

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



---

**Programa de posgrado en Ciencias de la Vida con  
orientación en Biología Ambiental**

---

**Cronología y secuencia de la muda de la foca común (*Phoca  
vitulina richardii*) en dos islas en la costa oeste de la  
península de Baja California, México**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

**Claudia Tapia Harris**

Ensenada, Baja California, México  
2015

Tesis defendida por

**Claudia Tapia Harris**

y aprobada por el siguiente Comité

---

**Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski**  
Directora de tesis

**Dr. Eric Mellink Bijtel**

**Dr. Timothy Robert Baumgartner McBride**

**Dra. Yolanda Schramm Urrutia**



---

**Dra. Rufina Hernández Martínez**  
Coordinadora del Posgrado en Ciencias de  
la Vida

---

**Dr. Jesús Favela Vara**  
Director de Estudios de Posgrado

*Claudia Tapia Harris © 2015*

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

Resumen de la tesis que presenta **Claudia Tapia Harris** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Vida con orientación en Biología Ambiental.

**Cronología y secuencia de la muda de la foca común (*Phoca vitulina richardii*) en dos islas en la costa oeste de la península de Baja California, México**

Resumen aprobado por:

---

Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski  
Directora de tesis

La foca común (*Phoca vitulina richardii*) es una de las cuatro especies de pinnípedos que se encuentran en México pero existe poca información sobre su ciclo de vida, en especial sobre la temporada de muda. El objetivo de este estudio fue documentar y comparar la temporada de muda de esta especie en dos islas al oeste de la península de Baja California que representan los extremos norte y sur de su distribución en México. En 2014, se realizaron observaciones desde tierra durante 3.5 meses (marzo–julio) en la isla de Todos Santos, Baja California, y 5 meses (enero–junio) en la isla San Roque, Baja California Sur. Durante cada observación se registraron la categoría de muda (premuda, muda y postmuda) y la secuencia de muda (tipo I, la muda comienza en la cara y las aletas y luego se extiende a lo largo del cuerpo; tipo II, orden inverso), así como el sexo y la edad de los individuos. Además, una vez por semana se circunnavegaron las islas para realizar conteos de las colonias. Las etapas de premuda y muda variaron entre islas. En Todos Santos, la premuda duró alrededor de 15 semanas (marzo–junio) y la muda, 12 (abril–julio), mientras que en San Roque la premuda duró 22 semanas (enero–junio) y la muda, 17 (febrero–junio). Las fechas en que se registró la mayor proporción de individuos en muda en ambas islas (26 de mayo en Todos Santos y 7 de junio en San Roque) coincidieron con las fechas en que se registraron los mayores índices de surgencia del año en el área. En ambas islas las hembras fueron las primeras en comenzar a mudar y su muda duró más que en los añeros y machos. La secuencia de muda dominante fue la de tipo II en ambas colonias, pero hubo una mayor proporción de individuos con esta secuencia en San Roque que en Todos Santos. Se registró el máximo número de focas en tierra al comienzo de la etapa de muda (2 de mayo en Todos Santos y 21 de abril en San Roque), por lo que se sugiere que el mejor momento para realizar conteos de esta especie en México es a finales de abril en las islas ubicadas más al sur de su distribución, como San Roque, y a principios de mayo en las islas ubicadas más al norte, como Todos Santos.

**Palabras clave:** Premuda, muda, foca común, *Phoca vitulina richardii*, pelaje, isla San Roque, isla de Todos Santos.

Abstract of the thesis presented by **Claudia Tapia Harris** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Science with orientation in Environmental Biology

**Chronology and sequence of the molt of the harbor seal (*Phoca vitulina richardii*) on two islands located west of the Baja California Peninsula, Mexico**

Abstract approved by:

---

Gisela Heckel Dziendzielewski, Ph.D.  
Thesis Director

The harbor seal (*Phoca vitulina richardii*) is one of four pinniped species found in Mexico, but little information is available about its life cycle, especially the molting season. The aim of this study was to document and compare the molting season of this species on two islands west of the Baja California Peninsula that represent the northern and southern extremes of its distribution in Mexico. During 2014, direct onshore observations were performed over 3.5 months (March–July) on Todos Santos Island (northern extreme) and 5 months (January–June) on San Roque Island (southern extreme). The molting category (pre-molt, molt and post-molt) and sequence (type I, molt starts on the face and fins and then spreads over the body; type II, reverse order), and the sex and age group of individuals were registered on each observation day. We also took a census once a week of the colonies by circling each island and counting individuals from a small boat. The pre-molt and molt stages varied between islands. On Todos Santos the pre-molt lasted about 15 weeks (March–June) and the molt 12 weeks (April–July), whereas on San Roque the pre-molt lasted 22 weeks (January–June) and the molt 17 weeks (February–June). The peak of the molting season on both islands (May 26 on Todos Santos and June 7 on San Roque) coincided with the dates when the upwelling indexes were the highest of the year in the area. On both islands, adult females were the first to molt and the process lasted longer than in yearlings and adult males. The dominant molting sequence was type II in both colonies, although San Roque had more of these individuals than Todos Santos. The peak number of hauled-out seals occurred at the beginning of the molting stage (May 2 on Todos Santos and April 21 on San Roque); hence, it would seem that the best time to estimate the abundance of *P. v. richardii* in Mexico is at the end of April on the southern islands of its distribution, like San Roque, and at the beginning of May on islands located further north, like Todos Santos.

**Keywords:** Premolt, molt, harbor seal, *Phoca vitulina richardii*, pelage, San Roque island, Todos Santos island.

## **Dedicatoria**

Para M y P

quienes siempre han estado conmigo y me han apoyado a lo largo de mi vida. Esta tesis es para ustedes.

## Agradecimientos

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado a través de una beca, el cual permitió que llevara a cabo mis estudios de maestría
- Al CONACyT por el apoyo otorgado a través del proyecto No. 179451 (Ciencia Básica 2012) titulado “Estructura genética, hábitos alimentarios, abundancia y ciclo anual de la foca de puerto (*Phoca vitulina richardsi*)”
- Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), al posgrado en Ciencias de la Vida, al departamento de Biología de la Conservación y a todos los maestros que me apoyaron durante la maestría, por ser una parte esencial de mi formación académica
- A Gisela por aceptarme como estudiante y guiarme a lo largo de este trabajo. Siempre estuviste muy al pendiente de mí. Todo este proceso fue muy divertido y enriquecedor y mucho de ello se debe gracias a ti. ¡Muchas gracias!
- A los miembros del comité por todos sus comentarios, preguntas y aportaciones, así como su tiempo y asesoría, los cuales hicieron que este trabajo mejorara sustancialmente:
  - Yoli, Eric y Tim. ¡Muchas gracias por todo!
- A Elena Solana quien me asesoró fuertemente durante los análisis estadísticos
- A todo el personal administrativo, en especial a Adriana Mejía
- 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 El Vizcaíno por su apoyo y los permisos otorgados F00.DRPBCPN.-000027 y F.00.1.DRPBCPN.00004/2014, todos ellos necesarios para realizar esta investigación
- A la Cooperativa California de San Ignacio por el apoyo logístico en la isla San Roque. En especial a aquellos vigilantes que con una gran amabilidad nos trasladaban a la isla todos los días
- A la Cooperativa Litoral y a Pacifico Aquaculture por el apoyo logístico en la isla de Todos Santos
- A todos los vigilantes, buzos y pescadores que nos hicieron el favor de trasladarnos a las islas
- A la Universidad Autónoma de Baja California y la Facultad de Ciencias Marinas, por su apoyo para la realización de este trabajo

- ☺ A mis papás, mi tía y mi hermana quienes forman una parte esencial en mi vida. Si no fuera por ustedes, mucho de lo que he hecho no hubiera sido posible, incluyendo esta maestría. ¡Los quiero mucho!
- ☺ A Gisela y a Yoli por aceptarme en este maravilloso proyecto y por ayudarme a que me diera cuenta que las aves no lo son todo (ja!). Gracias por invitarme y llevarme a diferentes islas a trabajar con focas, fueron muchas aventuras únicas que no olvidaré
- ☺ A todo el equipo FOCA: Yoli, Gisela, Eulogio (o mejor dicho, Sir Eulosio), Lupita, Denise, Eva, Maricela, Alex, Ricardo y Paulette.
- ☺ A todas las personas que me ayudaron en campo (ya sea por un día o por meses): Mónica, Isabel, Lupita, Violeta, Alejandra, Ferrán, Marta, Eulogio, Denise, Juan, Alex, Aldo, Raisa, Eva, Claudia Lizeth, Cristina, Uriel, Lorena, Elizabeth, Edwin, Edgar, Melina e Ivonne. ¡Muchísimas gracias, pasé muchos momentos divertidos a su lado!
- ☺ A mis amigos ciceseanos, en especial a mis compañeros de generación, con quienes viví momentos divertidos e inolvidables (grAURcias). También a mis amigos que no son del CICESE que siempre estuvieron pendientes de mí
- ☺ A los chicos de la conservación quienes fomentan unas pláticas muy interesantes en el cubículo (jaja): Pris, Nadia, Denise, Maricela, Caro, Alex, Nayeli, Leo, Ricardo, Lupita, Paola y Mariana
- ☺ A Roberto Arredondo quien estuvo a mi lado, apoyándome y aconsejándome, durante una gran parte de este proceso. Por eso y por recordarme de lo divertido que es el básquetbol, ¡muchas gracias!
- ☺ En especial, quiero agradecer a Eva Fernández quien, además de ser una increíble persona y estudiante, me ayudó durante el transcurso de este trabajo y me dedicó mucho tiempo para resolver mis dudas, escuchar mis crisis y darme sugerencias. ¡Gracias Eva, no sabes cuánto te lo agradezco!

## Tabla de contenido

<b>Resumen español</b> .....	ii
<b>Resumen inglés</b> .....	iii
<b>Dedicatorias</b> .....	iv
<b>Agradecimientos</b> .....	v
<b>Lista de figuras</b> .....	ix
<b>Lista de tablas</b> .....	x
<b>1. Introducción</b>	
1.1 Pinnípedos en el mundo y en México.....	1
1.2 La foca común ( <i>Phoca vitulina</i> ).....	2
1.2.1 <i>Phoca vitulina richardii</i> en el Pacífico oriental.....	3
1.2.2 <i>Phoca vitulina richardii</i> en México.....	4
1.3 Pelaje y muda de pinnípedos.....	4
1.3.1 Muda de <i>Phoca vitulina</i> .....	8
1.4 Objetivos.....	10
1.4.1 Objetivo general.....	10
1.4.2 Objetivos particulares.....	11
1.5 Hipótesis.....	11
<b>2. Métodos</b>	
2.1 Área de estudio.....	12
2.1.1 Islas de Todos Santos.....	12
2.1.2 Isla San Roque.....	13
2.2 Trabajo de campo.....	14
2.2.1 Observaciones desde tierra.....	14
2.2.2 Conteos desde embarcaciones.....	16
2.3 Análisis de datos.....	16
2.3.1 Fechas del inicio, máximo y fin de las etapas y subetapas del ciclo de muda.....	16
2.3.1.1 Fechas observadas.....	17
2.3.1.2 Fechas estimadas.....	17
2.3.2 Comparación de la etapa de muda entre islas.....	18
2.3.3 Secuencia de muda dominante.....	19
2.3.4 Relación entre la proporción de individuos mudando y el número de individuos en tierra.....	19
<b>3. Resultados</b>	
3.1 Observaciones desde tierra.....	20
3.1.1 Conteos diarios.....	20
3.1.2 Fechas del inicio, máximo y fin de las etapas y subetapas del ciclo de muda.....	21
3.1.2.1 Isla de Todos Santos.....	21
3.1.2.2 Isla San Roque.....	23

3.1.2.3 Comparación de las etapas de premuda y muda entre islas.	25
3.1.3 Cronología de la muda con respecto al sexo y la edad de los individuo.....	27
3.1.3.1 Isla de Todos Santos.....	27
3.1.3.2 Isla San Roque.....	27
3.1.3.3 Comparación entre islas.....	29
3.1.4 Secuencia de muda dominante.....	29
3.1.4.1 Comparación de la secuencia de muda dominante entre islas.....	30
3.2 Observaciones desde embarcaciones.....	30
3.2.1 Relación entre la proporción de individuos mudando y el número de individuos en tierra.....	30
3.3 Presencia de parches negros sin pelo.....	32
<b>4. Discusión</b>	
4.1 Ciclo de muda.....	33
4.1.1 Ciclo de muda de <i>P. v. richardii</i> en el océano Pacífico oriental	34
4.1.2 Etapa de muda de <i>P. v. richardii</i> en México.....	37
4.2 Cronología de la etapa de muda con respecto al sexo y la edad de los individuos.....	39
4.3 Secuencia de muda dominante.....	40
4.4 Relación entre la proporción de individuos mudando y el número de individuos en tierra.....	42
4.5 Presencia de parches negros sin pelo.....	44
<b>5. Conclusiones</b>	45
<b>Lista de referencias bibliográficas.....</b>	47
<b>Anexos.....</b>	56

## Lista de figuras

Figura		Página
1	Ubicación de las islas de Todos Santos (Baja California) e isla San Roque (Baja California Sur), México.....	12
2	Promedio semanal del número de individuos en tierra registrados mediante observaciones en dos playas en las islas de Todos Santos y San Roque.....	20
3	Curvas logísticas y regresiones polinomiales para obtener las fechas del inicio, máximo y fin de las subetapas y las etapas de premuda y muda en la isla de Todos Santos.....	22
4	Curvas logísticas y regresiones polinomiales para obtener las fechas del inicio, máximo y fin de las subetapas y las etapas de premuda y muda en la isla San Roque.....	24
5	Proporción de individuos estimados en la etapa de premuda y de muda en la isla de Todos Santos y la isla San Roque.....	26
6	Curvas logísticas y regresiones polinomiales para obtener las fechas del inicio, máximo y fin de la etapa de muda de añeros, hembras adultas y machos adultos en la isla de Todos Santos y la isla San Roque.....	28
7	Promedios semanales de la proporción de individuos en muda y el número total de individuos en tierra en la isla de Todos Santos y en la isla San Roque.....	31
8	Frecuencia relativa estimada de individuos en la etapa de muda y número estimado de individuos en tierra en la isla de Todos Santos y en la isla San Roque.....	32
9	Periodo y duración de la etapa de muda de <i>Phoca vitulina richardii</i> a lo largo de un gradiente latitudinal de norte a sur en el océano Pacífico oriental.....	36

