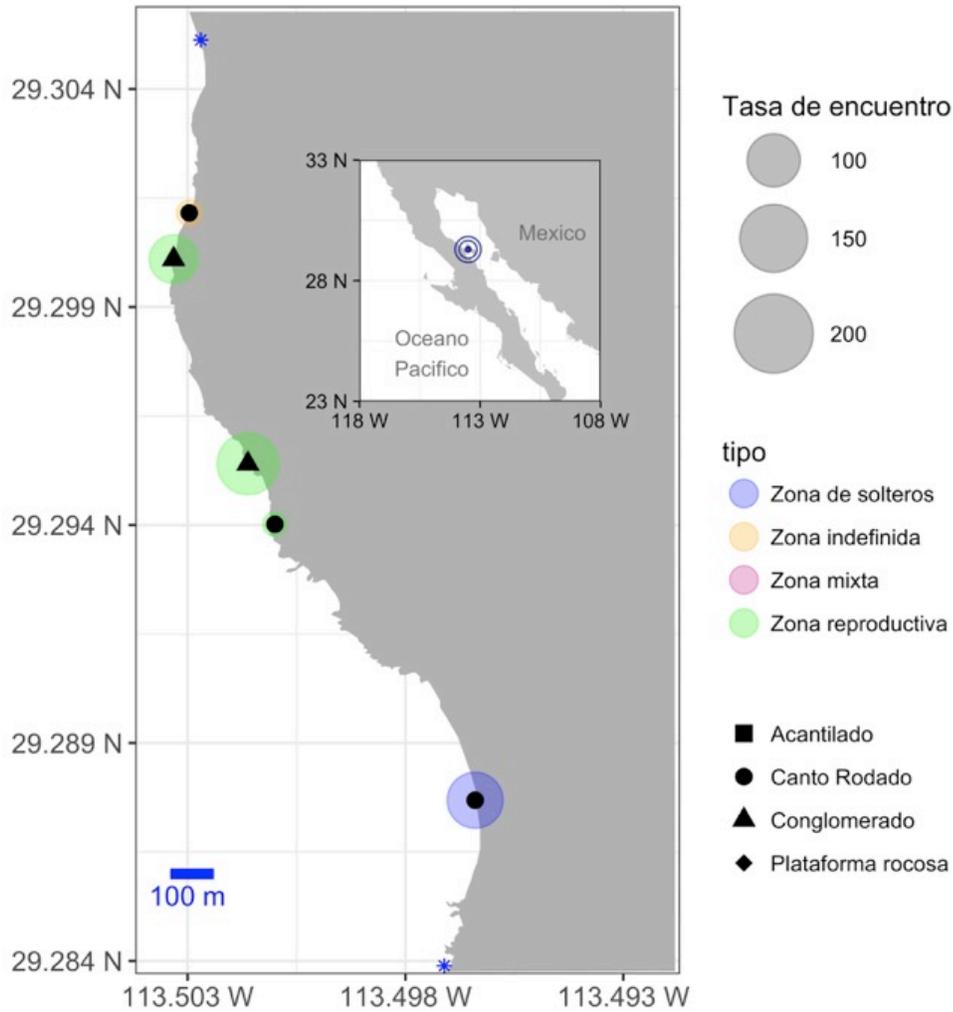
**Figura 23.** Mapa de Lobos con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.



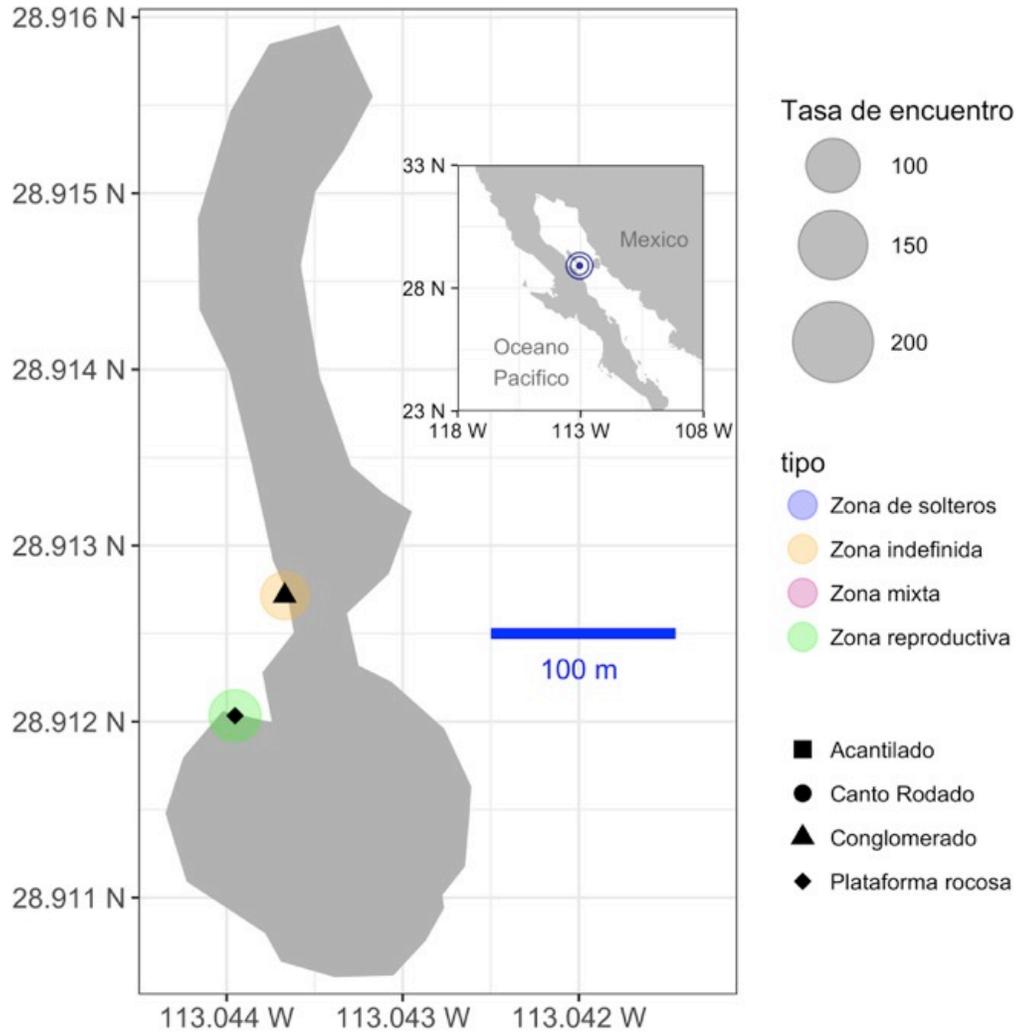
**Figura 24.** Mapa de Granito con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.



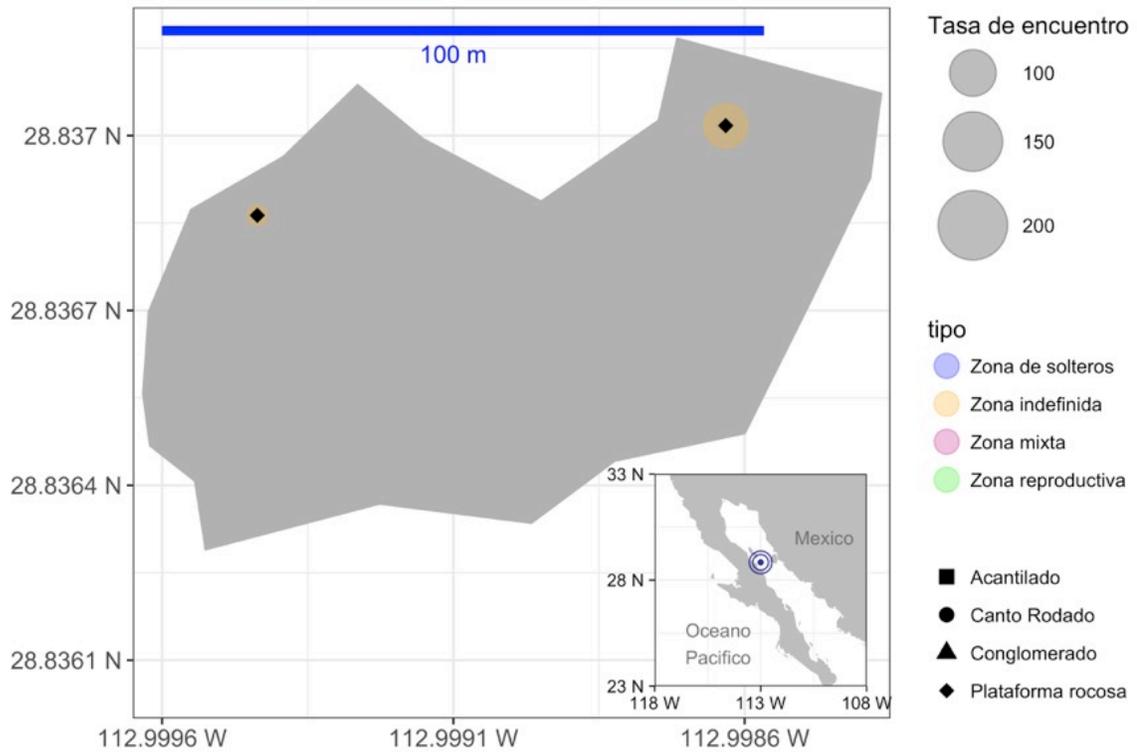
**Figura 25.** Mapa de Los Cantiles con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa. Los asteriscos azules marcan el inicio y final de la colonia.



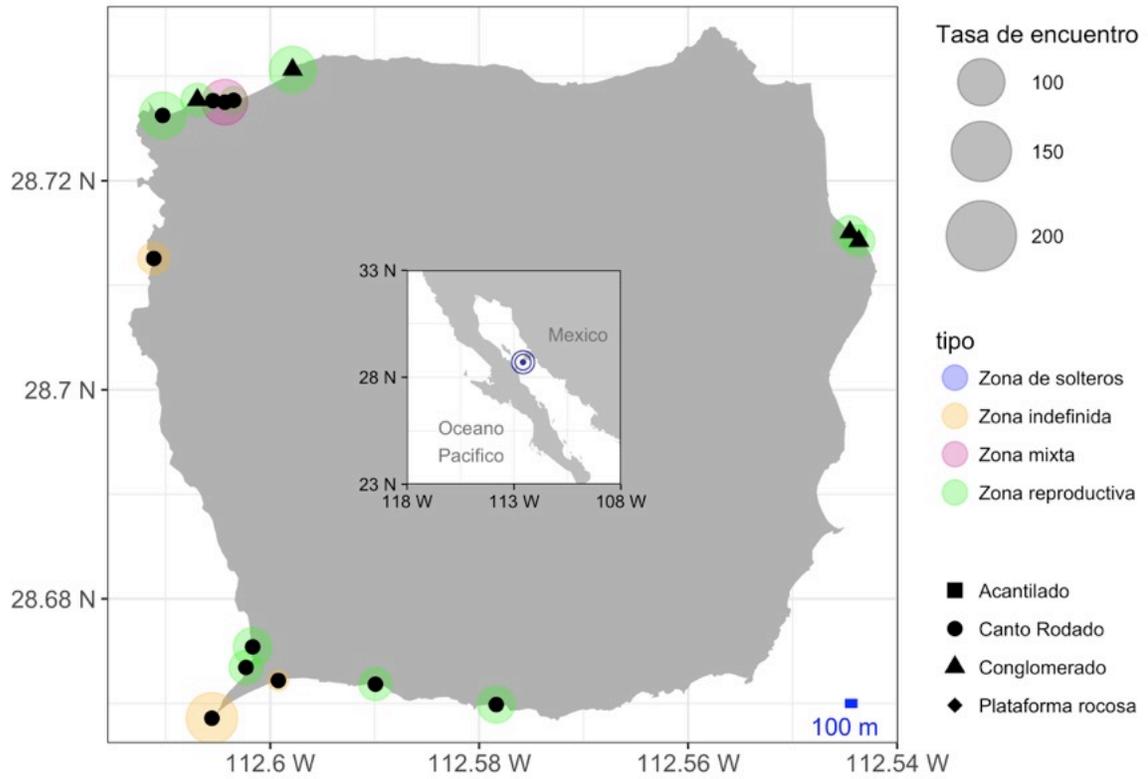
**Figura 26.** Mapa de Los Machos con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa. Los asteriscos azules marcan el inicio y final de la colonia.



