

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Doctorado en Ciencias
en Ciencias de la Vida con
orientación en Biología Ambiental**

**Abundancia y movimientos de la foca de puerto (*Phoca
vitulina richardii*) en Baja California, México**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Presenta:

Denise Lubinsky Jinich

Ensenada, Baja California, México
2019

Tesis defendida por

Denise Lubinsky Jinich

y aprobada por el siguiente Comité

Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski

Directora de tesis

Miembros del comité

Dra. Yolanda Schramm Urrutia

Dra. María de la Concepción García Aguilar

Dr. Jaime Luévano Esparza



Dra. Patricia Juárez Camacho

Coordinadora del Posgrado en Ciencias de la Vida

Dra. Rufina Hernández Martínez

Directora de Estudios de Posgrado

Denise Lubinsky Jinich © 2019

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y directora de la tesis.

Resumen de la tesis que presenta **Denise Lubinsky Jinich** como requisito parcial para la obtención del grado de Doctor en Ciencias en Ciencias de la Vida con orientación en Biología Ambiental.

Abundancia y movimientos de la foca de puerto (*Phoca vitulina richardii*) en Baja California, México

Resumen aprobado por:

Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski
Directora de tesis

La foca de puerto, *Phoca vitulina richardii*, se distribuye desde Japón hasta la Península de Baja California, México. Es una especie que ha sido ampliamente estudiada en el Pacífico nororiental. Si bien en México se han realizado recientemente esfuerzos para conocer aspectos básicos de su ecología, no existía información sobre su abundancia o sobre sus movimientos en las aguas adyacentes a las colonias. En esta tesis se presenta la investigación realizada para obtener la primera estimación del tamaño de la población de foca de puerto en Baja California, así como las primeras observaciones sobre sus patrones de dispersión en la región norte de la península. Los objetivos fueron: 1) determinar la variación temporal en tierra utilizando tres colonias como modelo para identificar los máximos de conteos en tierra, 2) calcular el factor de corrección para estimar la proporción de individuos en tierra durante los conteos, así como estimar la abundancia de la población y 3) describir los movimientos de los animales en las aguas del norte de Baja California. Para cumplir con el primer objetivo se utilizaron conteos directos colectados en 2012 en el Estero de Punta Banda (norte de Baja California), y 2014 en las islas Todos Santos (norte de Baja California) y San Roque (sur de Baja California). La variación temporal se analizó con modelos aditivos generalizados. Para el segundo objetivo se colocaron marcas VHF en 12 animales de la colonia de Todos Santos y se usó inferencia Bayesiana para el cálculo del factor de corrección. Para el tercer objetivo se usó telemetría satelital en animales de Todos Santos. El máximo de animales en tierra en las tres colonias fue durante la temporada de muda, ocurriendo primero en San Roque (sur) y en el Estero de Punta Banda (norte), a finales de abril, y posteriormente en Todos Santos (norte), a principios de junio. El factor de corrección local para conteos realizados durante la muda se estimó en 1.58 (Intervalo de Credibilidad al 95%: 1.27 – 2.15), y la abundancia para 2016 de 11,697 individuos (ICr 95%: 9,619-16,284). Con base en los movimientos de los individuos marcados se identificaron como posibles sitios de alimentación las aguas adyacentes a la Isla Todos Santos Sur, Bahía Descanso y Bahía Soledad y fue posible describir que los individuos realizan movimientos promedio entre 5 y 30 km de su sitio de marcado.

Palabras clave: Baja California, *Phoca vitulina richardii*, variación temporal, abundancia, movimientos, Isla Todos Santos, sitios de alimentación.

Abstract of the thesis presented by **Denise Lubinsky Jinich** as a partial requirement to obtain the Doctor of Science degree in Life Sciences with orientation in Environmental Biology

Abundance and movements of the harbor seal (*Phoca vitulina richardii*) in Baja California, México

Abstract approved by:

Gisela Heckel Dziendzielewski, Ph. D.
Thesis Director

The harbor seal, *Phoca vitulina richardii*, is distributed from Japan to the Baja California Peninsula, Mexico. It is a species that has been widely studied in the Northeastern Pacific Ocean. Even though efforts have been made recently to learn about basic aspects of its ecology, there was no information on its abundance or on its movements in the waters adjacent to the colonies. In the present thesis I present the research carried out to obtain the first abundance estimation of the harbor seal population in Baja California, as well as the first observations about its dispersion patterns in the northern region of the peninsula. The objectives were: 1) to determine the temporal variation on land using three colonies as models to identify the count peaks on land, 2) to calculate the correction factor to estimate the proportion of individuals on land during the counts, as well as to estimate population abundance, and 3) to describe the movements of animals in the waters off northern Baja California. To meet the first objective, I used direct counts collected in 2012 at Punta Banda Estuary (northern Baja California), and in 2014 on Todos Santos (northern Baja California) and San Roque (southern Baja California) islands. The variation was analyzed with generalized additive models. For the second objective, VHF tags were placed on 12 animals from the Todos Santos colony and Bayesian inference was used to calculate the correction factor and to estimate abundance. For the third objective, satellite telemetry on Todos Santos animals was used. The maximum number of animals on land in the three colonies was during the molting season, occurring first on San Roque Island (south) and at Punta Banda Estuary (north), at the end of April, and later on Todos Santos Island (north), at the beginning of June. The local correction factor for counts made during the molt was estimated at 1.58 (95% Credibility Interval: 1.27 – 2.15), and the abundance for 2016 was 11,967 individuals (95% CrI: 9,619-16,284). Based on the movements of the marked individuals, the waters adjacent to Southern Todos Santos Island Descanso Bay and Soledad Bay were identified as possible foraging sites and it was possible to describe that individuals made average movements between 5 and 30 km from the tagging site.

Key words: Baja California, *Phoca vitulina richardii*, temporal variation, abundance, movements, Todos Santos Island, foraging sites.

Dedicatoria

A ti AMOR
por ser quien eres
y estar siempre sin condición.
Te Amo Mucho

A mi familia de sangre y de corazón

A mis angelitos

A todos los que siempre están,
en las buenas y en las malas

*El mar, una vez que lanza su hechizo, lo mantiene a uno en su red de
maravillas para siempre.*

Jacques Yves Cousteau

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado a través de la beca No. 208427.

Gracias al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y al posgrado en Ciencias de la Vida por darme la oportunidad de formar parte de su programa de doctorado.

A mi comité de tesis:

A los cuatro les agradezco cada uno de sus comentarios, pero sobre todo su apoyo a lo largo de este trabajo. Gracias por el tiempo dedicado, individual y en grupo. Nunca olvidaré las amenas reuniones de avances, las cuales comenzaban con mi ataque de nervios y sus bromas.....gracias por eso.

Gisela no tengo palabras para agradecerte antes que nada la confianza de aceptarme como alumna, pero sobre todo darme la libertad de diseñar mi proyecto, a pesar de todas las complicaciones que implicaba nunca me dijiste que no y te lo agradezco de corazón. Gracias por cada una de las reuniones de trabajo, las cuales me obligaban a avanzar para no llegar en blanco y obtener un tache en la lista de tareas. Gracias por el apoyo para ir a Oregon, La Paz y Tabasco. Gracias por todo el apoyo durante cada uno de mis altibajos personales.

Yoli, que puedo decirte...muchas gracias por aguantar mis ataques de pánico y sobre todo sentarte conmigo para tratar de entender y explicar lo que iba encontrando en los análisis. Gracias mil por todo el apoyo durante el trabajo de campo...aunque en ocasiones no estuvieran presentes físicamente, siempre estuvieron al pendiente de que no nos faltara nada....incluso arenero 😊 Gracias por cada uno de los comentarios y observaciones en el transcurso de este trabajo. Aprovecho también para darte las gracias por la confianza de entregarme a Nano en adopción, ese gato es la onda.

Concha gracias por todo el apoyo en el análisis estadístico, pero sobre todo por aguantar mis crisis existenciales y ayudarme a aterrizar algunas ideas que estaban en el aire. Gracias por ayudarme a enriquecer este trabajo y a sacarle aún más jugo de lo que pensé. Gracias por tu enorme paciencia.

Jaime, antes que nada gracias por aceptar ser parte de este comité, por dar otro punto de vista a este trabajo y complementarlo de la forma que lo hiciste.

Al Dr. Mario Pardo, quien a pesar de no ser parte de este comité fue una persona clave para realizar el análisis de datos pero sobre todo lograr publicar la nota corta en Marine Mammal Science. Gracias por toda tu paciencia, por recibirme en La Paz dos veces, hasta que logramos obtener un buen resultado.

A la Soc. Cooperativa California de San Ignacio por el apoyo logístico en Isla San Roque, así como la Soc. Cooperativa Litoral y Pacific Aquaculture por el apoyo en Isla Todos Santos.

Claudia Tapia-Harris, Eli Brassea, Edgar Flores, Alejandro Arias del CICESE y Rosalía Avalos, David Ramírez, Ricardo Rodríguez y al Dr. Osvaldo Rey Martínez por toda su fuerza, audacia y tenacidad para ayudarme a capturar 12 focas adultas. Se dice fácil pero se requiere de un gran esfuerzo y sobre todo...trabajo en equipo, gracias de corazón. Por no dejarme tirar la toalla, incluso cuando creí que ya no se podía hacer más.

A todo el equipo de observadores del Estero de Punta Banda, y en las islas Todos Santos y San Roque: Eva F., Tere, Eulogio, Ivonne, Myri, Fher, Erick, Erika, Guillermo, Belén, Lupita G., Orión N., Constanza, Monica F., Edwin, Alejandra Q., Violeta A., Melina, Edgar, Claudia T., Lupita R., Martha, Ferran, Monica F., Aldo, Ricardo A., Paulette D., Isabel, Alejandro A., Uriel, Cristina, Lorena, Juan, Raisa.

Eva Fernández, Claudia Tapia, Maricela Juárez, Eli Brassea, Lupita Ruiz y Edgar Flores por las aventuras trabajando con las focas. No importa si eran capturas llenas de adrenalina u observaciones por horas en las islas y el Estero. Siempre tuvimos algo de que platicar, reírnos e incluso jugar para pasar el tiempo. Muchas gracias chic@s.

Al CONACYT por el apoyo económico para realizar parte de este trabajo, otorgado a través del proyecto N. 179451 (Ciencia Básica 2012) titulado "Estructura genética, hábitos alimentarios, abundancia y ciclo anual de la foca de puerto (*Phoca vitulina richardsi*)".

Gracias a: Dr. Markus Horning, Jennifer y Luis Gutiérrez, Helga Baitenmann, Alex Jinich, Jim Moore, JGVR, Ileana Espejel, Paula Pérez, Eduardo Morteo, Adri_G, Roger Conant, Emanuel Jinich y su esposa Laura, Marcela Conroy, Paola Batta, Gabriela Montañó, Denny Luan, Alejandro Acevedo, Phillip James Rose, Melba de Jesús, Barbie Halaska, Biel Martínez, Caroline Keroack, Maricela Juárez, Jason P. Schein, Alekz Arias, Pureumkim1447, Angelica Menchaca, Kate Ray, Eric Damon Walters, Judith Jinich, Dr. Eugenio Carpizo, Dr. Horacio Jinich y su esposa Sonia, Cynthia Lubinsky y su esposo David Levy, Iliana Lubinsky, Eva Fernández, Raul Herrera, Dr. Steve Bullock, Lupita Gómez y Orión Norzagaray, Maria Elena Gutierrez, Paola Serrano, Rosalinda Jinich, Abe y Cecy Jinich, Anita Viskin, Monica Lubinsky y Marcela Aguirre.

Por creer en este proyecto y ayudarme a alcanzar la meta a través de la página de Experiment, cada peso y dólar hizo diferencia...MUCHISIMAS GRACIAS. Yoli y Gisela....gracias por creer tanto en este proyecto como para ponerlo como parte de su mesa de regalos....Gracias mil.

For believing in this Project and help me reach my Budget goal trough Experiment Crowdfunding, each dollar made a difference, THANK YOU SO MUCH. Thank you so much Dr. Markus Horning and Sheanna Steingass for all your help, equipment, capacitation and fun learning how to work with harbor seals.

Gracias a la fundación Heckel-Schramm por su apoyo en el trabajo de campo, desde traslados, comida y hasta arenero para hacer más cómoda la estancia de dos semanas acampando en la Isla Todos Santos. Gracias por creer en este proyecto y no tirar la toalla a pesar de los retos que significaron.

A la Dirección General de Vida Silvestre por otorgarnos los permisos SGPA/DGVS/12269/13 y SGPA/DGVS/08370/14; a la Secretaría de Gobernación por los permisos UG/211/0087/2014 y UG/211/01022/2014, a la Reserva del Vizcaíno por su apoyo y los permisos otorgados F00.DRPBCPN.-000027 y F.00.1.DRPBCPN.00004/2014, necesarios para realizar parte de este trabajo.

AMOR....te agradezco por ser y estar...por apoyarme en cada paso y levantarme si tropiezo. Sin ti hubiera tirado la toalla varias veces. Somos un equipo, en las buenas y en las malas pero siempre juntos. Esta es solo una etapa más que comenzamos y terminamos juntos. A seguirle con los demás proyectos, que esto no se acaba hasta que se acaba. Y como dice la canción:

*I can't stop this feeling Deep inside of me Boy you just don't realize What you do to me...
When you hold me in your arms so tight You let me know Everything is alright...
Ahhhh.....I'm hooked on a felling*

A mi mamá, hermanas, y a mi hermosa y simpática sobrina Myr. Gracias por estar siempre al pendiente, por enseñarme a lo largo del tiempo que la distancia no es justificación para alejarnos. Siempre alegrarse de mis alegrías pero también estar conmigo cuando algo no sale. Las quiero siempre e incondicionalmente. Saben que aquí estoy y estaré siempre para ustedes, han sido una gran motivación en mi vida para seguir buscando lo que me hace feliz. Mónica bienvenida a esta nueva fase de tu vida, espero haberte ayudado a aligerar lo difícil de un cambio tan fuerte, y espero que poco a poco vayas creando tu nueva vida. Siempre estaré aquí para ti. Myr trajiste una nueva luz a esta familia y no sabes lo feliz que nos haces.

Para USTEDES que se fueron antes de tiempo, pero que están en mi corazón para siempre porque gracias a ustedes soy lo que soy. Los extraño mucho y siempre serán mi motivación.

A María Elena Gutiérrez y toda la familia Herrera - Gutiérrez por abrirme las puertas de su casa y compartir conmigo tristezas y alegrías. Los tengo en mi corazón y les agradezco haberme recibido como un miembro más de su familia y por aceptarme tal cual soy, gracias por cada uno de los momentos compartidos y sobre todo por estar al pendiente de mí siempre, así como yo lo estoy de ustedes. Los quiero más de lo que imaginan. ☺. Luis y Jen hicieron una enorme diferencia y por eso les estaré siempre agradecida. Mis pequeñas Fatima y Fadia ayudando siempre con sus juegos a desestresarme...sin duda son una enorme luz.

LGH...wowow no tengo las palabras suficientes para agradecerte todo el apoyo a lo largo, no solo del doctorado, sino de mi vida en Ensenada. Hemos pasado de todo y más, comenzando únicamente como una sociedad con beneficios mutuos hasta formar un buen equipo, en el cual, a lo largo del tiempo hemos logrado muchas cosas juntas y espero que esto siga. Orión, siempre al pendiente y dándome ánimos para seguir, entregar y sobre todo continuar. Los quiero mucho a ambos, y ahora al nuevo integrante, el hermoso Kai. ☺

L, K, B y M que les puedo decir... agradezco que sean parte de mi vida, pero sobre todo que hayan sido mi gran escapatoria. Que no me preguntaran sobre el doctorado a menos que yo quisiera contarles...es genial poder salir a comer, chelear o simplemente platicar sin tener que mencionar la escuela por un rato. Lu cambiaste nuestro grupo y eso te lo agradezco más que nada. Son geniales y no las cambio por nada. ☺

N muchas gracias por esos desayunos que se hacen postre y comida únicamente filosofando sobre la vida y lo que queremos y no queremos hacer. Que siga la tradición ☺ Sigamos teniendo el sueño...de tener un sueño.

A Eva Robles, Adriana Mejía etc por todo el apoyo en los trámites internos del CICESE. Agradezco todo su apoyo y orientación para facilitar lo más que se pudo el famoso papeleo.

Eulogio López...en esta ocasión no escribiré todos tus apodos porque son harina de otro costal, pero te agradezco todo tu apoyo durante el proceso de este doctorado, no sé qué hubiera hecho sin ti...en muchos aspectos. Incluso por el hecho de simplemente poder llegar a desahogarme en la mañana antes de comenzar a trabajar. Gracias por todo Eulogio...vales mil ☺.

Eva Fernández gracias por los cafés que duraban horas y me ayudaron muchas veces a entender y aterrizar ideas.

Maricela Juárez....este ha sido un viaje un poco largo, lleno de altas y bajas y con muchos retos pero estoy segura que al final saldrá algo de lo que estemos orgullosas. Soy una persona un poco ausente, pero creo que en los momentos clave tuvimos el apoyo de la otra y eso hizo diferencia. Gracias por aligerar este proceso y siempre estar al pendiente del avance. Mucha suerte, sé que puedes y que saldrá más pronto de lo que crees, solo debes creer en ti.

A mis compañeros del Posgrado en Ciencias de la Vida con orientación en Biología Ambiental, Leo, Samanta, Tere, Ramiro, Anaid, Ariadna, Rocio, Khutzy etc... por cada cafecito cuando nos daba sueño, los convivios por cualquier pretexto pero sobre todo por festejar conmigo cada logro tan grande o pequeño como fuera.

Gracias al Dr. Miguel Tellez, su esposa Gaby y familia, así como al grupo de Geolog@s por estar al pendiente de mi avance. Gracias por cada viaje a la sierra, paseo, acampada e incluso cada reunión para simplemente tomar un café o una copa de vino y platicar.