## Lista de tablas

Tabla		Página
1	Etapas y subetapas del ciclo de la muda de <i>Phoca vitulina richardii</i> .....	15
2	Fechas observadas y estimadas del inicio, máximo y fin y la duración de las subetapas de premuda y muda y de la etapa de postmuda en la isla de Todos Santos.....	21
3	Fechas observadas y estimadas del inicio, máximo y fin y la duración de la etapa de premuda y de muda en la isla de Todos Santos.....	23
4	Fechas observadas y estimadas del inicio, máximo y fin y la duración de las subetapas de premuda y muda y de la etapa de postmuda en la isla San Roque.....	24
5	Fechas observadas y estimadas del inicio, máximo y fin y la duración de la etapa de premuda y de muda en la isla San Roque.....	25
6	Fechas del inicio, máximo y fin y la duración de la etapa de premuda y de muda en la isla de Todos Santos y la isla San Roque.....	26
7	Promedio bisemanal de la proporción total de individuos en la etapa de muda en la isla de Todos Santos y la isla San Roque	26
8	Fechas del inicio, máximo y fin y la duración de la etapa de muda de añeros, hembras y machos en la isla de Todos Santos y la isla San Roque.....	27
9	Proporción de individuos que presentaron la secuencia de muda tipo I o tipo II en la isla de Todos Santos y la isla San Roque.....	30

# 1. Introducción

---

## 1.1 Pinnípedos en el mundo y en México

Los pinnípedos son un grupo de mamíferos marinos pertenecientes al orden Carnivora que se clasifican en tres familias con linaje monofilético: Otariidae (lobos marinos y lobos finos), Odobenidae (la morsa) y Phocidae (focas y elefantes marinos; Berta *et al.*, 2006). Actualmente se reconocen 33 especies de pinnípedos en el mundo de los cuales 18 son fócidos, 14 otáridos y 1 odobénido (Riedman, 1990; Bonner, 1999; Berta, 2009). Estas especies constituyen aproximadamente el 26% de la riqueza existente de mamíferos marinos del mundo y pueden encontrarse en islas y franjas costeras en zonas polares, templadas y tropicales y hasta en ciertos cuerpos de agua dulce (Berta, 2009). De los 50 millones de individuos de pinnípedos existentes, aproximadamente el 90% son fócidos mientras que el 10% restante son otáridos y odobénidos (Riedman, 1990).

A pesar de que hay poca información, se tiene evidencia de que los pinnípedos juegan un papel importante en la estructura y funcionamiento de ecosistemas acuáticos (Power y Gregoire, 1978; Bowen, 1997). Debido a que los pinnípedos son animales consumidores, pueden influir en el tamaño, tasas de crecimiento, reproducción y abundancia de sus presas, así como cambiar la estructura de los ecosistemas bentónicos. También contribuyen a la distribución de sedimentos y al reciclaje de nutrientes, ya que algunos pinnípedos generan pozos en los sedimentos donde se acumula el detritus (Bowen, 1997; Trites, 1997). Los cambios en su abundancia, estructura poblacional, comportamiento o salud pueden servir como indicadores claves de cambios en el ecosistema (Jemison y Kelly, 2001; Bowen *et al.*, 2009; Estes, 2009). Por lo tanto, es de suponer que los cambios en la abundancia de estos mamíferos marinos producirán importantes efectos ecológicos.

En México se encuentran cuatro especies de pinnípedos, todos con alguna parte de su área de distribución en las cercanías de la península de Baja California: el lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*) y el lobo marino de California (*Zalophus*

*californianus*), pertenecientes a la familia Otariidae, y el elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*) y la foca común o foca de puerto (*Phoca vitulina richardii*), pertenecientes a la familia Phocidae (Maravilla-Chávez y Lowry, 1996; Lubinsky, 2010; Arias, 2011). Todas las especies se encuentran enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010: *A. philippii townsendi* se encuentra en peligro de extinción, *M. angustirostris* se considera amenazada y tanto *Z. californianus* como *P. vitulina richardii* pertenecen a la categoría de especies sujetas a protección especial (SEMARNAT, 2010).

## **1.2 La foca común (*Phoca vitulina*)**

La foca común, *P. vitulina*, es el pinnípedo de mayor distribución en el mundo. Reside en playas, barras arenosas, hielo y arrecifes rocosos en zonas periféricas de las regiones norte del Atlántico y Pacífico y en algunos cuerpos de agua dulce (Riedman, 1990; Gallo, 2000; Nowak, 2003; Jefferson *et al.*, 2008; Burns, 2009). Sus depredadores más comunes son osos polares, orcas y tiburones (King, 1964; Riedman, 1990). Es considerada una especie oportunista que se alimenta principalmente de peces, cefalópodos y crustáceos abundantes y fáciles de atrapar dependiendo de la región y estación del año (Bonner, 1999; Jefferson *et al.*, 2008; Thompson y Härkönen, 2008; Burns, 2009; DFO, 2010). Se ha observado que puede llegar a profundidades de hasta 500 m (Jefferson *et al.*, 2008; DFO, 2010). A pesar de tener poco valor comercial, esta especie ha sido afectada por factores antropogénicos como la cacería, captura incidental, contaminación y, sobre todo en países como Estados Unidos y Canadá, conflictos con las pesquerías, ya que los individuos suelen romper las redes o comer los peces atrapados dentro de ellas, lo que genera pérdidas tanto monetarias como materiales para las mismas (Nowak, 2003; Jefferson *et al.*, 2008; Thompson y Härkönen, 2008; Burns, 2009; DFO, 2010).

La foca común se considera una especie filopátrica, es decir, tiene un alto grado de fidelidad a sus sitios de descanso y no lleva a cabo migraciones. No obstante, puede trasladarse grandes distancias en búsqueda de alimento, oportunidades de apareamiento y, en latitudes altas, para alejarse del hielo (King, 1964; Nowak, 2003;

Thompson y Härkönen, 2008; Grigg *et al.*, 2012). Generalmente se observan a una distancia menor a 20 km de la costa, pero se han llegado a ver hasta a 100 km de ella (DFO, 2010). A pesar de que esta especie es solitaria, forma colonias durante la época de reproducción y de la muda. Su sistema de apareamiento es muy difícil de determinar; sin embargo, se sugiere que pudiera ser poligínica (Bonner, 1999; Hayes *et al.*, 2004; Boness *et al.*, 2006). Se cree que no existe una organización social compleja a excepción del vínculo entre madre y cría (Nowak, 2003; Thompson y Härkönen, 2008) y la época de reproducción varía según la subespecie (Burns, 2009).

Esta especie presenta tres subespecies con diferente distribución geográfica: *P. v. vitulina*, en el océano Atlántico; *P. v. mellonae*, en cuerpos de agua dulce en el norte de Quebec, Canadá; y *P. v. richardii*, en el océano Pacífico (Committee on Taxonomy, 2014). Esta última es la subespecie de interés de este estudio.

### **1.2.1 *Phoca vitulina richardii* en el Pacífico oriental**

Se han estimado alrededor de 331 mil individuos de *P. v. richardii* desde México hasta Alaska: 6,200 en México (Lubinsky, 2010), 30 mil en California (Carretta *et al.*, 2014), 30 mil entre Oregon y Washington (Carretta *et al.*, 2014), 105 mil en la Columbia Británica (DFO, 2010) y alrededor de 160 mil individuos en Alaska (Allen y Angliss, 2013).

La longevidad de los individuos de esta subespecie es de aproximadamente 30 años (Thompson y Härkönen, 2008). Generalmente, las hembras alcanzan la madurez sexual a los tres o cuatro años, mientras que los machos la alcanzan a los cuatro o cinco (Burns, 2009). El apareamiento de estas focas se lleva a cabo dentro del agua justo después del destete de las crías. Al igual que los demás pinnípedos, posterior a la fertilización, sigue un periodo prolongado de diapausa embrionaria que dura aproximadamente dos meses y medio hasta que el embrión se implanta y continúa el desarrollo. El tiempo de gestación completo, desde la fertilización hasta el nacimiento, sin contar dicha diapausa, es entre ocho y nueve meses y las hembras suelen tener una cría por gestación (Riedman, 1990; Jefferson *et al.*, 2008; Burns, 2009).

Existe un desfase latitudinal en la época de partos de las distintas poblaciones ya que a medida que éstas se encuentren más al sur, la temporada de partos comienza más temprano en el año (Riedman, 1990; Temte *et al.*, 1991; Burns, 2009; Fernández-Martín, 2012). Se han encontrado tres diferentes patrones en cuanto a su sucesión: 1) de México a Washington, desde los 30.4°N hasta los 47°N de latitud, se observa una clina latitudinal unidireccional donde por cada grado de latitud hacia el norte, la fecha media de la temporada de partos difiere por 4.1 días; 2) Puget Sound, la temporada de partos ocurre 65 días después que en otros lugares de la misma latitud; y 3) de la Columbia Británica a Alaska, la temporada de partos no presenta una variación latitudinal (Temte *et al.*, 1991).

### **1.2.2 *Phoca vitulina richardii* en México**

En México, la foca común ha sido poco estudiada. Se estimó una población de 1,715 individuos entre las islas Coronado e isla Natividad de 1982 a 1986 (Padilla, 1990) y de 6,200 entre las islas Coronado e isla Asunción durante la temporada de invierno de 2010 (Lubinsky, 2010). La temporada de partos ocurre entre enero y abril (Padilla, 1990; Lubinsky, 2010; Fernández-Martín, 2012). Las zonas de descanso de los individuos cambian a lo largo del año: durante la temporada reproductiva los individuos se encuentran en hábitats con playas de canto rodado y protegido del oleaje, mientras que durante la temporada no reproductiva ocupan plataformas rocosas, playas de arena y canto rodado, sin importar la exposición al oleaje (Lubinsky, 2010; Arias, 2011).

En las islas de Todos Santos, así como en el Estero de Punta Banda, la foca común es un depredador tope cuyo alimento principal son presas bentónicas (Alamán, 2014) y, a pesar de que se encuentran a sólo 17 km de distancia, pareciera que ambas colonias se encuentran separadas tanto en temporadas reproductivas como en hábitos alimentarios (Fernández-Martín, 2010; Alamán, 2014).

### **1.3 Pelaje y muda de pinnípedos**

Posterior a la época de reproducción se lleva a cabo la muda, proceso durante el cual el pelo corporal viejo se desprende y es reemplazado por pelo nuevo (Yochem y

Stewart, 2009; Paterson *et al.*, 2012). El pelo consiste en células epidérmicas queratinizadas, formadas en folículos de pelo localizados en la parte dérmica de la piel (Yochem y Stewart, 2009). La función del pelo es la retención de calor y la protección de la piel contra el agua, golpes, radiación solar e infecciones microbianas; además, reduce la resistencia hidrodinámica (Stutz, 1966; Yochem y Stewart, 2009; Paterson *et al.*, 2012). Debido a que los fócidos utilizan principalmente el suministro de sangre y la capa de grasa hipodérmica para regular la temperatura corporal, se piensa que la función principal del pelo en estos organismos es el de brindar protección al individuo (Stutz, 1966; Ling, 1970; Williams y Worthy, 2002; Liwanag *et al.*, 2012).

Entre los pinnípedos, los fócidos son los únicos que muestran patrones de coloración en el pelaje (Berta *et al.*, 2006; Berta, 2009). En algunas especies, como la foca fajada (*Histiophoca fasciata*) o la foca de Groenlandia (*Pagophilus groenlandicus*), estos patrones brindan información sobre su edad y sexo. En contraste, se cree que la coloración de la foca común sirve como camuflaje para los hábitats costeros que utiliza (Berta *et al.*, 2006).

Tanto la reproducción como la muda del pelo son esenciales para la supervivencia de los mamíferos y, por lo tanto, deben estar sincronizadas. Ambas están relacionadas con el fotoperiodo, principalmente en latitudes altas y templadas, pero son modificadas localmente por factores indirectos como la temperatura, productividad, comportamiento y nutrición (Ling, 1970). Debido a que muchos fócidos son pelágicos durante gran parte del año, los periodos de muda sirven como una oportunidad anual para reparar y renovar su pelo y, en algunas especies, la piel (Boily, 1995).

Los pinnípedos tienen dos capas de pelo: una capa externa (pelo de guarda) que sirve de protección y que consiste de pelos largos y gruesos, y una capa interna (pelo subyacente) que está compuesta por pelos intermedios más suaves (Yochem y Stewart, 2009). En el caso particular de los fócidos, no existen dichos pelos subyacentes (Ling, 1970; Berta *et al.*, 2006). También, a diferencia de muchos otros mamíferos, las focas carecen del músculo erector del pelo. Esto tiene como consecuencia que el pelo de las focas tenga una superficie lisa que reduce la fricción

con el agua y facilita su desplazamiento en ella (Stutz, 1966; Ling, 1970; Berta *et al.*, 2006; Liwanag *et al.*, 2012). Durante el crecimiento y reemplazo periódico de pelo, los folículos de pelo pasan por fases de actividad y descanso. Existen tres fases del ciclo piloso: anágeno (etapa de crecimiento y desarrollo de pelo), catágeno (etapa transitoria entre el crecimiento y el detenimiento) y telógeno (etapa de reposo; Stutz, 1966; Ling, 1970, 2012).

Para ser metabólicamente activa y para que haya un buen suministro de sangre, la epidermis, como cualquier otro tejido, debe recibir nutrientes y oxígeno y tener una temperatura adecuada (Boily, 1995). Ya que durante la muda se pierde mucho calor por la falta de pelo y se requiere mucha energía para mudar, los individuos deben encontrarse en sus sitios de descanso cuando ello sucede (Boily, 1995; Bonner, 1999; Yochem y Stewart, 2009; Paterson *et al.*, 2012; Cronin *et al.*, 2014). En cultivos en laboratorio las células epidérmicas de los fócidos requieren una temperatura mínima de 17°C para su crecimiento, temperatura que suele ser mayor que la del agua en la que normalmente habitan. Además, la temperatura corporal óptima para su crecimiento es de 37°C (Feltz y Fay, 1966), lo que indica que permanecer la mayor cantidad de tiempo posible en tierra durante la muda es un requerimiento fisiológico. De acuerdo con un modelo (Boily; 1995), a pesar de que los fócidos podrían producir suficiente calor en el agua para compensar la pérdida de calor resultado de mudar en el agua, esto significaría un costo energético alto y sería posible sólo en un intervalo determinado de temperatura del agua.