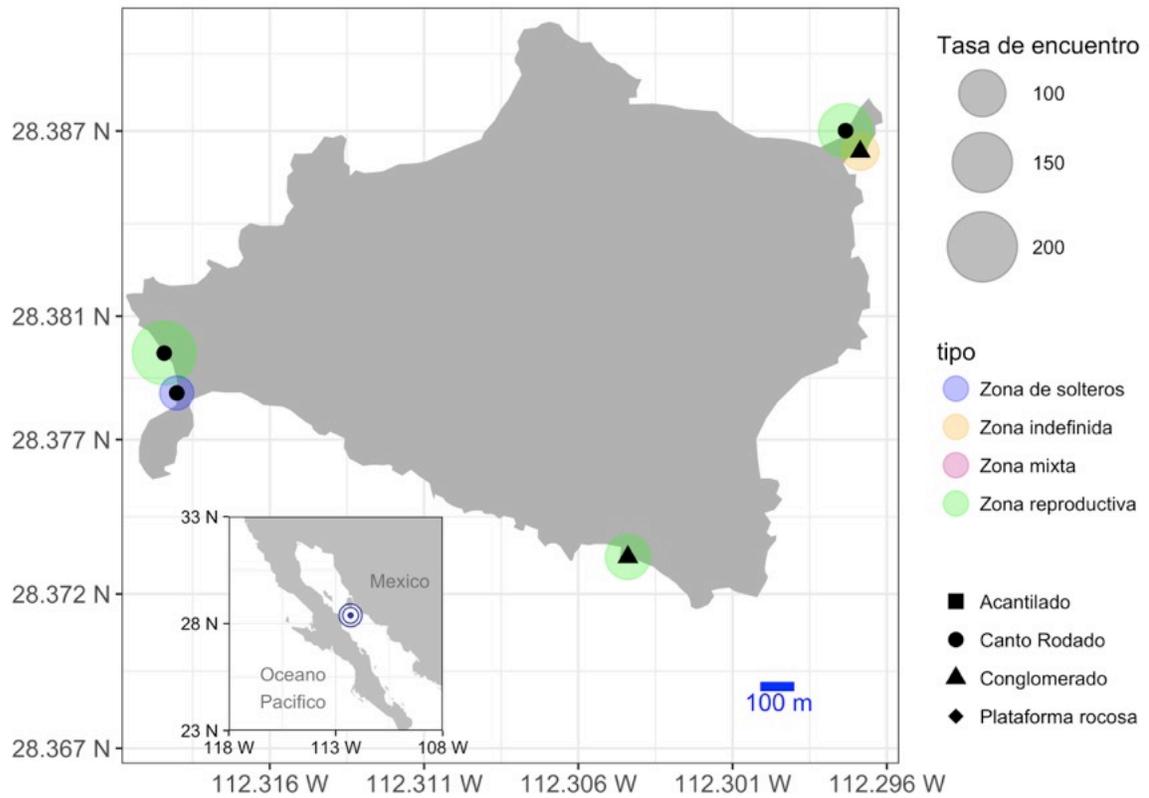
**Figura 27.** Mapa de El Partido con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.



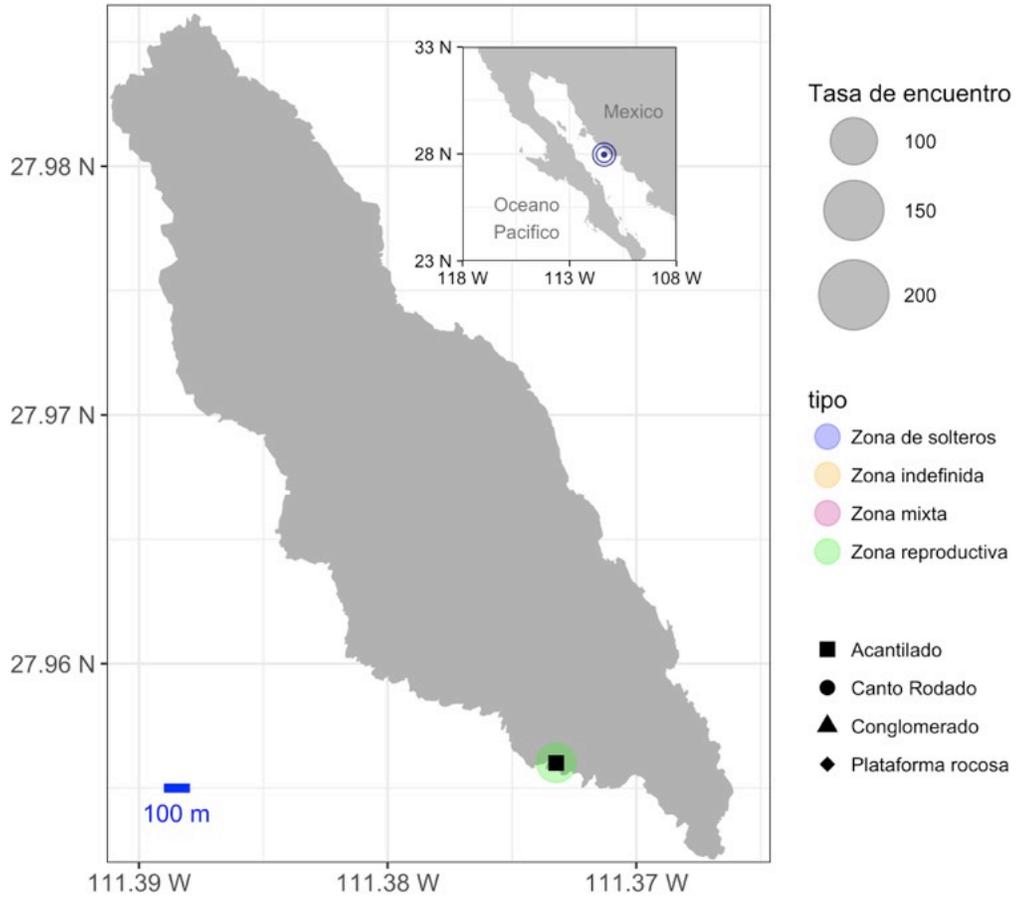
**Figura 28.** Mapa de El Rasito con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.



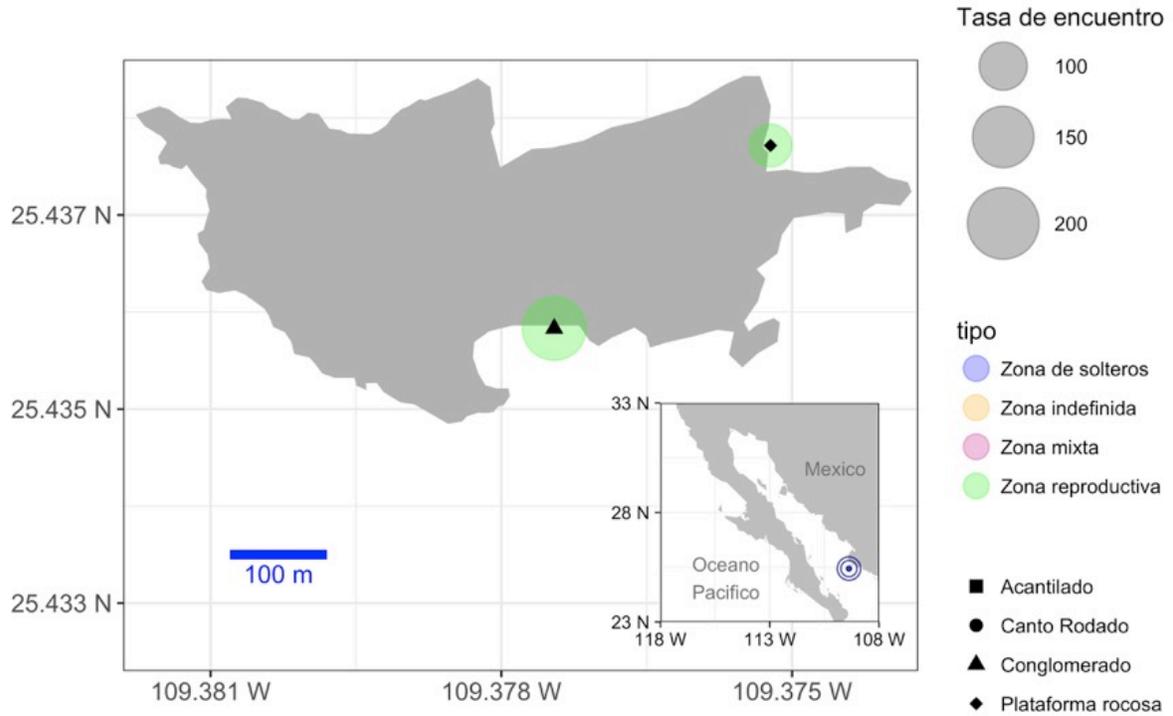
**Figura 29.** Mapa de San Esteban con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.



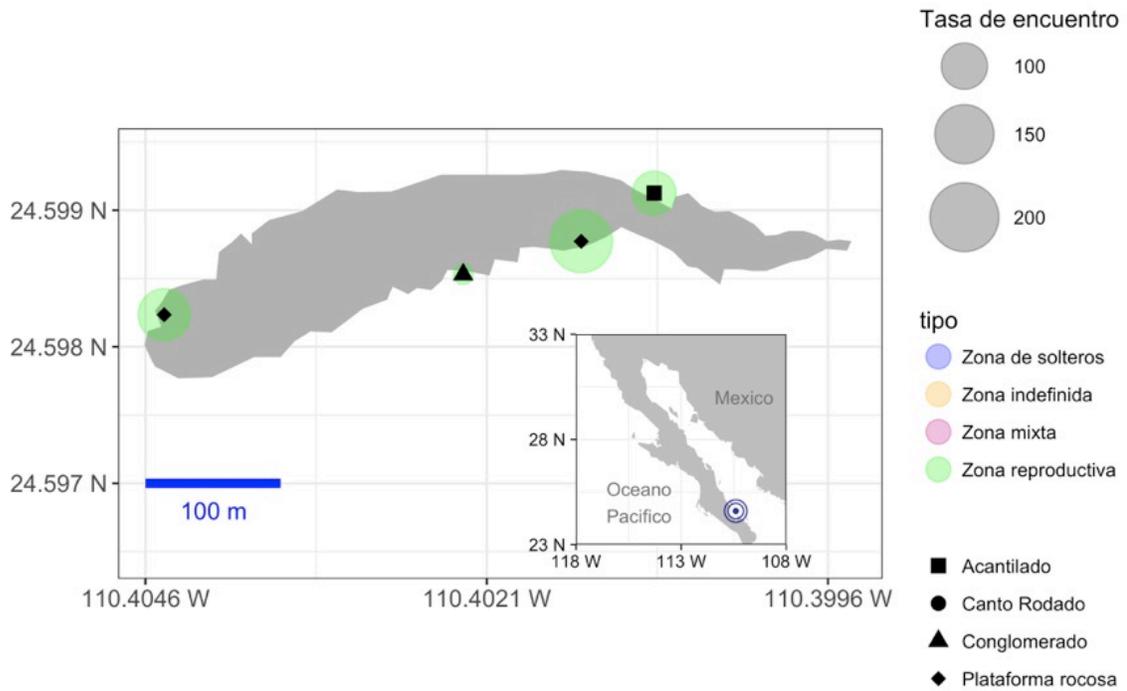
**Figura 30.** Mapa de San Pedro Mártir con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.