A todos los que de alguna forma son parte de este proceso, me es difícil enlistar todos los nombres pero sé que estuvieron siempre pendientes tanto de mi salud mental como de este proceso que llega a su fin. Siempre mandando buenas vibras desde cualquier parte del estado, país e incluso del mundo para que esto saliera bien. Gracias a cada uno de ustedes por eso... ☺

Tabla de contenido

| | Página |
|--|-----------|
| Resumen en español..... | ii |
| Resumen en inglés..... | iii |
| Dedicatoria..... | iv |
| Agradecimientos..... | v |
| Lista de figuras..... | xi |
| Lista de tablas..... | xii |
| | |
| Capítulo 1. Introducción general..... | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 2 |
| 1.1.1 Generalidades..... | 2 |
| 1.1.2 Distribución y abundancia en México..... | 3 |
| 1.2 Justificación..... | 5 |
| 1.3 Hipótesis general..... | 6 |
| 1.4 Objetivos..... | 6 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 6 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 6 |
| 1.5 Área de estudio..... | 7 |
| 1.5.1 Península de Baja California..... | 7 |
| | |
| Capítulo 2. Variación temporal en los conteos en tierra de la <i>Phoca vitulina richardii</i> en la Península de Baja California..... | 11 |
| 2.1 Introducción..... | 11 |
| 2.2 Objetivo..... | 12 |
| 2.3 Métodos..... | 12 |
| 2.3.1 Trabajo de campo..... | 12 |
| 2.3.2 Análisis de datos..... | 13 |
| 2.4 Resultados..... | 15 |
| 2.5 Discusión..... | 18 |

| | |
|---|-----------|
| Capítulo 3. Abundancia de la <i>Phoca vitulina richardii</i> en México..... | 20 |
| 3.1 Introducción..... | 20 |
| 3.2 Objetivos..... | 21 |
| 3.3 Métodos..... | 21 |
| 3.3.1 Trabajo de campo..... | 21 |
| 3.3.1.1 Factor de corrección..... | 21 |
| 3.3.1.2 Conteos..... | 22 |
| 3.3.2 Análisis de datos..... | 23 |
| 3.4 Resultados..... | 25 |
| 3.5 Discusión..... | 28 |
| | |
| Capítulo 4. Movimientos de la <i>Phoca vitulina richardii</i> alrededor de Isla Todos Santos y aguas adyacentes..... | 31 |
| 4.1 Introducción..... | 31 |
| 4.2 Objetivo..... | 32 |
| 4.3 Métodos..... | 32 |
| 4.3.1 Trabajo de campo..... | 32 |
| 4.3.2 Análisis de datos..... | 32 |
| 4.4 Resultados..... | 33 |
| 4.5 Discusión..... | 40 |
| | |
| Capítulo 5. Discusión general..... | 42 |
| | |
| Capítulo 6. Conclusiones generales..... | 44 |
| | |
| Literatura citada..... | 45 |

Lista de figuras

| Figura | | Página |
|--------|---|--------|
| 1 | Distribución de la foca de puerto, <i>Phoca vitulina richardii</i> , en México..... | 4 |
| 2 | Corrientes con influencia en la Península de Baja California; El Sistema de la Corriente de California, la Corriente Norecuatorial y la Contracorriente Norecuatorial..... | 8 |
| 3 | Colonias de foca de puerto estudiadas en la Península de Baja California, México | 13 |
| 4 | Modelos Aditivos Generalizados de los conteos relativos de focas de puerto del Pacífico como función del día del año, en tres sitios de descanso frente a la Península de Baja California | 17 |
| 5 | Distribución de la foca de puerto a lo largo de la Península de Baja California, México, y área de estudio..... | 23 |
| 6 | Distribución previa y posterior de la proporción de focas de puerto en tierra durante los conteos de la temporada de muda basados en 12 individuos marcados | 25 |
| 7 | Abundancia de foca de puerto en la costa oeste de la Península de Baja California, México | 29 |
| 8 | Frecuencia de transmisiones de todos los individuos marcados por hora del día..... | 34 |
| 9 | Trayectorias y mapas de contorno de Pvr 1, Pvr 3 y Pvr4..... | 35 |
| 10 | Trayectorias y mapas de contorno de Pvr 5 y Pvr6..... | 36 |
| 11 | Tiempo entre posiciones consecutivas | 37 |
| 12 | Viajes realizados por Pvr1 y Pvr3 | 38 |
| 13 | Viajes realizados por Pvr4, Pvr5 y Pvr6 | 39 |

Lista de tablas

| Tabla | | Página |
|-------|---|--------|
| 1 | Fase terrestre de la foca de puerto en las tres colonias de Baja California..... | 11 |
| 2 | Resumen de los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) para conteos de foca de puerto en tierra en tres colonias como función del tiempo en una escala estacional | 15 |
| 3 | Número de focas de puerto contadas durante 2009 (monitoreo desde embarcación menor) y 2016 (monitoreo aéreo) en la temporada de muda en las islas y la costa oeste de la Península de Baja California, México, y la abundancia estimada para cada año por localidad | 27 |
| 4 | Resumen del marcado satelital de foca de puerto en la Isla Todos Santos en mayo de 2016 | 33 |
| 5 | Distancia al sitio de descanso correspondiente a cada uno de los individuos marcados | 38 |

Capítulo 1. Introducción general

Los pinnípedos pertenecen al Orden Carnivora, y se caracterizan por presentar un cuerpo fusiforme con miembros anteriores y posteriores en forma de aleta. En la actualidad hay 34 especies de lobos marinos y lobos finos (Familia Otariidae), focas (Familia Phocidae), y la morsa (Familia Odobenidae) (Committee on Taxonomy, 2018). Son depredadores tope en el ambiente marino pero dependen del ambiente terrestre (tierra o hielo) para reproducirse, criar y descansar (Riedman, 1990). Debido a este ciclo de vida anfíbio, la distribución y abundancia de los pinnípedos está influenciada por diversos factores físicos, incluyendo el tipo de hábitat terrestre y de sustrato, la temperatura del aire y los patrones de las corrientes marinas, así como factores ecológicos, tales como la localización de sitios adecuados para la reproducción y el descanso, y la proximidad a las áreas de alimentación (Demedere *et al.*, 2003; Montgomery *et al.*, 2017).

La foca de puerto (*Phoca vitulina*) es el pinnípedo con la distribución mundial más amplia. Al igual que todos los fócidos, parece tener su origen en el Atlántico norte (Arnason *et al.*, 2006), pero las fluctuaciones glaciales durante el Pleistoceno favorecieron la expansión de *Phoca* spp., lo que condujo al aislamiento de algunas poblaciones en el Ártico y en el Pacífico norte (Berta *et al.*, 2015). En la actualidad las focas comunes habitan regiones templadas y polares del Hemisferio Norte, tanto en el Océano Atlántico como en el Pacífico. Se reconocen tres subespecies: la foca de puerto del Atlántico, *P. v. vitulina*, que se distribuye en el Atlántico norte, la foca de puerto de Ungava, *P. v. mellonae*, localizada únicamente en algunos lagos del norte de Quebec, Canadá, y la foca de puerto, *P. v. richardii*, en el Pacífico norte, desde Japón hasta la Península de Baja California, México (Committee on Taxonomy, 2018).

A lo largo de toda su distribución en el Pacífico norte, las focas usan una gran variedad de hábitats terrestres, desde playas de arena hasta hielo glaciar, y muestran una fidelidad al sitio relativamente alta (Blundell *et al.*, 2011). La mayoría de los sitios de descanso se usan a diario, aunque el patrón de uso está influenciado principalmente por los ciclos de marea (Olesiuk, 1999; Frost *et al.*, 1999; Boveng *et al.*, 2003), y aun cuando las focas no son migratorias, el número de animales en tierra suele incrementarse durante las temporadas de nacimiento y de muda (Pitcher *et al.*, 1990; Frost *et al.*, 2001; Huber *et al.*, 2001; Boveng *et al.*, 2003; Simpkins *et al.*, 2003). Por otra parte, son depredadores generalistas (Olesiuk, 1993) que se encuentran principalmente en aguas costeras de la plataforma continental, pero ocasionalmente pueden entrar en cuerpos de agua dulce para forrajear (King, 1983). Sus viajes de alimentación son generalmente cortos (Lowry *et al.*, 2001), ya que eligen sitios en tierra cerca de aguas productivas (Montgomery *et al.*, 2007), aunque también pueden desplazarse varios cientos de kilómetros para alimentarse (Sharples *et al.*, 2012).

La foca de puerto es abundante en el Pacífico norte: 205,000 individuos en Alaska estimados para 2011 (Muto *et al.*, 2018), 105,000 en Canadá para 2008 (DFO, 2010), 38,000 en Oregon y Washington para 1999 y 31,000 en California para 2012 (Carretta *et al.*, 2018). No hay estimaciones recientes para la población del Pacífico occidental (al oeste de las Islas Aleutianas hasta Hokkaido, Japón), pero Chyupakhina y Panteleeva (1991, en Kobayashi *et al.*, 2014) estimaron la abundancia en alrededor de 3,000 animales. Para México no hay ninguna estimación, aunque Lubinsky *et al.*, (2017) reportaron 4,862 animales contados en 2009 en nueve islas de la península de Baja California y ~40 áreas continentales. La alta abundancia en Alaska y la aparente disminución hacia los extremos (i. e., Japón y México) podría estar relacionada con el origen de la subespecie, ya que en especies de distribución amplia, la abundancia suele ser mayor cerca del origen y disminuye de forma gradual hasta los límites de la distribución (Brown, 1984).

1.1 Antecedentes

1.1.1 Generalidades

La foca de puerto no presenta dimorfismo sexual marcado, con tamaño máximo de 190 cm y peso de 170 kg en los machos, y 170 cm y 130 kg en las hembras; las crías nacen con una longitud entre 70 y 100 cm, y peso de 8 a 12 kg (Burns, 2009). El color del pelaje es muy variable, siendo de gris claro a café oscuro y negro, y presenta un patrón de machas numerosas las cuales son característica individual (Hastings *et al.*, 2008).

Al igual que en todas las especies de pinnípedos, la reproducción de la foca de puerto es anual, el tamaño de la camada es de una cría y existe un desfase en la fecha en la que comienzan los nacimientos de acuerdo a la ubicación geográfica de las colonias. En el Pacífico nororiental hay un patrón unidireccional de México a Washington, donde por cada grado de latitud hacia el norte, la fecha media de los nacimientos difiere por 4.1 días (Temte *et al.* 1991). Esta clina está influenciada principalmente por el fotoperiodo, que es el estímulo que desencadena la implantación del blastocisto (Temte, 1994). La respuesta de los individuos de una colonia a un cierto fotoperiodo podría deberse a una especiación parapátrica, es decir, un aislamiento reproductivo en poblaciones cuya área de distribución es continua en el espacio, pero entre las cuales el flujo genético es bajo (Temte, 1994).

Las hembras entran en estro al final de la lactancia, aproximadamente 5 a 6 semanas después del parto (Suryan, 1995), y tiene una duración de una a dos semanas (Bigg, 1972). La implantación es tardía. El óvulo fecundado se desarrolla hasta blastocisto y no se implanta en el útero hasta aproximadamente 2.5 meses después; la gestación dura 9 meses (Suryan, 1995). La lactancia es corta, con una duración promedio de 3 a 5 semanas (Newby, 1973; Bigg, 1981; Bowen *et al.*, 2003; Fernández-Martín *et al.* 2016; Ruiz-Mar 2016). Posterior a la reproducción se lleva a cabo la muda, proceso en el cual el pelo viejo se desprende y es reemplazado por pelo nuevo (Yochem y Stewart, 2009). Durante esta temporada, los individuos deben mantener una temperatura de la piel alta para el crecimiento óptimo del pelo, minimizando el costo energético durante todo el proceso, por lo que pasan más tiempo en tierra (Boily, 1995; Peterson *et al.*, 2012).

1.1.2 Distribución y abundancia en México

Las zonas de reproducción y descanso de la foca de puerto en México se localizan en nueve islas costeras al oeste de la península de Baja California, de norte a sur: islas Coronado, Todos Santos, San Martín, San Jerónimo, Cedros, San Benito, Natividad, San Roque y Asunción (Figura 1), así como en aproximadamente 40 sitios en áreas continentales (Lubinsky-Jinich *et al.*, 2017). Estas colonias representan el límite austral de distribución de la especie, donde la temperatura media del aire es de entre 18 y 20 °C, pero las aguas adyacentes están dominadas por las aguas frías del Sistema de la Corriente de California, y es una región de estructuras dinámicas complejas que favorecen la productividad. Los márgenes continentales se caracterizan por regímenes muy productivos alimentados por surgencias costeras en una franja de unos 50 km, que acarrear agua relativamente fría, salada, rica en nutrientes y deficiente de oxígeno hacia la superficie (Lynn y Simpson, 1987). Las surgencias más intensas ocurren regularmente durante los primeros meses del año (invierno-primavera) en la porción sur, y a fines de primavera y verano en el norte de la península de Baja California (Barocio, 2006).

En los últimos 10 años, se han realizado mayores esfuerzos para generar información sobre *P. v. richardii* en México, lo que incluye estudios sobre de la fenología de los nacimientos (Fernández-Martín 2018) y de la muda (Tapia-Harris *et al.* 2017), la composición de la dieta (Alamán, 2014, Durazo-Rodríguez, 2015; Brassea, 2016), la diversidad genética (Fernandez-Martín 2018) y el impacto de disturbios humanos (Ruiz-Mar, 2016), entre otros. Sin embargo, hasta la fecha no existe información sobre su abundancia o sobre sus movimientos en las aguas adyacentes a las colonias.

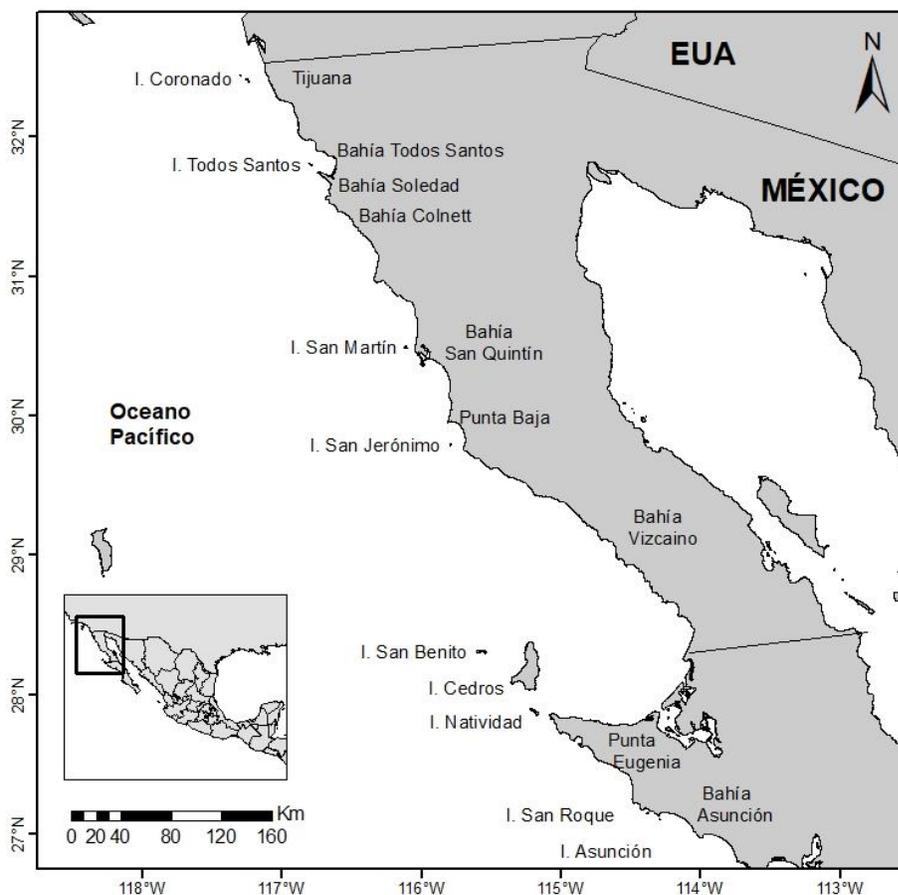


Figura 1: Distribución de la foca de puerto, *Phoca vitulina richardii* en México

Estimar la abundancia de la foca de puerto representa tres grandes desafíos. Primero, es un mamífero semi-acuático que pasa gran parte de su vida alimentándose en el mar, pero durante ciertos periodos del año se congrega en tierra para parir, criar y mudar (Huber *et al.*, 2001; Harvey y Goley, 2011). Por lo tanto, para obtener una estimación precisa de la abundancia es necesario identificar la temporada en la que se congrega el mayor número de individuos en tierra. A lo largo de la costa oeste de Norteamérica, tanto la temporada reproductiva como la de muda presentan una clina latitudinal de sur a norte (Temte, 1991; Tapia-Harris *et al.*, 2017), y en algunas zonas el número máximo de individuos ocurre durante la temporada reproductiva (i. e., Oregon y Washington, Huber *et al.*, 2001; Isla Tugidak, Alaska, Jemison y Kelly, 2001), mientras que en otras zonas ocurre durante la muda (i. e., California, Harvey y Goley, 2011; Bahía Glacier, Alaska, Bengtson *et al.*, 2007). Segundo, contrario a otras especies de pinnípedos, el conteo total de crías no puede ser utilizado para estimar la abundancia debido a que las crías son precoces y entran al agua al

poco tiempo de nacidas, por lo que es necesario utilizar conteos totales (Bowen *et al.*, 1999). Tercero, nunca es posible observar a todos los individuos de la población debido a que siempre hay una proporción en el mar al momento del conteo, por lo que es necesario estimar factores de corrección.

Respectos a sus movimientos, la foca de puerto es relativamente sedentaria en comparación con otras especies de pinnípedos, ya que es común observarlas en el mismo sitio de descanso a lo largo del año (Härkönen y Harding, 2001). Es una especie no migratoria, aunque realiza movimientos estacionales en respuesta a la alimentación (Pitcher y McAllister, 1981; Brown y Mate, 1983). Estudios previos utilizando telemetría satelital reportan que en general las focas de puerto viajan entre 5 y 20 km desde su sitio de marcado, se alimentan más frecuentemente dentro de los primeros 10 km (Brown y Mate, 1983; Thompson *et al.*, 1998; Lesage *et al.*, 2004; Bajzak *et al.*, 2013), principalmente hacia sitios de menos de 50 metros de profundidad (Lesage *et al.*, 2004; Bajzak *et al.*, 2013). Sin embargo, se han reportado animales juveniles que han realizado viajes de hasta 400 kilómetros (Lowry *et al.*, 2001; Peterson *et al.*, 2012), posiblemente debido a la búsqueda de nuevos sitios de descanso y/o alimentación. Al respecto Thompson *et al.*, (1998) distinguen entre los viajes de alimentación y los movimientos que significan dispersión, donde sugiere que los viajes de entre 50 y 60 km están asociados con búsqueda de un nuevo sitio de descanso.

En esta tesis se realizó la primera estimación de abundancia de *P. v. richardii* en México, para lo cual fue necesario determinar las fechas esperadas de mayor agregación en tierra (Capítulo 2) y estimar un factor de corrección local para los conteos totales, para estimar la abundancia (Capítulo 3). Adicionalmente se utilizó telemetría satelital para describir los patrones de movimiento e identificar posibles zonas de alimentación en la región norte de la península de Baja California (Capítulo 4).

1.2 Justificación

El conocimiento de la abundancia y tendencia de las poblaciones y el uso de hábitat es un requisito para la protección, manejo y conservación de los mamíferos marinos, particularmente de las especies costeras, ya que éstas están en riesgo potencial debido a la diversidad de actividades antropogénicas. En México la foca de puerto se encuentra en islas costeras y áreas continentales de la Península de Baja California, pero el conocimiento sobre aspectos básicos de su ecología es sumamente limitado, lo que imposibilita determinar el estado de la población y plantear estrategias de manejo y conservación efectivas. En esta

tesis se presenta la primera estimación de abundancia de la foca en México, así como información sobre sus movimientos en el ambiente marino, con la finalidad de generar información base que sirva para establecer en un futuro estrategias de mitigación ante posibles impactos asociados a las actividades humanas en la región.

1.3 Hipótesis general

La abundancia de la foca de puerto en México será menor que en el centro de su distribución debido a que representa el límite sureño en la región del Pacífico Este; sin embargo, mostrará una baja dispersión debido a la combinación de factores ecológicos que favorecen viajes cortos de alimentación.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Estimar la abundancia de la foca de puerto, *Phoca vitulina richardii*, en México y analizar sus movimientos geográficos.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar el patrón temporal de distribución en tierra de la foca de puerto en tres colonias, así como establecer las fechas esperadas de mayor número de individuos en tierra (Capítulo 2).
2. Calcular un factor de corrección para los conteos y estimar la abundancia de *P.v. richardii* en Baja California para 2009 y 2016 (Capítulo 3).
3. Describir los patrones de movimiento de las focas e identificar posibles zonas de alimentación en la región norte de la península de Baja California (Capítulo 4).

1.5 Área de estudio

1.5.1 Península de Baja California

El área de estudio comprendió las nueve islas al oeste de la Península de Baja California y la zona costera donde existen colonias de focas, desde los 26° hasta los 32°30' de latitud norte (Figura 1). La península de Baja California limita al norte con la frontera internacional de los Estados Unidos, al oeste y al sur con el Océano Pacífico y al este con el Golfo de California. Tiene una longitud de 1,280 km y un área aproximada de 137,995 km², sin incluir las aproximadamente 45 islas (Padilla-Villavicencio, 1990). Se caracteriza por una gran variedad de climas, predominando los secos y extremos. Los meses más secos son los del fin de primavera y todo el verano, mientras que en la temporada de invierno se presenta una alta frecuencia de precipitaciones, principalmente producto de los vientos que vienen del noroeste desde el Pacífico hacia la península (Reyes-Coca y Troncoso-Gaytán, 2004). Las precipitaciones pluviales presentan una alta variabilidad temporal y espacial en todas las escalas, como consecuencia de los fenómenos oceánicos y atmosféricos regulados por la topografía de la región (García y Mosiño, 1967). En la región noroeste el clima es tipo mediterráneo, con precipitación unimodal de noviembre a abril, con máximos en febrero y marzo (Reyes *et al.*, 1990). Las lluvias son muy variables, en ocasiones se tienen años secos o muy lluviosos que se asocian a eventos de El Niño Oscilación del Sur (Reyes *et al.*, 1990).

Las aguas del Pacífico nororiental están dominadas por las aguas frías del Sistema de la Corriente de California (SCC) (Figura 2). Este sistema está constituido por una corriente superficial con dirección al Ecuador, llamada Corriente de California (CC), por la Contracorriente sub-superficial de California (CU), que tiene un flujo sub superficial con dirección hacia el polo, y por la Contracorriente de California (CCC) (Durazo *et al.*, 2005). La CC es el brazo oriental del giro anticiclónico de gran escala del Pacífico Norte y es una corriente superficial (0 a 300 m de profundidad) que acarrea agua hacia el Ecuador todo el año a lo largo de la costa occidental de Norte América, hacia la Corriente Norecuatorial, excepto en la costa (Durazo *et al.*, 2005). Frente a la costa de Baja California, el núcleo de la CC pasa a unos 200 km (Durazo *et al.*, 2005).