En ocasiones, debido a disturbios antropogénicos, las focas tienen que entrar al agua durante la temporada de muda. Esto trae consecuencias serias para ellas, ya que se reduce el tiempo que pueden permanecer en tierra durante las condiciones óptimas para la regeneración de su pelo y les genera un costo energético importante (Paterson *et al.*, 2012).

Aún se desconocen las señales que estimulan el inicio y controlan el crecimiento del pelo en muchas especies de pinnípedos, pero pueden existir influencias térmicas, ambientales, nutricionales y hormonales (Ashwell-Erickson *et al.*, 1986; Mo *et al.*, 2000;

Daniel *et al.*, 2003; Yochem y Stewart, 2009). Aunque las hormonas son fundamentales para una gran cantidad de procesos y actividades en el ciclo de vida de los animales, existen discordancias en cuanto al papel que juegan en la muda de los pinnípedos. En mamíferos, la hormona cortisol (ligada con el nivel de estrés) y las hormonas tiroideas (tiroxina, tT4, y triyodotironina, tT3) son esenciales para la regulación y el mantenimiento de la homeostasis metabólica (Atkinson *et al.*, 2011). Existen variaciones en la concentración de hormonas tiroideas durante la etapa de muda en cuando menos tres especies de fócidos: la foca gris (Boily, 1996), la foca de Groenlandia (John *et al.*, 1987) y la foca común (Riviere *et al.*, 1977). En la foca gris (*Halichoerus grypus*) se ha observado un aumento de hormonas tiroideas exclusivamente al final de la muda, por lo que el papel de las hormonas podría ser sostener un crecimiento rápido de pelo o mantener elevada la producción de calor y no tanto iniciar el crecimiento del pelo (Boily, 1996). En la foca de Groenlandia (*Pagophilus groenlandicus*) los niveles de tT3 disminuyen conforme progresa la muda, mientras que los niveles de tT4 se mantienen altos, por lo que el inicio de la muda podría deberse a la tasa alta de tT3/tT4 que existe durante la premuda (John *et al.*, 1987). En la foca común la tT4 estimula el crecimiento de pelo mientras que el cortisol la inhibe (Riviere *et al.*, 1977). Por otra parte, se ha encontrado que no existe una relación entre las hormonas tiroideas y el proceso de muda en la foca común, sino que cambios en la concentración de las hormonas podrían ser resultado de cambios metabólicos que ocurren en relación con los ciclos de alimentación (Renouf y Brotea, 1991).

En general, los mamíferos marinos pueden reducir la pérdida de calor al ambiente controlando la circulación periférica de sangre por medio de sistemas vasculares de intercambio de calor en sus extremidades, grasa, mucosa nasal y órganos reproductivos. Para ello requieren de un flujo sanguíneo periférico controlado del cuerpo a la piel y a las extremidades para la preservación o pérdida de calor (Berta *et al.*, 2006). Por lo tanto, un individuo pierde la mayor cantidad de calor a través de las aletas y la cabeza (Gallivan y Ronald, 1979; Lydersen *et al.*, 2000; Berta *et al.*, 2006; Yochem y Stewart, 2009). Por ejemplo, la foca de Groenlandia pierde 84% de su calor corporal a través de las aletas, las cuales representan sólo 14% de su área superficial (Gallivan y Ronald, 1979).

La muda de la mayoría de los mamíferos silvestres empieza por lo general en las partes del cuerpo con piel expandible como axilas, muslos, garganta y base de la cola y casi nunca en las partes donde la piel está estirada como el dorso y el abdomen (Ling, 1970). Tal es el caso de los pinnípedos, quienes comienzan a mudar en la cabeza, seguida por las aletas, el abdomen y finalmente el dorso. Por otro lado, se ha observado que la muda de crías estresadas de la foca gris y la foca de Groenlandia ocurre de manera inversa ya que, para no perder una gran cantidad de energía que no tienen, retienen el pelo en las aletas y en la cara (Lydersen *et al.*, 2000).

### **1.3.1 Muda de *Phoca vitulina***

El comienzo de la muda de la foca común se asocia más con la variación del fotoperiodo que con la temperatura (Mo *et al.*, 2000; Cronin *et al.*, 2014). El comportamiento de los machos cambia al comienzo de la muda: regresan a tierra diariamente y el comportamiento se vuelve más sincronizado entre ellos (Thompson *et al.*, 1989). Además, durante la muda, los individuos pasan más tiempo en tierra y pierden mayor cantidad de grasa en comparación con el resto del año (Pitcher y Calkins, 1979; Pitcher, 1986).

La muda de los individuos de la foca común varía según la edad y el sexo (London *et al.*, 2012). Los añeros comienzan y terminan la muda primero, seguidos por los subadultos, luego las hembras adultas y por último los machos adultos (Daniel *et al.*, 2003; Thompson y Härkönen, 2008; Burns, 2009; Cronin *et al.*, 2014). Las crías suelen tener una muda *in utero*; es decir, mudan el lanugo dentro del útero de la madre antes de nacer, ya que éste no funciona como buen aislante contra el frío del océano (Ling, 1970; Yochem y Stewart, 2009) y las crías de esta especie entran al agua minutos después de su nacimiento (Ling, 1970; Bonner, 1999; Thompson y Härkönen, 2008). Por esta razón, la cría nace con una capa de pelo caliente y funcional de adulto, aunque pueden existir casos en que llegan a nacer con lanugo, el cual es mudado durante días posteriores (Riedman, 1990). El proceso de la muda en esta especie dura entre 20 y 108 días (Scheffer y Slipp, 1944; Boulva y McLaren, 1979; Thompson y Rothery, 1987; Mo *et al.*, 2000).

Dado que la temporada reproductiva y la temporada de muda están altamente sincronizadas, la muda de *P. v. richardii* también varía en función de la latitud. En Alaska la temporada de muda dura de julio y agosto a septiembre (Pitcher y Calkins, 1979; Jemison y Kelly, 2001; Daniel *et al.*, 2003; Simpkins *et al.*, 2003) y en el canal de Washington comienza a finales de julio y termina en noviembre (London *et al.*, 2012). En Oregon los primeros individuos en muda se observan a finales de julio y todos completan el proceso a principios de septiembre (Brown y Mate, 1983). En el estado de California la temporada de muda dura de mayo a agosto (Stewart y Yochem, 1994; Allen *et al.*, 2004; Flynn *et al.*, 2009; Grigg *et al.*, 2009; Codde *et al.*, 2011), mientras que en Baja California ocurre de marzo a principios de julio (Lubinsky, 2010; Fernández-Martín, 2012). Sin embargo, a excepción de los estudios de Daniel *et al.*, (2003) y Fernández-Martín (2012), quienes estudiaron la temporada de muda completa de *P.v. richardii* en Alaska y en el Estero de Punta Banda (Baja California, México), respectivamente, las fechas conocidas del inicio y fin de la muda han sido producto de observaciones causales, más que de estudios concretos del proceso de muda.

Con base en observaciones directas, se estimó que el periodo de muda de la colonia de Alaska dura desde principios de agosto hasta septiembre (Daniel *et al.*, 2003) y el de la colonia del Estero de Punta Banda desde finales de marzo hasta julio (Fernández-Martín, 2012). Daniel *et al.*, (2003) encontraron que en la mayoría de los individuos el crecimiento de pelo nuevo comenzó primero en la cara, el cuello y las aletas hasta cubrir la zona ventral y por último la zona dorsal (secuencia de muda tipo I). En México, Fernández-Martín (2012) observó que la secuencia de muda dominante fue la opuesta: el pelo nuevo apareció primero en el tronco y luego en la cabeza y las aletas (tipo II). En ambos estudios se encontró una relación positiva entre la proporción de individuos en muda y el número total de individuos en tierra. En Alaska, los añeros mudaron primero, seguidos por los subadultos y las hembras adultas y por último los machos adultos (Daniel *et al.*, 2003).

Se ha propuesto que los adultos comienzan a mudar después que los individuos inmaduros debido a su condición corporal baja, resultado del ciclo reproductivo. Las hembras adultas pierden una gran cantidad de grasa durante el periodo de lactancia y

continúan perdiéndola durante la muda (Pitcher, 1986), mientras que los machos adultos se alimentan menos durante el periodo de apareamiento, ya que su prioridad es buscar hembras reproductivas. En vista de que las demandas energéticas del ciclo reproductivo no afectan a los inmaduros, éstos pueden mudar antes (Daniel *et al.*, 2003). Las hormonas (sexuales, tiroideas, cortisol) también podrían jugar un papel en este desfase de muda entre grupos de edad (Thompson y Rothery, 1987).

La finalidad de este estudio fue determinar las fechas del inicio, máximo y fin de la temporada de muda de *P. v. richardii* en los extremos norte y sur de su distribución en México, ya que representa una de las etapas en que los fócidos se encuentran más vulnerables (en conjunto con la temporada de crías) y, por lo tanto, es una etapa crucial para su supervivencia. Con la información obtenida en este trabajo se podrá saber cuándo se congrega la mayor cantidad de individuos en una zona, lo cual es útil para fijar fechas de conteos para la estimación de la abundancia (Stewart y Yochem, 1994; Lowry *et al.*, 2008; Cronin *et al.*, 2014). Así mismo, se pretendía determinar la secuencia de la muda. Esta información es relevante para estudios que utilizan dispositivos electrónicos, los cuales suelen adherirse al pelo. Si se conoce en qué parte del cuerpo comienza la muda, se puede decidir dónde es más conveniente colocar los aparatos y reducir el riesgo de pérdida del equipo (Lowry *et al.*, 2001; McConkey *et al.*, 2002; Grigg *et al.*, 2009; London *et al.*, 2012).

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar la cronología y secuencia de la muda de la foca común (*Phoca vitulina richardii*) en dos islas en los extremos norte y sur de su distribución a lo largo de la costa oeste de la península de Baja California, México.

### 1.4.2 Objetivos particulares

1. Determinar y comparar el inicio, máximo y fin de la temporada de muda de la foca común en dos islas a lo largo de un gradiente latitudinal: isla de Todos Santos Sur (Baja California) e isla San Roque (Baja California Sur).
2. Determinar si existe una diferencia en la cronología de la muda con respecto al sexo y la edad de los individuos.
3. Definir la secuencia de muda (tipo I o tipo II) dominante de las poblaciones de foca común en los extremos de su distribución en la península de Baja California.
4. Determinar la relación entre la proporción de individuos mudando y el número de individuos en tierra.

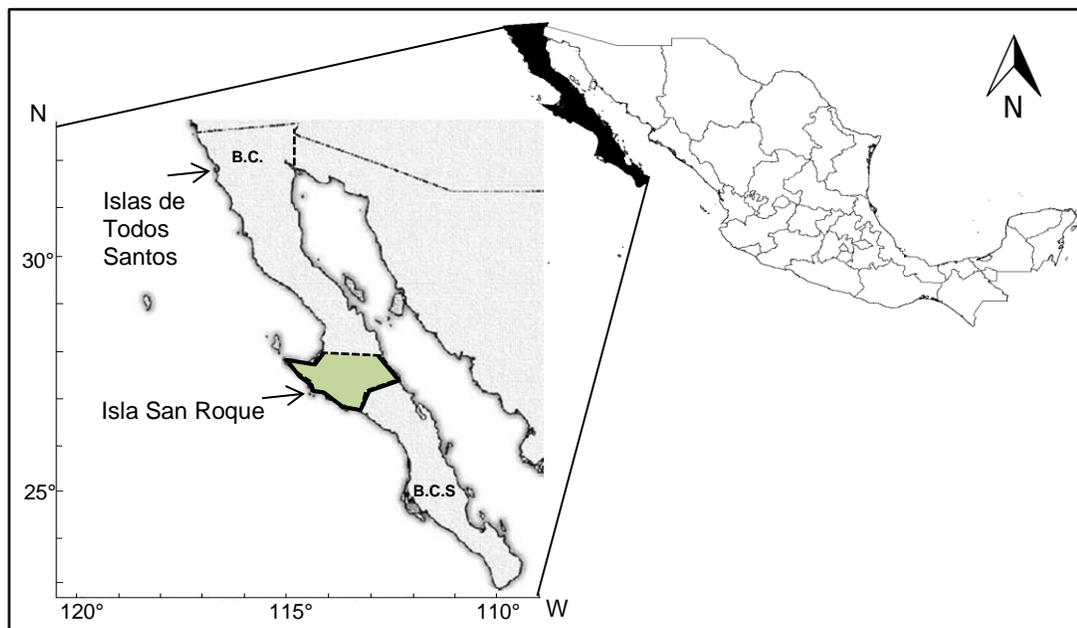
### 1.5 Hipótesis

- La colonia en la isla de Todos Santos Sur ( $31^{\circ}48'7''\text{N}$  y  $116^{\circ}47'30''\text{W}$ ) comienza a mudar después que la colonia de San Roque ( $27^{\circ}8'48''\text{N}$  y  $114^{\circ}22'40''\text{W}$ ) debido a que se encuentra a latitudes más altas. En San Roque los individuos mudan en febrero o marzo mientras que en Todos Santos Sur los individuos mudan en abril. Así mismo, la fecha en que se encuentra la mayor proporción de individuos en muda ocurre primero en San Roque y posteriormente en Todos Santos.
- La secuencia de muda dominante es similar a la del Estero de Punta Banda (muda tipo II, la muda comienza en el tronco y luego en la cabeza y las aletas).