**Figura 31.** Mapa de San Pedro Nolasco con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.



**Figura 32.** Mapa de Farallón de San Ignacio con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.



**Figura 33.** Mapa de Los Islotes con sus zonas de alta tasa de encuentro (> 50 individuos por 100 m de costa) de lobos marinos de California. Cada punto representa un transecto a su alrededor de aproximadamente 100 m de línea de costa.

## DISCUSIÓN

### Estimación de abundancia en la temporada reproductiva 2016 de lobos marinos de California en el golfo de California

La estimación de 17,320 lobos marinos de California contabilizados en la temporada reproductiva de 2016 en las 13 colonias reproductivas no incluyó factores de corrección, debido a que se buscó facilitar la comparación de abundancia con estudios pasados y futuros que puedan o no utilizar factores de corrección diferentes entre sí. Sin embargo, con el objetivo de obtener la estimación más precisa (menos incertidumbre), se consideraron dos factores de corrección a explorar para determinar el estado de la población en el golfo en 2016. El primero es para incluir el porcentaje de hembras que al momento del conteo no se encontraron en tierra, sino en viajes de alimentación. Bonnell & Ford (1987) estimaron que a principios de la temporada reproductiva (i. e. finales de junio y principios de julio) el porcentaje de individuos en viajes de alimentación es del 23%, mientras que a finales de la temporada (i. e. finales de julio y principios de agosto) es de un 54%. Desde entonces estos datos de corrección se han usado en diversos estudios del lobo marino de California (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994; Szteren *et al.*, 2006; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2015). Sin embargo, como esta estimación fue calculada en una colonia específica de la región norte de la Corriente de California, no se puede asumir que estos porcentajes sean iguales en el golfo de California, y en el caso de extrapolarlos a hembras debe hacerse con reserva. Por esto algunos autores optan por utilizarlo como un rango (Szteren *et al.*, 2006; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2015) o un promedio (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994). Si se aplican estos porcentajes como un rango a las observaciones de hembras adultas registradas mediante el VANT (6,321 hembras contabilizadas), se estiman 7,775–9,734 hembras. Por lo tanto, la estimación de abundancia de toda la población en el golfo sería de 18,774–20,733 lobos marinos de California. Adicionalmente, existen 16 colonias de reposo no incluidas en esta estimación pero que son parte de la población que habita en el golfo. Aurioles-Gamboa & Zavala-

González (1994) incluyeron conteos de colonias reproductivas y de reposo. De estos datos se calculó que la proporción de la población que se encontró en las 16 colonias de reposo, fue aproximadamente de 10% con respecto al total de abundancia en el golfo. Este factor de corrección no ha sido utilizado ni descrito formalmente en ningún estudio previo, y es posible que esta proporción actualmente sea distinta. Sin embargo, con el objetivo de obtener una estimación de abundancia integrativa, si se agrega este 10% al rango obtenido después de incluir a las hembras adultas en viajes de alimentación, la estimación final está entre 20,651–22,806 lobos marinos de California en el golfo de California durante la temporada reproductiva de 2016. Es importante enfatizar que esta estimación no es comparable con la estimación de abundancia total de estudios previos o futuros, a menos que se realicen con el mismo método de fotografías aéreas o se les aplique un modelo de corrección de datos. De esta forma, las estimaciones futuras deben tomar en cuenta la subestimación y error de categorización por parte de los conteos desde embarcación (Adame-Fernández *et al.*, 2017).

El factor de corrección para extrapolar los conteos realizados desde embarcación a una estimación comparable con conteos realizados mediante fotografías aéreas tomadas por un VANT se estimó en la colonia de Los Islotes, comparando 12 conteos a lo largo de un año (Adame-Fernández *et al.*, 2017). Cada conteo se realizó con ambas técnicas y se compararon mediante modelos aditivos generalizados, con los cuales se obtuvo un valor que predice la abundancia que hubiera sido encontrada en un conteo desde embarcación, si también se hubiera realizado con un VANT. En promedio, la subestimación de los conteos totales desde embarcación varió entre un 20.3% y 34.5% (99% IC: 13.8–40.9). En el caso de crías la subestimación fue incluso más alta, siendo en promedio entre 18.7% y 50.6% (99% IC: 1.1–70.8). Además, la subestimación de crías fue más elevada en los conteos realizados durante la temporada reproductiva, cuando las crías son pequeñas, tienen poca movilidad y se esconden detrás de sus madres debido al periodo perinatal o amamantamiento (Hernández-Camacho 2001; García-Aguilar & Auriol-Gamboa 2003; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2015; Adame-Fernández, 2016). Una posibilidad para comparar la presente estimación con aquellas que se

realicen en el futuro desde una embarcación, sería añadir los factores de corrección estacional descritos por Adame-Fernández *et al.* (2017). Sin embargo, la colonia donde se hizo tal análisis no presentó todos los tipos de sustratos que se pueden encontrar en las demás colonias reproductivas del golfo, y es de las más pequeñas por lo que los rangos de subestimación podrían ser sesgados. Otra posibilidad sería añadir un rango de las proporciones subestimadas observadas en el presente estudio, de acuerdo a la diferencia entre los conteos realizados desde embarcación y con el VANT por colonia. Debido al método de muestreo de este estudio, no se cuenta con un modelo de corrección, si no con un dato de subestimación por colonia. Dadas estas limitaciones, se recomienda utilizar las subestimaciones descritas en el presente estudio con cautela, y solo como una aproximación. En tal caso, se podría añadir un rango del 21–54% al total de los individuos contabilizados (Fig. 16). Este rango incluye la menor y la mayor subestimación (de los conteos desde embarcación) encontrada para el total de los individuos. Esta varió en función al tipo de sustrato (mayor subestimación en colonias dominadas por conglomerado de rocas) y el tamaño de la colonia (menor subestimación en colonias pequeñas). Si la clase de mayor interés son las crías o cualquier otra, se recomienda añadir el rango contenido entre el primer y tercer cuartil de las observaciones (Fig. 17). De esta manera se evitaría hacer comparaciones en las que se sobreestima el número de individuos desde la embarcación, debido al error de categorización (Adame-Fernández *et al.*, 2017). La clase de machos subadultos es sobreestimada en los conteos desde embarcación, mientras que la de machos adultos es subestimada (Fig. 17). Esto difiere de lo reportado previamente en Los Islotes (Adame-Fernández *et al.*, 2017), ya que el presente estudio incluyó colonias con una dinámica poblacional distinta. En la colonia de Los Islotes, donde se realizó el estudio previo, los machos adultos están presentes durante la temporada reproductiva, y se ausentan el resto del año debido a su migración (con destino a la costa oeste de la península de Baja California; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018), mientras que los machos subadultos están presentes principalmente desde otoño hasta primavera (Aurióles-Gamboa *et al.*, 1983; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018). Este desfase temporal minimiza el error de clasificación de machos entre estas clases de edad.

Sin embargo, la mayoría de las colonias muestreadas en este estudio no se comportan de esa manera. Aquellas que se localizan en la zona centro-norte del golfo tienen machos adultos y subadultos que, en su mayoría, no realizan migraciones si no que permanecen todo el año en zonas de reposo y de solteros dentro de las colonias reproductivas (Aurioles-Gamboa *et al.*, 1983; García-Aguilar & Aurioles-Gamboa, 2003). Las proporciones de machos adultos y subadultos registradas en el presente estudio, mediante los conteos del VANT también apoyan esta hipótesis. Las proporciones de machos adultos tienen un gradiente latitudinal disminuyendo de las islas del norte del golfo a las colonias del sur (Fig. 14). En los machos subadultos también se aprecia este comportamiento, aunque menos marcado. La colonia de Farallón de San Ignacio (colonia del sur) es la excepción, presentando la más alta proporción de machos subadultos y la menor de machos adultos debido a que fue muestreada después de la temporada reproductiva donde los machos adultos realizan su migración fuera de la y los machos subadultos comienzan a llegar durante el otoño (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2003). Desde una embarcación es difícil diferenciar cuáles machos son adultos y cuales son subadultos en una zona con alta densidad de individuos. La tendencia es clasificar erróneamente a machos adultos como machos subadultos, ya que suelen ser la mayoría, lo que explica la subestimación de machos adultos tan elevada encontrada al comparar muestreos desde embarcación con muestreos realizados mediante VANT.

## Estado y cambios en la población de lobos marinos de California en el golfo de California

### *Cambios en la abundancia del lobo marino de California en el golfo y en cada colonia*

La disminución de la población de lobos marinos de California en 12 de las 13 colonias reproductivas (Fig. 15) y las bajas proporciones de crías para las colonias reproductivas (Fig. 14) indican notables cambios en la población del golfo en los últimos 19 años (1997–2016). La abundancia total de lobos marinos de California en el golfo, de acuerdo a los conteos desde embarcación, ha disminuido 45% en comparación a la estimación más reciente (Szteren *et al.*, 2006) basada en conteos realizados entre 1997–2004. Esto significa que, asumiendo que el cambio ha sido lineal, la población ha ido disminuyendo a una tasa de casi 4% por año. Sin embargo, no todas las colonias han presentado la misma tasa de declive (Tabla 8), ni la misma velocidad de declive a lo largo de los años (Fig. 15). Esto coincide con datos no publicados citados en el trabajo de tesis de Pelayo González (2018). Las colonias que previamente mostraban tendencia de incremento, como Rocas Consag y San Jorge (Szteren *et al.*, 2006) ahora están en declive, con una tasa lineal anual de -3.8% y -4.5%, respectivamente (Tabla 8). Este patrón se aprecia en la Fig. 15, donde hasta principios de los noventa, su abundancia iba en incremento (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994; Szteren *et al.*, 2006). Los Islotes también había sido reportada en aumento, y para el presente estudio es la única de las 13 colonias reproductivas en el golfo que mantiene esta tendencia, siendo su abundancia un 15.4% mayor a la reportada por Szteren *et al.* (2006), indicando una tasa lineal anual de aumento del 1.2% (Tabla 8). Las colonias que reportaron Szteren *et al.* (2006) que mostraron un declive marginalmente significativo o no significativo fueron Lobos, San Pedro Nolasco, Rasito y San Pedro Mártir. En 2016, existe evidencia que están claramente en declive, siendo su abundancia un 57.3%, 34.3%, 59.2% y 43.0%, respectivamente, menor a la reportada por el estudio realizado en 2004 (Tabla 8). Las colonias restantes mantuvieron también tendencia de declive excepto la Colonia de Los Islotes.