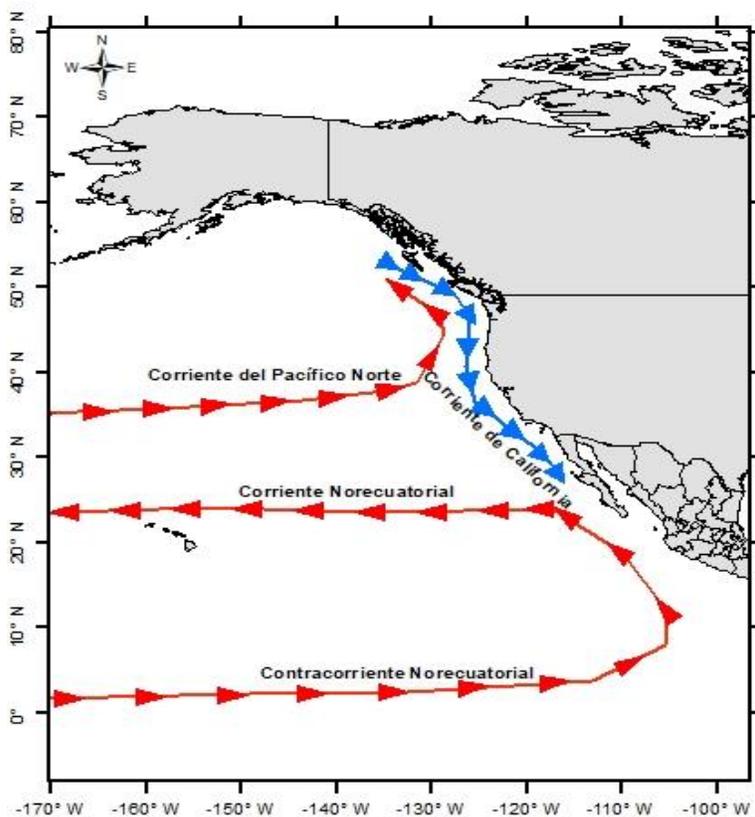


Figura 2: Corrientes con influencia en la Península de Baja California: la Corriente del Pacífico Norte, el Sistema de la Corriente de California, la Corriente Norecuatorial y la Contracorriente Norecuatorial (Modificado de Checkley, 2009 y Durazo *et al.*, (2005)). Las flechas rojas indican corrientes cálidas, y las flechas azules indican corrientes frías.

1.5.2 Islas del Pacífico mexicano

Las islas del Pacífico se formaron hace aproximadamente 10 millones de años durante el periodo en el cual la península se separó del continente. Son áreas críticas para la reproducción de 59 especies de aves, 39 de anfibios y reptiles, 18 mamíferos terrestres y cuatro pinnípedos. Las aguas adyacentes a las islas son ricas en cuanto a su productividad biológica, y de gran valor económico y social para el país. La información que se presenta a continuación es una descripción tomada de la guía de campo elaborada por Samaniego-Herrera, 2007.

Islas Coronado

Es un conjunto de cuatro islas de origen continental localizadas frente a la ciudad de Tijuana, B.C., a 14.4 km del continente. La isla más grande es la Isla Sur ($32^{\circ}24'33.17''$ N, $117^{\circ}14'46.34''$ W), con un perímetro de 7,947 metros y un área 122.2 hectáreas. Esta isla está habitada por personal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, y de la Secretaría de Marina. La Isla Norte ($32^{\circ}26'26.24''$ N, $117^{\circ}17'51.07''$ W) tiene un perímetro de 3,346 metros y un área de 39.15 hectáreas. El resto del complejo está compuesto por dos islotes centrales ($32^{\circ}25'2.96''$ N, $117^{\circ}15'39.36''$ W), conocidos como Isla Centro y Pilón de Azúcar. La Isla del Centro tiene un perímetro de 1,963 metros y un área de 11.76 hectáreas.

Islas Todos Santos

Son dos islas de origen continental localizadas frente a la Bahía de Todos Santos, B.C., a 18 km del continente. La isla más grande es la Isla Sur ($31^{\circ}48'7.91''$ N, $116^{\circ}47'30.45''$ W), con un perímetro de 8,734 metros, un área de 87.21 hectáreas y está habitada por pescadores. La Isla Norte ($31^{\circ}48'38.89''$ N, $116^{\circ}48'15.52''$ W) es más pequeña, con un perímetro de 3,332 metros, un área de 30.71 hectáreas y está habitada por personal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Isla San Martín

Isla de origen volcánico, localizada frente a la Bahía de San Quintín, B.C. ($30^{\circ}29'20.90''$ N, $116^{\circ}6'52.02''$ W). Su perímetro es de 7,211 metros, su área de 256 hectáreas, y se encuentra a 5.1 km del continente. Es habitada temporalmente por pescadores.

Isla San Jerónimo

Isla de origen continental, localizada frente a la Bahía de El Rosario, B.C. ($29^{\circ}47'32.96''$ N, $115^{\circ}47'29.78''$ W). Su perímetro es de 4,228 metros, su área de 48.3 hectáreas y se encuentra a 9.7 km del continente. Está habitada por personal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, y temporalmente por pescadores.

Islas San Benito

Es un conjunto de tres islas de origen continental, localizadas frente a la costa este de la Isla Cedros. Se encuentran a 140 km de la costa de Baja California, aproximadamente. La isla más grande es la Isla Oeste (28°18'22.81" N, 115°35'43.63" W) con un perímetro de 9,976 metros y un área de 386 hectáreas. Esta isla tiene una población temporal de 100 habitantes aproximadamente. La Isla Este (28°18'14.18" N, 115°32'42.39" W) tiene un perímetro de 6,538 metros y un área de 142 hectáreas, mientras que la Isla Centro es la más pequeña de las tres.

Isla Cedros

Isla de origen continental, localizada frente al desierto central de Baja California (28°12'46.23"N, 115°12'51.4" W). Tiene un perímetro de 130,970 metros, un área de 34,827 hectáreas, y una distancia al continente de 100 km. Con una población residente aproximada de 4,500 habitantes.

Isla Natividad

Isla de origen continental, localizada frente a Punta Eugenia, B.C.S. (27°52'55.23" N, 115°11'33.71" W). Su perímetro es de 19,432 metros, un área de 728 hectáreas, y se encuentra a 9.3 km del continente. Con una población aproximada de 200 habitantes.

Isla San Roque

Isla de origen continental, localizada frente a Bahía Asunción, B.C.S. (27°8'48.31" N, 114°22'40.47" W). Su perímetro es de 4,856 metros, un área de 437 hectáreas y se encuentra a 1.9 km de la costa. Habitada por vigilantes de la Sociedad Cooperativa de California de San Ignacio.

Isla Asunción

Isla de origen continental, localizada frente a Punta Asunción, B.C.S. (27°6'12.92" N, 114°17'34.27" W). Tiene un perímetro de 3,967.5 metros, un área de 43 hectáreas y se encuentra a 1.8 km de la costa. Habitada por vigilantes de la Sociedad Cooperativa de California de San Ignacio.

Capítulo 2. Variación temporal en los conteos en tierra de la *Phoca vitulina richardii* en la Península de Baja California

2.1 Introducción

El máximo número de individuos en tierra de la foca de puerto ocurre durante la temporada reproductiva (Huber *et al.*, 2001; Jemison y Kelly, 2001) o la temporada de muda (Simpkins *et al.*, 2003; Bengtson *et al.*, 2007; Harvey y Goley, 2011), dependiendo de la ubicación geográfica de las colonias. Sin embargo, existen otros factores que pueden influir, tales como la hora del día, la marea, el viento predominante (Simpkins *et al.*, 2003), la productividad alrededor de sus sitios de descanso (Grigg *et al.*, 2012), y las diferentes fuentes de disturbio, ya sean naturales o de origen antropogénico (Allen *et al.*, 1984; Suryan y Harvey, 1999; Becker *et al.*, 2011; Ruiz-Mar, 2016).

La fase terrestre del ciclo anual de la foca de puerto abarca desde el inicio de la temporada de reproducción al fin de la temporada de muda, y ambas temporadas han sido descritas en tres colonias de Baja California (Tabla 1). En el Estero de Punta Banda, Fernández-Martín *et al.* (2016) describieron que la temporada de crías abarca de mediados de febrero a mediados de abril, mientras que la muda inicia de finales de abril a mediados de julio. En cuanto a Isla Todos Santos e Isla San Roque, Fernández-Martín (2018) encontró un desfase de un mes aproximadamente en la temporalidad de los nacimientos; en San Roque abarca de finales de diciembre a principios de marzo, y en Todos Santos de finales de enero a principios de abril. Por otra parte, Tapia-Harris *et al.* (2017) describieron la muda en estas mismas islas, encontrando que en San Roque ocurrió de finales de febrero a finales de junio, mientras que en Todos Santos duró de mediados de abril a mediados de julio.

Tabla 1: Fase terrestre (temporada de crías – temporada de muda) de la foca de puerto en las tres colonias de Baja California. Tomado de Fernández-Martín *et al.* (2016), Tapia-Harris *et al.* (2017) y Fernández-Martín (2018).

| Colonia | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul |
|-----------------------|-----|-------------|-------------|-----|------|-----|-----|-----|
| Estero de Punta Banda | | | Nacimientos | | | | | |
| | | | | | Muda | | | |
| Isla Todos Santos | | Nacimientos | | | | | | |
| | | | | | Muda | | | |
| Isla San Roque | | Nacimientos | | | | | | |
| | | Muda | | | | | | |

En el presente capítulo se utilizaron los datos de Fernández-Martín *et al.* (2016) y de Tapia-Harris *et al.* (2017), agregando la temporada reproductiva de 2014; sin embargo, los objetivos entre los estudios fueron diferentes. Los trabajos de Fernández-Martín *et al.* (2016) y de Tapia-Harris *et al.* (2017) tuvieron como objetivo determinar el inicio, máximo y fin de las temporadas de reproducción y muda respectivamente. En contraste, en este capítulo se ajustaron modelos de la variación diaria en el número de individuos en tierra a lo largo de 6-7 meses de conteos con el objetivo de obtener un panorama general del comportamiento en tierra de la foca de puerto para determinar las fechas exactas en las que el mayor número de individuos se encuentra en tierra a lo largo de la Península de Baja California.

2.2 Objetivo

Determinar el patrón temporal de distribución en tierra de la foca de puerto en tres colonias, así como establecer las fechas esperadas de mayor número de individuos en tierra.

2.3 Métodos

2.3.1 Trabajo de campo

El área de estudio incluye las colonias del Estero de Punta Banda y de las islas Todos Santos y San Roque (Figura 3). El Estero de Punta Banda se localiza en la Bahía de Todos Santos, en los 31° 42' a 31° 47'N y 116° 37' y 116° 40' W. Tiene una forma de "L" con una longitud aproximada de 10 Km y un ancho promedio de 2 km, incluyendo una zona de marisma (Ortiz *et al.*, 2003). Se realizaron conteos desde tierra cada 15 minutos por aproximadamente 5 horas usando binoculares 7 x 50 y telescopios 20-60 x 80 mm por un equipo de cuatro observadores independientes y experimentados. Los conteos se hicieron durante tres días a la semana, de enero a julio de 2012 en el Estero de Punta Banda, cuatro días a la semana en Todos Santos, de marzo a julio de 2014, y cinco días a la semana en San Roque, de enero a junio de 2014. Para los análisis sólo se utilizó el máximo diario.

En Todos Santos y San Roque los conteos fueron realizados en dos playas cercanas; sin embargo, debido a que los análisis preliminares no mostraron una diferencia en el patrón temporal, los conteos fueron sumados para tener un solo juego de datos por isla. Adicionalmente, se realizaron conteos desde

embarcación en ambas islas durante periodos de marea baja y en condiciones ambientales favorables (Beaufort < 2 y sin lluvia), completándose un total de 15 conteos para Todos Santos y 24 para San Roque. Para asegurar que los resultados de ambos métodos de conteo fueran comparables, los conteos fueron escalados a la proporción del valor máximo observado, llamados a partir de ahora “conteos relativos”.

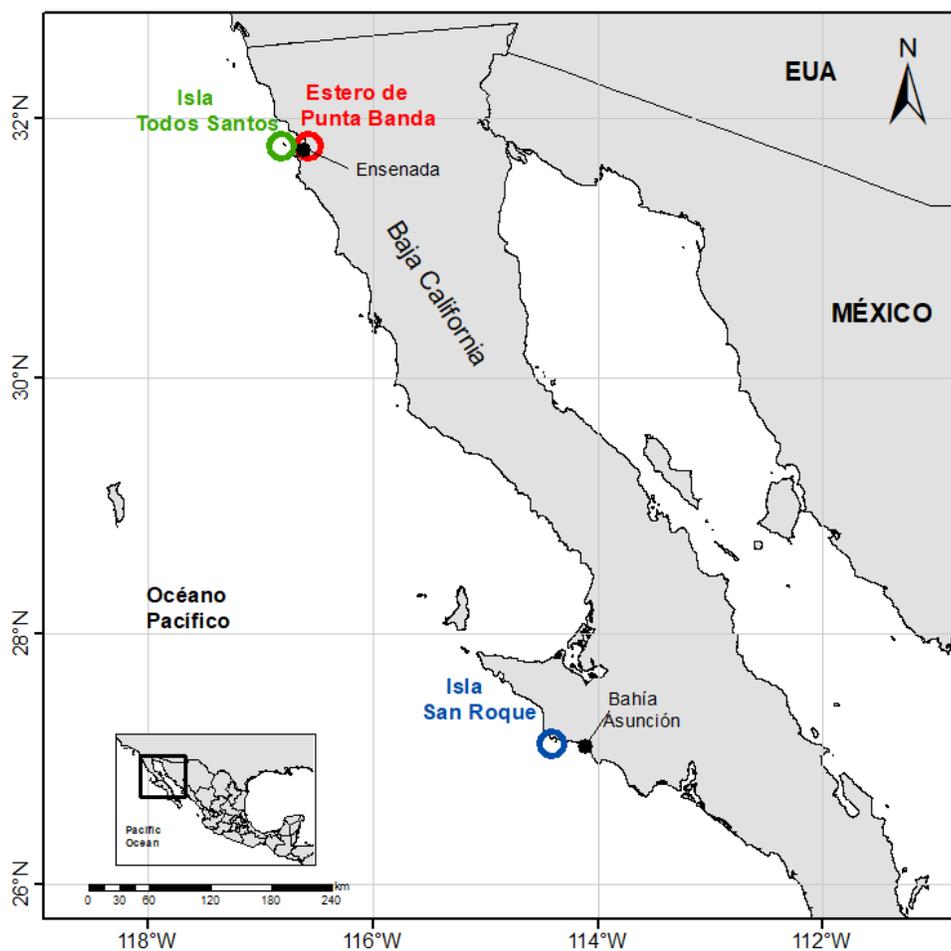


Figura 1: Colonias de foca de puerto estudiadas (círculos de colores) en la Península de Baja California, México.

2.3.2 Análisis de datos

Se utilizaron Modelos Aditivos Generalizados (GAM por sus siglas en inglés), los cuales son una generalización y extensión no paramétrica de los Modelos Lineales Generalizados (GLM); es decir, que pueden tener cualquier forma no estrictamente lineal, mientras se mantenga su carácter aditivo. Estos modelos se seleccionaron debido a que se esperaba que las curvas correspondientes a cada colonia fueran

mucho más complejas que una simple tendencia polinomial y, por lo tanto, se requería mayor flexibilidad (Hastie y Tibshirani, 1986; Wood, 2006).

Los GAMs se basan en reemplazar la función lineal de las variables independientes o predictivas X , por una función de suavizamiento $f_j(X_{ij})$. La suma de las funciones para cada variable predictiva conforma los modelos aditivos (Hastie y Tibshirani, 1986; Guisan y Zimmermann, 2000). Lo anterior hace que el análisis de datos defina la forma apropiada de cada uno de los efectos de las variables (Hastie y Tibshirani, 1986). Pueden usar algoritmos de suavizamiento, tales como los basados en polinomios locales (*lowess*) y los *splines* cúbicos, para ajustar funciones no paramétricas a las relaciones entre las variables de respuesta Y así como las predictivas (Hastie y Tibshirani, 1986). El modelo aditivo significa que la relación entre las variables y cada una de las predictoras X_k pueden ser analizadas por separado, y por consiguiente la respuesta es individual (Hastie y Tibshirani, 1986). Además se puede usar como una estrategia para seleccionar variables, dejando sólo aquellas que permitan una mejor interpretación del modelo final (Hastie y Tibshirani, 1986).

La ventaja de este método es que el usuario no tiene que sugerir el tipo de función existente entre las variables, sino que es el modelo quien define la forma de esta relación, por lo que la forma de la función quedará determinada por los datos disponibles y por un parámetro de suavizado que establece que tan cerca la función tiene que ajustar a los puntos dados. A través de los GAM se obtienen estadísticos que permiten verificar la pertinencia del modelo, como son los grados de libertad efectivos (EDF por sus siglas en inglés), el cual es un valor que va de 0 a $k-1$ y expresa la complejidad de la curva. Mientras más alto es el valor, menor es la linealidad en el suavizado. La Validación Cruzada Generalizada (GCV por sus siglas en inglés) es un valor análogo al Criterio de Información de Akaike (AIC), e indica cuáles predictores muestran el mejor ajuste al obtener el valor más bajo. La devianza explicada es equivalente a la R^2 , e indica el porcentaje de datos que son explicados por el modelo.

Los GAMs se ajustaron a los conteos relativos como una función del tiempo a una escala estacional (por ejemplo, el día del año), utilizando una función de vínculo logarítmica, dada la distribución de la variable de respuesta y con el objetivo de evitar predicciones negativas. Los máximos y mínimos de las curvas ajustadas fueron interpretados como conteos altos y periodos de transición respectivamente, utilizando la predicción de los GAMs y sus correspondientes intervalos de confianza. Se probaron diferentes números de términos de suavizado, tanto automática como manualmente, seleccionando el mejor modelo con base en el menor valor obtenido de la GCV y la mayor devianza explicada. A su vez, se obtuvieron los *EDF*, que se encuentran entre 1 y $k-1$ y son similares al número de nudos (k), cuyos valores

altos indican que el término de suavizado fue menos lineal. Los análisis de datos fueron realizados en el lenguaje R (R Development Core Team, 2017). Para los GAMs se utilizó la paquetería "mgcv" (Wood, 2006), y para las gráficas la paquetería "ggplot2" (Wickham, 2009).

2.4 Resultados

Los mejores modelos para Todos Santos y San Roque utilizaron un valor de $k = 8$, mientras que para el Estero de Punta Banda se seleccionó un valor de $k = 9$ (Tabla 2). Esto indica que el modelo para el estero fue menos lineal y se necesitaron más uniones para obtener una mejor predicción debido a que los conteos presentaron mayor variación que los de las islas. Asimismo, la devianza explicada fue menor en el estero que en las islas (Tabla 2).

Tabla 2: Resumen de los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) para conteos foca de puerto en tierra en tres colonias como función del tiempo en una escala estacional. n = número de conteos; EDF = grados de libertad efectivos; k = valores del máximo número de dimensiones permitidos por la función de suavizado. Los números en negritas indican el modelo seleccionado, con la menor GCV (Validación Cruzada Generalizada) y la devianza más alta.

| Sitio de descanso | Estructura del modelo | n | EDF | GCV | R ² Ajustada | Devianza Explicada |
|-----------------------|--|-----|--------------|----------------|-------------------------|--------------------|
| Estero de Punta Banda | $y \sim s(x, k = 7)$ | 68 | 4.342 | 0.02954 | 0.353 | 39.5 |
| | $y \sim s(x, k = 8)$ | | 4.393 | 0.02965 | 0.351 | 39.4 |
| | $y \sim s(x, k = 9)$ | | 4.86 | 0.02944 | 0.361 | 40.7 |
| Isla Todos Santos | $y \sim s(x, k = 7)$ | 67 | 5.659 | 0.03958 | 0.382 | 42.8 |
| | $y \sim s(x, k = 8)$ | | 6.087 | 0.03957 | 0.386 | 43.5 |
| | $y \sim s(x, k = 9)$ | | 6.294 | 0.03998 | 0.382 | 33.2 |
| Isla San Roque | $y \sim s(x, k = 7)$ | 204 | 5.856 | 0.02275 | 0.53 | 54.2 |
| | $y \sim s(x, k = 8)$ | | 6.609 | 0.02185 | 0.552 | 56.6 |
| | $y \sim s(x, k = 9)$ | | 7.377 | 0.0202 | 0.552 | 56.6 |

En el Estero y San Roque, las curvas mostraron valores bajos entre principios de febrero y principios de marzo, los cuales posteriormente aumentaron a finales de febrero en San Roque y mediados de marzo en el Estero de Punta Banda (Figura 4). En Todos Santos hubo un máximo marcado a mediados de abril, el cual corresponde a la pre-muda (Figura 4, H1). La agregación de individuos en tierra en las islas disminuyó alrededor de mediados de marzo en San Roque y mediados de mayo en Todos Santos, mientras que en el Estero de Punta Banda se mantuvo estable. Posteriormente, el número de individuos aumentó nuevamente a finales de abril en el Estero de Punta Banda y en San Roque, mientras que en Todos Santos el incremento ocurrió a principios de mayo. Los máximos más conspicuos ocurrieron en San Roque a finales de abril, a finales de mayo en el Estero de Punta Banda y a principios de junio en Todos Santos (Figura 4, H2). Finalmente, el número de animales en tierra disminuyó a mediados de junio en Todos Santos y a finales del mismo mes en San Roque y el Estero de Punta Banda (Figura 4).