## 2. Métodos

### 2.1 Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en las islas de Todos Santos Sur ( $31^{\circ}48'7''\text{N}$ ,  $116^{\circ}47'30''\text{W}$ ) y San Roque ( $27^{\circ}8'48''\text{N}$ ,  $114^{\circ}22'40''\text{W}$ ), situadas en la costa oeste de la península de Baja California, en los estados de Baja California y Baja California Sur (México), respectivamente (Fig. 1). En ambas islas se encuentran poblaciones de *P. v. richardii*. A partir de fotografías tomadas desde lanchas, en el invierno-primavera de 2008–2009, el tamaño promedio de la colonia de las islas de Todos Santos fue de 300 individuos y el de la isla San Roque de 500 individuos (Lubinsky, 2010).



**Figura 1.** Ubicación de las islas de Todos Santos (Baja California) e isla San Roque (Baja California Sur), México. En verde se muestra la delimitación de la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno, Baja California Sur.

#### 2.1.1 Islas de Todos Santos

Las islas de Todos Santos se localizan dentro de la bahía de Todos Santos, Ensenada, Baja California (Fig. 1; Samaniego-Herrera *et al.*, 2007). La isla Norte tiene un área de aproximadamente 21 ha y 3,332 m de perímetro, mientras que la del Sur tiene un área de cerca de 100 ha y 8,734 m de perímetro. Las islas se encuentran separadas por una

distancia de aproximadamente 200 m (Donlan *et al.*, 2003) y se localizan a alrededor de 7 km de la costa peninsular más cercana. Están conformadas principalmente por una costa de sustrato rocoso, con algunas playas de canto rodado y de sustrato mixto (Aguilar-Rosas *et al.*, 2010; Lubinsky, 2010). La costa este de las islas se encuentra totalmente protegida, mientras que la parte oeste está expuesta a un oleaje alto y fuerte. La topografía de la zona submareal es irregular, con salientes rocosas y planicies arenosas con una profundidad de hasta 28 m. La costa de ambas islas tiene una gran cantidad de algas pardas que forman extensas praderas a su alrededor (Aguilar-Rosas *et al.*, 2010). La mayoría de la precipitación (90%) cae entre los meses de noviembre y abril (Donlan *et al.*, 2003).

Únicamente la isla Sur se encuentra habitada a lo largo del año por una pequeña comunidad de acuicultores y pescadores, por lo que se observa poca infraestructura en la isla (Donlan *et al.*, 2000). Ambas islas han presentado varios tipos de disturbio antropogénico, siendo la introducción de especies no nativas uno de los principales (Donlan *et al.*, 2000); sin embargo, no se encuentran bajo alguna categoría de protección.

### **2.1.2 Isla San Roque**

La isla San Roque se localiza frente a la bahía de Asunción, Mulegé, Baja California Sur (Fig. 1). Tiene un área de 37 ha, un perímetro de 4,856 m, y está compuesta principalmente por sustrato rocoso, con algunas playas arenosas, de canto rodado y de sustrato mixto (Lubinsky, 2010). Se encuentra a aproximadamente 2 km del continente y es habitada por un par de vigilantes de la cooperativa pesquera “California de San Ignacio” (Samaniego-Herrera *et al.*, 2007). Forma parte de la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno.

## 2.2 Trabajo de campo

### 2.2.1 Observaciones desde tierra

Para estudiar a las dos colonias de focas en sus respectivas islas, se formaron dos equipos de trabajo que mantuvieron estaciones de observación con una duración de tres meses y medio (marzo–julio de 2014) en la isla de Todos Santos Sur (de ahora en adelante Todos Santos) y cinco meses (enero–junio de 2014) en la isla San Roque. Se eligió comenzar en estas fechas ya que Fernández-Martín (2012) observó que la muda en el Estero de Punta Banda, que se encuentra a una latitud similar que las islas de Todos Santos, comienza a mediados de abril y finaliza en julio. Las observaciones se realizaron con binoculares (7x50) y telescopios (20–60x80 mm), y los miembros de cada equipo se intercambiaban entre las islas para mantener observaciones comparables.

En la isla San Roque se realizaron observaciones de lunes a viernes durante un promedio de cuatro horas en al menos dos playas específicas. En Todos Santos, debido a problemas logísticos, no fue posible trabajar durante algunas semanas. Cuando sí fue posible, se trabajó durante un promedio de tres días y medio por semana, con una duración aproximada de tres horas por día, en horas de marea baja, en dos playas.

Durante cada periodo de observación se contaron los individuos presentes y se intentó distinguir el sexo y la edad de cada individuo observado. El sexo se determinó según la localización de las aberturas genitales o con base en la relación madre-cría. Debido a que no existe un claro dimorfismo sexual, no siempre fue posible definir el sexo (Daniel *et al.*, 2003; Jefferson *et al.*, 2008; Cronin *et al.*, 2014). Los individuos se clasificaron según la edad en grupos de crías/destetados, añeros y adultos. Las crías y los destetados se identificaron por su tamaño pequeño y por su pelaje brillante. También se clasificaron como crías aquellos individuos que se encontraban asociados a su madre. Los añeros se identificaron por tener un tamaño mayor al de las crías, pero menor que el de los adultos y que, anterior a su muda, tenían pelo más claro sin manchas o anillos. Posterior a su muda, fue difícil distinguirlos de los destetados, aunque ya para entonces

los destetados tenían un pelaje más opaco, lo que sirvió como referencia para su clasificación (Thompson y Rothery, 1987; Daniel *et al.*, 2003).

Se determinó la etapa del ciclo de la muda en que se encontraba cada individuo observado, así como su secuencia de muda. Se utilizaron como base las etapas y subetapas propuestas por Daniel *et al.* (2003; Tabla 1). La etapa de premuda representa la presencia exclusiva de pelo viejo y cambios en su coloración; la etapa de muda representa el desprendimiento de pelo viejo y el crecimiento de pelo nuevo; y la etapa de postmuda representa el cambio completo de pelo viejo por pelo nuevo.

**Tabla 1. Etapas y subetapas del ciclo de la muda de *Phoca vitulina richardii* con base en Daniel *et al.* (2003) y Fernández-Martín (2012).**

<b>Etapas</b>	<b>Subetapas</b>	<b>Descripción</b>
<i>Premuda</i>	Inicial	Decoloración del pelo
	Intermedia	Desvanecimiento de manchas y anillos; pelo se vuelve de color más opaco
	Final	Pelo de color café distribuido uniformemente; manchas y anillos inexistentes
<i>Muda</i>	Inicial	Pelo nuevo cubre menos del 25% del cuerpo
	Intermedia	Pelo nuevo cubre del 25 al 75% del cuerpo
	Final	Pelo nuevo cubre más del 75% del cuerpo
<i>Postmuda</i>		El 100% del cuerpo está cubierto por pelo nuevo. El pelo es brillante y se distinguen claramente manchas y anillos

La secuencia de la muda se clasificó en dos categorías:

Muda tipo I: La muda comienza en la cabeza y las aletas y finaliza en el tronco y el vientre.

Muda tipo II: El pelo nuevo aparece primero en el tronco y el vientre y por último en la cabeza y las aletas.

### **2.2.2 conteos desde embarcaciones**

Una vez a la semana se realizaron recorridos en una embarcación menor alrededor de las islas para contar a los individuos en tierra, siempre y cuando el clima lo permitiera. En Todos Santos estos conteos comenzaron cinco semanas antes que las observaciones en playas específicas y hasta finalizar éstas, mientras que en San Roque se realizaron durante el mismo periodo en que se realizaron las observaciones en tierra. Los conteos se realizaron con ayuda de binoculares (7x50) en horas de marea baja para poder apreciar y contar la mayor cantidad de individuos posible. Se circunnavegaron las islas a la distancia mínima necesaria para no perturbar a los individuos (entre 5 y 20 m), a una velocidad menor o igual a dos nudos.

## **2.3 Análisis de datos**

### **2.3.1 Fechas del inicio, máximo y fin de las etapas y subetapas del ciclo de muda**

Se estimaron las fechas en las que los individuos iniciaron, se encontraban en el máximo y finalizaron cada una de las subetapas de la premuda y muda (premuda intermedia, premuda final, muda inicial, muda intermedia y muda final). Debido a que en ambas islas se iniciaron las observaciones después de que había comenzado la premuda inicial, se optó por no contemplar dicha subetapa. También, se estimaron las fechas de la etapa de premuda (agrupando los datos de la premuda intermedia y final), la etapa de muda (agrupando los datos de la muda inicial, intermedia y final) y la etapa de postmuda, así como las fechas de la etapa de muda de los añeros, las hembras adultas y los machos adultos. Para determinar la duración de cada etapa y subetapa se contaron las semanas desde su comienzo hasta su final.

### 2.3.1.1 Fechas observadas

En función de los datos observados, se establecieron los siguientes criterios: la fecha del inicio fue el primer día en que se observaron cuando menos dos individuos en cada etapa y subetapa. Se consideró como la fecha del máximo el día en que se observó la mayor proporción de individuos en cada una de las etapas y subetapas, y la fecha del fin correspondió al último día en que se observaron cuando menos dos individuos en cada una de ellas. Se decidió que fuera un mínimo de dos individuos para evitar considerar individuos atípicos y poder tener una mejor idea de cómo se comporta la colonia en general.

### 2.3.1.2 Fechas estimadas

Para obtener las fechas del inicio y fin de cada etapa y subetapa se calculó la frecuencia acumulada y se ajustaron los datos a una curva logística mediante la siguiente ecuación:

$$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}} \quad (1)$$

Donde:

$y$  = frecuencia acumulada

$a$ ,  $b$  y  $c$  = parámetros del modelo

$e$  = constante de Euler (2.71)

$x$  = día secuencial (donde el 1 de enero = día uno, 2 de enero = día dos, etc.)

Se estableció como día inicial aquel en el que el 1% de los individuos se encontraba en cada etapa o subetapa; esto es, cuando la frecuencia acumulada fue de 0.01. El día final correspondió al día en que el 99% de los individuos se encontraba en cada etapa o subetapa (frecuencia acumulada de 0.99). Para esto, se utilizaron los datos proporcionados por el programa STATISTICA 7.1 (StatSoft, 2005), que se compararon y verificaron con los provistos por el programa CurveExpert Professional 2.2 (Hyams, 2014).

Para conocer el día en que se encontraba la mayor proporción de individuos en cada subetapa y en las etapas de premuda y muda (i.e. la fecha del máximo) durante el transcurso del estudio, se ajustaron los datos obtenidos en campo a una regresión polinomial por medio de la siguiente ecuación:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots + ex^n \quad (2)$$

Donde:

$y$  = frecuencia relativa

$a, b, c, d, \dots, e$  = parámetros del modelo

$n$  = grado del polinomio

$x$  = día secuencial (donde el 1 de enero = día uno, 2 de enero = día dos, etc.)

Se utilizaron los datos proporcionados por el programa STATISTICA 7.1 (StatSoft, 2005), y se verificaron y compararon con aquellos provistos por el programa CurveExpert Professional 2.2 (Hyams, 2014).

En el caso de la postmuda, la fecha del inicio se obtuvo de la misma manera que las demás etapas (ver ecuación 1). Sin embargo, las fechas del máximo y del fin fueron el mismo día que el del fin de la muda final, ya que el momento donde la mayor cantidad de individuos se encuentran en esta etapa es cuando toda la colonia ha finalizado su muda, el cual al mismo tiempo representa el término de esta etapa.

### **2.3.2 Comparación de la etapa de muda entre islas**

Para comparar la etapa de muda de las colonias en ambas islas se utilizaron los datos estimados resultantes de los modelos. Para determinar cuándo se presentaban las mayores diferencias, se realizó una prueba t con un nivel de significación ( $\alpha$ ) de 0.05, en la que se compararon las proporciones de individuos en etapa de muda por día (sin tomar en cuenta a los desconocidos) entre las dos islas en conjuntos de datos obtenidos cada dos semanas (14 a 30 de abril, 1 a 16 de mayo, 19 a 31 de mayo, 1 a 13 de junio y 16 a 26 de junio). Se utilizó el programa STATISTICA 7.1 (StatSoft, 2005).

### **2.3.3 Secuencia de muda dominante**

Con la finalidad de conocer la secuencia de muda dominante en cada isla se realizó la prueba no paramétrica U de Mann–Whitney para comparar dos muestras independientes ( $\alpha = 0.05$ ), utilizando el número total de individuos que presentaban la secuencia de muda tipo I o tipo II. Se usaron aquellos datos de individuos que se encontraban en las subetapas de muda intermedia y final, ya que durante la muda inicial fue muy difícil inferir el tipo de muda que iban a realizar. Además, para conocer si existían diferencias en el grado de dominancia de cada secuencia de muda entre ambas islas, se realizó la prueba U de Mann–Whitney ( $\alpha = 0.05$ ) con la proporción de individuos de cada isla mostrando cada tipo de muda. En ambos casos se usó el programa STATISTICA 7.1 (StatSoft, 2005).

### **2.3.4 Relación entre la proporción de individuos mudando y el número de individuos en tierra**

Para conocer si el día en que se observó la mayor cantidad de individuos en tierra coincidía con el día en que se encontró la mayor proporción de individuos en muda, se ajustaron los datos a una regresión polinomial (ver ecuación 2), utilizando los programas STATISTICA 7.1 (StatSoft, 2005) y CurveExpert Professional 2.2 (Hyams, 2014), y se compararon.

### 3. Resultados

#### 3.1 Observaciones desde tierra

Se realizaron observaciones durante un total de 40 días en dos playas de la isla de Todos Santos, una en el lado protegido de la isla (este) y la otra en el lado expuesto (oeste). En la isla San Roque, se llevaron a cabo observaciones durante 104 días y se obtuvieron datos de cuatro playas; en dos playas se observó constantemente a lo largo del estudio, mientras que en las otras dos se trabajó poco y discontinuamente.

##### 3.1.1 conteos diarios

A partir de las observaciones realizadas de manera constante en dos playas de Todos Santos y San Roque, se obtuvieron los promedios semanales del número de individuos en tierra, los cuales variaron a lo largo del estudio (Fig. 2). En general, Todos Santos presentó una menor cantidad de individuos que San Roque con un intervalo de promedios semanales de 89 a 318 individuos. La semana con menor número de individuos fue la del 23 al 25 de junio y la semana con mayor número fue la del 12 al 14 de mayo. En San Roque, los promedios semanales variaron de 133 a 537 individuos, registrándose el menor número de individuos durante la semana del 4 al 7 de febrero y el mayor entre el 28 de abril y el 2 de mayo (Fig. 2).