Históricamente, las colonias donde se han registrado las mayores abundancias de lobos marinos son San Esteban, San Jorge y Lobos, hecho que se confirma en el conteo de verano 2016. Estas loberas, y Rocas Consag, son las que presentaron la tasa de disminución poblacional más alta del golfo. Las colonias de San Esteban, San Jorge e isla Lobos representaban el 56% (Auriolles-Gamboa & Zavala-González, 1994) y posteriormente el 65% (Szteren *et al.*, 2006) de la población del golfo, respectivamente. En el censo de 2016 representaron el 57% con base en los conteos desde embarcación y el 59% con base en los conteos del VANT. Además, Auriolles-Gamboa & Zavala-González (1994) estimaron que el 82% de la población del golfo se encontraba en las colonias situadas en la región centro-norte del golfo, es decir, de San Esteban hacia el norte. Esto se ha relacionado a la alta concentración de peces pelágicos menores como sardinias y anchovetas que se encuentran todo el año en esta zona, como consecuencia de los eventos de surgencias ocasionadas por los vientos y mareas en la región de las grandes islas (Lluch-Belda *et al.*, 1986; Escalante *et al.*, 2013). Los conteos con el VANT y los realizados desde embarcación en verano 2016 evidenciaron una proporción similar (81% y 80%, respectivamente), lo que sugiere que a grandes rasgos, no ha habido cambios en la dinámica de la distribución de lobos marinos de California en el golfo de California sino una disminución poblacional generalizada. Las grandes colonias se asocian a la riqueza de nutrientes y productividad primaria de la región centro-norte del golfo, la cual se distribuye en el golfo con un gradiente de incremento de sur a norte (Álvarez-Borrego, 1983). Esta riqueza influye en la biomasa de algunas especies de pelágicos menores como la sardina monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*), la cual se distribuye abundantemente, tal vez de forma permanente, en la zona de las grandes islas (Lluch-Belda *et al.*, 1986) y de la costa de Sonora; algunas anchovetas que también presentan grandes cantidades en esta zona durante el verano, así como la merluza del golfo (*Merluccius angustimanus*); la macarela del Pacífico (*Scomber japonicus*) y otras anchovetas (*Engraulis mordax*, *Cetengraulis mysticetus*) que forman grandes cardúmenes en esta zona del golfo (Álvarez-Borrego, 1983; Lluch *et al.*, 1986). Algunas de estas especies son presas importantes del lobo marino de California (Auriolles-Gamboa, 1988; Porras-Peters *et al.*, 2008), lo

cual explicaría por qué gran parte de la población del golfo se encuentra en la región centro-norte. En la región de las grandes islas se ha reportado una población residente de sardina (Lluch-Belda *et al.*, 1986). El declive de abundancia de lobos marinos de California en las colonias del centro y del norte del golfo (Tabla 8) puede estar asociado a cambios en la disponibilidad de sus presas, sobre todo a partir de los noventa, cuando se empezó a detectar esta disminución de abundancia poblacional (Szteren *et al.*, 2006). A finales de los ochenta, la pesquería de sardina en el golfo de California capturaba 292,000 toneladas al año, sin embargo a principios de los noventa las capturas disminuyeron a apenas 7,000 toneladas (Névarez-Martínez *et al.*, 2001). Este declive coincide con los primeros registros de disminución en la población del *Z. californianus* en el golfo de California (Szteren *et al.*, 2006). A mediados de la década de los noventa la pesquería comenzó a recuperarse incrementándose hasta 500,000 toneladas en la temporada de pesca 2007-2008 2008 (Saldívar-Lucío *et al.*, 2013). El último declive pronunciado de sardinas en el golfo comenzó en el 2008. Las predicciones de Saldívar-Lucío *et al.* (2013) indican que no volverá a sus números de captura de antes de la última caída sino a partir del 2020. Estos cambios en la población de sardinas en el golfo se han asociado a anomalías de temperaturas y de los vientos que causan procesos de surgencias (Névarez-Martínez *et al.*, 2001). De modo particular, estas alternancias de sardina en el golfo de California se han relacionado con anomalías en la temperatura de la Corriente de California y la tendencia de esta variable física a largo plazo en el Pacífico Norte (fase cálida de la Oscilación Decadal del Pacífico, PDO en inglés: Mantua, 2009; Saldívar-Lucío *et al.*, 2013). La Oscilación Decadal del Pacífico refiere cambios decadales en los cuales se reestructura el ecosistema pelágico. Por ejemplo, en el golfo de Alaska se estudió cómo la comunidad cambió en función de los regímenes cálido y frío de la Oscilación Decadal del Pacífico, afectando la composición de peces e invertebrados, y posteriormente a mamíferos y aves marinas (Anderson & Piatt, 1999).

La hipótesis que conecta la disminución de la población de lobos marinos de California en el golfo de California y el declive de sardinas en la región fue previamente propuesta (Szteren *et al.*, 2006). A pesar de estas observaciones, un

estudio reciente no encontró una correlación lineal entre el número de nacimientos en las colonias de lobo marino del golfo de California y las pesquerías de presas importantes para *Z. californianus* (Pelayo-González, 2018). Tampoco encontró una relación lineal entre el número de nacimientos y variables ambientales como temperatura y concentración de clorofila-a superficial del mar detectada con satélite (Pelayo-González, 2018). La probable relación entre los cambios poblacionales en el golfo y la disminución de abundancia de algunas de sus presas preferidas se va a discutir con mayor detalle en relación a las proporciones de clases de edad y sexo encontradas en el golfo de California.

*Cambios en las proporciones de clase de edad y sexo del lobo marino de California en el golfo y en cada colonia*

Las proporciones de clases de edad y sexo encontradas en este estudio son semejantes a las descritas previamente para la población del golfo de California. Sin embargo difieren en la clase de las crías, la cual es clave para evaluar el estado de salud poblacional de una población o colonia (Lowry, 1999; Snyder *et al.*, 2001; Kirkwood *et al.*, 2005; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016). Las crías son vulnerables y altamente dependientes del éxito de los viajes de alimentación de sus madres por lo que proveen un parámetro clave para entender la dinámica poblacional de la especie, así como el estado del ambiente en el que se desarrollan en función del tiempo (Lowry, 1999; Snyder *et al.*, 2001; Kirkwood *et al.*, 2005; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016). Aurióles-Gamboa & Zavala-González (1994) reportaron las siguientes proporciones de clases de edad de las colonias reproductivas del lobo marino del golfo de California: 42.5% hembras adultas, 25.2% crías, 22.9% juveniles, 5.9% machos adultos, 3.3% machos subadultos. Debido a que Aurióles-Gamboa & Zavala-González (1994) obtuvieron sus estimaciones de abundancia desde una embarcación, es necesario comparar sus observaciones con aquellas obtenidas por el mismo método. Desde embarcación, en verano del 2016 se encontraron las siguientes proporciones: 43% hembras adultas, 21% juveniles, 15% crías, 12% machos subadultos, 5% machos adultos y 4% individuos sin determinar. El cambio más importante entre estudios se observó en las crías, las cuales formaron un 10% menos de la población que en conteos previos (Aurióles-Gamboa & Zavala González, 1994; Szteren *et al.*, 2006). Un ejemplo de las proporciones de crías que se registran de una colonia que no había presentado tendencia de declive durante los últimos años es la presente en la colonia reproductiva de lobo marino de California en el Archipiélago San Benito, en la costa occidental cercana a la latitud de la frontera estatal de los estados de Baja California y Baja California Sur. Esta colonia se consideró estable hasta el 2014 (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016). En conteos realizados en la época reproductiva 2014, se encontró una proporción de crías del 40%, al igual que de hembras adultas (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016).

Estas proporciones difieren de las encontradas en el golfo de California, no solo en este estudio sino en estudios previos (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994), lo que sugiere que la población del golfo no se ha desenvuelto bajo las mismas condiciones que las colonias localizadas en el Pacífico.

### *Efecto de la dieta como probable causa de las tendencias observadas*

El declive en la abundancia y la disminución en la proporción de crías puede ser un indicador de ciclos reproductivos menos exitosos. Esto podría ser el resultado de cambios en la alimentación del lobo marino de California en el golfo de California, como recientemente se reportó para *Z. californianus* en esta región (Sandoval-Sierra, 2018). Sandoval-Sierra (2018) comparó el nicho isotópico (indicador de posición trófica promedio y uso de hábitat, Newsome *et al.*, 2007) de la población de *Z. californianus* del golfo en el 2016. Si se contrastan estos hallazgos con los de Porras-Peters *et al.* (2008) en el 2000 y 2002, se observa que algunas variables indicativas de la amplitud del nicho trófico se han reducido. Esto probablemente se relacione a que en su dieta se redujo la importancia de componentes de posición trófica baja (del 5% al 1%), como son la sardina (*Sardinops sagax*) y una especie de anchoa (*Anchoa* sp.). Adicionalmente, y quizás más importante que lo anterior, los mictófididos, al ser una familia de peces de mayor nivel trófico que los pelágicos menores, representaron 32% de la dieta del lobo marino de California en el golfo, cuando solían representar solo el 4.2% de su dieta (Porras-Peters *et al.*, 2008; Sandoval-Sierra, 2018).

Se ha reportado que en condiciones anómalas como las de El Niño, *Z. californianus* de las colonias de la zona del Pacífico adyacente al estado de California, EE.UU., también cambiaron su alimentación a organismos de mayor nivel trófico, pasando de sardinas y anchovetas, a pez roca (*Sebastes jordani*) y calamar (*Doryteuthis opalescens*), los cuales tienen un menor contenido tanto calórico como de grasa (McClatchie *et al.*, 2016). Aunque se ha reportado que la sardina y la anchoveta presentan ciclos alternos de abundancia (Chávez *et al.*, 2003), esto no se ha visto reflejado en cambios en la alimentación del lobo marino de California, sino que ambas disminuyen como parte de la dieta de este otárido en condiciones anómalamente cálidas (McClatchie *et al.*, 2016; Sandoval-Sierra, 2018).

El estrés nutricional en los pinnípedos puede tener resultados adversos en la población, como disminución del tamaño y condición corporal, lo que en consecuencia afecta el número de nacimientos (Trites & Donnelly, 2003). El estrés nutricional puede resultar de un cambio de régimen alimenticio de las presas

preferidas a otras presas con menor valor nutricional. Esto ya se ha reportado en otras poblaciones de pinnípedos (Fritz & Hinckley, 2005; Österblomet *et al.*, 2008). Por ejemplo, bajo condiciones de incremento anómalo de la temperatura superficial del mar y una consecuente disminución de disponibilidad de presas, las crías de lobo marino de California en el Pacífico tienen una baja condición corporal y disminución del sistema inmune (DeLong *et al.*, 1991; Leising *et al.*, 2015; Mcclatchie *et al.*, 2016; DeLong *et al.*, 2017; Flores-Morán *et al.*, 2017; Banuet-Martínez *et al.*, 2017). Además de que las hembras se alimentan de presas con menor valor nutritivo que afecta la lactancia, en condiciones anómalas, las hembras realizan viajes de alimentación de mayor duración, que en ocasiones resulta en eventos de inanición y mortalidad en crías, gestaciones interrumpidas, disminución de fertilidad y un mayor costo energético para las hembras al viajar mayores distancias y bucear a mayores profundidades en busca de alimento (Aurioles-Gamboa & Le Boeuf, 1991; McCafferty *et al.*, 1998; Trites & Donnelly, 2003; Soto *et al.*, 2006; Weise *et al.*, 2006; Melin *et al.*, 2008; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016;). Además, este tipo de cambios alimentarios también se ha relacionado con un destete precoz por parte de las madres a sus crías, resultando en una mayor mortalidad de crías (Melin *et al.*, 2008; NOAA Fisheries, 2015). En el presente estudio se registró una baja proporción de crías en algunas de las colonias. Esto pudo deberse a que los individuos se hayan alimentado de presas con menor contenido calórico y hayan hecho viajes de alimentación más largos, afectando consecuentemente el número de nacimientos y la supervivencia de crías.

Adicionalmente, el incremento de esfuerzo durante los viajes de alimentación podría explicar parcialmente el por qué se contaron menos lobos marinos en tierra (Aurioles-Gamboa & Le Boeuf, 1991). Sin embargo, dado que la proporción de crías también ha disminuido, y estas no realizan viajes de alimentación en al menos los primeros seis meses de vida (Hernández Camacho, 2001; García-Aguilar & Aurioles-Gamboa, 2003; Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2015), es probable que los viajes de alimentación de las hembras no estén siendo únicamente más largos, si no también menos exitosos. Una de las preguntas resultantes de esta hipótesis del estrés nutricional es si está llegando al punto de afectar la fecundidad de la población

(número de nacimientos en relación al número de hembras) de la población, o la supervivencia de las crías a largo plazo. La fecundidad promedio de las hembras en las 13 colonias reproductivas del golfo se estimó en 73% (Pelayo-González, 2018), lo cual se asemeja a la reportada para *Z. californianus* en términos generales (García-Aguilar, 1999; Melin, 2002; Hernández-Camacho *et al.*, 2008). Pelayo-González (2018) sugiere que la disminución de nacimientos de crías en el golfo no es resultado de una baja de fecundidad sino de un menor número de hembras adultas. Sin embargo, de ser así, las proporciones de hembras y crías en las colonias deberían haberse mantenido (una clase respecto a otra) en comparación a estudios históricos, y como se mencionó, este no fue el caso. Mientras que la proporción de hembras en las colonias reproductivas se mantuvo muy similar a la reportada previamente, la proporción de crías disminuyó 10%, sugiriendo que no solo existe un menor número de hembras, sino que menos de ellas están teniendo crías; i.e. baja de fecundidad.