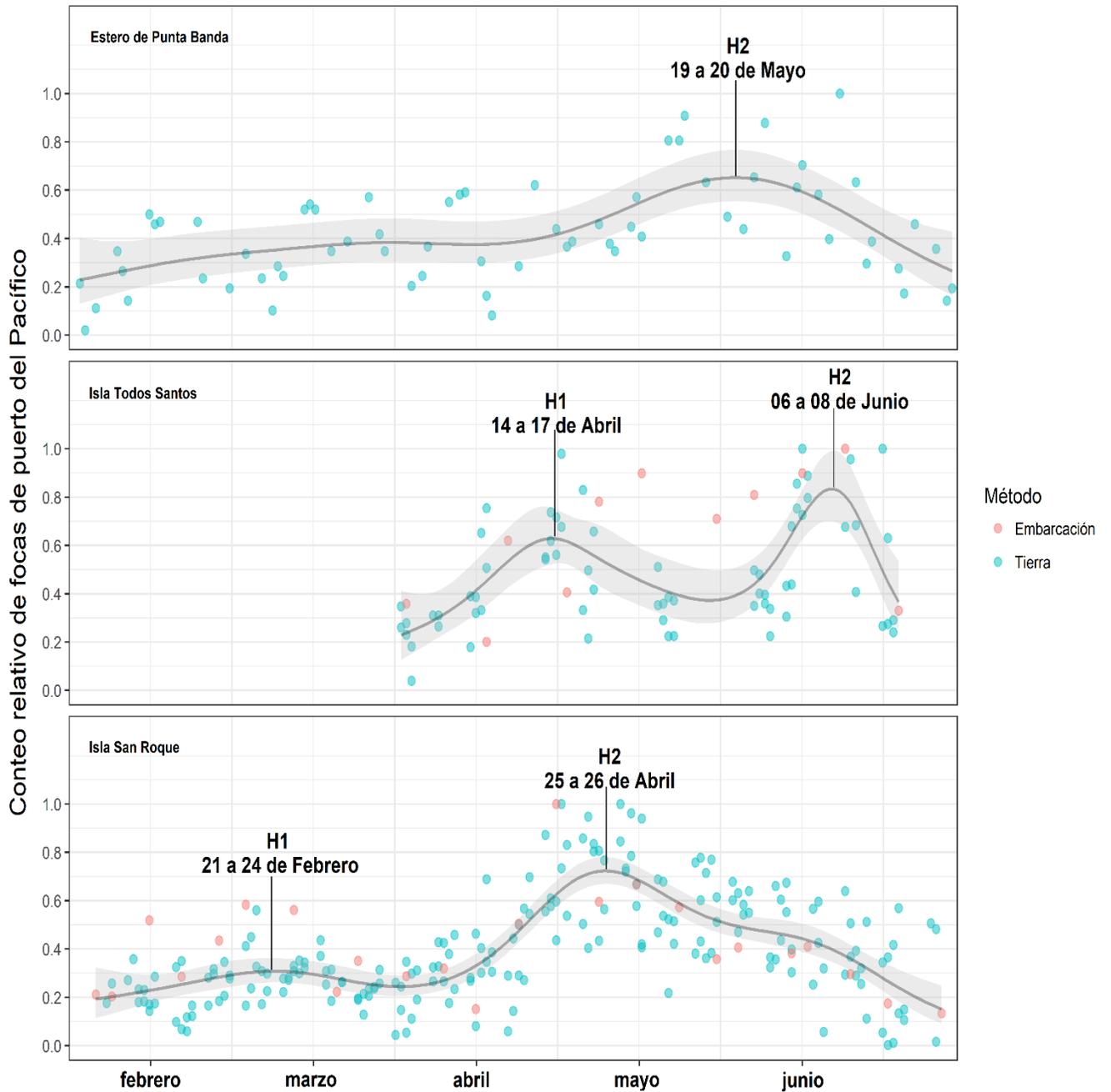


Figura 4: Modelos Aditivos Generalizados de los conteos relativos de focas de puerto como función del día del año, en tres sitios de descanso frente a la Península de Baja California. La línea continua representa la predicción media y las zonas sombreadas el intervalo de confianza al 95%. H1 y H2 indican las fechas predichas en las que ocurren los máximos en tierra.

2.5 Discusión

Los modelos mostraron una devianza explicada menor en el Estero de Punta Banda relacionada con la alta variabilidad en el número de individuos contados, la cual podría deberse a la ocurrencia regular de eventos de disturbio humano que ocasionan que los animales entren al mar continuamente (Ruiz-Mar, 2016). En el caso de Todos Santos no se tuvieron datos para la temporada reproductiva, mientras que en San Roque hubo un incremento sutil correspondiente a la temporada reproductiva, pero en el Estero de Punta Banda la reproducción no se detectó. Estos resultados posiblemente se deban al comportamiento acuático de los individuos durante la temporada reproductiva. Las hembras realizan viajes de alimentación y las crías también entran al agua, aunque se quedan en la superficie mientras la madre se alimenta. Por su parte, los machos se encuentran en agua patrullando para esperar a que las hembras entren en estro para copular; dichos eventos ocurren en el agua (Thompson *et al.*, 1997; Huber *et al.*, 2001; Boness *et al.*, 2006; Hayes *et al.* 2006). Por esta razón, la variación en los conteos durante la temporada de reproducción fue alta, lo que no permitió detectar un máximo marcado.

El análisis del patrón temporal de la distribución en tierra en las colonias mostró la muda, e incluso la premuda en Todos Santos. El máximo de individuos en tierra en las tres colonias ocurrió en primavera, correspondiente a la temporada de muda, lo que coincide con lo reportado para Alaska y California (Simpkins *et al.*, 2003; Harvey y Goley, 2011). La última caída en el número de individuos en San Roque y en el Estero de Punta Banda representa el final de la temporada de muda, mientras que en Todos Santos la curva continúa cayendo, lo que indica que las observaciones de campo concluyeron antes de que terminara la temporada. En Todos Santos se observó un máximo correspondiente a la premuda y otro a la muda, lo que sugiere que posiblemente exista una segregación entre clases de sexo y edad (Daniel *et al.*, 2003), siendo los individuos jóvenes los primeros en mudar, seguidos por las hembras adultas, y por último los machos adultos (Tapia-Harris *et al.*, 2017); a diferencia, ni en el Estero de Punta Banda ni en San Roque se detectaron las diferentes temporadas (i.e., premuda y muda).

El presente estudio compila la base de datos más completa de conteos en tierra de foca de puerto en Baja California con el objetivo de describir la distribución temporal de los animales durante la fase terrestre. Las fechas del máximo de animales en tierra obtenidas con los GAMs coincidieron con lo reportado previamente para el Estero de Punta Banda (19-20 de mayo; Fernández-Martín *et al.*, 2016) y San Roque (25-26 de abril; Tapia-Harris *et al.*, 2017). En contraste, en el caso de Todos Santos el estudio de Tapia-Harris *et al.* (2017) indica principios de mayo como el periodo cuando se agrega el mayor número de individuos en tierra, pero los resultados obtenidos en este trabajo señalan principios de junio. Es posible

que esta discrepancia se deba a las diferencias tanto en las bases de datos como en los métodos de análisis. Tapia-Harris *et al.* (2017) utilizaron únicamente conteos desde embarcación que fueron ajustados a una regresión polinomial, mientras que en este trabajo se utilizaron tanto conteos de embarcación como desde tierra analizados con GAMs; por lo tanto, los resultados obtenidos en este trabajo son más robustos. En conclusión, se sugiere que los conteos para estimaciones de abundancia de foca de puerto en Baja California sean realizados durante los últimos días de abril para las colonias del sur, i.e., islas San Roque, Asunción, Natividad, Cedros y San Benito, y en los primeros días de junio para las colonias del norte, i.e., islas Todos Santos, Coronado, San Martín y San Jerónimo.

Capítulo 3. Abundancia de la *Phoca vitulina richardii* en México

3.1 Introducción

Los conteos para estimar la abundancia de la foca de puerto se realizan durante las temporadas en las que se encuentra el mayor número de focas en tierra; éstas pueden ser la temporada reproductiva (Pitcher *et al.*, 1990; Frost *et al.*, 2001; Boveng *et al.*, 2003; Simpkins *et al.*, 2003) o la de muda (Pitcher *et al.* 1990; Huber *et al.* 2001; Boveng *et al.* 2003; Simpkins *et al.* 2003). En México, la temporada de muda ocurre de febrero a junio (Tapia-Harris *et al.*, 2017), y durante dicha temporada se congrega el mayor número de individuos en tierra (Capítulo 2). Sin embargo, debido a que en ningún momento se encuentran todos los individuos en tierra, los conteos representan el número mínimo de individuos que conforman una población (Allen, 1988; Hanan, 1996; Huber *et al.*, 2001), por lo que es necesario corregirlos utilizando factores multiplicativos.

En la actualidad existen diferentes factores de corrección para estimar la abundancia, los cuales varían entre poblaciones de acuerdo a su ubicación geográfica. Esto se debe a que el cálculo de un factor de corrección depende en gran parte de la variación latitudinal de las temporadas reproductivas y de muda (Huber *et al.*, 2001). Huber y colaboradores (2001) utilizaron radiomarcas VHF colocadas en 124 focas a lo largo de las costas de Oregon y Washington durante la temporada reproductiva y calcularon el factor de corrección en 1.53. Por su parte, Harvey y Goley (2011) utilizaron la misma técnica marcando 223 individuos en el norte de California durante la temporada de muda, calculando el factor de corrección en 1.54.

Para México existen conteos aislados desde los años cincuenta en diferentes islas y en sitios de la costa (e.g., Bartholomew y Hubbs, 1952; Maravilla y Lowry, 1996; Padilla-Villavicencio, 1990; Lubinsky-Jinich *et al.*, 2017), pero hasta el momento no existe una estimación de abundancia. El objetivo de este capítulo fue estimar la abundancia de la foca de puerto en Baja California utilizando conteos realizados en las temporadas de muda 2009 y 2016, para lo cual se calculó un factor de corrección local.

3.2 Objetivos

1. Calcular un factor de corrección local para los conteos realizados durante la temporada de muda.
2. Estimar la abundancia de *P. v. richardii* para 2009 y 2016.

3.3 Métodos

3.3.1 Trabajo de campo

3.3.1.1 Factor de corrección

Para estimar la proporción de focas en tierra durante los conteos se utilizó la telemetría con radiomarcas VHF (Telonics Inc.), bajo el supuesto de que el comportamiento de los animales marcados es representativo de la población (Huber *et al.*, 2001, Harvey y Goley, 2011). El trabajo de campo para la colocación de las marcas se realizó del 17 al 28 de mayo de 2016 en la Isla Todos Santos. Se capturaron 12 animales adultos en avanzado estado de muda (i.e., cabeza y dorso mudado) para maximizar la permanencia de las marcas. Las capturas fueron manuales, utilizando redes de aro y cuchara, y para el manejo durante la colocación de las marcas se utilizó isoflurano. A cada animal capturado se le colocó una radiomarca en el dorso adherida con pegamento 5 minutos Epóxico Devcon; adicionalmente se colocaron cuadros de hule espuma de colores en la cabeza, dorso y zona ventral para la identificación visual. Cada marca VHF transmite una frecuencia única durante aproximadamente 20 días, y se espera que permanezcan adheridas hasta el siguiente periodo de muda. Se colocaron marcas VHF en dos sitios de captura para asegurar que el receptor y las marcas funcionaran correctamente.

Entre el 8 y el 23 de junio la isla fue circunnavegada 10 veces para detectar a los animales utilizando un receptor de radio Telonics TR4 VHF y una antena manual direccional Yagi tipo 1-H. Cuando se detectó una frecuencia específica, se confirmó la presencia del individuo en tierra utilizando observación directa con binoculares 7 x 50. La frecuencia, código de cada marca, la fecha y hora se registraron manualmente.

3.3.1.2 conteos

Los datos utilizados fueron conteos realizados durante las temporadas de muda de 2009 y 2016. Con base en la clina latitudinal reportada por Tapia-Harris *et al.* (2017), la península de Baja California fue dividida en dos regiones: (1) región sur: desde Punta Baja (29°56' 53.24"N, 115°48'50.99"W) hasta Bahía Asunción (27°07'29.23"N, 114°17'48.59"W), incluyendo las islas San Roque, Asunción, Natividad, San Benito y Cedros, y (2) región norte: desde Punta Baja hasta Tijuana (32°25'04.23", 117°05'57.83"W), incluyendo las islas San Jerónimo, San Martín, Todos Santos y Coronado (Figura 5).

Para la estimación de 2009 se utilizaron los datos de Lubinsky-Jinich *et al.* (2017). Las nueve islas fueron circunnavegadas en embarcaciones menores y el muestreo consistió en tomar fotografías de las colonias de focas con cámaras digitales Canon EOS 10D y 20D con lentes 100-400 mm, f/4.5. Las islas de la región 1 se muestrearon entre el 17 y 26 de mayo, y las de la región 2 del 3 al 18 de junio. En 2016 se realizó muestreo aéreo. Los conteos para la región 1 abarcaron del 26 al 28 de abril, y los de la región 2 del 11 al 17 de mayo. Los vuelos se hicieron a bordo de una avioneta Cessna 210-1977, volando a una velocidad aproximada de 170 km/h y altitud de 90-100 m. El equipo de trabajo consistió en un piloto y tres observadores. La ruta de cada vuelo fue almacenada en un GPS Garmin 76CSX. Los sitios de descanso fueron fotografiados con el equipo descrito arriba y los datos colectados durante cada muestreo fueron la fecha, la hora y la ubicación. Debido a que los conteos de la foca pueden ser variables entre días (Mathisen y Kline, 1992), se realizaron sobrevuelos por triplicado en tres días consecutivos para cada sitio (Boveng *et al.*, 2018).

Las fotografías tomadas en 2009 fueron ensambladas con el software PTAssembler (TawbaWare, 2009) y las de 2016 con el software PTGui (New House Internet Services, 2011). Para ambos años, las focas fueron contadas a partir de imágenes digitales con el programa Image Pro (Media Cybernetics Inc., 2006). Debido a que durante 2016 se realizaron sobrevuelos por triplicado dentro de un periodo breve, en el análisis se utilizaron los conteos más altos de cada sitio (Mathisen y Kline, 1992; Boveng *et al.*, 2018).

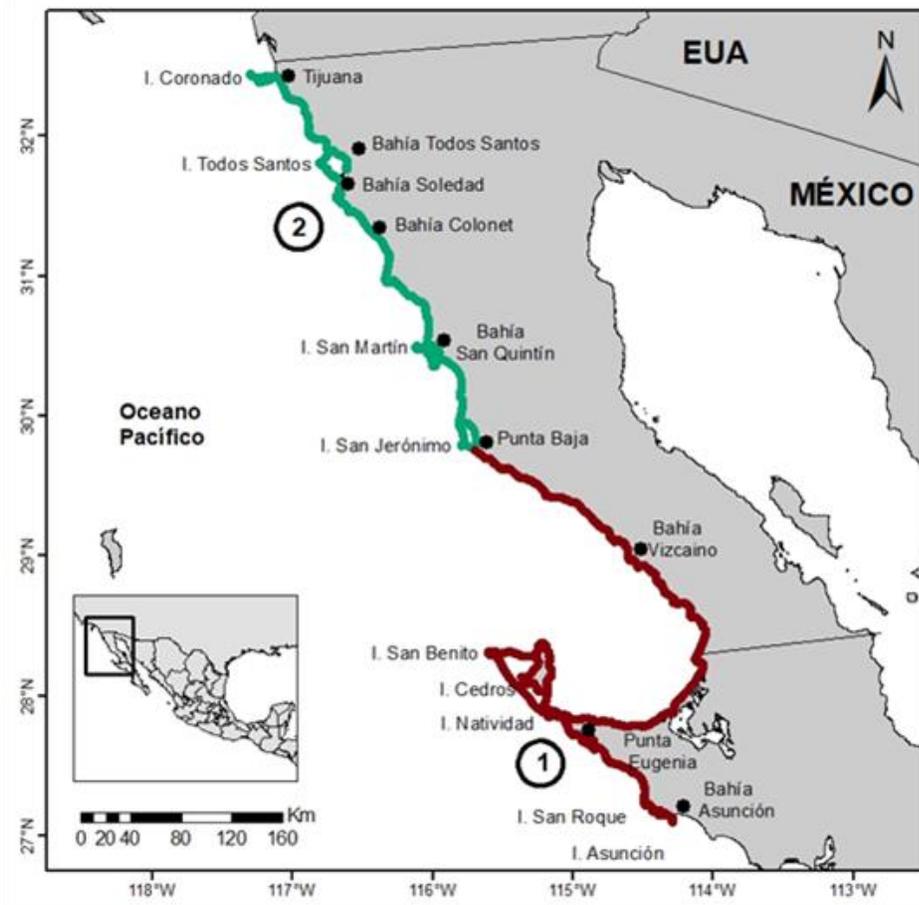


Figura 5: Distribución de la foca de puerto en la Península de Baja California, México, y área de estudio. Los círculos numerados indican las dos regiones monitoreadas en 2016 de acuerdo a los máximos de muda reportados por Tapia *et al.* (2017). Región sur (1) líneas de color rojo, región norte (2) líneas de color verde.

3.3.2 Análisis de datos

Se utilizó inferencia Bayesiana de proporciones binomiales para la estimación del factor de corrección. La distribución condicional de y (número focas recapturadas) de una muestra de tamaño n (número total de focas marcadas) dado el parámetro p , es binomial(n, p). Así, la proporción de focas detectadas en tierra (p) se obtuvo usando la distribución beta con parámetros a y b (Forbes *et al.* 2011; Bolstad y Curran, 2016). El dominio de beta es $[0,1]$ y su función de densidad está dada por:

$$Prob(p|a, b) = \frac{y^{a-1}(1-y)^{b-1}}{B(a,b)} \quad (1)$$

donde B es la función beta, que es la constante de normalización que garantiza que el área bajo la curva de densidad sea igual a 1:

$$B(a, b) = \frac{(a-1)!(b-1)!}{(a+b-1)!} \quad (2)$$

La media previa de p es:

$$p_0 = \frac{a}{a+b} \quad (3)$$

con desviación estándar:

$$s_0 = \sqrt{\frac{ab}{(a+b)^2(a+b+1)}} \quad (4)$$

Dado que:

$$\frac{b}{a+b} = 1 - p_0 \quad (5)$$

entonces:

$$s_0 = \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{a+b+1}} \quad (6)$$

Resolviendo las ecuaciones (5) y (6) se obtienen los valores de a y b . Debido a que la distribución beta es la familia conjugada de la binomial, la distribución posterior es miembro de la misma familia. Entonces, si la distribución previa es $beta(a, b)$, la posterior es beta con parámetros $a' = a + y$ y $b' = b + n - y$. La información previa fue tomada de Harvey y Goley (2011), quienes estimaron el factor de corrección para California durante la temporada de muda utilizando la misma metodología de campo. El análisis fue realizado en lenguaje R (R Development Core Team, 2017), utilizando el paquete Bolstad (Curran y Bolstad, 2017). La abundancia de la foca de puerto para 2009 fue estimada para cada sitio de descanso como el producto del conteo total y $1/p$, y para 2016 como el producto del conteo máximo de un solo día y $1/p$.