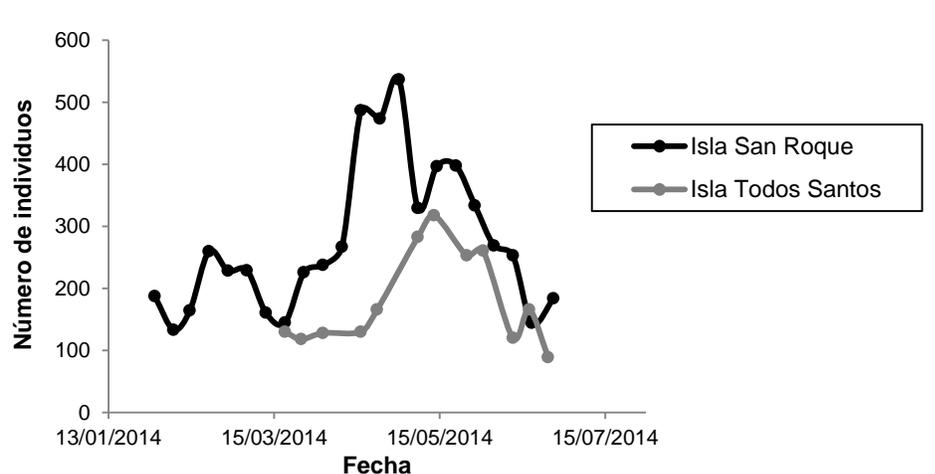


Figura 2. Promedio semanal del número de individuos en tierra registrados mediante observaciones en dos playas en las islas de Todos Santos y San Roque.

### 3.1.2 Fechas del inicio, máximo y fin de las etapas y subetapas del ciclo de muda

Las curvas logísticas y regresiones polinomiales con las cuales se estimaron las fechas del inicio, máximo y fin de cada subetapa de premuda y muda, así como de las etapas de premuda, muda y postmuda en Todos Santos y San Roque, se presentan en los Anexos 1 y 2, respectivamente. A continuación se presentan los resultados resumidos.

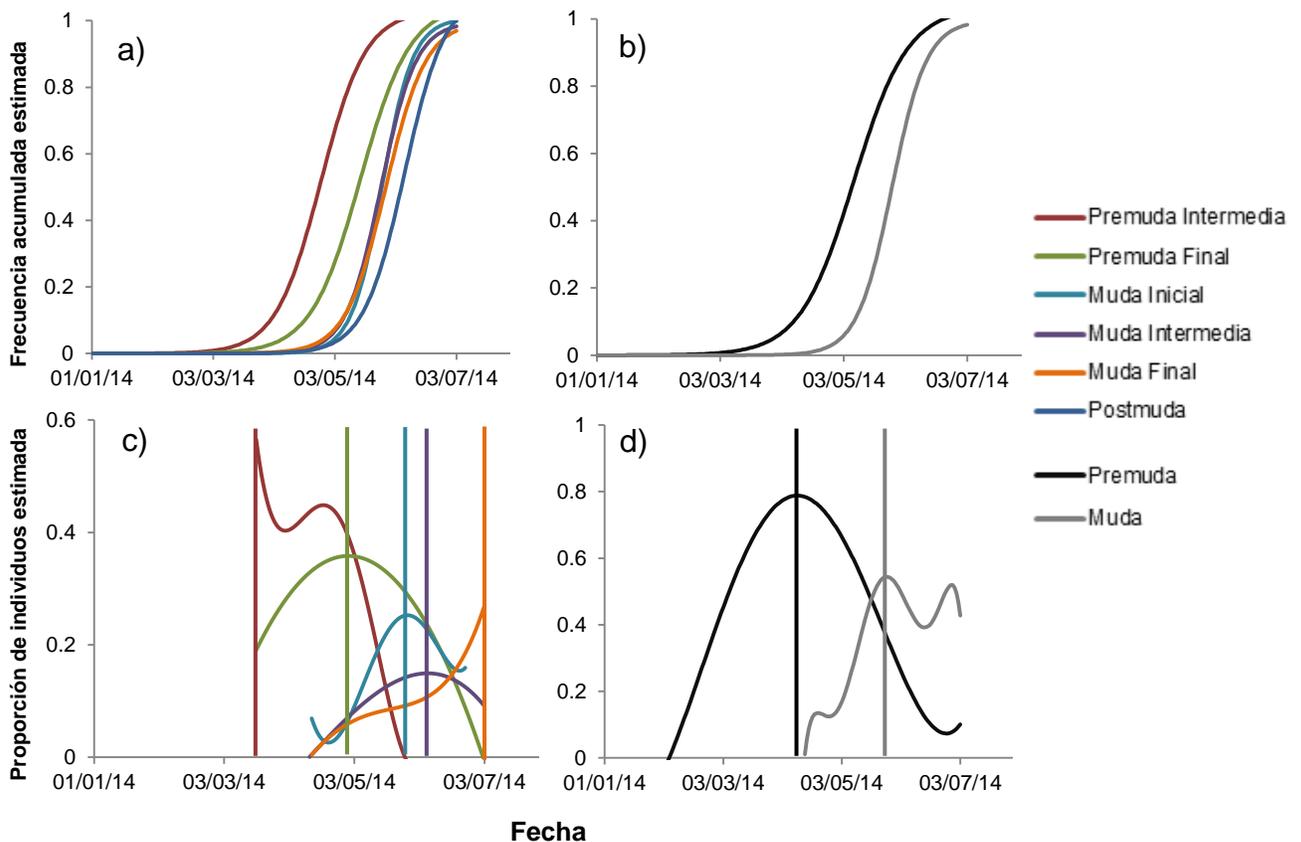
#### 3.1.2.1 Isla de Todos Santos

Las curvas logísticas y regresiones polinomiales estimaron que, en Todos Santos, la premuda intermedia comenzó el 5 de marzo, el máximo ocurrió el primer día de observaciones, el 18 de marzo y terminó el 1 de junio, mientras que la premuda final comenzó el 20 de marzo, alcanzó el máximo el 30 de abril y finalizó el 21 de junio (Tabla 2). Las diferentes subetapas de la muda no presentaron un gran desfase entre sí. Las fechas del inicio, máximo y fin de cada subetapa fueron, respectivamente, 22 de abril, 28 de mayo y 28 de junio para la muda inicial; 16 de abril, 6 de junio y 10 de julio para la muda intermedia; y 13 de abril, 3 de julio y 15 de julio para la muda final. Por último, la postmuda comenzó el 21 de abril y alcanzó el máximo y el fin el 15 de julio (Tabla 2; Fig. 3a y c). La duración de las subetapas de premuda y de muda final fueron las de mayor duración (13.3 semanas) y la muda inicial la de menor (9.6 semanas; Tabla 2).

**Tabla 2. Fechas (día/mes) observadas (obs) y estimadas (est) del inicio, máximo y fin y la duración (en semanas) de las subetapas de premuda y muda y de la etapa de postmuda en la isla de Todos Santos. Las fechas subrayadas con una línea significan el primer día de trabajo de campo (18 de marzo) y las fechas con dos líneas el último día (3 de julio). El símbolo <sup>Δ</sup> indica la duración de las subetapas y de la postmuda considerando que las observaciones comenzaron después de haber iniciado la premuda y finalizaron antes del término de la muda. Inicio estimado = fecha en la que  $y > 0.01$ . Fin estimado = fecha en la que  $y > 0.99$ .**

	Premuda intermedia		Premuda final		Muda inicial		Muda intermedia		Muda final		Postmuda	
	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est
<b>Inicio</b>	<u>18/03</u>	05/03	<u>18/03</u>	20/03	14/04	22/04	17/04	16/04	14/04	13/04	23/04	21/04
<b>Máximo</b>	19/03	<u>18/03</u>	14/04	30/04	26/05	28/05	26/05	06/06	<u>03/07</u>	<u>03/07</u>	23/06	15/07
<b>Fin</b>	26/05	01/06	<u>03/07</u>	21/06	02/07	28/06	<u>03/07</u>	10/07	<u>03/07</u>	15/07	<u>03/07</u>	15/07
<b>Duración</b>	9.9 <sup>Δ</sup>	12.6	15.3 <sup>Δ</sup>	13.3	11.3 <sup>Δ</sup>	9.6	11 <sup>Δ</sup>	12.1	11.4 <sup>Δ</sup>	13.3	10.1 <sup>Δ</sup>	11

Por último, las etapas de premuda (premuda intermedia y final) y muda (muda inicial, intermedia y final) presentaron un desfase claro; la etapa de premuda comenzó el 8 de marzo y finalizó el 19 de junio, registrándose el máximo el 10 de abril, mientras que la etapa de muda comenzó un mes y medio después (18 de abril) y finalizó menos de un mes después (10 de julio), registrándose el máximo el 26 de mayo. La etapa de premuda tuvo una duración de casi 15 semanas, 3 semanas más que la de muda (12 semanas; Tabla 3; Fig. 3b y d).



**Figura 3.** Curvas logísticas (a, b) y regresiones polinómicas (c, d) para obtener las fechas del inicio, máximo y fin de las subetapas (a, c) y las etapas de premuda y muda (b, d) en la isla de Todos Santos. Todas las curvas en (a) y (b) presentan una  $R^2$  de 0.99. La raya vertical muestra la fecha del máximo de cada etapa y subetapa. Se utilizaron diferentes grados de polinomios: 6 grados para premuda y muda ( $R^2 = 0.98$  y  $0.88$ , respectivamente), 5 grados para muda inicial ( $R^2 = 0.94$ ), 4 grados para premuda intermedia y muda final ( $R^2 = 0.91$  y  $0.94$ , respectivamente), 3 grados para muda intermedia ( $R^2 = 0.94$ ) y 2 grados para premuda final ( $R^2 = 0.67$ ).

**Tabla 3. Fechas (día/mes) observadas (obs) y estimadas (est) del inicio, máximo y fin y la duración (en semanas) de la etapa de premuda (premuda intermedia y final) y de muda (muda inicial, intermedia y final) en la isla de Todos Santos. Las fechas subrayadas con una línea significan el primer día de trabajo de campo (18 de marzo) y las fechas con dos líneas el último día (3 de julio). El símbolo <sup>Δ</sup> indica la duración de las etapas considerando que las observaciones comenzaron después de haber iniciado la premuda y finalizaron antes del término de la muda. Inicio estimado = fecha en la que  $y > 0.01$ . Fin estimado = fecha en la que  $y > 0.99$ .**

	Premuda		Muda	
	<i>Obs</i>	<i>Est</i>	<i>Obs</i>	<i>Est</i>
<b>Inicio</b>	<u>18/03</u>	08/03	14/04	18/04
<b>Máximo</b>	17/04	10/04	26/05	26/05
<b>Fin</b>	<u>03/07</u>	19/06	<u>03/07</u>	10/07
<b>Duración</b>	15.3 <sup>Δ</sup>	14.7	11.4 <sup>Δ</sup>	11.9

### 3.1.2.2 Isla San Roque

Se estimó que en la isla San Roque, la premuda intermedia comenzó el 16 de diciembre, alcanzó el máximo el 26 de enero y finalizó el 25 de mayo, mientras que la premuda final inició el 15 de enero, alcanzó el máximo el 14 de marzo y terminó el 10 de junio (Tabla 4). Las fechas del inicio, máximo y fin de cada subetapa de muda fueron, respectivamente, 26 de febrero, 31 de mayo y 23 de junio para la muda inicial; 25 de febrero, 7 de junio y 26 de junio para la muda intermedia; y 23 de febrero, 15 de junio y 27 de junio para la muda final. La postmuda inició el 19 de marzo y alcanzó el máximo y el fin el 27 de junio (Tabla 4; Fig. 4a y c). La duración de ambas subetapas de la premuda (>20 semanas) fue mayor a la duración de las subetapas de la muda (16–18 semanas) y que la postmuda (~14 semanas; Tabla 4).

La etapa de premuda (premuda intermedia y final) comenzó el 1 de enero, alcanzó el máximo el 10 de marzo y finalizó el 7 de junio, mientras que la etapa de muda (muda inicial, intermedia y final) inició casi dos meses después, el 25 de febrero, alcanzó el máximo el 7 de junio y finalizó el 25 de junio. La premuda duró un poco más de 22 semanas, mientras que la etapa de muda duró sólo 17 semanas (Tabla 5; Fig. 4b y d).

Tabla 4. Fechas (día/mes) observadas (obs) y estimadas (est) del inicio, máximo y fin y la duración (en semanas) de las subetapas de premuda y muda y de la etapa de postmuda en la isla San Roque. Las fechas subrayadas con una línea significan el primer día de trabajo de campo (22 de enero) y las fechas con dos líneas el último día de trabajo (26 de junio). El símbolo  $\Delta$  indica la duración de las subetapas y de la postmuda considerando que las observaciones comenzaron después de haber iniciado la premuda y finalizaron antes del término de la muda. El asterisco representa fechas del año 2013. Inicio estimado = fecha en la que  $y > 0.01$ . Fin estimado = fecha en la que  $y > 0.99$ .