Las colonias de la región de las grandes islas, en el centro del golfo (El Rasito, El Partido, Los Machos, Los Cantiles y Granito) tuvieron las proporciones más bajas de crías (8–14%) en comparación a otras colonias y en comparación a años pasados. Por ejemplo, la proporción de crías en El Rasito en 1991 fue del 17%, en comparación a un 8% en 2016. En 1991, en Los Cantiles, la proporción de crías fue de 30%, mientras que en 2016 fue 14%. En Los Machos, en 1990, la proporción de crías fue de 25% y en 2016 de 15%. No existen conteos comparables para El Partido. Granito es la excepción, presentando un incremento en su proporción de crías, en 1991, esta fue de 9.5% y en 2016 fue de 14%. Las estimaciones previas fueron realizadas durante el verano con una diferencia <12 días (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994), por lo que la fecha del conteo no debería ser un factor de sesgo en el número de crías contabilizadas dentro del periodo reproductivo. Estas colonias con las más bajas proporciones de crías son también donde se registraron a las crías de menor peso corporal ( $9.0 \pm 1.2$  a  $11.7 \pm 2.1$ ) en el golfo de California (hasta  $12.6 \pm 1.6$ ), durante la temporada reproductiva de 2016 (Sandoval-Sierra, 2018). Históricamente, estas colonias de la región de las grandes islas son las que han dependido en mayor grado de sardinas y anchovetas (Porrás-Peters *et al.*,

2008), por lo que el reciente declive de estas dos especies (Saldívar-Lucío *et al.*, 2013) impactaría con mayor fuerza a las colonias ubicadas en la región de las grandes islas.

El resto de las colonias tuvo proporciones de crías del 18–32%. Las colonias en las cuales aumentó la proporción de crías fueron Rocas Consag (18/junio/1981: 10%, 2016: 19%), San Jorge (15/junio/1985: 23%, 2016: 31%), Lobos (15/junio/1985: 19%, este estudio: 22%), y San Pedro Nolasco (19/julio/1991: 15%, 2016: 20%). Aunque la proporción de crías es mayor a la reportada previamente, no significa que el número total de nacimientos sea mayor a los ya reportados (es necesario tomar en cuenta la abundancia absoluta). A excepción de San Pedro Nolasco, este incremento en la proporción de crías se debe más bien a que los conteos del estudio previo fueron realizados a principios de la temporada reproductiva, cuando aún faltaban crías por nacer, a diferencia del presente estudio que se realizó a la mitad de la temporada reproductiva. Los Islotes mantuvo su proporción de crías en 28%, aunque la estimación previa se obtuvo más tarde en la temporada reproductiva (20/julio/1993), indicando que la proporción registrada en este estudio, a finales de junio, probablemente hubiera sido mayor si se hubiera registrado a finales de julio. Otro estudio registró una proporción de crías en Los Islotes de un 40.7% (García-Aguilar, 1999). Además de las mencionadas previamente en la región de las grandes islas, San Esteban (18/julio/1990: 37%, 2016: 22%), San Pedro Mártir (19/julio/1991: 25%, 2016: 18%) y Farallón de San Ignacio (16/7/1985: 36.5%, 2016: 32%) también presentaron proporciones de crías menores a las reportadas previamente (Auriol-Gamboa & Zavala-González, 1994). A excepción de en Farallón de San Ignacio, es probable que esta disminución de proporción de crías se vea influenciada por la fecha del conteo, debido a que estas estimaciones fueron realizadas más tarde que las de 2016. En algunos casos como en San Esteban, donde la proporción de crías varió en un 15%, es posible que estén involucrados otros factores. En el caso de Farallón, en el estudio previo se estimó a mediados de julio, cuando aún faltaban nacimientos; el presente estudio registró un 32% de crías en septiembre, cuando ya había culminado el periodo de nacimientos. Esto significa, que el cambio de disminución pudo haber sido incluso más grande. Las colonias con la proporción de

crías más altas solían ser San Esteban (37%), Farallón (36.5%) y Los Islotes (28%), mientras que en 2016 son San Jorge (31%) y se mantiene Los Islotes (28%). Aunque Farallón tuvo la proporción de crías más alta de todo el golfo, no fue monitoreada en la misma temporada que las demás, por lo que no es comparable.

Tanto en términos de tendencia de abundancia como en proporciones de crías, Los Islotes resalta de las demás colonias. Es la única colonia reproductiva del golfo con un claro incremento en su abundancia; su proporción de crías se mantiene como una de las más elevadas en comparación a otras colonias del golfo y el peso de las crías ( $11.6 \text{ kg} \pm 1.6$ ) es también el más alto entre las loberas del golfo (Sandoval-Sierra, 2018). Esto lleva a pensar que la región que rodea a Los Islotes presenta alguna particularidad que ha favorecido que la colonia se mantenga estable. Los Islotes se localiza en la Bahía de La Paz, una región donde la concentración de clorofila se mantiene elevada a lo largo del año, a comparación de sus alrededores, por lo que es una zona rica en biomasa de fitoplancton (en comparación a zonas adyacentes a la Bahía de La Paz) (Martínez-López *et al.*, 2001; Pardo *et al.*, 2013). En esta región ocurren dos picos en la concentración superficial de clorofila *a*. El primero en invierno, ocasionado por la mezcla que resulta de los vientos del norte, proceso que ocurre en la región suroeste del golfo regularmente. Sin embargo, el segundo pico, que ocurre en primavera y verano, es asociado a la “somerización” (reducción en la profundidad) de la picnoclina debido a un giro ciclónico (Sánchez-Velasco *et al.*, 2006). Este remolino favorece la formación de agregaciones de fitoplancton en una temporada en la que los alrededores permanecen oligotróficos (Pardo *et al.*, 2013). Los lobos marinos de California que habitan en esa región se ven beneficiados de esta riqueza superficial de fitoplancton de manera indirecta, ya que este sirve de alimento para sus presas. A este respecto, se ha observado que los lobos marinos que habitan la colonia de Los Islotes presentan la particularidad de tener la dieta más variada (nicho isotópico más amplio) de todas las colonias del golfo (Porrás-Peters *et al.*, 2008; Sandoval-Sierra, 2018). Esta diversificación de su dieta es una estrategia favorable para disminuir la superposición por recursos (Estes *et al.*, 2006). Aunque Los Islotes no es una colonia con una gran cantidad de individuos, sí es la única que ha mostrado un incremento

constante (Fig. 15) y parece estar alcanzando un tamaño poblacional cercano a su capacidad de carga (Hernández-Camacho *et al.*, 2008). Esta diversificación de su dieta y la riqueza de fitoplancton que se encuentra en la bahía a lo largo del año pueden ser unas de las razones por las que esta colonia está en buen estado, si se compara con las del resto del golfo.

## Hábitat terrestre del lobo marino de California en el golfo de California

La plataforma rocosa es el tipo de sustrato al cual los lobos marinos presentaron mayor afinidad, seguido de cantos rodados y conglomerados de rocas. Las plataformas rocosas y conglomerados de rocas comparten la característica de proveer pozas de agua, sombra ocasionada por el relieve, y refugio; mientras que los cantos rodados suelen ser playas donde existe mayor exposición al viento y se tiene un acceso fácil al agua. Estas cualidades se han reportado como esenciales para la elección del hábitat terrestre por parte de los lobos marinos de California en el golfo de California y Pacífico Mexicano (González-Suárez & Gerber, 2008; Arias-del-Razo *et al.*, 2016). Sin embargo, hasta el presente estudio se desconocía la preferencia de sustrato por clases de edad y sexo en *Z. californianus*. En una colonia reproductiva se encuentran zonas con un número de alto de hembras adultas congregadas para tener a sus crías, y para llevar a cabo la cópula con machos adultos que llegan a estas zonas a formar territorios reproductivos. Además de estos sitios, a veces se encuentran puntos en las colonias donde no existen territorios reproductivos, sino que se observa una alta abundancia relativa de machos, en su mayoría subadultos, y juveniles, formando las denominadas zonas de solteros (Peterson & Bartholomew, 1967). En el presente estudio se analizaron las tasas de encuentro de crías, como representativas de zonas de reproducción, y las de machos subadultos como representantes de zonas de solteros. Como se planteó en la hipótesis, el sustrato donde al que las crías presentaron una mayor afinidad difiere del sustrato al que los machos subadultos fueron más afines. Esto posiblemente se debe a que tienen diferentes requerimientos ontogenéticos de la especie. Las hembras adultas necesitan buscar una zona donde puedan encontrar refugio del oleaje, debido a que las crías no pueden nadar y protección térmica para sus crías, ya que estas tienen poca movilidad en los primeros meses de vida. Por otro lado, los machos requieren de sustratos frescos, más expuestos, con rápido acceso al agua y no requieren de refugio. Esto explica por qué los territorios reproductivos se encuentran principalmente en zonas de conglomerados de rocas (el sustrato dominante en las islas donde se encuentran las colonias en el golfo) y de plataformas rocosas,

mientras que las zonas de solteros se localizan más frecuentemente en zonas de cantos rodados.

Las tasas de encuentro englobadas por el modelo son <15 machos cada 100 m de costa. Esto ocurre porque es mucho más común encontrar zonas con pocos individuos aislados, que zonas de grandes agregaciones de machos subadultos. Un mejor indicador de zonas de solteros son las observaciones donde el número de machos rebasa este número promedio de 15 machos cada 100 m, como ocurrieron en los hábitats de cantos rodados y en un par de ocasiones en conglomerados de rocas (>70 machos subadultos; Fig. 20),.

Los mapas creados para cada colonia de lobos marinos de California proveen información sobre el uso de hábitat terrestre en 2016 en términos de distribución en relación al tipo de sustrato. Estos pueden ser herramientas útiles de manejo dentro de las áreas naturales protegidas donde existen loberas, en relación con actividades como pesca y ecoturismo. Sería recomendable realizar las actividades de pesca en zonas no cercanas a las zonas de reproducción (presencia de crías) para evitar el enmalle de hembras volviendo de viajes de alimentación para alimentar a sus crías, o a crías que empiecen a realizar actividades de nado. En cuanto al turismo, las zonas de reposo son más idóneas para actividades de nado y avistamiento ya que en ellas no ocurren eventos de crianza y cópula. Es importante evitar interrumpir estos eventos dado que no se han realizado estudios que evalúen el impacto que las actividades de ecoturismo puedan generar sobre los individuos en reproducción. De igual manera, las zonas con alta presencia de machos (incluyendo zonas de territorios durante la reproducción) no son idóneas para esnorquelear y bucear, ya que los machos pueden presentar comportamientos de territorialidad (Peterson & Bartholomew, 1967) que pueden ser agresivos y constituir un riesgo hacia personas en el agua. Además, los mapas servirían como una base para futuros estudios que repitan el análisis de cambios en el uso de hábitat a largo del tiempo. Por ejemplo, en la punta oeste de Los Islotes había sido reportada como una zona de solteros (Hernández-Camacho, 2001), sin embargo, en verano 2016 esta zona funcionó como

zona de territorios reproductivos (Adame-Fernández *et al.*, 2017). Este cambio podría relacionarse al incremento de este asentamiento que se ha reportado para este islote, creando la necesidad de ocupar espacios nuevos para la formación de territorios reproductivos dentro de la colonia.