3.4 Resultados

Con base en Harvey y Goley (2011), $p_0 = 0.662$ y $s_0 = 0.100$, por lo que la distribución previa fue $beta(14.03, 7.16)$. Siete animales marcados fueron detectados durante las circunnavegaciones; por lo tanto, la distribución posterior fue $beta(21.03, 12.16)$. El valor de la media posterior de p fue 0.634 ± 0.082 (95% CrI: $0.466 - 0.786$) (Figura 6), y el factor de corrección fue 1.58 (95% CrI: $1.27 - 2.15$).

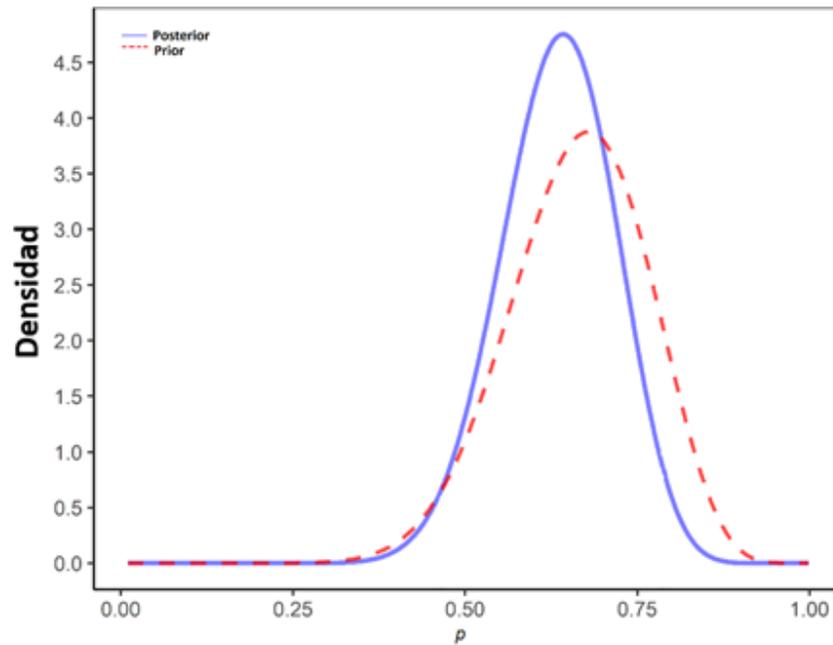


Figura 6: Distribución previa (línea roja punteada) y posterior (línea azul continua) de la proporción de focas de puerto en tierra durante los conteos de la temporada de muda basados en 12 individuos marcados en Isla Todos Santos en 2016. p indica la probabilidad de éxito en cualquier intento, es decir, la proporción de individuos detectados.

El número de focas contadas en 2009 y 2016 se muestran en la Tabla 3. Aplicando el factor de corrección, se estimó la abundancia en 2009 para las nueve islas en 5,980 individuos (95% CrI: 4,807 – 8,138) y en 2016, la abundancia estimada en Baja California fue de 11,967 individuos (95% CrI: 9,619 – 16,284), de los cuales 10,831 (95% CrI: 8,706 – 14,734) fueron estimados para las islas, y 1,136 (95% CrI: 913 – 1,546) a lo largo de la costa (Tabla 3).

Las colonias ubicadas en las islas Coronado, Todos Santos y Cedros parecen permanecer estables en cuanto a su abundancia entre 2009 y 2016, mientras que las de las islas San Jerónimo, Natividad, San Roque, y Asunción aumentaron un 100%, en San Martín 300% y San Benito 400% (Tabla 3). En 2016, la

mayor abundancia se encontró en la región 1 (sur), con 65% del total. San Roque fue la isla con la mayor abundancia (21% del total), seguida por Natividad (18%), San Jerónimo (16%), y Cedros (11%) (Tabla 3 y Figura 6). En cuanto a la distribución a lo largo de la costa, 36% de los individuos se encontraron en la Bahía Colonet, 20% en Punta Eugenia, 13% en Bahía Todos Santos y Punta Baja, 12% en Bahía Soledad, y 6% en San Quintín (Tabla 3).

Tabla 3: Número de focas de puerto contadas durante 2009 (monitoreo desde embarcación menor) y 2016 (monitoreo aéreo) en la temporada de muda en las islas y la costa oeste de la Península de Baja California, México, y la abundancia estimada para cada año por localidad. Entre paréntesis se muestra el intervalo de credibilidad del 95%.

| Localidad | Fecha | 2009 | | 2016 | | |
|------------------------------|------------|--------------|------------------------------|------------------|--------------|--------------------------------|
| | | Conteo | Abundancia | Fecha | Conteo | Abundancia |
| Islas Coronado | 03 junio | 312 | 493 (396 – 671) | 11, 12 y 17 mayo | 377 | 596 (479 – 811) |
| Isla Todos Santos | 08 junio | 341 | 539 (433 – 733) | 11, 12 y 17 mayo | 420 | 664 (533 – 903) |
| Isla San Martín | 19 junio | 136 | 215 (173 – 292) | 11, 12 y 17 mayo | 386 | 610 (490 - 830) |
| Isla San Jerónimo | 18 junio | 642 | 1,014 (815 – 1,380) | 11, 12 y 17 mayo | 1,251 | 1,977 (1,589 – 2,690) |
| Isla Cedros | 25-26 mayo | 732 | 1,157 (930 – 1,574) | 25 – 27 abril | 796 | 1,258 (1,668 – 2,823) |
| Islas San Benito | 21-22 mayo | 21 | 33 (27 – 45) | 25 – 27 abril | 86 | 136 (109 – 185) |
| Isla Natividad | 24 mayo | 551 | 871 (700 – 1,185) | 25 – 27 abril | 1,313 | 2,075 (1,668 – 2,823) |
| Isla San Roque | 17 mayo | 779 | 1,231 (989 – 1,675) | 25 – 27 abril | 1,631 | 2,577 (2,071 – 3,507) |
| Isla Asunción | 17 mayo | 271 | 428 (344 – 583) | 25 – 27 abril | 595 | 940 (756 – 1,279) |
| Subtotal de las islas | | 3,785 | 5,980 (4,807 – 8,138) | | 6,855 | 10,831 (8,706-14,738) |
| Bahía de Todos Santos | | --- | --- | 11, 12 y 17 mayo | 93 | 147 (118 - 200) |
| Bahía Soledad | | --- | --- | 11, 12 y 17 mayo | 87 | 137 (110 - 187) |
| Bahía Colonet | | --- | --- | 11, 12 y 17 mayo | 259 | 409 (329 - 557) |
| Bahía San Quintín | | --- | --- | 11, 12 y 17 mayo | 44 | 70 (56 - 95) |
| Punta Baja | | --- | --- | 11, 12 y 17 mayo | 90 | 142 (114 - 194) |
| Punta Eugenia | | --- | --- | 25 – 27 abril | 146 | 231 (185 - 314) |
| Subtotal de la costa | | --- | --- | | 719 | 1,136 (913 - 1546) |
| Total | | 3,785 | 5,980 (4,807 – 8,138) | | 7,574 | 11,967 (9,619 – 16,284) |

3.5 Discusión

Este estudio es la primera estimación de la abundancia de la foca de puerto en México, para lo cual se utilizó un factor de corrección calculado para la región. Sin embargo, dado que el tamaño de muestra usado fue pequeño ($n = 12$) e incluyó únicamente individuos adultos de una sola colonia, la población no está representada. Este sesgo debilita la estimación porque no toma en cuenta las diferencias en el comportamiento entre las clases de edad y sexo, ni entre las colonias ubicadas en diferentes latitudes. Para solventar estas debilidades, se utilizó la inferencia bayesiana porque permite incluir información de otros estudios con focas, lo que hace que la estimación sea más precisa. Es decir, como la inferencia Bayesiana proporciona la distribución posterior del parámetro p , la estimación de la abundancia utilizando el intervalo de credibilidad es confiable. Aun así, el factor de corrección estimado debe ser considerado como preliminar.

Las estimaciones sugieren que la abundancia en las islas casi se duplicó entre 2009 (~6,000 individuos) y 2016 (~11,000 individuos). Esta diferencia podría ser el resultado del incremento poblacional, aunque hay otra posible explicación. En 2009 los muestreos se realizaron desde embarcaciones menores entre mayo y junio, mientras que en 2016 se realizaron muestreos aéreos entre abril y mayo. Por lo tanto, la discrepancia entre estimaciones podría deberse a las diferencias tanto en las plataformas de observación como en las fechas de muestreo. Por otra parte, para ambos años la abundancia podría estar subestimada debido a que los conteos no se realizaron en las fechas del máximo de individuos en tierra (ver Capítulo 2). En el caso particular de 2016, la región norte se muestreó cerca de un mes antes del máximo de la muda (Capítulo 2), lo que podría haber influido en la diferencia en la abundancia entre regiones, 65% de la población en la región sur vs. 35% en la región norte.

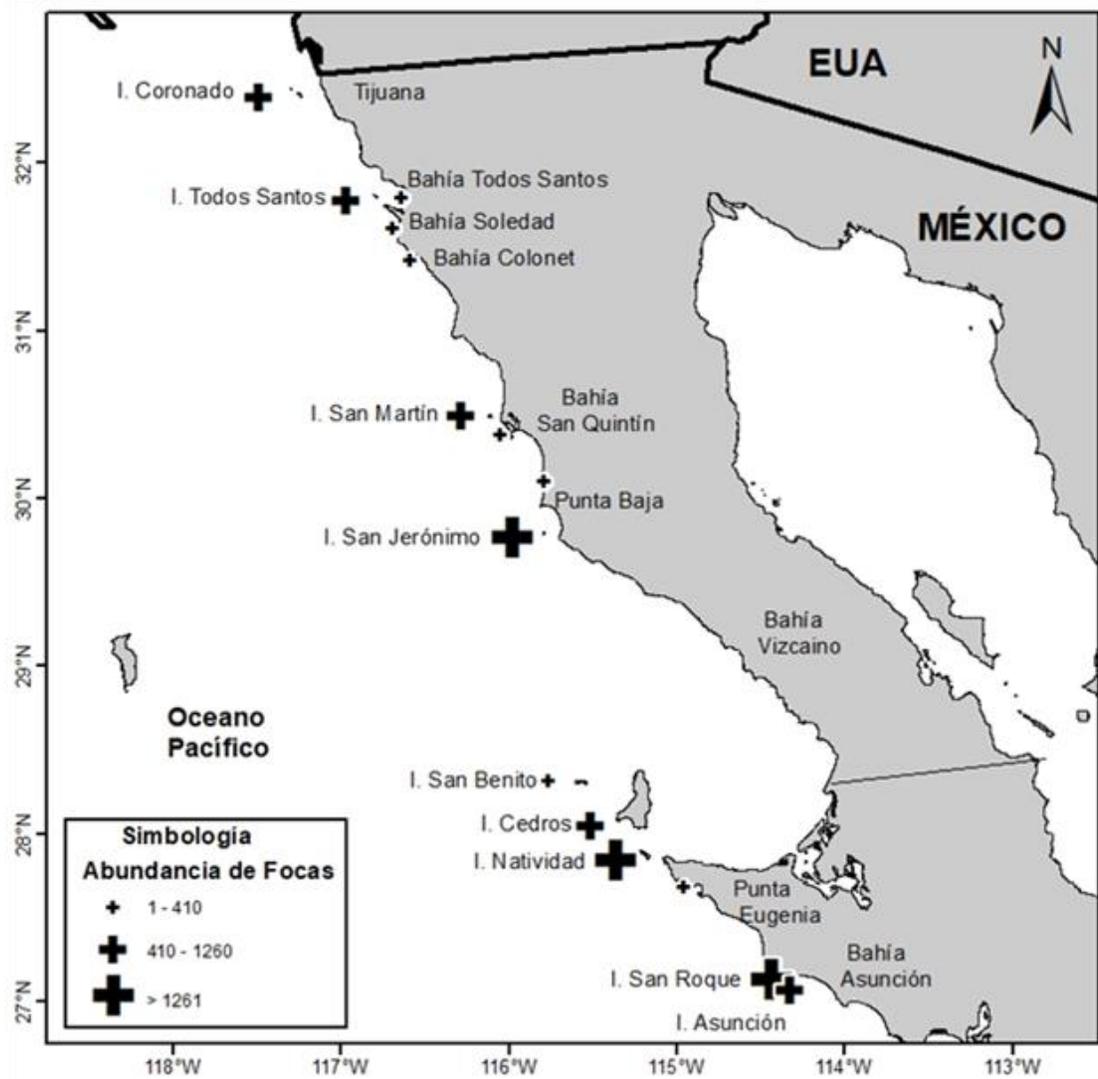


Figura 7: Abundancia de focas de puerto del Pacífico en las islas y la costa al oeste de la Península de Baja California, México, en el año 2016.

La distribución de colonias a lo largo de la costa muestra una variación entre 2009 y 2016. En 2009 fueron ubicados alrededor de 44 sitios en la costa con la presencia de foca de puerto (Lubinsky-Jinich *et al.*, 2017), mientras que en 2016 fueron únicamente 6. Se sugiere que dicho cambio se debe al aumento en las actividades antropogénicas en la zona costera, principalmente la explotación de piedra bola, observado durante el trabajo de campo. Es posible que algunos individuos abandonaran sus sitios de descanso en la costa y se desplazaran hacia alguna isla cercana para alejarse de una fuente de disturbio, ya que se ha reportado que esta especie prefiere sitios de descanso lejos de la interacción con actividades humanas (Becker *et al.*, 2011).

La alta abundancia en Isla San Roque podría deberse a que está habitada exclusivamente por la foca de puerto, por lo que no hay competencia con otras especies de pinnípedos (Arias del Razo *et al.*, 2016). Por otra parte, la morfología de Isla Natividad provee un hábitat ideal para la foca, ya que presenta playas de bolsillo protegidas (Arias del Razo *et al.*, 2017). En el caso de Isla Cedros, aunque tiene una población humana permanente y además se encuentra habitada también por colonias de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) y de elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*), se ubica dentro de una zona altamente productiva donde se mezclan masas de agua; además, la mayor parte de la colonia de focas se encuentra en un islote rocoso (Arias del Razo *et al.*, 2017). En el caso de Isla San Jerónimo también hay colonias de lobo marino de California y de elefante marino del norte (Arias del Razo *et al.*, 2017; Lubinsky-Jinich *et al.*, 2017); sin embargo, es posible que la alta abundancia de foca se deba a que dicha isla se encuentra localizada en una zona de alta productividad y poco perturbada por actividades humanas.

Capítulo 4. Movimientos de la *Phoca vitulina richardii* alrededor de Isla Todos Santos y aguas adyacentes

4.1 Introducción

El estudio de los movimientos de los organismos en el mar es complicado debido a que es difícil observar el comportamiento de los animales por debajo del agua, particularmente en mar abierto. Para resolver esta dificultad, se ha utilizado la telemetría por medio de radiomarcas o marcas satelitales como una herramienta para coleccionar información (Lowry *et al.*, 2001), ya que además de arrojar datos sobre los movimientos de los individuos, permite inferir las zonas que la *P. v. richardii* utiliza para alimentarse (Tollit *et al.*, 1997; Eguchi y Harvey, 2005). La foca de puerto es de hábitos alimentarios estacionales relacionados con su hábitat; es decir, depende de la disponibilidad de presas cerca de su sitio de descanso tanto vertical (profundidad) como horizontalmente (Eguchi y Harvey, 2005), por lo que muestra una preferencia por presas ubicadas en zonas someras y asociadas a fondos rocosos y arenosos (Payne y Selzer, 1989; Tollit *et al.*, 1998; Durazo-Rodríguez, 2015; Brassea, 2016). Las zonas que presentan corrientes de retorno son consideradas importantes en la alimentación de la foca, posiblemente debido a que proporcionan accesibilidad hacia los peces de fondo y ayudan a concentrar cardúmenes (Suryan y Harvey, 1998). Por otra parte, las zonas de surgencias también son sitios importantes de forrajeo (Sydeman *et al.*, 1999).

Estudios previos en las colonias de Baja California mostraron que la foca se alimenta principalmente de presas de poco movimiento, asociadas a fondos fangosos y con una preferencia por especies de hábitos demersales (63%); sólo el 25% de su dieta corresponde a especies pelágicas (Brassea, 2016). Las presas con mayor incidencia en México son la congriperla moteada (*Chilara taylori*), el lenguado alón (*Citharichthys xanthostigma*) y el lagarto lucio (*Synodus lucioceps*) (Alamán, 2014; Durazo-Rodríguez, 2015; Brassea, 2016). Sin embargo, se desconoce la ubicación de sus sitios de alimentación, así como sus movimientos en las aguas adyacentes a sus sitios de reproducción y descanso. En este capítulo se describen los movimientos horizontales de focas alrededor de la Isla Todos Santos con la finalidad de inferir posibles sitios de alimentación, y describir los viajes de alimentación en términos de su frecuencia, duración y distancia.

4.2 Objetivo

Describir los patrones de movimiento de las focas e identificar posibles zonas de alimentación en la región norte de la península de Baja California.

4.3 Métodos

4.3.1 Trabajo de campo

El trabajo de campo se llevó a cabo en la Isla Todos Santos, del 17 al 28 de mayo de 2016, con los mismos métodos de captura, inmovilización y marcado descritos en el Capítulo 3. Se marcaron seis individuos, 3 hembras y 3 machos, a los cuales se les limpió la cabeza con acetona para eliminar la grasa del pelo, y posteriormente se secó con aire comprimido para colocar una marca satelital tipo SPOT 5 (marcas transmisoras de posición geográfica en tiempo real, Wildlife Computers, WA) con ayuda de pegamento epóxico. Las marcas fueron programadas para registrar 250 transmisiones al día, en ciclos de 24 h por aproximadamente seis meses.

4.3.2 Análisis de datos

Las posiciones fueron recibidas por el Sistema Argos (<http://www.argos-system.org>). Con base en la precisión de la estimación, Argos clasifica las posiciones en 7 clases (LC): LC3 con error estimado <250 m, LC2 con error 250 - 500 m, LC1 con error 500 - 1500 m, LC0 con error >1,000 m, y LC-A, LC-B y LC-Z que no incluyen estimaciones de error. Los datos se procesaron con el filtro de Douglas *et al.* (2012), usando el método de distancia, ángulo y filtro de velocidad (DAR por sus siglas en inglés) (Douglas *et al.*, 2012) en la plataforma Movebank (Wikelski y Kays 2018). El DAR se configuró para retener automáticamente las posiciones LC3 y eliminar las LC-Z. Los parámetros del filtro son *maxredun*, que es la distancia máxima redundante entre posiciones casi consecutivas, *minrate*, que es la tasa de movimiento máxima sostenible, y *ratecoef*, que es el coeficiente que evalúa el ángulo entre posiciones (Douglas *et al.*, 2012). *Maxredun* se estableció en 5 km, *minrate* en 10 km/h y *ratecoef* en 10 (Dietz *et al.*, 2013; Womble y Gende, 2013).

Las posiciones filtradas fueron visualizadas en mapas usando el programa Arc Map 10.3 para obtener las trayectorias. Posteriormente y con el objetivo de identificar las posibles zonas de alimentación se realizaron mapas de contornos (Peterson *et al.*, 2012; Dietz *et al.*, 2013) utilizando la distancia entre posiciones con una resolución definida de 20 píxeles y un radio de búsqueda de 5 km. La distancia entre cada posición y el sitio de descanso se calculó para obtener información sobre los viajes. Las posiciones registradas a 1 km o menos del sitio de marcado fueron eliminadas, ya que dada la imprecisión de las posiciones de Argos, posiciones de ≤ 1 km pueden representar momentos en los que los animales se encontraban en tierra (Grigg *et al.*, 2012).

4.4 Resultados

Cinco marcas enviaron información y el periodo de transmisión promedio fue de 70 días, variando de 10 a 192 días (Tabla 4). Las marcas fueron programadas para registrar en ciclos de 24 h, pero 87.5% de las transmisiones fueron entre las 15:00 y 00:00 horas; el restante 12.5% entre las 02:00 y las 11:00 horas (Figura 8). Después del filtrado, se retuvieron 1,364 posiciones (Tabla 4) que representa el 85% del total.