	Premuda intermedia		Premuda final		Muda inicial		Muda intermedia		Muda final		Postmuda	
	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est
<b>Inicio</b>	<u>22/01</u>	16/12*	<u>22/01</u>	15/01	11/03	26/02	13/03	25/02	18/03	23/02	24/03	19/03
<b>Máximo</b>	<u>22/01</u>	26/01	26/03	14/03	05/06	31/05	09/06	07/06	10/06	15/06	20/06	27/06
<b>Fin</b>	19/05	25/05	19/06	10/06	<u>26/06</u>	23/06	<u>26/06</u>	26/06	<u>26/06</u>	27/06	<u>26/06</u>	27/06
<b>Duración</b>	16.7 $\Delta$	23	21.1 $\Delta$	20.8	15.3 $\Delta$	16.7	15 $\Delta$	17.3	14.3 $\Delta$	17.7	13.4 $\Delta$	14.3

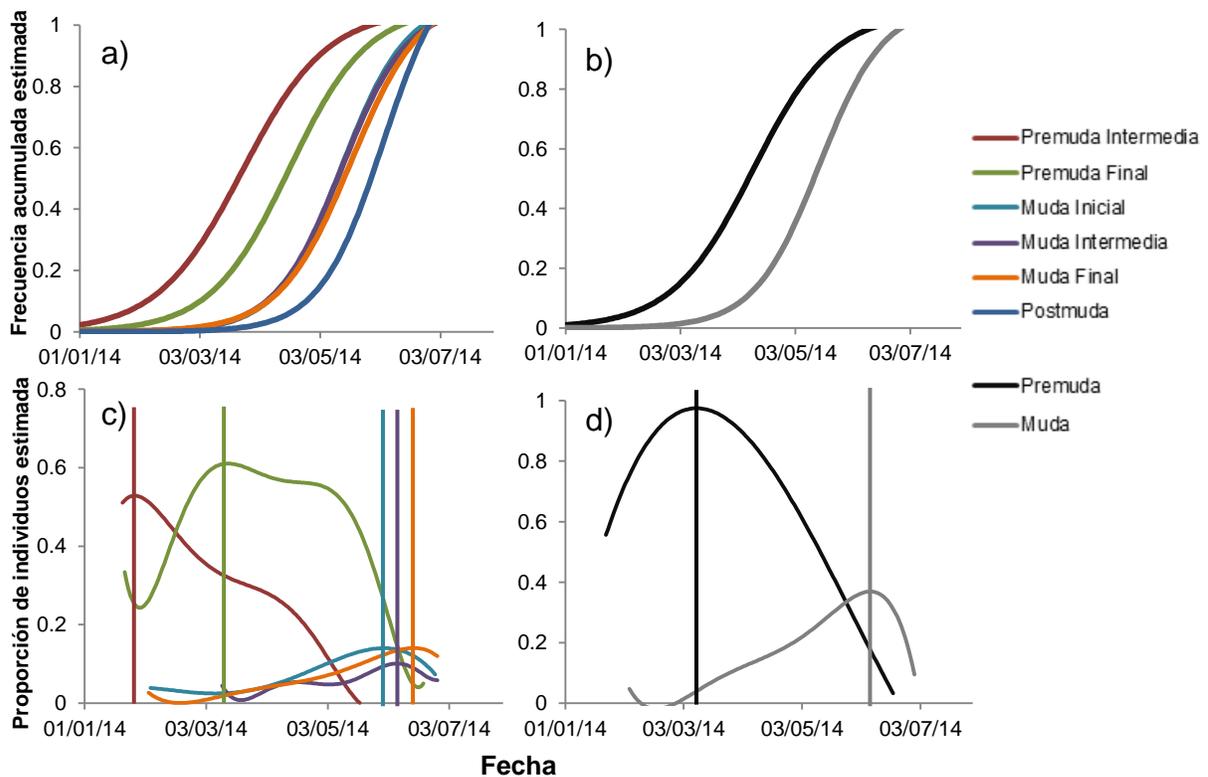


Figura 4. Curvas logísticas (a, b) y regresiones polinomiales (c, d) para obtener las fechas del inicio, máximo y fin de las subetapas (a, c) y las etapas de premuda y muda (b, d) en la isla San Roque. Todas las curvas en (a) y (b) presentan una  $R^2$  de 0.99 excepto la de la premuda intermedia ( $R^2 = 0.98$ ). La raya vertical muestra la fecha del máximo de cada etapa y subetapa. Se utilizaron diferentes grados de polinomios: 7 grados para muda intermedia ( $R^2 = 0.86$ ), 6 grados para premuda final ( $R^2 = 0.82$ ), 5 grados para premuda intermedia, muda y muda final ( $R^2 = 0.94$ ,  $0.81$  y  $0.80$ , respectivamente), 4 grados para muda intermedia ( $R^2 = 0.92$ ) y 3 grados para premuda ( $R^2 = 0.99$ ).

Tabla 5. Fechas (día/mes) observadas (obs) y estimadas (est) del inicio, máximo y fin y la duración (en semanas) de la etapa de premuda (premuda intermedia y final) y de muda (muda inicial, intermedia y final) en la isla San Roque. Las fechas subrayadas con una línea significan el primer día de trabajo de campo (22 de enero) y las fechas con dos líneas el último día de trabajo (26 de junio). El símbolo  $\Delta$  indica la duración de las etapas considerando que las observaciones comenzaron después de haber iniciado la premuda y finalizaron antes del término de la muda. Inicio estimado = fecha en la que  $y > 0.01$ . Fin estimado = fecha en la que  $y > 0.99$ .

	Premuda		Muda	
	<i>Obs</i>	<i>Est</i>	<i>Obs</i>	<i>Est</i>
<b>Inicio</b>	<u>22/01</u>	01/01	28/02	25/02
<b>Máximo</b>	03, 05 y 07/03	10/03	09/06	07/06
<b>Fin</b>	19/06	07/06	<u>26/06</u>	25/06
<b>Duración</b>	21.1 $\Delta$	22.4	16.9 $\Delta$	17.1

### 3.1.2.3 Comparación de las etapas de premuda y muda entre islas

Una vez estimadas las fechas del inicio, máximo y fin de las etapas de premuda y muda de ambas islas, se procedió a realizar una comparación (Tabla 6). Tanto la etapa de premuda como la etapa de muda comenzaron alrededor de dos meses antes en la isla San Roque que en Todos Santos, pero finalizaron casi al mismo tiempo. Por lo tanto, es claro que la duración de ambas etapas es mayor en la isla más sureña, con una diferencia de 7.7 semanas en el caso de la premuda y de 5.2 semanas en el caso de la muda.

Las fechas del máximo de la etapa de premuda mostraron una diferencia de un mes entre San Roque (10 de marzo), donde se registró primero, y Todos Santos (10 de abril), mientras que en el caso de la etapa de muda, el máximo se registró primero en Todos Santos (26 de mayo) y luego en San Roque (7 de junio), aunque las fechas fueron similares (Tabla 6; Fig. 5). Además la etapa de premuda en ambas islas presentó mayores proporciones de individuos, inclusive, en San Roque durante el día del máximo, todos los individuos se encontraron en dicha etapa (Fig. 5). Del mismo modo, en esta isla la diferencia de la proporción de individuos en premuda y muda fue mayor que en Todos Santos.

Tabla 6. Fechas (día/mes) del inicio, máximo y fin y la duración (en semanas) de la etapa de premuda (premuda intermedia y final) y de muda (muda inicial, intermedia y final) en la isla de Todos Santos (ITS) y la isla San Roque (ISR).

	Premuda		Muda	
	ISR	ITS	ISR	ITS
<b>Inicio</b>	01/01	08/03	25/02	18/04
<b>Máximo</b>	10/03	10/04	07/06	26/05
<b>Fin</b>	07/06	19/06	25/06	10/07
<b>Duración</b>	22.4	14.7	17.1	11.9

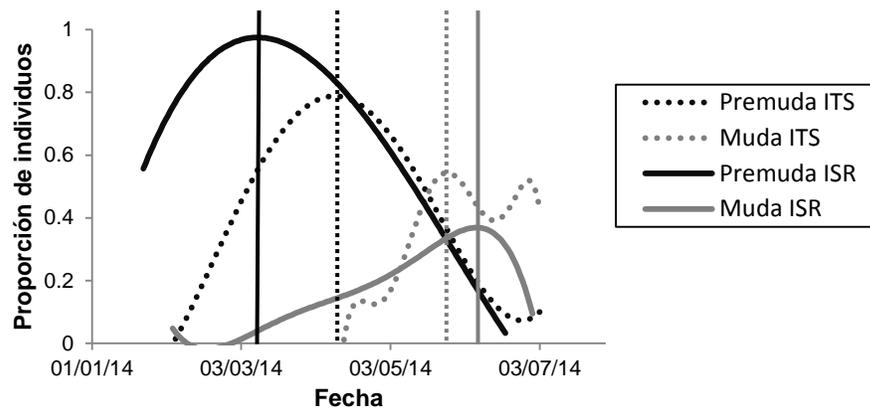


Figura 5. Proporción de individuos estimados en la etapa de premuda (premuda intermedia y final) y de muda (muda inicial, intermedia y final) en la isla de Todos Santos (ITS) y la isla San Roque (ISR). La raya vertical muestra la fecha del máximo de individuos en cada etapa.

Por último, las comparaciones bisemanales de la proporción de individuos mudando en ambas islas indicaron que existieron diferencias estadísticamente significativas durante las últimas dos semanas de abril, cuando hubo mayor proporción de individuos mudando en la isla San Roque ( $t=-3.275$ ,  $p=0.004$ ,  $n=19$ ), y durante las últimas dos semanas de mayo y de junio, cuando hubo mayor proporción de individuos mudando en Todos Santos ( $t=5.416$ ,  $p<0.001$ ,  $n=15$  y  $t=3.197$ ,  $p=0.009$ ,  $n=12$ ; Tabla 7).

Tabla 7. Promedio bisemanal de la proporción total de individuos en la etapa de muda en la isla de Todos Santos (ITS) y la isla San Roque (ISR) y su respectivo valor de  $p$  (\*  $p<0.05$ ).

Días	ITS	ISR	Valor de $p$
19 a 30 de abril	0.10	0.18	$p=0.004^*$
1 a 16 de mayo	0.28	0.25	$p=0.21$
19 a 31 de mayo	0.55	0.31	$p<0.001^*$
1 a 13 de junio	0.42	0.38	$p=0.52$
16 a 26 de junio	0.46	0.28	$p=0.009^*$

### 3.1.3 Cronología de la muda con respecto al sexo y la edad de los individuos

Las curvas logísticas y regresiones polinomiales con las cuales se estimaron las fechas del inicio, máximo y fin de la etapa de muda de añeros, hembras y machos en Todos Santos y San Roque se presentan en los Anexos 1 y 2, respectivamente.

#### 3.1.3.1 Isla de Todos Santos

La etapa de muda varió según el grupo de edad y sexo (añeros, hembras adultas y machos adultos). Los primeros individuos en comenzar y en terminar de mudar fueron las hembras adultas (16 de abril al 25 de junio), seguidos por los añeros (23 de abril al 27 de junio) y por último los machos adultos (4 de mayo al 4 de julio; Tabla 8; Fig. 6a). La fecha del máximo de los tres grupos fue relativamente similar. Al ser las hembras las primeras en mudar, fueron las primeras en alcanzar el máximo (30 de mayo); sin embargo, fueron seguidas por los añeros (1 de junio) y luego por los machos (9 de junio). Las hembras presentaron la etapa de muda más larga (10 semanas), seguidas por los añeros (9.6 semanas) y por último los machos (8.7 semanas; Tabla 8; Fig. 6c).

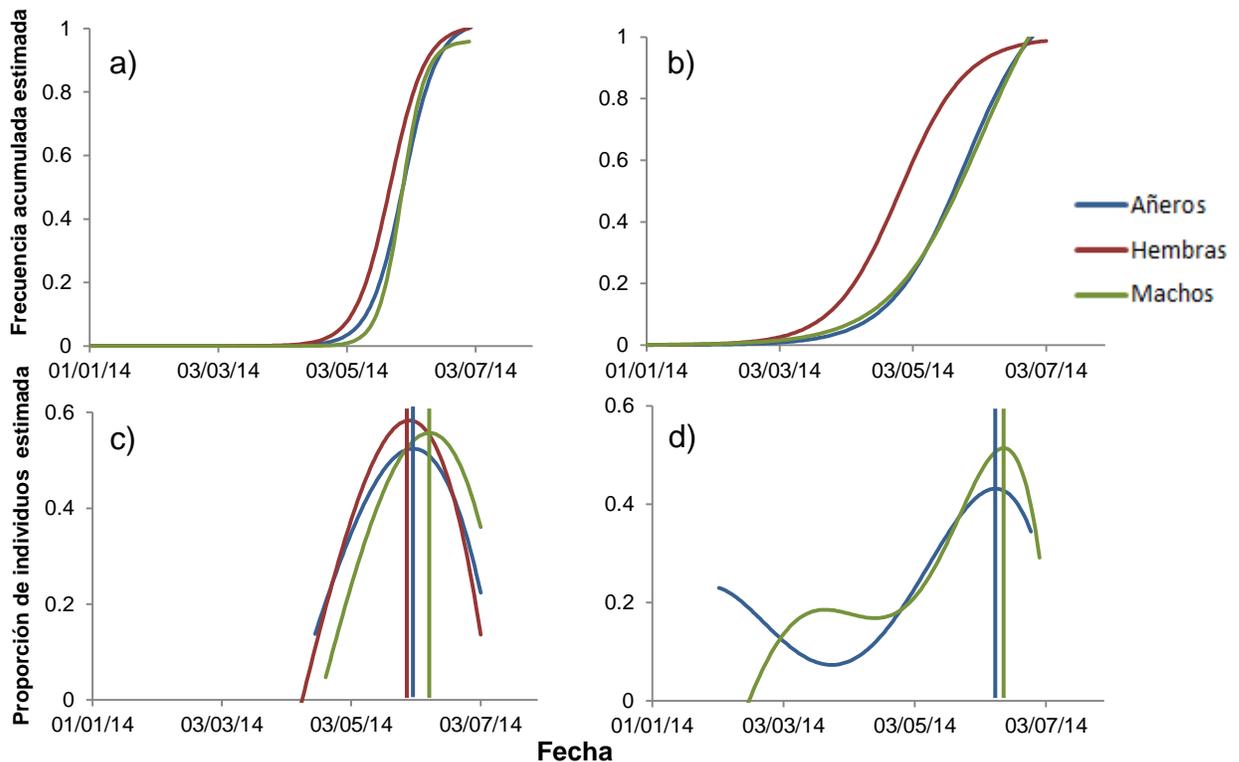
**Tabla 8. Fechas (día/mes) del inicio, máximo y fin y la duración (en semanas) de la etapa de muda (muda inicial, intermedia y final) de añeros, hembras y machos en la isla de Todos Santos (ITS) y la isla San Roque (ISR).**

	Añeros		Hembras		Machos	
	<i>ISR</i>	<i>ITS</i>	<i>ISR</i>	<i>ITS</i>	<i>ISR</i>	<i>ITS</i>
<b>Inicio</b>	07/03	23/04	17/02	16/04	22/02	04/05
<b>Máximo</b>	10/06	01/06	No hay	30/05	13/06	09/06
<b>Fin</b>	26/06	27/06	07/07	25/06	25/06	04/07
<b>Duración</b>	15.9	9.6	20	10	17.6	8.7

#### 3.1.3.2 Isla San Roque

Al igual que en la isla de Todos Santos, las hembras adultas fueron las primeras en comenzar a mudar (17 de febrero), pero fueron las últimas en terminar (7 de julio). Los machos adultos comenzaron poco después que las hembras, el 22 de febrero, y los añeros hasta el 7 de marzo, pero ambos finalizaron con un día de separación, los machos el 25 de junio y los añeros el 26 de junio (Tabla 8; Fig. 6b). Las hembras de

esta isla fueron las únicas que no presentaron un día del máximo; el modelo con mejor ajuste, resultante de la regresión polinomial, presentó una  $R^2$  de 0.14 (ver Anexo 2), lo que quiere decir que este modelo no refleja los datos observados y por ende, que la variación de la proporción de hembras adultas mudando fue similar a lo largo de la etapa, no existiendo un día del máximo en este grupo. No obstante, los añeros y machos alcanzaron el máximo en días similares, primero los añeros el 10 de junio y luego los machos el 13 de junio. El grupo de los añeros presentó la etapa de muda más corta (~16 semanas), seguido por los machos (17.6 semanas) y las hembras (20 semanas; Tabla 8; Fig. 6d).