## Conclusiones

- a. La estimación de abundancia de lobos marinos de California en el golfo de California para la temporada reproductiva de verano de 2016 y con mayor precisión realizada hasta entonces es de 20,651-22,806 individuos. Esta estimación fue calculada mediante una técnica (vehículo aéreo no tripulado) previamente no utilizada antes en el golfo (excepto en Los Islotes), e incluye factores de corrección, lo que debe tomarse en cuenta al compararla con estudios previos o futuros.
- b. La abundancia del lobo marino de California en el golfo de California estimada con la técnica tradicional desde embarcación muestra una disminución de 45% en los últimos 12–19 años, con una tasa de decremento anual del 3.7%, asumiendo que este ha sido lineal. Todas las colonias han disminuido, a excepción de Los Islotes (colonia más sureña dentro del golfo), la cual tiene, hasta el 2016, una tendencia de aumento.
- c. La distribución de esta especie en el golfo no ha cambiado, manteniéndose cerca del 80% de la población en la región centro-norte del golfo. Sin embargo, la proporción de crías es 10% menor a la reportada en estudios anteriores, indicando una posible baja de la fecundidad o incremento de mortalidad de las crías.
- d. El declive de abundancia de la especie y los cambios en la estructura poblacional reportados para la temporada reproductiva 2016 pueden ser el resultado de cambios en la disponibilidad y calidad nutricional de sus presas. Se recomienda hacer estudios que analicen el impacto de los cambios de dieta sobre la salud a largo plazo (posible estrés nutricional) y reproducción de la especie en el golfo de California.
- e. Los lobos marinos de California del golfo de California muestran una mayor afinidad a terrenos con plataformas rocosas y conglomerados de roca para reproducirse porque ofrecen beneficios como protección térmica con pozas de agua y sombras, así como refugio a las crías. En cambio, las zonas de machos

solteros suelen encontrarse en playas de cantos rodados, las cuales están expuestas al viento pero con un fácil acceso al agua.

### **Sugerencias**

- Es esencial continuar el monitoreo de la abundancia de este especie en el golfo de California, así como intentar encontrar la o las posibles causas de este declive.
- Se recomienda hacer estudios que analicen el impacto de los cambios de dieta en la salud a largo plazo (posible estrés nutricional) y reproducción de la especie en el golfo de California.
- Es importante monitorear la distribución terrestre dentro de las colonias para conocer las zonas críticas dentro de cada colonia, a las cuales se les puede dar protección especial frente a actividades de pesca o turismo. Debe monitorearse la permanencia de estas zonas preferenciales (tipo y extensión) a lo largo del tiempo, ya que no es posible asegurar que estas se mantengan año tras año.

## Referencias

- Adame Fernández, K. 2016. *Conteo de lobos marinos de California (Zalophus californianus) utilizando vehículos aéreos no tripulados*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., México. 47 p.
- Adame, K., M.A. Pardo, C. Salvadeo, E. Beier y F.R. Elorriaga-Verplancken. 2017. Detectability and categorization of California sea lions using an unmanned aerial vehicle. *Marine Mammal Science* 33, 913–925. doi: 10.1111/mms.12403
- Aguirre, A.A. y G. Tabor. 2004. Introduction: Marine Vertebrates as Sentinels of Marine Ecosystem Health. *Ecohealth* 1:236–238. doi: 10.1007/s10393-004-0091-9
- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. En: Ketchum, B.H. (ed.) *Ecosystems of the world: Estuaries and enclosed seas*. Elsevier, Amsterdam. 427-429.
- Álvarez-Borrego, S. 2002. Physical oceanography. A new island biogeography of the Sea of Cortes. En: Case, T.J., M.L. Cody, E. Ezcurra (eds). Oxford University Press, 41–59.
- Álvarez-Borrego, S. y J. R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. En: Dauphin J., Simoneit BRT (eds) *The Gulf and Peninsular Provinces of the Californias*. Memoir 47. American Association Petrology Geological Memories, 47: 555-567.
- Anderson, P.J., J.F. Piatt. 1999. Community reorganization in the Gulf of Alaska following ocean climate regime shift. *Marine Ecology Progress Series* 189:117–123. doi: 10.3354/meps189117
- Angell, O.C. 2014. *Abundancia y estructura de las colonias de pinnípedos que habitan el archipiélago San Benito, B.C., México, en el verano e invierno (2012-2013)*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., México. 52 p.
- Arias-del-Razo, A. 2011. *Uso de hábitat por cuatro especies de pinnípedos en las islas al occidente de Baja California*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, B.C. 126 p.
- Arias-del-Razo, A., G. Heckel, Y. Schramm y M.A. Pardo. 2016. Terrestrial habitat preferences and segregation of four pinniped species on the islands off the western coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine Mammal Science* 32(4): 1416-1432. doi: 10.1111/mms.12339
- Aurioles-Gamboa, D. 1982. *Contribución al conocimiento de la conducta migratoria del lobo marino de California, Zalophus californianus*. Tesis de Licenciatura.

- Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S. México. 75 p.
- Aurioles-Gamboa, D. 1988. *Behavioral ecology of California sea lions in the Gulf of California*. Tesis de doctorado. University of California, Santa Cruz. 175 p.
- Aurioles-Gamboa, D., B.J. LeBoeuf. 1991. Effects of the El Niño 1983 in the California sea lion population in Mexico. En: Trillmich, F. y K. Ono (eds) *Pinnipeds and El Niño Responses to Environmental Stress*. Springer-Verlag, 293 p.
- Aurioles-Gamboa, D., F.J. García-Rodríguez, M. Ramírez-Rodríguez y C.J. Hernández-Camacho. 2003. Interacción entre el lobo marino de California y la pesquería artesanal en la Bahía de La Paz, golfo de California, México. *Ciencias Marinas* 29(3): 357–370.
- IUCN 2018. The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2018-1. Disponible en línea en <https://newredlist.iucnredlist.org/species/41666/45230310>
- 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(4): 535–553.
- Aurioles-Gamboa, D., F. Sinsel, C. Fox, E. Alvarado y O. Maravilla. 1983. Winter migration of subadult male California sea lions (*Zalophus californianus*) in the southern part of Baja California. *Journal of Mammalogy* 64: 513-518.
- Banuet-Martínez, M., W. Espinosa-de-Aquino, F.R. Elorriaga-Verplancken, A. Flores-Morán, P.P. García, M. Camacho y K. Acevedo-Whitehouse. 2017. Climatic anomaly affects the immune competence of California sea lions. *PLoS ONE* 12(6): e0179359. doi: 10.1371/journal.pone.0179359
- LeBoeuf B.J., D. Aurioles-Gamboa, R. Condit, C. Fox, R. Gisiner, R. Romero y F. Sinsel. 1983. Size and distribution of the California sea lion population in Mexico. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 43:77–85.
- LeBoeuf B.J., J.P. Giesy, K. Kannan, N. Kajiwara, S. Tanabe y C. Debier. 2002. Organochloride pesticides in California sea lions revisited. *BMC Ecology* 2:11. doi: 10.1186/1472-6785-2-11
- Bonnell, M.L. y R.G. Ford. 1987. California sea lion distribution: a statistical analysis of aerial transect data. *Journey of Wildlife Management* 51(1): 13-20 p.
- Bowen, W.D., C.A. Beck, D. Austin. 2009. Pinniped Ecology. En: W.F. Perrin, B. Wursig y H.G.M. Thewissen (eds) *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press, San Diego, CA, 852–860.
- Bowen, W.D., J.I. McMillan y W. Blanchard. 2007. Reduced population growth of gray seals at sable island: Evidence from pup production and age of primiparity.

*Marine Mammal Science* 23 (1): 48–64. doi: 10.1111/j.1748-7692.2006.00085.x

- Carretta, J. V., E. Oleson, D.W. Weller, A.R. Lang, K.A. Forney, J. Baker, B. Hanson, K. Martien, M.M. Muto, M.S. Lowry, J. Barlow, D. Lynch, L. Carswell, Jr. R.L. Brownell, D.K. Mattila y M.C. Hill. 2013. U.S. Pacific Marine Mammal Stock Assessments: 2012. *NOAA Technical Memorandum*. 378 p.
- Chabot, D. y C.M. Francis. 2016. Computer-automated bird detection and counts in high-resolution aerial images: A review. *Journal of Field Ornithology* 87(4): 343–359. doi: 10.1111/jfo.12171
- Chavez, F.P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota y M.C. Niquen MC. 2003. From Anchovies to Sardines and back: Multidecadal Change in the Pacific Ocean. *Science* 299: 217–221. doi: 10.1126/science.1075880
- Christiansen, F., L. Rojano-Doñate, P.T. Madsen y L. Bejder. 2016. Noise Levels of Multi-Rotor Unmanned Aerial Vehicles with Implications for Potential Underwater Impacts on Marine Mammals. *Frontiers in Marine Science* 3: 277. doi: 10.3389/fmars.2016.00277
- Christie, K.S., S.L. Gilbert, C.L. Brown, M. Hatfield y L. Hanson L. 2016. Unmanned aircraft systems in wildlife research: Current and future applications of a transformative technology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 14(5): 241–251. doi: 10.1002/fee.1281
- Colefax, A.P., P.A. Butcher y B.P. Kelaher. 2018. The potential for unmanned aerial vehicles (UAVs) to conduct marine fauna surveys in place of manned aircraft. *ICES Journal of Marine Science*. doi: 10.1093/icesjms/fsx100.
- DeLong, R., G. Antonelis, C. Oliver, B. Stewart, M. Lowry y P. Yochem. 1991. Effects of the 1982-83 El Niño on several population parameters and diet of California sea lions on the California Channel Islands. En: F. Trillmich y K. A. Ono, eds. *Pinnipeds and El Niño: Responses to environmental stress*. Springer-Verlag, Berlín, Alemania. 166–172 p.
- DeLong, R.L., S.R. Melin, J.L. Laake, P. Morris, A.J. Orr y J.D. Harris. 2017. Age- and Sex-Specific Survival of California Sea Lions (*Zalophus californianus*) at San Miguel Island, California. *Marine Mammal Science* 33(4): 1097-1125. doi: 10.1111/mms.12427
- Dunnington D. y P. Harvey. 2016. exifr: EXIF Image Data in R. R package version 0.1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=exifr>
- Elorriaga-Verplancken, F.R. 2004. *Incidencia y efectos del enmalle sobre el lobo marino de California (Zalophus californianus) en Los Islotes, B. C. S., México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas- IPN. México. 64 p.