Tabla 4: Resumen del marcado satelital de foca de puerto en Isla Todos Santos en mayo de 2016.

| Individuo | Sexo | Longitud recta (cm) | Fecha de marcado | Inicio de transmisión | Fin de transmisión | Días con datos | Posiciones filtradas |
|-----------|--------|---------------------|------------------|-----------------------|--------------------|----------------|----------------------|
| Pvr1 | Hembra | 146 | 18 mayo | 31 mayo | 7 septiembre | 100 | 490 |
| Pvr2 | Hembra | 153 | 21 mayo | --- | --- | 0 | --- |
| Pvr3 | Macho | 111 | 22 mayo | 22 mayo | 30 noviembre | 192 | 670 |
| Pvr4 | Macho | 118 | 23 mayo | 24 mayo | 27 junio | 32 | 128 |
| Pvr5 | Hembra | 119 | 27 mayo | 1 junio | 10 junio | 10 | 37 |
| Pvr6 | Macho | 156 | 27 mayo | 28 mayo | 11 junio | 15 | 39 |
| Total | | | | | | 70 + 77 | 1364 |

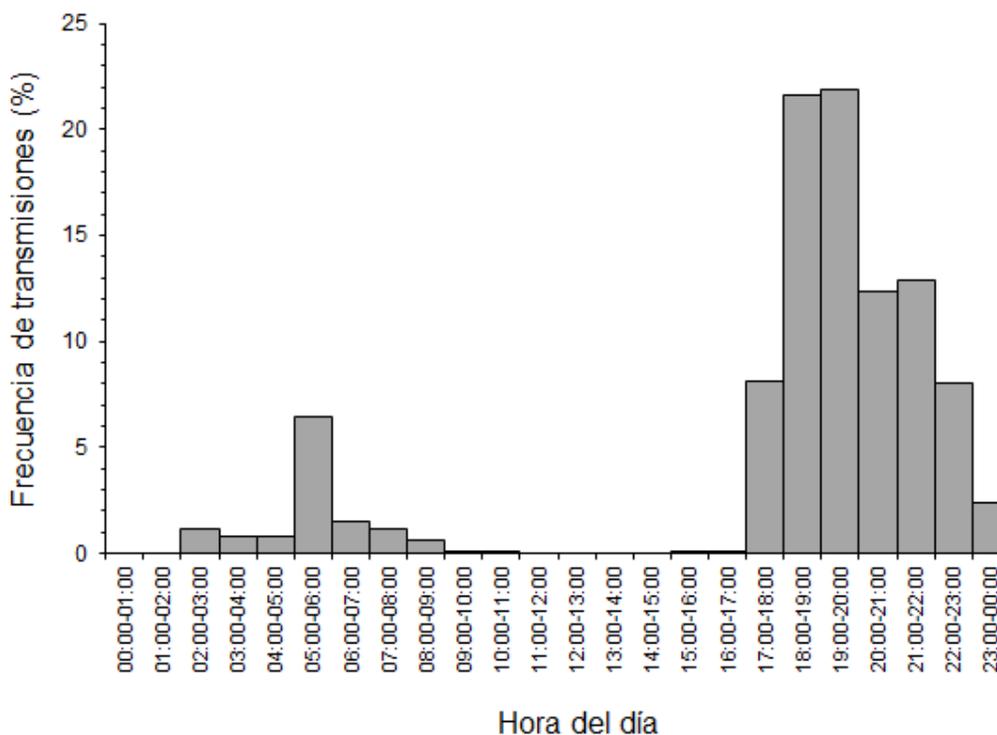


Figura 8: Frecuencia de transmisiones de todos los individuos marcados por hora del día.

El comportamiento de los animales fue notablemente diferente. El animal Pvr1 realizó movimientos cortos, con una distancia máxima al sitio de descanso de 48 km, mostrando preferencia por las aguas del sur de la isla Todos Santos (Figuras 9a y 9b), mientras que Pvr3 recorrió una distancia máxima de 194 km, y sus movimientos se centraron al principio hacia el norte de la isla en las aguas frente a la Bahía Descanso y La Misión, aunque también se ubicó al sur de Isla Todos Santos (Figuras 9c y 9d). Pvr4 se desplazó hacia la península y no regresó a la isla durante el periodo de transmisiones, aparentemente cambiando su sitio de descanso a la parte norte de la Bahía de la Soledad; sus movimientos fueron cortos y dentro de la bahía, con distancia máxima al sitio de descanso de 62 km (Figuras 9e y 9f). Pvr5 al inicio de las transmisiones se movió alrededor de Isla Todos Santos, pero posteriormente abandonó la zona y se dirigió hasta la Isla San Martín, al oeste de Bahía de San Quintín, donde dejó de transmitir, a una distancia de 180 km del sitio de marcado (Figuras 10a y 10b). Finalmente, Pvr6 se mantuvo durante casi todo el periodo de transmisión alrededor de Isla Todos Santos, para posteriormente realizar un viaje al norte, a las aguas frente a la Bahía Descanso y La Misión, donde dejó de transmitir, a una distancia de 50 km del sitio de marcado (Figura 10c y 10d)

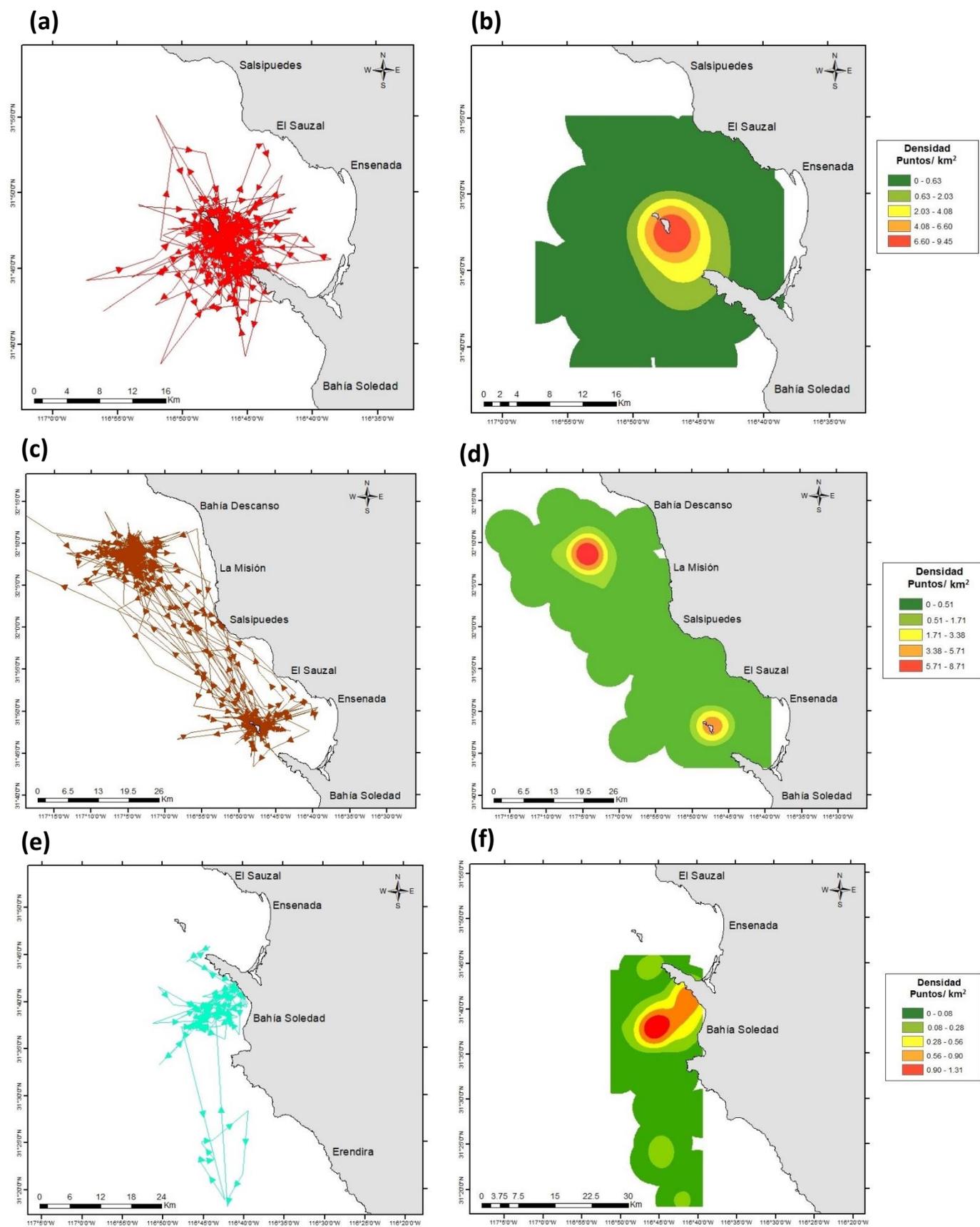


Figura 9: Movimientos del individuo Pvr1, Pvr3 y Pvr 4 trayectorias (a, c, e) y mapas de contornos (b, d, f).

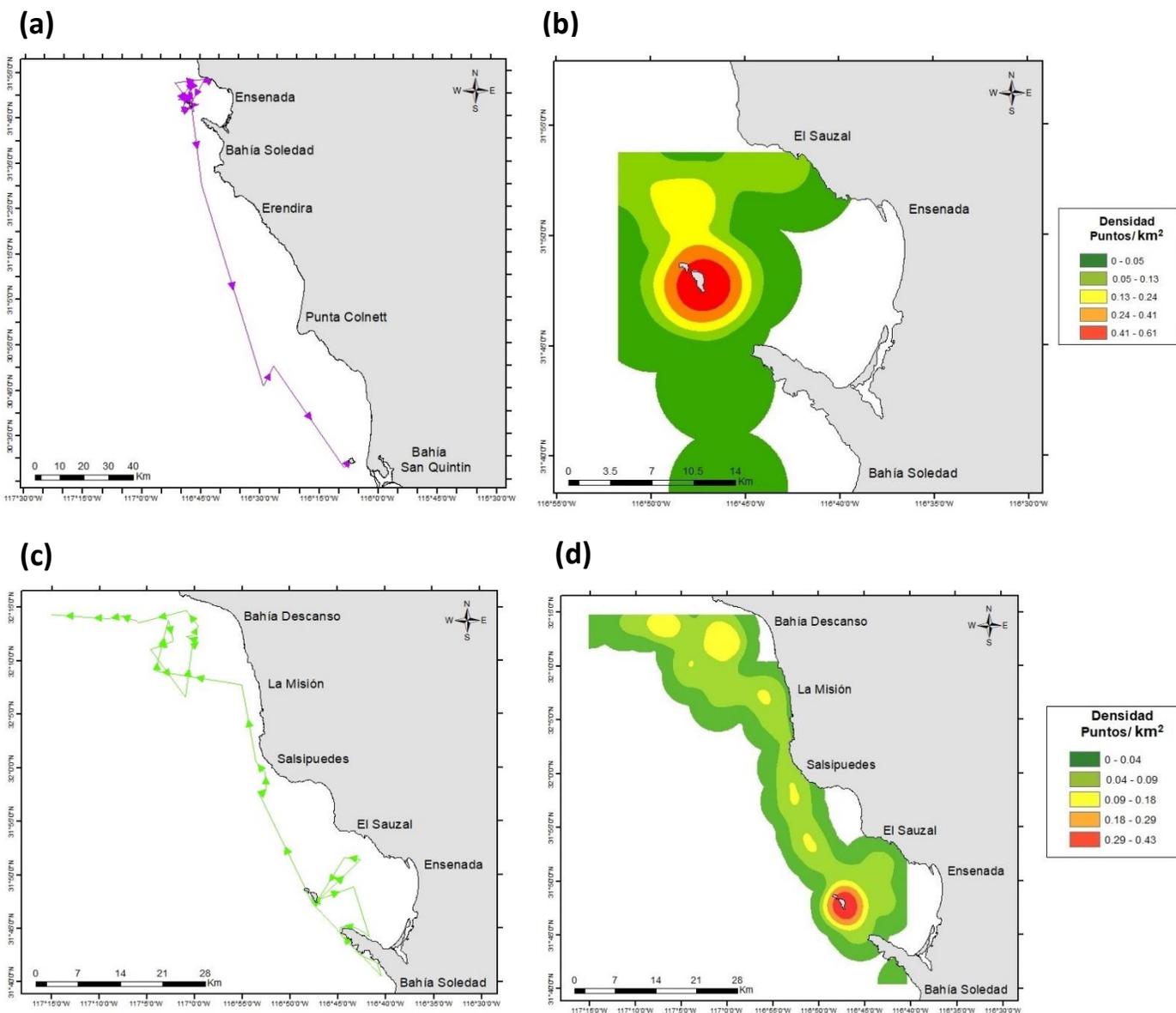


Figura 10: Movimientos del individuo Pvr5 y Pvr6. (a y c) trayectorias, (b y d) mapas de contornos.

Los datos para cada uno de los individuos no fueron registrados de forma continua: el tiempo entre posiciones consecutivas varía de pocos minutos hasta días (Figura 11), por lo que no fue posible calcular ni la frecuencia ni la duración de los viajes y de las estancias en tierra. Para analizar los movimientos de cada individuo se consideró la distancia al sitio de marcado, siendo para Pvr 1 y Pvr 5 una playa de canto rodado localizada al suroeste de la isla, en los $31^{\circ}47'41''\text{N}$ y $116^{\circ}47'20''\text{W}$, para Pvr3 una playa localizada al este de la isla cerca de un campo de pesca, en los $31^{\circ}48'9''\text{N}$ y $116^{\circ}47'19''\text{W}$, y para Pvr6 una playa localizada al oeste de la isla, en los $31^{\circ}47'49''\text{N}$ y $116^{\circ}47'27''\text{W}$. En el caso de Pvr 4, se consideró como sitio de descanso un sitio en la costa localizado en Bahía Soledad, en los $31^{\circ}42'58''\text{N}$ y $116^{\circ}41'53''\text{W}$, ya que a

pesar de haber sido un individuo marcado en Isla Todos Santos, sus movimientos muestran una mayor permanencia en dicho lugar.

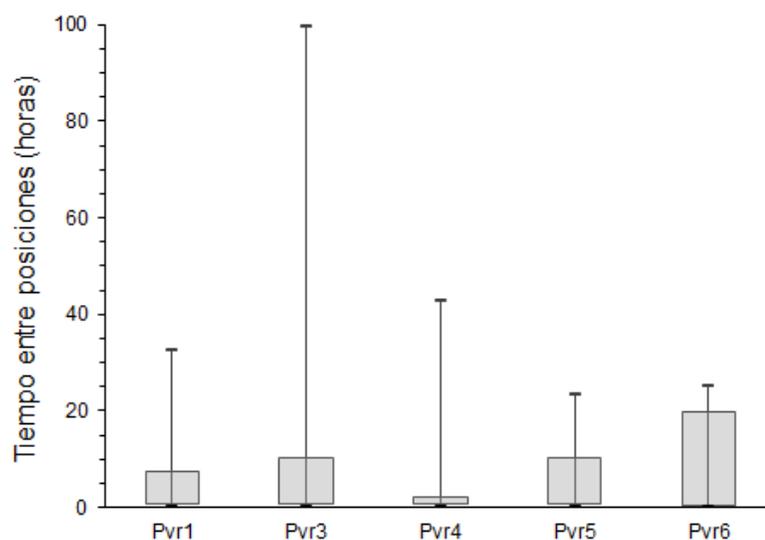


Figura 11: Tiempo entre posiciones consecutivas. Las cajas representan los cuartiles 25 y 75, y las líneas los máximos y mínimos.

Pvr1 realizó numerosos viajes con una distancia media de 5 km del sitio de descanso y una distancia máxima de 18 km (Tabla 5; Figura 12a). Por su parte, Pvr3 realizó viajes largos y regulares con una distancia media de 31 km y máxima de 59 km (Tabla 5; Figura 12b), principalmente con dirección hacia el norte del sitio de marcado. Pvr4 fue un individuo que realizó relativamente pocos viajes alrededor de su sitio de descanso, con una distancia promedio de 10 km y máxima de 46 km (Tabla 5; Figura 13a). Por último, Pvr5 durante los primeros 8 días de transmisión realizó movimientos cortos cerca del sitio de marcado, con una distancia media de 7 km y una máxima de aproximadamente 11 km (Tabla 5; Figura 13b). En el caso de Pvr6 no fue posible estimar ninguno de los parámetros de la Tabla 5, ya que fue un individuo que realizó movimientos irregulares, sin aportar mucha información (Tabla 5; Figura 13c).

Tabla 5: Distancia al sitio de descanso correspondiente a cada uno de los individuos marcados. DE = desviación estándar. Pvr5 datos hasta día 8 (antes de irse).

| Distancia (km) | | | | |
|----------------|-----------------|-------------|-------------|--------|
| Animal | Media \pm DE | Cuartil 25% | Cuartil 75% | Máxima |
| Pvr1 | 4.9 \pm 3.2 | 2.4 | 6.7 | 18.1 |
| Pvr3 | 31.3 \pm 13.0 | 31.4 | 38.8 | 59.2 |
| Pvr4 | 10.1 \pm 9.5 | 5.1 | 10.3 | 46.1 |
| Pvr5 | 7.0 \pm 3.2 | 5.1 | 9.6 | 10.9 |

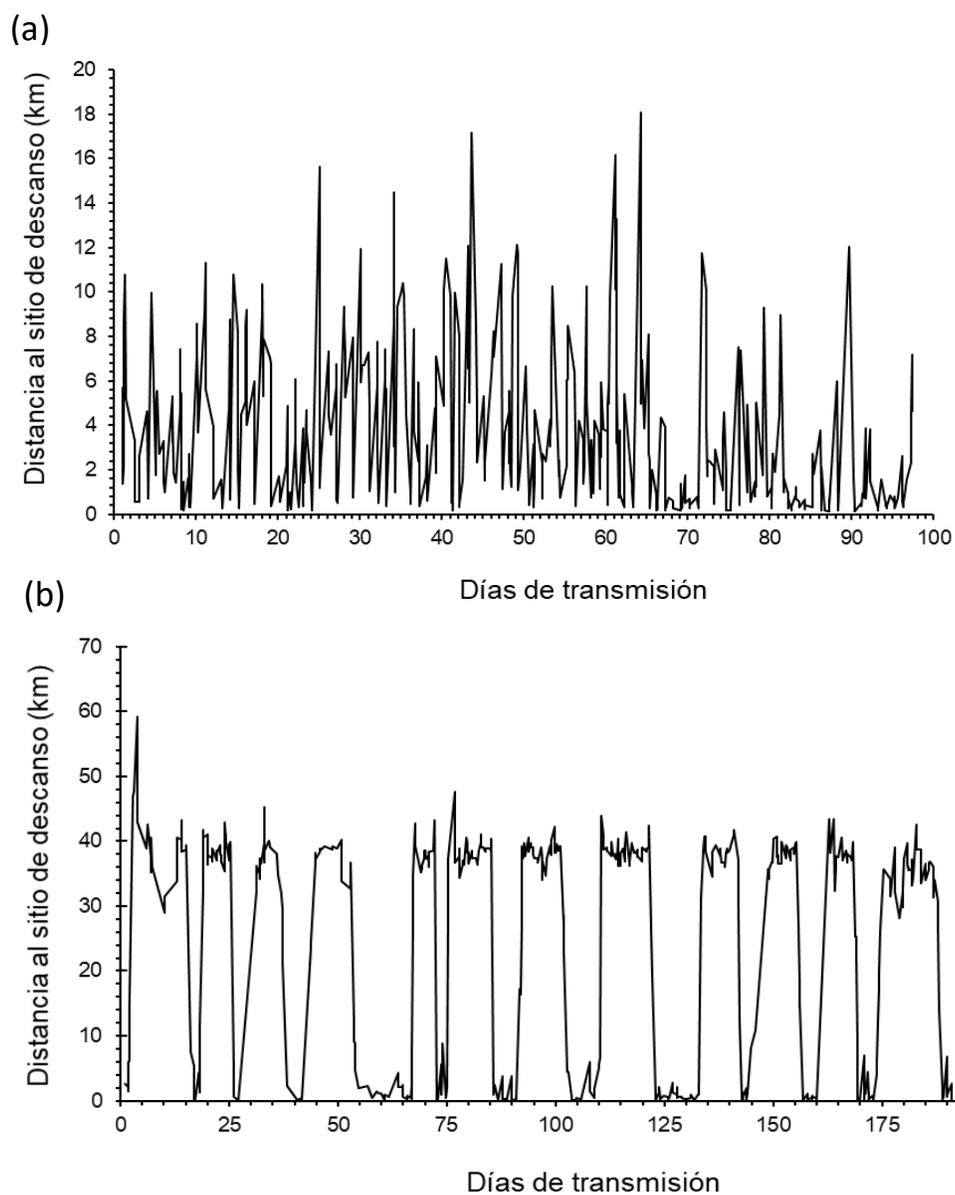
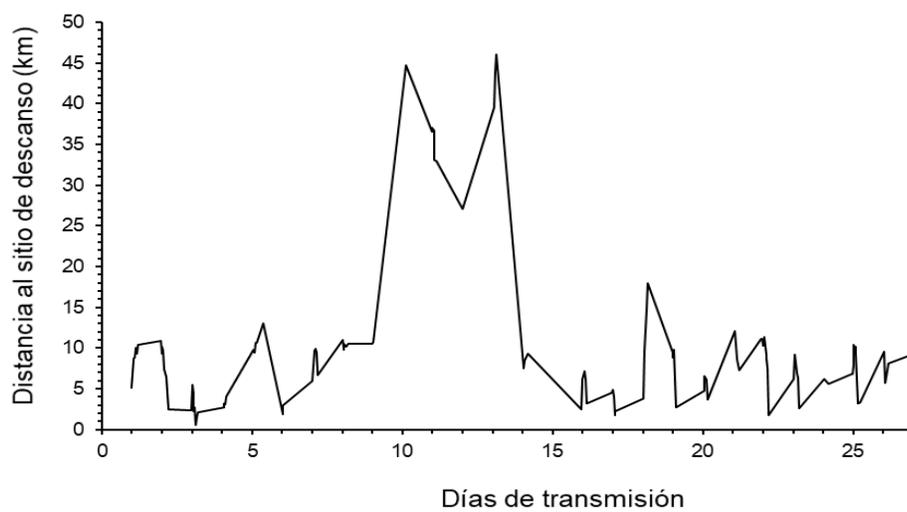
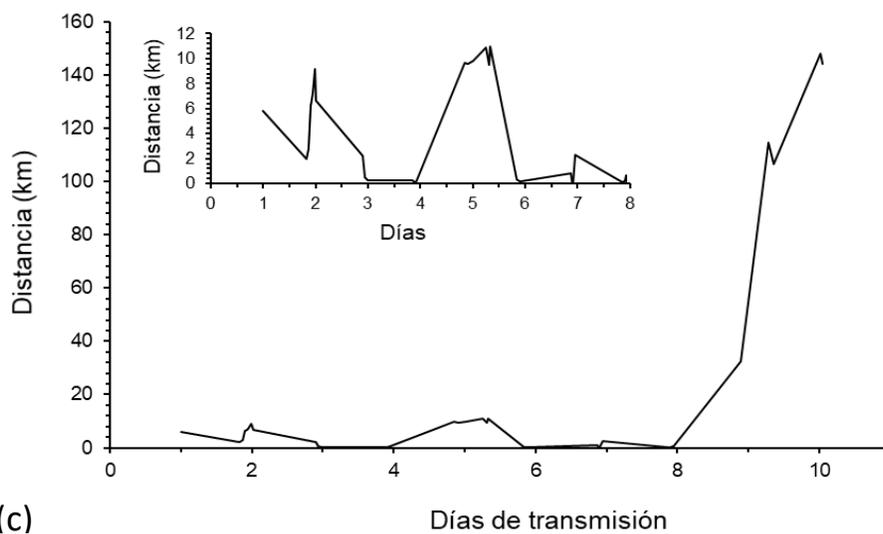