**Figura 6.** Curvas logísticas (a, b) y regresiones polinomiales (c, d) para obtener las fechas del inicio, máximo y fin de la etapa de muda de añeros, hembras adultas y machos adultos en la isla de Todos Santos (a, c) y la isla San Roque (b, d). Todas las curvas en (a) y (b) presentan una  $R^2$  de 0.99 excepto la de los añeros en Todos Santos ( $R^2 = 0.98$ ). La raya vertical muestra la fecha del máximo de la etapa de muda. Se utilizaron diferentes grados de polinomios: 5 grados para machos en la isla San Roque ( $R^2 = 0.92$ ), 4 grados para añeros en la isla San Roque ( $R^2 = 0.82$ ) y 3 grados para añeros, hembras y machos en la isla de Todos Santos ( $R^2 = 0.91$ ,  $0.90$  y  $0.94$ , respectivamente).

### 3.1.3.3 Comparación entre islas

Las hembras adultas fueron las primeras en comenzar la etapa de muda en ambas islas, pero los añeros y machos adultos variaron; los añeros comenzaron antes que los machos en Todos Santos y después que ellos en San Roque. En la isla de Todos Santos, las hembras fueron las primeras en alcanzar el máximo, pero en San Roque no presentaron un día del máximo (Fig. 6c y d). En ambas islas, los machos fueron los últimos en alcanzar el máximo. El orden en el que las hembras y los machos terminaron de mudar también fue diferente entre ambas islas. En Todos Santos, los primeros individuos en terminar de mudar fueron las hembras, mientras que en San Roque fueron los machos, aunque los tres grupos finalizaron con sólo 10 días de diferencia en Todos Santos y 13, en San Roque (Tabla 8). Los días con la mayor proporción de individuos en la etapa de muda de los añeros y machos fueron similares en ambas islas; los machos de Todos Santos alcanzaron el máximo 4 días antes que los de San Roque, mientras que los añeros alcanzaron el máximo 11 días antes.

En San Roque, la etapa de muda de los tres grupos duró casi el doble que en Todos Santos. Las fechas del inicio de la etapa muestran una diferencia entre islas de casi siete semanas en el caso de los añeros, cerca de ocho semanas en el caso de las hembras y de hasta diez semanas en el caso de los machos; sin embargo, las fechas del fin de la etapa fueron bastante similares, con una diferencia de menos de dos semanas entre islas (Tabla 8).

### 3.1.4 Secuencia de muda dominante

Tanto en Todos Santos como en San Roque se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al número de individuos que presentaron la secuencia de muda tipo I o tipo II en el caso de las hembras, los machos y el total de individuos de las islas, dominando la muda tipo II (Tabla 9). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en el caso de los añeros, por lo que los individuos de este grupo de edad, en ambas islas, no presentaron una secuencia de muda dominante (Tabla 9).

### 3.1.4.1 Comparación de la secuencia de muda dominante entre islas

Si bien en ambas islas la secuencia de muda dominante fue la de tipo II, hubo diferencias significativas entre las islas en cuanto a la proporción de individuos que presentaron cada tipo de muda (tipo I:  $U=785$ ,  $p=0.008$ ,  $n_1=73$ ,  $n_2=32$ ; tipo II:  $U=784.5$ ,  $p=0.008$ ,  $n_1=73$ ,  $n_2=32$ ). En la isla San Roque hay una mayor proporción de individuos en muda tipo II que en la isla de Todos Santos (Tabla 9).

**Tabla 9. Proporción de individuos que presentaron la secuencia de muda tipo I (la muda comienza en la cara y las aletas y luego se extiende a lo largo del cuerpo) o tipo II (orden inverso) en la isla de Todos Santos y la isla San Roque.**

	Isla Todos Santos			Isla San Roque		
	I	II	Prueba de Mann-Whitney	I	II	Prueba de Mann-Whitney
<b>Añeros</b>	0.51	0.49	$U=196$ , $p=0.91$ $n_1=20$ , $n_2=20$	0.45	0.55	$U=574$ , $p=0.12$ $n_1=38$ , $n_2=38$
<b>Hembras</b>	0.12	0.88	$U=46.5$ , $p<0.001$ $n_1=23$ , $n_2=23$	0.04	0.96	$U=80$ , $p<0.001$ $n_1=55$ , $n_2=55$
<b>Machos</b>	0.19	0.81	$U=65$ , $p<0.001$ $n_1=23$ , $n_2=23$	0.11	0.89	$U=201.5$ , $p<0.001$ $n_1=46$ , $n_2=46$
<b>Total</b>	0.19	0.81	$U=190$ , $p<0.001$ $n_1=32$ , $n_2=32$	0.12	0.88	$U=437.5$ , $p<0.001$ $n_1=73$ , $n_2=73$

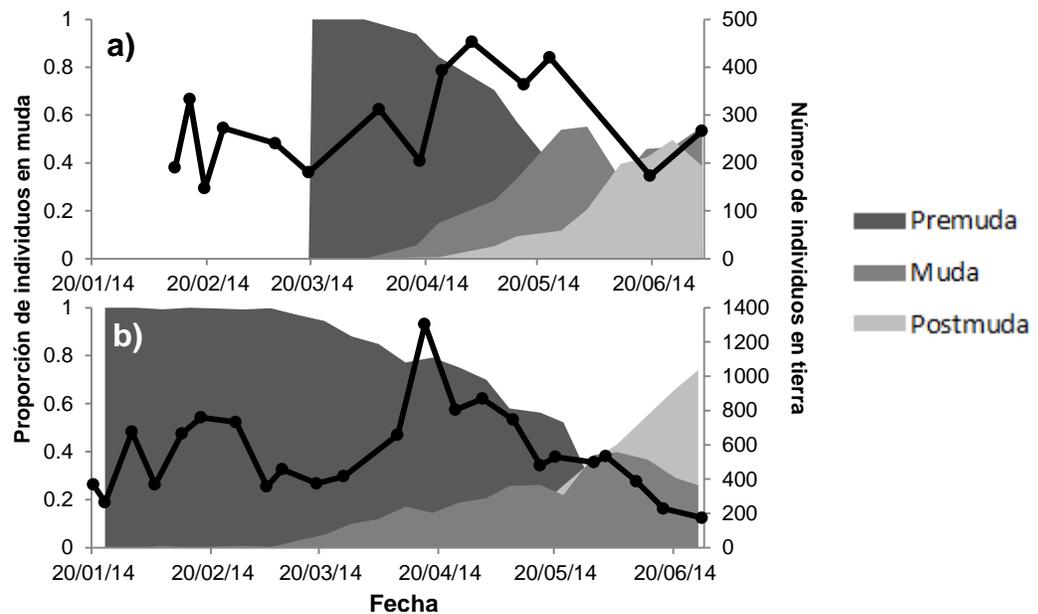
## 3.2 Observaciones desde embarcaciones

### 3.2.1 Relación entre la proporción de individuos mudando y el número de individuos en tierra

En la isla Todos Santos, se llevaron a cabo 14 conteos desde embarcaciones entre el 11 de febrero y el 3 de julio de 2014. A pesar de que se circunnavegaron ambas islas (Norte y Sur), rara vez se observaron individuos en la isla Norte y, cuando ello ocurría, se encontraban dentro del agua. Durante las navegaciones se registraron entre 147 y 453 individuos en tierra. A mediados de febrero se observó la menor cantidad de individuos en tierra mientras que a principios de mayo se observó la mayor cantidad (Fig. 7a). Los modelos polinomiales de la proporción de individuos en las etapas de premuda y muda y del número de individuos en tierra establecieron que el día en que hubo la mayor proporción de individuos en premuda fue el 10 de abril y de muda el 26

de mayo, mientras que el día en que se observó la mayor cantidad de individuos en tierra fue el 2 de mayo, casi un mes antes que la muda (Fig. 8a; Anexos 1 y 2).

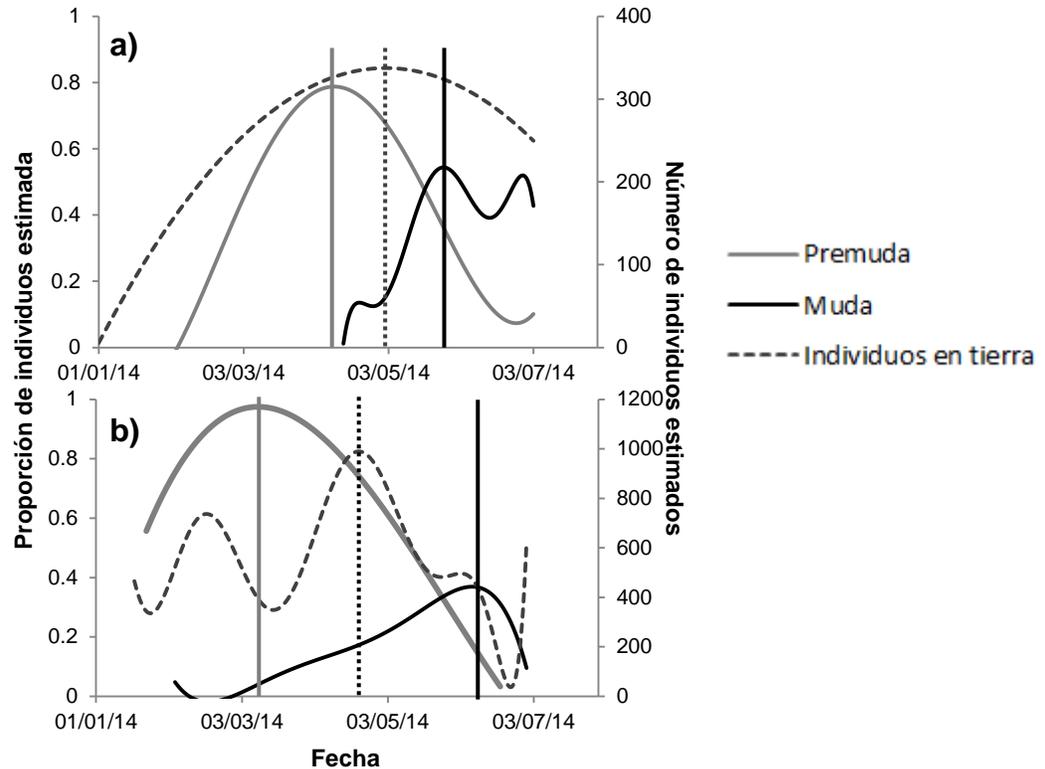
En la isla San Roque se realizaron 23 conteos entre el 20 de enero y el 27 de junio de 2014, y se contaron entre 174 y 1303 individuos en tierra. En el último conteo se observó la menor cantidad de individuos y a mediados de abril se observó el mayor número de individuos en tierra. En general, se observó una mayor cantidad de individuos en San Roque que en Todos Santos a pesar de que esta isla es de menor tamaño (Fig. 7b). Además, a diferencia de Todos Santos, se pueden apreciar dos periodos en que hubo un aumento en la cantidad de individuos, uno al comienzo y otro a mediados del estudio, siendo el segundo el más pronunciado (Fig. 8b; Anexo 3).



**Figura 7. Promedios semanales de la proporción de individuos en muda (sombras) y el número total de individuos en tierra (línea continua) en a) isla de Todos Santos y b) isla San Roque.**

Los máximos de las etapas de premuda y muda y el máximo de los individuos en tierra estuvieron desfasados. Al igual que en la isla de Todos Santos, el día del máximo de individuos en tierra (21 de abril) en San Roque ocurrió aproximadamente 6 semanas después de la etapa de premuda (10 de marzo) y casi 7 semanas antes que el de la muda (7 de junio; Fig. 8b).

En ambas islas los días del máximo de la cantidad de individuos en tierra ocurrió entre el máximo de la etapa de premuda y el de muda. En la isla de Todos Santos los máximos estuvieron separados por 3 semanas, mientras que en la isla San Roque lo estuvieron por aproximadamente 6 semanas.



**Figura 8.** Frecuencia relativa estimada de individuos en la etapa de premuda y de muda (rayas continuas) y número estimado de individuos en tierra (raya punteada) en a) isla de Todos Santos y b) isla San Roque. La raya vertical muestra la fecha del máximo. Se utilizaron diferentes grados de polinomios: 6 y 3 grados para la etapa de premuda en Todos Santos y San Roque, respectivamente ( $R^2 = 0.98$  y  $0.99$ ), 2 y 9 grados para el conteo de individuos en tierra en Todos Santos y San Roque, respectivamente ( $R^2 = 0.92$  y  $0.96$ ), y 6 y 5 grados para la etapa de muda en Todos Santos y San Roque, respectivamente ( $R^2 = 0.88$  y  $0.81$ ).