- Elorriaga-Verplancken, F.R. 2009. *Variación de  $\delta^{15}n$  y  $\delta^{13}c$  en colágeno dental de lobos marinos del género *zalophus*: patrones ontogénicos y geográficos*. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas- IPN. México. 142 p.
- Elorriaga-Verplancken, F.R., M.J. Tennis, y R.F. Brown. 2014. Unprecedented Resighting in Mexico of a Male California Sea Lion (*Zalophus californianus*) from Oregon During the 2014 Breeding Season. *Aquatic Mammals* 40(4): 364-367. doi: 10.1578/AM.40.4.2014.364
- Elorriaga-Verplancken, F.R., G. Ferretto, O.C. Angell. 2015. Current status of the California sea lion (*Zalophus californianus*) and the northern elephant seal (*Mirounga angustirostris*) at the San Benito Archipelago, Mexico. *Ciencias Marinas* 41(4): 269–281. doi: 10.7773/cm.v41i4.2545
- Elorriaga-Verplancken, F.R., G.E. Sierra-Rodríguez, H. Rosales-Nanduca, K. Acevedo-Whitehouse y J. Sandoval-Sierra. 2016. Impact of the 2015 El Niño-Southern Oscillation on the Abundance and Foraging Habits of Guadalupe Fur Seals and California Sea Lions from the San Benito Archipelago, Mexico. *PLoS ONE* 11(5): e0155034. doi: 10.1371/journal.pone.0155034
- Elorriaga-Verplancken, F.R., J. Sandoval-Sierra, A. Paniagua-Mendoza, R. Robles-Hernández. 2018. Seasonality and potential foraging grounds of migratory California sea lions from La Paz Bay, Southern Gulf of California, Mexico. *Aquatic Mammals* 44(1): 56-61. doi: 10.1578/AM.44.1.2018.56
- Escalante F., J. E. Valdez-Holguín, S. A. Borrego y J. R. Lara-Lara. Variación temporal y espacial de temperatura superficial del mar, corofila *a* y productividad primaria en el golfo de California. *Ciencias Marinas* 39(2): 213-215. doi: 10.7773/cm.v39i2.2233
- Estes, J.A., M.L. Riedman, M.M. Staedler, M.T. Tinker y B.E. Lyon. 2003. Individual variation in prey selection by sea otters: patterns, causes and implications. *Journal of Animal Ecology* 72:144–155.
- Fiori, L., A. Doshi, E. Martinez, M.B. Orams y B. Bollard-Breen. 2017. The use of unmanned aerial systems in marine mammal research. *Remote Sensing* 9: 543. doi: 10.3390/rs9060543
- Flores-Morán, A., M. Banuet-Martínez, F.R. Elorriaga-Verplancken, L.E. García-Ortuño, J. Sandoval-Sierra y K. Acevedo-Whitehouse. 2017. Atypical Red Blood Cells Are Prevalent in California Sea Lion Pups Born during Anomalous Sea Surface Temperature Events. *Physiological and Biochemical Zoology* 90(5): 64–574. doi: 10.1086/692919
- Fritz, L.W. y S. Hinckley. 2005. A critical review of the regime shift–“junk food”–nutritional stress hypothesis for the decline of the western stock of Steller sea

lion. *Marine Mammal Science* 21(3):476–518.

- García-Aguilar, M.C. 1999. *Estrategias de conducta de hembras reproductoras de lobo marino de California (Zalophus californianus) en Los Islotes, Bahía de la Paz, México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN, La Paz, B.C.S., México. 64 p.
- García-Aguilar, M.C. y D. Aurióles-Gamboa. 2003a. Breeding season of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Aquatic Mammals* 29(1): 67–76.
- García-Aguilar, M.C. y D. Aurióles-Gamboa. 2003b. Cuidado materno en el lobo marino de California de Los Islotes, golfo de California, México. *Ciencias Marinas* 29(4B): 573–583.
- García-Rodríguez, F.J. 1999. *Cambios espaciales y estacionales en la estructura trófica y consumo del lobo marino de California, Zalophus californianus, en la región de las grandes islas, golfo de California*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN, La Paz, B.C.S., México. 73 p.
- Goebel, M.E., W.L. Perryman, J.T. Hinke, D.J. Krause, N.A. Hann, S. Gardner y D.J. LeRoi. 2015. A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators. *Polar Biology*. doi: 10.1007/s00300-014-1625-4
- González-Suárez, M. 2008. *Habitat selection in California Sea Lions: Implications for conservation*. Tesis de doctorado. Arizona State University. 135 p.
- Gonzalez-Suarez, M. y L.R. Gerber. 2008. Habitat preferences of California sea lions: implications for conservation. *Journal of Mammalogy*, 89(6): 1521–1528. doi: 10.1644/08-MAMM-A-109.1
- Hernández-Camacho, C.J. 2001. *Tabla de vida del lobo marino de California Zalophus californianus californianus en la lobera Los Islotes, B.C.S., México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN, La Paz, B.C.S., México. 62 p.
- Hodgson, A., N. Kelly y D. Peel. 2013. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying Marine Fauna: A dugong case study. *PLoS ONE* 8(11): e79556. doi:10.1371/journal.pone.0079556
- Hodgson, J.C. y L.P. Koh. 2016. Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research. *Current Biology* 26, R387–R407. doi: 10.1016/j.cub.2016.04.001
- Hodgson, A.J., M. Noad, H. Marsh, J. Lanyon y E. Kniest. 2010. Using Unmanned Aerial Vehicles for surveys of marine mammals in Australia: test of concept. *Final Report to the Australian Marine Mammal Centre*. Centre for Marine Studies,

University of Queensland.

- Jameson, E.W. y H.J. Peeters. 2004. *Mammals of California*. University of California Press. 429 p.
- Kirkwood, R., R. Gales, H.P.Y. Arnould, D. Pemberton, P.D. Shaughnessy, A.T. Mitchell y J. Gibbens. 2005. Pup Production and Population Trends. *Marine Mammal Science* 21(2): 260-282.
- Koski, W.R., T. Allen, D. Ireland, G. Buck, P.R. Smith, A.M. Macrender, M.A. Halick, C. Rushing, D.J. Sliwa y T.L. McDonald. 2009. Evaluation of an unmanned airborne system for monitoring marine mammals. *Aquatic Mammals* 35(3): 347-357. doi: 10.1578/AM.35.3.2009.347
- Koski, W.R., T.A. Thomas, D.W. Funk y A.M. Macrender. 2013. Marine mammal sightings by analysts of digital imagery versus aerial surveyors: a preliminary comparison. *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 1: 25–40. doi: 10.1139/juvs-2013-0015
- Kuhn, C.E. y D.P. Costa. 2014. Interannual variation in the at-sea behavior of California sea lions (*Zalophus californianus*). *Marine Mammal Science* 30(4): 1297–1319. doi: 10.1111/mms.12110
- Lavín, M. y S. Marinone. 2003. An Overview of the Physical Oceanography of the Gulf of California. En: O.U. Velasco Fuentes *et al.* (eds.) *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Kluwer Academic Publishers. Holanda. 173-204 p.
- Leising, A.W., I.D. Schroeder, S.J. Bograd, J. Abell, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, E.P. Bjorkstedt, J. Field, K. Sakuma, R.R. Robertson, R. Goericke, W.T. Peterson, R.D. Brodeur, C. Barceló, T.D. Auth, E.A. Daly, R.M. Suryan, A.J. Gladics, J.M. Porquez, S. McClatchie, E.D. Weber, W. Watson, J.D. Santora, W.J. Sydeman, S.R. Melin, F.P. Chavez, R.T. Golightly, S.R. Schneider, F. Jennifer, C. Morgan, R. Bradley y P. Warybok. 2015. State of the California Current 2014–15: Impacts of the warm-water “Blob.” *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Rep* 56:31–68.
- Linchant, J., J. Lisein, J. Semeki, P. Lejeune y C. Vermeulen. 2015. Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mammal Review* 45: 239–252. doi: 10.1111/mam.12046
- Lluch-Belda, D., F.J. Magallon y R.A. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: Possible Causes. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Rep* XXVII:136–140. doi: 10.2984/66.3.5
- Lluch-Belda, D. 1969. *El lobo marino de California Zalophus californianus californianus (Lesson, 1828) Allen, 1880. Observaciones sobre su ecología y*

- explotación*. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN, D.F., México. 69 p.
- Lowry, M.S. 1999. Counts of California sea lion (*Zalophus californianus*) pups from aerial color photographs and from the ground: a comparison of two methods mark. *Marine Mammal Science* 15(1):143-158.
- Lowry, M. y Maravilla-Chávez, O. 2005. Recent abundance of California sea lions in western Baja California, Mexico and the United States. En: *Sea Lion Abundance*. 94-106 p.
- Lowry, M.S., B.S. Stewart, C.B. Heath, P.K. Yochem y J.M. Francis. 1991. Seasonal and annual variability in the diet of California seal lions *Zalophus californianus*. *Fisheries Bulletin (Dublin)* 89(2): 331-336.
- Maldonado, E., F. Orta-Davila, B. Stewart, E. Greffen y R. Wayne. 1995. Intraspecific genetic differentiation in California sea lions (*Zalophus californianus*) from southern California and the Gulf of California. *Marine Mammal Science* 11:46–58.
- Mantua, N.J. y S.R. Hare. 2009. The Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Oceanography* 58: 35-44.
- Maravilla-Chávez, M.O., A. Zavala-González y A. Ortega-Rubio. 2006. Four seasons abundance changes of *Zalophus californianus californianus* (Lesson 1828), Allen, 1880, in the Gulf of California, Mexico. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49(1): 111–116. doi: 10.1590/S1516-89132006000100013
- Martin, J., H.H. Edwards, M.A. Burgess, H.F. Percival, D.E. Fagan, B.E. Gardner, J.G. Ortega-Ortiz, P.G. Ifju, B.S. Evers y T.J. Rambo. 2012. Estimating distribution of hidden objects with drones: From tennis balls to manatees. *PLoS ONE* 7(6): e38882. doi: 10.1371/journal.pone.0038882
- Martínez-López, A., R. Cervantes-Duarte, A. Reyes-Salinas y J.E. Valdez-Holguin. 2001. Cambio estacional de clorofila a en La Bahía de La Paz, BCS, Mexico. *Hidrobiológica* 11(1): 45–52.
- McCafferty, D.J., I.L. Boyd, T.R. Walker y R.I. Taylor. 1998. Foraging responses of Antarctic fur seals to changes in the marine environment. *Marine Ecology Progress Series* 166: 285–299. doi: 10.3354/meps166285
- Mcclatchie, S., J. Field, A.R. Thompson, T. Gerrodette, M. Lowry, P.C. Fiedler, K.M. Nieto y R.D. Vetter. 2016. Food limitation of sea lion pups and the decline of forage off central and southern California. *Royal Society Open Science* 3: 150628. doi: 10.1098/rsos.150628
- McClelland, G.T.W., A.L. Bond, A. Sardana y T. Glass. 2016. Rapid population

- estimate of a surface-nesting seabird on a remote island using a low-cost unmanned aerial vehicle. *Marine Ornithology* 44: 215–220.
- Mcintosh, R.R., R. Holmberg y P. Dann. 2018. Looking Without Landing — Using Remote Piloted Aircraft to Monitor Fur Seal Populations Without Disturbance. *Frontiers in Marine Science* 5: 202. doi: 10.3389/fmars.2018.00202
- Melin, S.R. 2002. *The foraging ecology and reproduction of the California sea lion (Zalophus californianus californianus)*. Tesis de doctorado. University of Minnesota, Minneapolis.
- Melin, S.R., R.L. DeLong y D.B. Siniff DB. 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. doi: 10.1139/Z07-132
- Moore, S.E. 2008. Marine mammals as ecosystem sentinels. *Journal of Mammalogy* 89(3): 534–540. doi: 10.1644/07-MAMM-S-312R1.1
- Mulero-Pázmány, M., R. Stolper, L.D. van Essen, J.J. Negro y T. Sassen. 2014. Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa. *PLoS ONE* 9(1): e83873. doi: 10.1371/journal.pone.0083873
- Nevárez-Martínez, M.O., D. Lluch-Belda, M.A. Cisneros-Mata, P.J. Santos-Molina, M.A. Martínez-Zavala y S.E. Lluch-Cota SE. 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. doi: 10.1016/S0079-6611(01)00041-6
- Newsome, S., C. Martínez del Río, S. Bearhop, y D. Phillips. 2007. A niche for isotopic ecology. *Front Ecol Environ*, 5(8): 429-436.
- NOAA Fisheries. FAQs on the 2013 California Sea Lion UME Investigation. Disponible en línea: [http://www.nmfs.noaa.gov/pr/health/mmume/casealion2013\\_investigation.htm](http://www.nmfs.noaa.gov/pr/health/mmume/casealion2013_investigation.htm). Consultado el: 15 de junio de 2015.
- Odell, D. K. 1975. Breeding biology of the California sea lion, *Zalophus californianus*. *Rapports et Procés-verbeaux des Réunions Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 169: 374-378.
- Orr, R. T., J. Shonewald y K. W. Kenyon. 1970. The California sea lion: Skull comparison of two populations. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 37:381–394.
- Österblom, H., O. Olsson, T. Blenckner y R.W. Furness RW. 2008. Junk-food in marine ecosystems. *Oikos* 117: 967-977. doi: 10.1111/j.2008.0030-1299.16501.x