Figura 12: Viajes realizados por (a) Pvr1 y (b) Pvr3

(a)



(b)



(c)

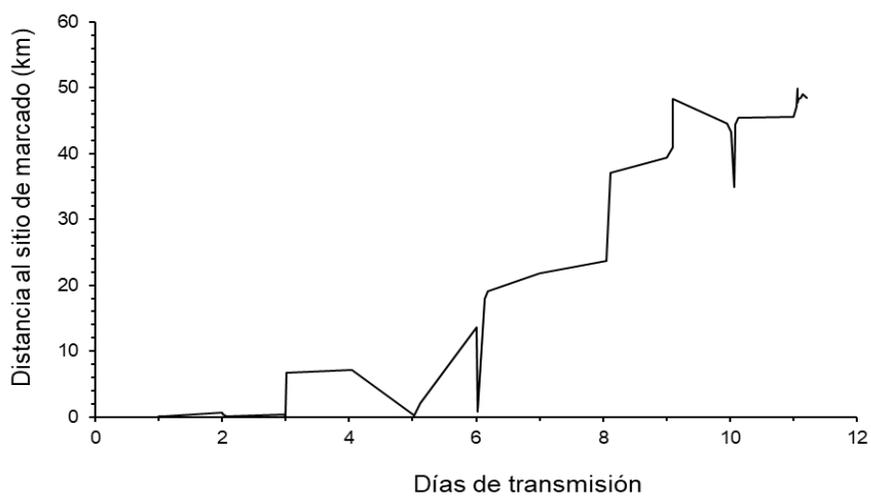


Figura 13: Viajes realizados por (a) Pvr4, (b) Pvr5 y (c) Pvr6.

4.5 Discusión

Describir el comportamiento de las especies marinas cuando están en el agua es un reto, pero gracias a herramientas como el seguimiento satelital es posible obtener información, pero también tiene sus complicaciones. Debido a que las marcas utilizadas en el presente trabajo no almacenan información, existe una dependencia del momento en el que los satélites pasan sobre cierta área para recibir los datos. Por esta razón, el tiempo entre posiciones consecutivas varió de minutos hasta días, por lo que no fue posible describir la duración de los viajes ni de las estancias de los individuos en los sitios de marcado. La mayor frecuencia de transmisiones ocurrió entre las 17:00 y las 23:00 horas, por lo que representan los movimientos nocturnos de los individuos.

En términos generales, las focas realizaron movimientos cortos, a una distancia ≤ 30 km de su sitio de descanso. *Pvr1* fue una hembra que realizó un gran número de viajes, pero con una distancia promedio corta, lo que coincide con el comportamiento de las hembras reportado en otros estudios (Thompson *et al.*, 1998; Lesage *et al.*, 1999; Lowry *et al.*, 2001; Hardee, 2008; Peterson *et al.*, 2012; Blanchet *et al.*, 2014). A diferencia, la hembra *Pvr5* realizó movimientos cortos al inicio de las transmisiones, pero posteriormente se alejó hasta 175 Km del sitio de marcado, lo que sugiere que podría ser una hembra joven explorando nuevos sitios (Small *et al.*, 2005). Por otro lado, los machos mostraron mayor variación en cuanto a sus movimientos. Dos de ellos tendieron a moverse con dirección al norte, hacia un sitio entre playa La Misión y Bahía Descanso, y en particular *Pvr3* mostró movimientos continuos de ida y regreso. *Pvr4* fue un caso interesante, ya que de acuerdo a la densidad de posiciones, quizá este individuo no era residente de Todos Santos, ya que pasó la mayor parte del tiempo al sur de Punta Banda, por lo que posiblemente era un individuo que únicamente se encontraba descansando en Isla Todos Santos al momento de su captura.

Las posiciones mostraron una alta densidad alrededor de la Isla Todos Santos, así como en la zona localizada entre la playa La Misión y Bahía Descanso, Bahía Soledad y el sur de Punta Banda. Los tres sitios identificados como posibles sitios de alimentación se encuentran cerca de la costa, de fondos fangosos y profundidades menores a los 30 metros, lo cual coincide con las preferencias de hábitat reportadas para sus principales presas (Moser, 1996), y con lo reportado para colonias ubicadas al norte de su distribución como las Islas del Canal (Stewart y Yochem, 1994) y la Bahía de Monterey (Eguchi y Harvey, 2005). Cabe resaltar que a pesar de la corta distancia que existe entre Isla Todos Santos y el Estero de Punta Banda (16 km), los individuos marcados no ingresaron al estero en ningún momento. Estas observaciones, aunadas a lo reportado por Alamán (2014), quien identificó diferencias en el espectro trófico entre estas dos colonias, sugieren que las zonas de alimentación de las focas en la Bahía de Todos Santos podrían estar

separadas a pesar de su cercanía. Por otro lado, las trayectorias de los individuos Pvr4 y Pvr5 sugieren movimientos entre colonias al menos durante la postmuda. Dicha información sustenta lo encontrado por Fernández – Martín (2018) quien reporta haber encontrado una estructura genética menos marcada con los microsátélites que con el ADN mitocondrial en las colonias de la foca de puerto en México al comparar individuos de las islas Todos Santos, San Jerónimo, Natividad y San Roque. Estas diferencias podrían estar indicando la existencia de un flujo de genes entre las colonias, principalmente debido al movimiento de los machos, mientras que las hembras muestran una mayor filopatría, lo cual se refleja en la estructura detectada por el ADN mitocondrial.

La información sobre la distribución de las principales presas de la foca a lo largo de la Península de Baja California es escasa, aunque se ha reportado su presencia en la zona sur de California (Moser, 1996, Koslow *et al.*, 2013) y en la zona cerca de Punta Baja, Baja California (Rosales-Casián, 2011), y en profundidades que oscilan desde los 5 hasta los 100 metros de profundidad. Estudios previos agrupan a las principales presas de la foca de puerto como especies costeras asociadas a zonas de aguas con temperaturas bajas (Koslow *et al.*, 2013). Dicha información sugiere la presencia de dichas presas a lo largo de la costa de Baja California debido a la influencia de la Corriente de California, la cual durante invierno y primavera favorece la reproducción de peces de aguas frías, mientras que durante verano y otoño, cuando su intensidad disminuye, ocurre la reproducción de diversas especies demersales y aumenta la abundancia de larvas de especies representativas de aguas cálidas (Jiménez-Rosenberg *et al.*, 2007).

Capítulo 5. Discusión general

El objetivo principal de este trabajo fue obtener la primera estimación de abundancia de la foca de puerto en México y describir sus movimientos, para lo cual se determinó el patrón temporal de distribución en tierra para determinar las fechas con mayor número de individuos en tierra, se calculó un factor de corrección local para estimar su abundancia, y se describieron los movimientos para identificar posibles zonas de alimentación en la región norte de la península de Baja California.

Con base en conteos desde tierra en tres sitios, se realizaron modelos para sugerir fechas en las que es posible observar el mayor número de individuos en tierra y con esto obtener una mejor estimación de abundancia que la reportada anteriormente. A pesar de adaptar los conteos a las fechas ideales, se sabe que en ningún momento es posible observar a toda la población en tierra, por lo que se calculó un factor de corrección local para los animales que se encuentran en el agua al momento del conteo. Con ello, posteriormente se realizaron conteos de los individuos en fotografías tomadas durante sobrevuelos de todas las islas y la costa al oeste de la Península de Baja California. Con dicho resultado se contestó a la pregunta de cuántas focas de puerto se encuentran en México, y se describió su distribución en la zona de estudio.

La foca de puerto es el pinnipedo de distribución más amplia del mundo, con la mayor concentración de individuos en Alaska (Muto *et al.*, 2018), siendo éste el centro de su distribución, y de ahí disminuye gradualmente hacia los extremos. Se ha propuesto que en especies de distribución amplia, la mayor densidad se concentra en el centro de su distribución, y disminuye gradualmente hacia los límites (Brown, 1984), por lo que es de esperarse que la abundancia de la foca de puerto sea mayor en Alaska y menor en Japón (límite oeste) y en México (límite este).

La menor abundancia de la foca de puerto en México en comparación con la población de Alaska puede ser explicada a través del concepto de Brown (1984), quien menciona que para cada especie debe haber un sitio donde la densidad sea mayor debido a que la combinación de variables ambientales corresponden a los requerimientos de la misma. Al aumentar la distancia entre sitios, las variables serán progresivamente diferentes, los requerimientos del nicho serán encontrados en menor frecuencia, y por lo tanto la abundancia disminuye. Por otra parte, al alejarse del sitio de mayor densidad se obtienen otros beneficios, como la mayor disponibilidad de sitios de descanso y el acceso a nuevos sitios de alimentación.

La foca de puerto encuentra en Baja California condiciones benéficas para su subsistencia, además de que se encuentran alejados de disturbio humano y del acceso a depredadores. Ofrece diversos sitios de descanso, donde la foca realiza actividades como descansar, parir y alimentar a sus crías. En la mayoría de los sitios, la foca no compite por espacio con otras especies de pinnípedos. Adicionalmente, las aguas aledañas a la península ofrecen un ambiente altamente productivo, por lo que las focas no necesitan realizar largos viajes para encontrar alimento. La Península de Baja California es una zona influenciada por el Sistema de la Corriente de California, que acarrea aguas frías y productivas que fluyen con dirección al Ecuador, principalmente durante invierno y primavera (Durazo-Rodríguez, 2015), sobre todo en la zona norte. En el caso de la zona sur de Punta Eugenia, durante verano y otoño presenta una fuerte influencia de aguas tropicales y subtropicales provenientes del sur (Espinoza-Carreón *et al.*, 2004), lo que se ve reflejado en una diferencia en la dieta de los individuos de colonias como la ubicada en Isla San Roque con respecto a lo reportado en su distribución al norte (Durazo-Rodríguez, 2015; Brassea, 2016). Esta información muestra la plasticidad de esta especie en cuanto a su alimentación.

La abundancia en México refleja que, aunque menor a la reportada en el Pacífico Norte, la especie presenta una gran plasticidad. Es el pinnípedo con la distribución mundial más amplia, al habitar tanto en el Atlántico como en el Pacífico y mostrar una amplia tolerancia a la temperatura del aire (Hansen y Lavigne, 1997), además de que está catalogado como un depredador de alto nivel trófico y especialista temporal (Alaman, 2014). Por todos estos aspectos, es posible decir que la foca de puerto encuentra condiciones aptas para vivir en una gran variedad de sitios.

En 2016, las 12 islas de la costa occidental de Baja California fueron decretadas como Reserva de la Biosfera, incluyendo una franja marina alrededor (DOF, 07/12/2016), para proteger las interacciones que se dan entre la tierra y el océano. Estas medidas de protección son urgentes ya que en los últimos años las poblaciones humanas en la zona costera han aumentado de forma desordenada (Padilla y Sotelo, 2000), sin existir un manejo integral enfocado a la conservación ambiental y al cuidado de los recursos naturales (CONANP, 2005). El respaldo de las herramientas legales que trae consigo la declaratoria de área natural protegida (ANP) permite a la nación cuidar de manera óptima de estos territorios naturales de gran relevancia, los cuales significan importantes laboratorios para el estudio de procesos naturales. Al ser declarada como ANP, las actividades tanto turísticas como de aprovechamiento de los recursos naturales dentro de las islas, así como en sus aguas aledañas, deben ser orientadas, limitadas y reguladas por las autoridades, lo cual trae como beneficio indirecto la protección de la foca de puerto, así como sus posibles fuentes de alimento.

Capítulo 6. Conclusiones generales

- El patrón temporal de la variación de individuos en tierra permitió identificar que el máximo número de individuos ocurre durante la temporada de la muda, e incluso la premuda en Isla Todos Santos. Sin embargo, los modelos usados no identificaron satisfactoriamente la temporada reproductiva, posiblemente debido al comportamiento acuático de los individuos durante dicha temporada.
- De acuerdo con los resultados de los modelos sobre la variación temporal, se recomienda realizar los conteos para estimaciones de abundancia durante los últimos días de abril en las colonias del sur (islas San Roque, Cedros, San Benito, Natividad, Asunción y San Roque) y durante los primeros días de junio en las colonias del norte (islas Coronado, Todos Santos, San Martín y San Jerónimo).
- El factor de corrección calculado con individuos marcados en Isla Todos Santos fue de 1.58 (95% ICr: 1.27 – 2.15), siendo similar al estimado para la costa de California, debido posiblemente a que los individuos se encuentran sujetos a condiciones oceanográficas similares, así como a un hábitat terrestre semejante. El factor de corrección calculado está sesgado, por lo que debe tomarse con reservas, ya que fue calculado utilizando únicamente individuos adultos y de una sola isla de la región.
- La abundancia se estimó de 5,980 (ICr 95% 4,807 - 8,138) individuos para 2009, y de 11,697 (ICr 95% 9,619 - 16,284) individuos para 2016, aunque en ambos años pudiera estar ligeramente subestimada. Las islas que presentaron mayor abundancia de focas de puerto en 2016 fueron San Roque, Natividad, San Jerónimo y Cedros; en la zona continental la mayor abundancia se encontró en Bahía Colonet y cerca de Punta Eugenia.
- Se identificaron tres posibles sitios de alimentación en la región norte de Baja California: al sur de la isla Todos Santos Sur, en Bahía Soledad y en Bahía Descanso.
- Las trayectorias de dos de los cinco animales rastreados sugieren posibles movimientos entre colonias durante la postmuda.

Literatura citada

- Alamán, R. 2014. Hábitos alimentarios de la foca de puerto, *Phoca vitulina richardii* en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California. 79 pp.
- Allen, S. G., Ainley, D. G., Page, G. W. y Ribic, C. A. 1984. The effect of disturbance on harbor seal haul out patterns at Bolinas Lagoon, California. *Fishery Bulletin*. 82(3):493-500.
- Allen, S.G. 1988. Movements and activity patterns of Harbor seals at the Point Reyes Peninsula, California. Tesis de Maestría. Universidad de California. Berkeley. 80 pp.
- Arias del Razo, A., Heckel, G., Schramm, Y. y Pardo, M. A. 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.
- Arias del Razo, A., Schramm, Y., Heckel, G., Milanés Salinas, A., García Capitanachi, B., Lubinsky Jinich, D. y Franco Ortiz, M. 2017. Distribution of Four Pinnipeds (*Zalophus californianus*, *Arctocephalus philippii townsendi*, *Phoca vitulina richardii*, and *Mirounga angustirostris*) on Islands off the West Coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Aquatic Mammals*. 43(1). doi:10.1578/AM.43.1.2017.
- Arnason, U., Gullberg, A., Janke, A., Kullberg, M., Lehman, N., Petrov, E.A. y Väinölä, R. 2006. Pinniped phylogeny and new hypothesis for their origin and dispersal. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 41: 345-354. doi: 10.1016/j.ympev.2006.05.022.
- Bajzak, C.E., Bernhardt, W., Mosnier, A., Hammil, M.O. y Stirling, I. 2013. Habitat use by harbour seals (*Phoca vitulina*) in a seasonally ice-covered region, the western Hudson Bay. *Polar Biology*. 36.
- Barocio, O. A. 2006. Variabilidad espacial y temporal del coeficiente de absorción y pigmentos del fitoplancton de la Corriente de California. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California. 174 pp.
- Bartholomew, G.A. Jr. y Hubbs, C.L. 1952. Winter population of pinnipeds about Guadalupe, San Benito and Cedros islands, Baja California. *Journal of Mammalogy*. 33(2):161-171.
- Becker, B. H., Press, D. T. y Allen, S. G. 2011. Evidence for long-term spatial displacement of breeding and pupping harbour seals by shellfish aquaculture over three decades. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem*. doi:10.1002/aqc.1181.
- Bengtson, J. L., Phillips, A. V., A., M. E. y Simpkins, M. A. 2007. Comparison of survey methods for estimating abundance of harbor seals (*Phoca vitulina*) in Glacial Fjords. *Fishery Bulletin*. 105:348-355.