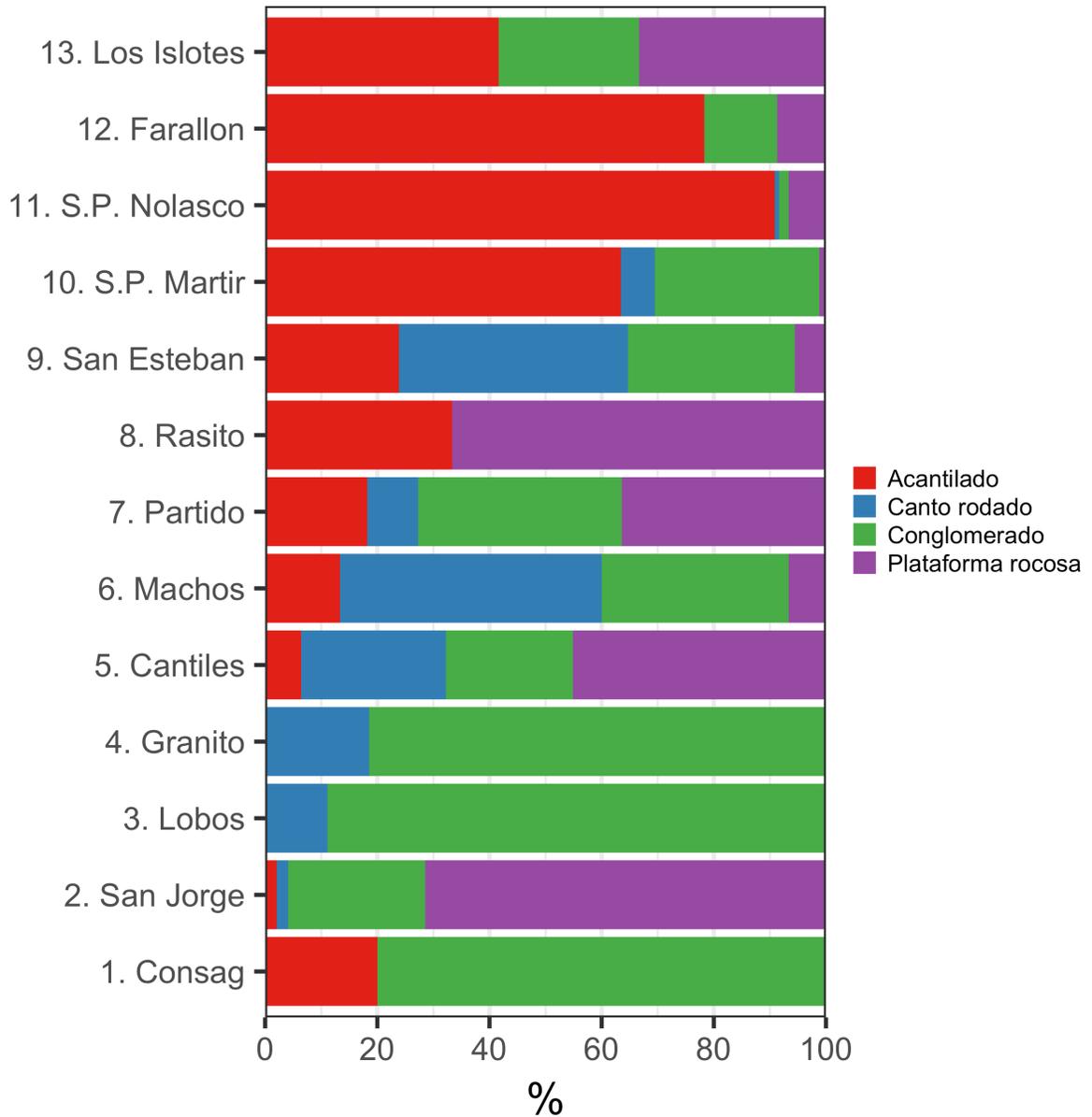
- Pardo, M.A., N. Silverberg, D. Gendron, E. Beier y D.M. Palacios. 2013. Role of environmental seasonality in the turnover of a cetacean community in the southwestern Gulf of California. *Marine Ecology Progress Series* 487: 245–260. doi: 10.3354/meps10217
- Pelayo González, L. 2018. *Número de nacimientos de Lobo Marino de California (Zalophus californianus) en el golfo de California*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario De Ciencias Marinas - IPN. La Paz, B.C.S., México. 73 p.
- Perryman, W., M.E. Goebel, N. Ash, D. Leroi y S. Gardner. 2011. Small Unmanned Aerial Systems for Estimating Abundance of Krill-Dependent Predators: a Feasibility Study with Preliminary Results. En: Walsh JG (National MFS (ed) *AMLR 2010- 2011 Field Season Report*. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-524, La Jolla, CA. 64–73
- Peterson R. y G. Bartholomew. 1967. *The natural history and behavior of the California sea lion*. American Society of Mammals Species 1: 79 p.
- Porras-Peters, H., D. Auriol-Gamboa, V. Cruz-Escalona y P. Koch. 2008. Trophic level and overlap of sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science* 24(3): 554-576. doi: 10.1111/j.1748-7692.2008.00197.x
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Riedman, M. 1990. *The Pinnipeds. Seals, Sea Lions and Walruses*. University of California, EU. 439 p.
- Roden, G. I. 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. *Pacific Science* 12(1): 21-45.
- Roden, G.I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. E: Andel, V.T.H. y G.G. Shor (eds) *Marine geology of the Gulf of California: A Symposium*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 3: 30–58.
- Saldívar-Lucio, R., C. Salvadeo, D. Lluch-Belda y H. Villalobos. 2013. Proyecciones de la captura de sardina monterrey en la Costa Occidental de Baja California y el golfo de California. Segundo Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático. *Memorias del 2º Congreso Nacional de Investigación de Cambio Climático*. Universidad Nacional Autónoma de México. 257-263 p.
- Sánchez-Velasco, L, E. Beier, C. Avalos-García y M.F. Lavín. 2006. *Journal of Plankton Research* 29(11): 1081-1098. doi: 10.1093/plankt/fbl040
- Sandoval-Sierra, J. 2018. *Nichos isotópicos del lobo marino de California (Zalophus*

californianus) y su papel como indicador de cambios ambientales en el golfo de California, México. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN. La Paz, B.C.S., México, 64 p.

- Santamaría-del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego, R. Millán-Núñez, F.E. Muller-Karger. 1999. Sobre el efecto débil de las surgencias de verano en la biomasa fitoplanctónica del golfo de California. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 49: 207–212.
- Sardà-Palomera, F., G. Bota, C. Viñolo, O. Pallarés, V. Sazatornil, L. Brotons, S. Gomáriz y F. Sardà. 2012. Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems. *IBIS* 154: 177–183. doi: 10.1111/j.1474-919X.2011.01177.x
- Scheffer, V.B. 1958. *Seals, sea lions, and walruses: A review of Pinnipedia*. Stanford University Press, Stanford, California. 179 p.
- Schramm, Y., S.L. Mesnick, J. de la Rosa, D.M. Palacios, M.S. Lowry, D. Aurioles-Gamboa, H.M. Snell y S. Escorza-Treviño. 2009. Phylogeography of California and Galápagos sea lions and population structure within the California sea lion. *Marine Biology* 156: 1375–1387. doi: 10.1007/s00227-009-1178-1
- Schramm, Y. 2002. *Estructura genética y filogeografía del lobo marino de California (Zalophus californianus californianus) en aguas adyacentes a la península de Baja California, México. Tesis de doctorado*. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México.
- Smith, C.E., S.T. Sykora-Bodie, B. Bloodworth, S.M. Pack, T.R. Spradlin y N.R. LeBoeuf. 2016. Assessment of known impacts of unmanned aerial systems (UAS) on marine mammals: data gaps and recommendations for researchers in the United States. *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 4. doi: dx.doi.org/10.1139/juvs-2015-0017
- Snyder, G.M., K.W. Pitcher, W.L. Perryman y M.S. Lynn. Counting steller sea lion pups in Alaska: an evaluation of medium format, color aerial photography. *Marine Mammal Science* 17(1): 136–146. doi:10.1111/j.1748-7692.2001.tb00984.x
- Soto, K.H., A.W. Trites y M. Arias-Schreiber. 2006. Changes in diet and maternal attendance of South American sea lions indicate changes in the marine environment and the abundance of prey. *Marine Ecology Progress Series* 312: 277–290. doi: 10.3354/meps312277
- Stenson, G.B., L.P. Rivest, M.O. Hammill, J.F. Gosselin y B. Sjare. 2003. Estimating pup production of harp seals, *Pagophilus groenlandicus*, in the Northwest Atlantic. *Marine Mammal Science* 19(1): 141–160. doi: 10.1111/j.1748-7692.2003.tb01098.x

- Sweeney, J.M. y J.T. Harvey. 2011. Diet estimation in California sea lions, *Zalophus californianus*. *Marine Mammal Science* 27(4): E279–E301. doi: 10.1111/j.1748-7692.2010.00459.x
- Szteren, D. y D. Aurióles-Gamboa. 2011. Regionalización ecológica de las colonias reproductivas de *Zalophus californianus*, como herramienta para su conservación en el golfo de California. *Ciencias Marinas* 37(3): 349-368.
- Szteren, D., D. Aurióles y L. R. Gerber. 2006. Population status and trends of the California sea lion (*Zalophus californianus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Alaska Sea Grant College Program AK-SG-06*:1–17.
- Trillmich, F. y D. Limberger D. 1985. Drastic effects of El Niño on Galápagos pinnipeds. *Oecologia* 67: 19–22. doi: 10.1007/BF00378445
- Trillmich, F. y K.A. Ono. 1991. *Pinnipeds and El Niño: responses to environmental stress*. Springer-Verlag, Berlin. 293 p.
- Trites, A.W. y C.P. Donnelly CP. 2003. The decline of Steller sea lions *Eumetopias jubatus* in Alaska: A review of the nutritional stress hypothesis. *Mammal Review* 33(1): 3–28. doi: 10.1046/j.1365-2907.2003.00009.x
- Vas, E., A. Lescröel, O. Duriez, G. Boguszewski y D. Grémillet. 2015. Approaching birds with drones : first experiments and ethical guidelines. *Biology Letters* 11: 20140754. doi: 10.1098/rsbl.2014.0754
- Vermeulen, C., P. Lejeune, J. Lisein, P. Sawadogo y P. Bouché. 2013. Unmanned Aerial Survey of Elephants. *PLoS ONE* 8(2): e54700. doi: 10.1371/journal.pone.0054700
- Watts, A. y J. Perry. 2010. Small unmanned aircraft systems for low altitude aerial surveys. *Journal of Wildlife Management* 74:1614–1619. doi: 10.2193/2009-425
- Weise, M.J., D.P. Costa y R.M. Kudela. 2006. Movement and diving behavior of male California sea lion (*Zalophus californianus*) during anomalous oceanographic conditions of 2005 compared to those of 2004. *Geophysical Research Letters* 33: L22S10. doi: 10.1029/2006GL027113
- Zavala-González, A. 1990. *La Población del Lobo Marino Común Zalophus californianus (Lesson 1828) en las islas del golfo de California, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. 235 p.

## ANEXOS



**Anexo 1.** Proporción por tipo de sustrato en las colonias reproductivas, de acuerdo al sustrato dominante en los transectos creados para los conteos aéreos.