- Berta, A., Sumich, J. L. y Kovacs, K. M. 2015. Marine Mammals: Evolutionary Biology. (3d ed.) Academic Press., A. San Diego, California. 738 pp.
- Bigg, M.A. 1972. Control of annual reproduction in the female harbor seal, *Phoca vitulina*. Tesis de doctorado. Universidad de Columbia Británica, Vancouver. 111 pp.
- Bigg, M.A. 1981. Harbour seal: *Phoca vitulina* and *P. largha*. En: Ridgway SH, Harrison, RJ (eds.), Handbook of Marine Mammals. Vol. 2. Seals. Academic Press, London, pp. 1–27.
- Blanchet, M.A., Lydersen, C., Ims, R.A., Lowther, A.D. y Kovacs, K.M. 2014. Harbour seal *Phoca vitulina* movement patterns in the high-Arctic archipelago of Svalbard, Norway. *Aquatic Biology*. 21: 167 - 181.
- Blundell, G.M., Womble, J.N., Pendleton, G.W., Karpovich, S.A., Gende, S.M. y Herreman, J.K. 2011. Use of glacial and terrestrial habitats by harbor seals in Glacier Bay, Alaska: costs and benefits. *Marine Ecology Progress Series*. 429: 277-290. doi: 10.3354/meps09073.
- Boily, P. 1995. Theoretical heat flux in water and habitat selection of phocid seals and beluga whales during annual molt. *Journal of Theroretical Biology*. 172(3):235-244.
- Bolstad, W. M., y Curran, J. M. 2016. Introduction to Bayesian Statistics. Wiley Editors. 3rd. Canada. 624 pp.
- Boness, D. J., Bowen, W. D., Buhleier, B. M. y Marshal., G. J. 2006. Mating tactics and mating system of an aquatic-mating pinniped: The harbor seal, *Phoca vitulina*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 61:119-130.
- Boveng, P., Bengtson, J., Withrow, D., Cesarone, J., Simpkins, M., Frost, K. y Burns, J. 2003. The abundance of harbor seals in the Gulf of Alaska. *Marine Mammal Science*. 19(1):11-127.
- Boveng, P. L., Ver Hoef, J. M., Withrow, D. E. y London, J. M. 2018. A bayesian analysis of abundance, trend and population viability for harbor seals in Iliamna Lake, Alaska. *Risk Analysis*. 38(9):1988-2009. doi:10.1111/risa.12988.
- Bowen, W. D., Boness, D. J. y Iverson, S. J. 1999. Diving behaviour of lactating harbor seals and their pups during maternal foraging trips (*Phoca vitulina*). *Canadian Journal of Zoology*. 77(6):978-988.
- Bowen, W., Ellis, S. L., Iverson, S. J., Boness, D. J. 2003. Maternal and newborn life-history traits during periods of contrasting population trends: implications for explaining the decline of harbour seals (*Phoca vitulina*), on Sable Island. *Journal of Zoology London*, 261, 151-163.
- Brassea, E. 2016. Análisis metagenómico de la dieta de la foca de puerto (*Phoca vitulina richardii*, Gray 1864) en México. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, Baja California. 142 pp.

- Brown, R. F. y Mate, B. R. 1983. Abundance, movements and feeding habits of harbor seals, *Phoca vitulina*, at Netarts and Tillamook Bays, Oregon. *Fishery Bulletin*. 81(2):291-301.
- Brown, J.H. 1984. On the relationship between abundance and distribution of species. *The American Naturalist*. 124 (2): 255 - 279.
- Burns, J.J. 2009. Harbor and spotted seal *Phoca vitulina* and *Phoca largha*. En: W.F. Perrin, B.Würsig, J. G.M. Thewissen (eds.) *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press. San Diego, USA. 533 - 542 pp.
- Carretta, J. V., Forney, K. A., Oleson, E. M., Weller, D. W., Lang, A. R., Baker, J., Muto, M. M., Hanson, B., Orr, A. J., Huber, H., Lowry, M. S., Barlow, J., Moore, J. E., Lynch, D., Carswell, L. y Brownell Jr, R. L. 2018. U.S. Pacific Draft Marine Mammal Stock Assessments: 2018.
- Checkley, D. M. y Barth, J. A. 2009. Patterns and processes in the California Current System. *Progress in Oceanography*. 83:49-64. doi:10.1016/j.pocean.2009.07.028.
- Committee of Taxonomy. 2018. List of marine mammal species and subspecies. Society for Marine Mammalogy. Disponible en: www.marinemammalscience.org.
- CONANP. 2005. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento de la Reserva de la Biosfera Islas del Pacífico de California. México, D.F. 169 pp.
- Curran, J. y Bolstad, W. 2017. Bolstad. R package versión 02.3.
- Daniel, R. G., Jemison, L. A., Pendleton, G. W. y Crowley, S. M. 2003. Molting phenology of harbor seals on Tugidak Island, Alaska. *Marine Mammal Science*. 19(1):128-140.
- DFO. 2010. Population assessment Pacific harbour seal (*Phoca vitulina richardsi*). Canadian Science Advisory Secretariat. Science Advisory Report 2009/011. Fisheries and Oceans Canada. 10 pp.
- Dietz, R., Teilmann, J., Andersen, S. M., Rigét, F. y Olsen, M. T. 2013. Movements and site fidelity of harbour seals (*Phoca vitulina*) in Kattegat, Denmark, with implications for the epidemiology of the phocine distemper virus. *ICES Journal of Marine Science*. 70(1):186-195. doi:10.1093/icesjms/fss144.
- DOF (07/12/2016) DECRETO por el que se declara Área Natural Protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región conocida como Islas del Pacífico de la Península de Baja California. México. 34 pp.
- Douglas, D. C., Weinzierl, R., Davidson, S. C., Kays, R., Wilkelski, M. y Bohrer, G. 2012. Moderating Argos location errors in animal tracking data. *Methods in Ecology and Evolution*. 3: 999-1007. doi:10.1111/j.2041-210X.2012.00245.
- Durazo, R., Gaxiola, G., Lavaniegas, B., Castro, R., Gómez, J. y Mascarenhas, A. 2005. Condiciones oceanográficas frente a la costa occidental de Baja California, 2002-2003: Influencia de un niño débil y el incremento de agua subártica. *Ciencias Marinas*. 31(3):537-552.

- Durazo-Rodríguez, R. P. 2015. Variación espacio-temporal de los hábitos alimentarios de la foca de puerto (*Phoca vitulina richardii*) en México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California. 108 pp.
- Eguchi, T. y Harvey, J. T. 2005. Diving behavior of the Pacific harbor seal (*Phoca vitulina richardii*) in Monterey Bay, California. *Marine Mammal Science*. 21(2):283-295.
- Fernández-Martín, E. M., Heckel, G., Schramm, Y. y García-Aguilar, M. C. 2016. The timing of pupping and molting of the Pacific harbor seal, *Phoca vitulina richardii* at Punta Banda Estuary, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*. 42:195-208. doi:10.773/cm.v42i3.2615.
- Fernández-Martín, E. M. 2018. Fenología de los nacimientos, estado de salud de las crías y estructura genética poblacional de la *Phoca vitulina richardii* en México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California. 105 pp.
- Forbes, C., Evans, M., Hatsings, N. y Peacock, B. 2011. *Statistical Distribution*. 4th ed. Wiley. Nueva York. 212 pp.
- Frost, K.J., Lowry, L.F. y Ver Hoef, J.M. 1999. Monitoring the trend of harbor seals in Prince William Sound, Alaska, after the EXXON Valdez oil spill. *Marine Mammal Science*. 15(2): 494-506.
- Frost, K. J., Simpkins, M. A. y Lowry, L. F. 2001. Diving behavior of subadult and adult harbor seals in Prince William Sound, Alaska. *Marine Mammal Science*. 17(4):813-834.
- García, E. y Mosiño, P. 1967. Los climas de Baja California. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 27 pp.
- Grigg, E. K., Allen, S. G., Craven-Green, D. E., Klimley, P., Markowitz, H. y Elliott-Fisk, D. L. 2012. Foraging distribution of Pacific harbor seals (*Phoca vitulina richardii*) in a highly impacted estuary. *Journal of Mammalogy*. 93(1). doi:10.1644/11-MAMM-A-128.1.
- Guisan, A. y Zimmermann, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*. 135:147-186.
- Hardee, S.E. 2008. Movements and home ranges of harbor seals (*Phoca vitulina*) in the inland waters of the Pacific Northwest. Tesis de Maestría. Western Washington University. Washington. 161 pp.
- Harvey, J. T. y Goley, D. 2011. Determining a correction factor for aerial surveys of harbor seals in California. *Marine Mammal Science*. 27(4):719-735.
- Härkönen, T. y Harding, K.C. 2001. Spatial structure of harbour seal populations and the implication thereof. *Canadian Journal of Zoology*. 79: 2115 - 20127.
- Hastie, T. y Tibshirani, R. 1986. Generalized additive models. *Statistical Science*. 1(3):297-318.

- Hastings, K.K., Hiby, L.A. y Small, R.J. 2008. Evaluation of a computer-assisted photograph-matching system to monitor naturally marked harbor seals at Tugidak Island, Alaska. *Journal of Mammalogy*. 89(5):1201-1211.
- Hayes, S. A., D.E. Pearse, D.E., Costa, D.P., Harvey, J.T., Le Boeuf, B.J. y Garza, J.C.. 2006. Mating system and reproductive success in Eastern Pacific harbour seals. *Molecular Ecology*. 15:3023-3034. doi: 10.1111/j.1365-294X.2006.02984.
- Herreman, J. K., Blundell, G. M., McDonald, D. B. y Ben-David, M. 2009. Assymetrical male-mediated gene flow between harbor seal (*Phoca vitulina*) populations in Alaska. *Canadian Journal of Zoology*. 87:498-507.
- Huber, H. R., Jeffries, S. J., Brown, R. F., DeLong, R. L. y Van Blaricom, G. 2001. Correcting aerial survey counts of harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) in Washington and Oregon. *Marine Mammal Science*. 17(2):276-293.
- Jemison, L. A. y Kelly, B. P. 2001. Pupping phenology and demography of harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) on Tugidak Island, Alaska. *Marine Mammal Science*. 17(3):585-600.
- Jiménez - Rosenberg, S. P. A., Saldierna - Martínez, R. J., Aceves - Medina, G. y Cota-Gómez, V. M. 2007. Fish larvae in Bahía Sebastián Vizcaíno and the adjacent oceanic region, Baja California, México. *Check List*. 3(3): doi:10.15560/3.3.204.
- King, J.E. 1983. *Seals of the world*. (2nd ed.) Cornell University Press, Ithaca, Nueva York. 240 pp.
- Kobayashi, Y., Kariya, T., Chishima, J., Fujii, K., Wada, K., Baba, S., Ito, T., Nakaoka, T., Kawashima, M., Saito, S., Aoki, N., Hayama, S., Osa, Y., Osada, H., Niizuma, A., Suzuki, M., Uekane, Y., Hayashi, K., Kobayashi, M., Ohtaishi, N. y Sakurai, Y. 2014. Population trends of the Kuril harbpur seal (*Phoca vitulina stejnegeri*) from 1974 to 2010 in southeastern Hokkaido, Japan. *Endangered Species Research*. 24: 61-72.
- Koslow, J. A., Goericke, R. y Watson, W. 2013. Fish assemblage in the Southern California Current: relationships with climate, 1951-2008. *Fisheries Oceanography*. 22(3):207-219.
- Lesage, V., Hammill, M.O., Kovacs, K.M. 1999. Functional classification of harbor seal (*Phoca vitulina*) dives using depth profiles, swimming velocity, and an index of foraging success. *Canadian Journal of Zoology* 77:74-87.
- Lesage, V., Hammill, M.O. y Kovacs, K.M. 2004. Long distance movements of harbour seals (*Phoca vitulina*) from seasonally ice covered area, the St. Lawrence River Estuary, Canada. *Canadian Journal of Zoology*. 82(7):1071-1081.
- Lowry, L. F., Frost, K. J., Ver Hoef, J. M. y DeLong, R. A. 2001. Movements of satellite-tagged subadult and adult harbor seals in Prince William Sound, Alaska. *Marine Mammal Science*. 17(4):835-861.

- Lubinsky-Jinich, D., Schramm, Y. y Heckel, G. 2017. The Pacific Harbor Seal's (*Phoca vitulina richardii*) Breeding Colonies in Mexico: Abundance and Distribution. *Aquatic Mammals*. 43(1):73-81. doi:10.1578/AM.43.1.2017.73.
- Lynn, R. J. y Simpson, J. J. 1987. The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*. 92(C12).
- Maravilla-Chávez, M. O. y Lowry, M. 1996. Censos de pinnípedos en islas de la costa occidental de la Península de Baja California, México (julio/agosto 1992). *Ciencia Pesquera*. 13:73-77.
- Mathisen, O. A. y Kline, T. C. 1992. Harbor seals in Iliamna Lake. Final report for 1991. Juneau Center of Fisheries and Ocean Sciences. University of Alaska.
- Montgomery, R., Ver Hoef, J. y Boveng, P. L. 2007. Spatial modeling of haul-out site use by harbor seals in Cook Inlet, Alaska. *Marine Ecology Progress Series*. 341:257-264.
- Moser, H. G. 1996. The early stages of fishes in the California Current Region. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation. Atlas No. 33. La Jolla, California. 1505 pp.
- Muto, M.M., Helker, V. T., Angliss, R. P., Allen, B. A., Boveng, P. L., Breiwick, J.M., Cameron, M.F., Clapham, P.J., Dahle, S.P., Dalhheim, M.E., Fadely, B.S., Ferguson, M.C., Fritz, L.W., Hobbs, R.C., Ivanshchenko, Y.V., Kennedy, A.S., London, J.M., Mizroch, S.A., Ream, R.R., Richmond, E.L., Shelden, K.E.W., Towell, R.G., Wade, P.R., Waite, J.M. y Zerbini, A.N. (2018). Alaska Marine Mammal Stock Assessments, 2017. NOAA Technical Memorandum NMFS-AFSC-378. 391 pp.
- Newby, T. C. 1973. Observations on the Breeding Behavior of the Harbor Seal in the State of Washington. *Journal of Mammalogy*, 54, (2), 540-543.
- Ortiz, M., Huerta-Tamayo, L. y Hinojosa, A. 2003. Transporte de sedimentos por tracción de marea en el Estero de Punta Banda , Baja California, México. *GEOS*. 23(3):283-294.
- Padilla-Villavicencio, A. M. 1990. Aspectos biológicos de la foca común (*Phoca vitulina richardsi*, Gray 1864) en la Costa Occidental de Baja California (Carnivora:Phocidae). Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma De México. México, D.F. 88 pp.
- Padilla y Sotelo, L.S. 2000. La población en la región costera de México en la segunda mitad del siglo XX. *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. 41:81-95.
- Payne, P. y Selzert, L. 1989. The distribution, abundance and selected prey of the harbor seal (*Phoca vitulina concolor*), in Southern New England. *Marine Mammal Science*. 5(2):173-192.
- Peterson, S. H., Lance, M. M., Jeffries, S. J. y Acevedo-Gutierrez, A. 2012. Long distance movements and disjunct spatial use of Harbor seals (*Phoca vitulina*) in the Inland Waters of the Pacific Northwest. *PLOS One*. 7(6). doi:10.1371/journal.pone.0039046.

- Pitcher, K. W. y McAllister, D. C. 1981. Movements and haulout behavior of radio-tagged harbor seals, *Phoca vitulina*. Canadian Field Naturalist. 95(3):292-297.
- Pitcher, K. 1990. Major decline in number of harbor seals, *Phoca vitulina richardsi*, on Tugidak Island, Gulf of Alaska. Marine Mammal Science. 6(2):121-134.
- Reyes-Coca, S. y Troncoso-Gaytán, R. 2004. Modulación multidecenal de la lluvia invernal en el noroeste de Baja California. Ciencias Marinas. 30(1A):99-108.
- Reyes, S., Miranda, F. y García, J. 1990. Climatología de la región norte de México, parte I: Precipitación, series de tiempo del valor total mensual y estadísticas del año climatológico.
- Riedman, M. 1990. The Pinnipeds: Seals, Sea lions and Walruses. University of California Press. Los Angeles, California. 439 pp.
- Rosales-Casián, J. A. 2011. The fish assemblage from the nearshore area of Punta Banda, B.C. Mexico, the southern limit of the Southern California bight. CalCOFO Report. Vol. 52. 168-181.
- Ruiz-Mar, M. G. 2016. Determinación del periodo de lactancia y cuidado materno en la foca de puerto *Phoca vitulina richardii* y su relación con el disturbio humano en el Estero de punta Banda, Baja California, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, Baja California. 80 pp.
- Samaniego-Herrera, A., Peralta-García, A. y Aguirre-Muñoz, A. (eds). 2007. Vertebrados de las Islas del Pacífico de Baja California. Guía de campo. Instituto Nacional de Ecología. 178 pp.
- Sharples, R.J., Moss, S.E., Patterson, T.A. y Hammond, P.S. 2012. Spatial variation in foraging behaviour of a marine top predator (*Phoca vitulina*) determined by a large-scale satellite tagging program. PLoS ONE. 7(5):e37216. doi:10.1371/journal.pone.0037216.
- Simpkins, M., Withrow, D., Cesarone, J. y Boveng, P. L. 2003. Stability in the proportion of harbor seals hauled out under locally ideal conditions. Marine Mammal Science. 19(4):791-805.
- Small, R. J., Lowry, L. F., Ver Hoef, J. M., Frost, K. J., DeLong, R. A. y Rehberg, M. J. 2005. Differential movements by harbor seal pups in contrasting Alaska environments. Marine Mammal Science. 21 (4): 671-694.
- Stewart, B. S. y Yochem, P. K. 1994. Ecology of harbor seals in the Southern California Bight. En: The Fourth California Islands Symposium: Update on the Status of Resources. Editores: Halvorson, W.L. y Maender, G.J. Santa Barbara Museum of Natural History, Santa Barbara, California. 124- 133.
- Suryan, R.M. 1995. Pupping phenology, disturbance, movements and dive patterns of the harbor seal (*Phoca vitulina richardsi*) off the Northern San Juan Islands of Washington. Tesis de maestría. San Jose State University. 55 pp.

- Suryan, R. M. y Harvey, J. T. 1998. Tracking harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) to determine dive behavior, foraging activity, and haul-out site use. *Marine Mammal Science*. 14(2):361-372.
- Suryan, R. M. y Harvey, J. T. 1999. Variability in reactions of Pacific harbor seals, *Phoca vitulina richardsi*, to disturbance. *Fishery Bulletin*. 97:332-339.
- Sydeman, W.J. y Allen, S.G. 1999. Pinniped population dynamics in Central California: Correlations with sea surface temperature and upwelling indices. *Marine Mammal Science*. 15(2):446-461.
- Tapia-Harris, C., Heckel, G., Schramm, Y. y Fernández-Martín, E. M. 2017. Molting phenology of the Pacific harbor seal (*Phoca vitulina richardii*) on two islands off the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine Mammal Science*. 33(3):817-829. doi:10.1111/mms.12400.
- Taylor, B. L., Martínez, M., Gerrodette, T., Barlow, J. y Hrovat, Y. N. 2007. Lessons from monitoring trends in abundance of marine mammals. *Marine Mammal Science*. 23:157-175. doi:10.1111/j.1748-7692.2006.00092.
- Temte, J. 1991. Precise birth timing in captive harbor seals (*Phoca vitulina*) and California sea lions (*Zalophus californianus*). *Marine Mammal Science*. 7(2):145-156.
- Temte, J.L. 1994. Photoperiod control of birth timing in the harbour seal (*Phoca vitulina*). *Journal of Zoology*. 233(3): 369 - 384.
- Thompson, P.M., Tollit, D.J., Wood, D., Corpe, H.M., Hammond, P.S. y Mackay, A. 1997. Estimating harbour seal abundance and status in an estuarine habitat in North-East Scotland. *Journal of Applied Zoology*. 34(1): 43-52.
- Thompson, P.M., Mackay, A., Tollit, D.J., Enderby, S., Hammond, P.S. 1998. The influence of body size and sex on the characteristics of harbour seal foraging trips. *Canadian Journal of Zoology*. 76(6): 1044 - 1053.
- Tollit, D. J., Greenstreet, S. P. R. y Thompson, P. M. 1997. Prey selection by harbour seals, *Phoca vitulina*, in relation to variations in prey abundance. *Canadian Journal of Zoology*. 75(9):1508-1518.
- Tollit, D.J., Black, A.D., Thompson, P.M., Mackay, A., Corpe, H.M., Wilson, B., Van Parijs, S.M., Grelier, K. y Parlane, S. 1998. Variation in harbor seal *Phoca vitulina* diet and dive-depths in relation to foraging habitat. *Journal of Zoology*. 244: 209 - 222.
- Wickham, H. 2009. *Ggplot2: elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag, Nueva York. 213 pp. doi:10.1007/978-0-387-98141-3.
- Wikelski, M., y Kays, R. 2018. Movebank: archive, analysis and sharing of animal movement data. Hosted by the Max Planck Institute for Ornithology. www.movebank.org.

- Womble, J. N. y Gende, S. 2013. Post-breeding season migrations of a top predator, the harbor seal, (*Phoca vitulina richardii*), from Marine protected area in Alaska. PLOS One. 8(2):1-15.
- Wood, S. 2006. Generalized additive models: An introduction with R. CRC Press. Boca Raton, FL. 392 pp.
- Yochem, P. K., Stewart, B. S., DeLong, R. L. y DeMaster, D. P. 1987. Diel haul-out patterns and site fidelity of harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) on San Miguel Island, California, in autumn. Marine Mammal Science. 3 (4): 323-332.
- Yochem, P.K., y Stewart, B. 2009. Hair and fur. En: Perrin, W.F. y Thewissen, J.G. (eds). Encyclopedia of Marine Mammals. Academic Press. pp. 529 -530.