### 3.3 Presencia de parches negros sin pelo

En ambas islas se observaron individuos con parches negros en el cuerpo que parecían no tener pelo (Anexo 4). Estos parches se observaron en machos, hembras, añeros e, incluso, en un destetado. Los había de distintos tamaños: desde parches muy pequeños en sólo una parte del cuerpo hasta un parche grande que cubría la totalidad de un individuo (Anexo 4). El individuo destetado se capturó y permitió comprobar que los parches carecían de pelo.

## 4. Discusión

---

En este estudio se encontró que el ciclo de muda de las colonias de *Phoca vitulina richardii* de las islas de Todos Santos y San Roque tienen tanto diferencias como similitudes. En esta sección primero se discutirá el ciclo de muda de las focas de esta subespecie a lo largo de un gradiente latitudinal en el océano Pacífico oriental y se compararán las etapas de muda de las colonias en México. Después se analizará el patrón observado de la etapa de muda de los individuos según su sexo y edad, y se discutirá sobre la secuencia de muda dominante de las colonias así como la relación entre la cantidad de individuos en tierra y la proporción de individuos en muda. Por último se comentará sobre los parches negros sin pelo observados en algunos individuos a lo largo del trabajo en campo.

### 4.1 Ciclo de muda

Las fechas del inicio de las subetapas de muda en ambas islas no mostraron un orden progresivo, es decir, la muda final comenzó antes que las demás subetapas (Tablas 2 y 4). Esto podría deberse a que los individuos llegaron a las playas donde fueron registrados en subetapas de muda avanzada, habiendo comenzado a mudar en otros sitios (Cunningham *et al.*, 2009). También podría deberse a que es más fácil detectar individuos en subetapas de muda avanzadas que cuando se encuentran en la fase inicial, ya que la detección de la muda depende, entre otras cosas, del ángulo del observador con respecto al individuo, de que el individuo muestre su cuerpo completo, de si se encuentra mojado o seco, de la cantidad y reflejo de la luz, y del grado de perturbación durante la observación. No obstante, es probable que esta diferencia no es de gran importancia y que los modelos reflejan adecuadamente el inicio de cada subetapa.

Por otra parte, en ambas islas las subetapas de premuda (intermedia y final) fueron más largas y menos sincronizadas que las subetapas de la muda (inicial, intermedia y final). La premuda final comenzó más de 15 días después que la premuda intermedia, mientras que las fechas del inicio de las subetapas de muda fueron muy similares, con

menos de 9 días de diferencia (Tablas 2 y 4). Esto podría deberse a que, a pesar de ser sólo la parte final de toda una serie de cambios fisiológicos del ciclo del pelo (Ling, 1970), la etapa de muda es un proceso que requiere de una gran cantidad de energía y durante el cual se pierde mucho calor (Ling, 1970; Boily, 1995; Bonner, 1999), por lo que es conveniente realizarla en el menor tiempo posible.

Sólo en el caso de la subetapa de premuda final existe información para otra localidad. En 2012, en el Estero de Punta Banda, ubicado a 17 km de la isla de Todos Santos, esta subetapa comenzó un día después que en Todos Santos y concluyó casi 2 semanas después que en la isla, teniendo una duración aproximada de 15 semanas, 2 semanas más que en Todos Santos y 6 semanas menos que en San Roque (Fernández-Martín, 2012). El día con la mayor proporción de individuos en premuda final en el Estero de Punta Banda ocurrió 5 días después que en la isla de Todos Santos y 52 días después que en la isla San Roque. Claramente se observa que la premuda final de la colonia del Estero de Punta Banda presenta más similitudes con la colonia de la isla de Todos Santos que con la de San Roque, lo que se debe a que se encuentran a una latitud similar. Sin embargo, se observa que la premuda dura más en el estero que en Todos Santos. Esto concuerda con lo observado en el estado de Washington, donde la temporada de partos de colonias de aguas interiores (en Puget Sound) dura más que la de las colonias ubicadas a la misma latitud en zonas costeras (Temte *et al.*, 1991).

En vista de que no existe información en cuanto a las fechas del inicio, máximo y fin de las subetapas de premuda y muda de otras colonias, a partir de aquí las comparaciones se realizarán exclusivamente con base en las etapas de premuda (premuda intermedia y final) y muda (muda inicial, intermedia y final).

#### **4.1.1 Ciclo de muda de *P. v. richardii* en el océano Pacífico oriental**

En 2014 la etapa de premuda en la isla de Todos Santos duró aproximadamente 15 semanas, del 8 de marzo al 19 de junio, mientras que en la isla San Roque duró 22 semanas, del 1 de enero al 7 de junio (Tabla 6). Estos datos no son totalmente comparables con lo encontrado por Daniel *et al.*, (2003) en la isla Tugidak en Alaska, ya

que estos autores no mencionan la fecha de inicio de esta etapa. Sin embargo, encontraron que los añeros, los subadultos y las hembras finalizaron la premuda a finales de agosto mientras que los machos terminaron a principios de septiembre. A pesar de que no se conoce con exactitud la duración de esta etapa en la isla Tugidak, se estima que dura aproximadamente entre 13 y 14 semanas, tiempo menor que en las islas mexicanas.

A pesar de que las fechas de la etapa de premuda no son directamente comparables, se puede observar una diferencia latitudinal con respecto a las fechas del máximo y del fin desde la isla San Roque hasta la isla Tugidak (Alaska), ocurriendo primero en las colonias del sur, con una separación de tres meses entre el extremo sur y el extremo norte. Se observa la misma tendencia para la etapa de muda (Fig. 9). La etapa completa de muda de *P. v. richardii* dura de febrero a noviembre. La primera colonia en comenzar la etapa de muda es la de la isla San Roque (en febrero), una de las colonias que se encuentra en la parte más al sur del área de distribución de esta subespecie, seguida por las colonias de la isla de Todos Santos y del Estero de Punta Banda al norte de México (en abril). En el estado de California las colonias inician entre mayo y junio, en Oregon y Washington en julio y en Alaska entre junio y julio (Fig. 9). La población de Puget Sound en el estado de Washington es anómala, ya que comienza a mudar en julio (después de la mayoría de las colonias de Alaska) y termina en noviembre (después de las de Alaska; London *et al.*, 2012). Estos resultados concuerdan con el desfase latitudinal de la época de partos propuesta por Temte *et al.*, 1991 (descrito anteriormente). En la Figura 9 se observa una clina latitudinal en cuanto al inicio de la etapa de muda de México (febrero) a Oregon (julio), aunque no se observa el desfase de 4.1 días de retraso por grado de latitud hacia el norte. En las aguas interiores de Washington la etapa de muda se alarga en comparación con la de las colonias que se encuentran a la misma latitud y en Alaska inicia en julio y agosto y no se observa una clina latitudinal. Esta similitud no es de sorprenderse ya que la temporada de partos y el proceso de muda son cruciales en el ciclo de vida de la especie y deben estar altamente sincronizadas (Ling, 1970; Riedman, 1990).

Es importante considerar que muchos de estos estudios no investigaron el proceso de la muda *per se* y por lo tanto podrían no ser directamente comparables, a excepción de los trabajos de Daniel *et al.* (2003) en la isla Tugidak (Alaska) y Fernández-Martín (2012) en el Estero de Punta Banda (Baja California).

Localidad	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Duración
Bahía de Bristol, Alaska (1)											
Isla Tugidak, Alaska (2)							*	*			12
Canal de Hood, Washington (3)								*	*		
Bahías de Netarts y Tillamook, Oregon (4)											
Punta Reyes, California (5)											
San Francisco, California (6)											
Islas del Canal, California (7)											
Esteros de Punta Banda, Baja California (8)					*	*	*				11.3
Isla de Todos Santos, Baja California (9)					*	*	*				11.9
Isla San Roque, Baja California Sur (9)							*	*			17.1

**Figura 9. Periodo y duración aproximada (en semanas) de la etapa de muda de *P. v. richardii* a lo largo de un gradiente latitudinal de norte a sur en el océano Pacífico oriental. El asterisco indica cuando se registró la mayor proporción de individuos en la etapa de muda. Las casillas en gris oscuro indican los resultados de trabajos que estudiaron el proceso de muda *per se* y las casillas en gris claro indican información sobre la muda producto de observaciones causales y no del todo confiable. Referencias: (1) Simpkins *et al.*, 2003; (2) Daniel *et al.*, 2003; (3) London *et al.*, 2012; (4) Brown y Mate, 1983; (5) Allen *et al.*, 2004; Flynn *et al.*, 2009; Codde *et al.*, 2011; (6) Grigg *et al.*, 2009; (7) Stewart y Yochem, 1994; (8) Fernández-Martín, 2012; (9) este trabajo.**

También se observa una ligera variación latitudinal en cuanto a las fechas que presentan la mayor proporción de individuos en la etapa de muda. La mayor proporción de individuos en muda se observa a finales de mayo y a principios de junio en México, pero hasta finales de julio y durante agosto en Alaska (Fig. 9). Se ha propuesto que la clina latitudinal de la temporada de partos se debe a factores como la disponibilidad de alimento, temperatura, condición corporal o fotoperiodo (Temte *et al.*, 1991), los cuales podrían influenciar también el proceso de la muda; sin embargo, el fotoperiodo parece ser la variable más importante, ya que define el comienzo de la muda (Mo *et al.*, 2000) y la fecha del máximo (Cronin *et al.*, 2014).

En general, en pinnípedos, la duración de la temporada de crías varía según las condiciones climáticas: en zonas donde las estaciones no son tan marcadas la temporada se prolonga mientras que en zonas templadas y en áreas donde el hielo se encuentra estable la temporada es de duración moderada (Riedman, 1990). Partiendo

de la información obtenida de los estudios cuyo objetivo era conocer y describir la muda (i.e. Daniel *et al.*, 2003 y Fernández-Martín, 2012), este patrón no se observa en la etapa de muda de la *P. v. richardii* en el Pacífico oriental (Fig. 9). La etapa de muda dura entre 11 y 12 semanas en las islas de Todos Santos, el Estero de Punta Banda y la isla Tugidak; sin embargo, en San Roque, que representa el extremo sur de la distribución de esta subespecie, dura 17 semanas. La razón de esta mayor duración aún se desconoce

#### **4.1.2 Etapa de muda de *P. v. richardii* en México**

Las colonias del Estero de Punta Banda y de la isla de Todos Santos se encuentran a latitudes similares y separadas por tan sólo 17 km de distancia. Sin embargo, hay evidencias de que podrían encontrarse reproductivamente aisladas (Fernández-Martín, 2012) y que utilizan diferentes zonas de alimentación (Alamán, 2014). Además, Fernández-Martín (en elaboración) encontró que en 2014 la temporada de partos en el Estero de Punta Banda comenzó 22 días después que en la isla de Todos Santos. Por lo tanto, se podría suponer que, a pesar de su cercanía, existen diferencias en las etapas del ciclo de vida de ambas colonias, tal como se observó con la etapa de premuda y las fechas del máximo de la etapa de muda (10 de junio en el Estero de Punta Banda y 26 de mayo en Todos Santos), coincidiendo con el retraso en la temporada de partos (Fernández-Martín, en elaboración). Hay que tomar en cuenta que Fernández-Martín (2012) realizó las observaciones de muda en 2012, por lo que esta comparación no considera las posibles variaciones anuales.

La etapa de muda comenzó tan sólo una semana después en el Estero de Punta Banda que en Todos Santos y tuvo una duración similar (11.3 semanas en Punta Banda y 11.9 en Todos Santos). La colonia de la isla de San Roque comenzó su ciclo de muda 2 meses antes que la de la isla de Todos Santos (Tabla 6). Esto coincide con la clina latitudinal descrita anteriormente (San Roque se encuentra aproximadamente 4° más al sur que la isla de Todos Santos) y podría reflejar las diferencias en el fotoperiodo.

Por otra parte, ambas islas se encuentran afectadas por la corriente de California, la cual genera zonas de surgencias costeras. Las surgencias acarrean aguas

subsuperficiales frías y ricas en nutrientes a la superficie, por lo que estas zonas son altamente productivas (Espinosa *et al.*, 2007; Hernández-Ayón *et al.*, 2007). En 2014, los valores más altos del índice de surgencia cerca de las colonias estudiadas ocurrieron en junio (PFEL, 2015), coincidiendo con el momento del máximo de individuos en muda. Es decir, hay mayor cantidad de individuos en la etapa de muda cuando hay mayor disponibilidad de alimento en la zona, lo que les permite pasar menos tiempo en el mar alimentándose y más tiempo en tierra. Los valores promedio del índice de surgencia durante la primavera no difirieron mucho entre islas: en San Roque fue de  $181 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  por cada 100 m de costa y en Todos Santos, 160 y  $226 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  por cada 100 m de costa (PFEL, 2015). Esto parece descartar a la productividad como un factor que afecte las diferencias en la biología de la foca común en las dos islas.

La dieta tampoco parece diferir entre islas. A finales de mayo y principios de junio de 2014, la dieta de las dos colonias fue muy similar. Ambas colonias compartieron cuatro de las cinco presas principales, aunque su importancia relativa varió entre islas: rocote (*Sebastes* spp.), lagarto lucio (*Synodus lucioceps*), lenguado moteado (*Citharichthys sordidus*) y pulpo (*Octopus* spp.). La otra presa importante no compartida fue el calamar californiano (*Loligo opalescens*) en la isla de Todos Santos y el sapo de aleta lucia (*Porichthys notatus*) en la isla San Roque (Durazo-Rodríguez, en elaboración). A lo largo del año se mantuvo el mismo patrón: ambas colonias se alimentaron de especies similares pero con diferentes índices de importancia (Durazo-Rodríguez, en elaboración).

Al comienzo de la etapa de muda la duración del día (del amanecer al atardecer) fue de 11 horas con 30 minutos en San Roque y casi 13 horas en Todos Santos (González, 2010). Al término de la muda la duración del día fue de 13 horas con 50 minutos en San Roque y poco más de 14 horas en Todos Santos. Sin embargo, durante los días del máximo, el fotoperiodo fue similar en ambas islas: 13 horas con 47 minutos en San Roque y 13 horas con 59 minutos en Todos Santos (González, 2010). Esto coincide con lo observado por Mo y colaboradores (2000) quienes encontraron que el fotoperiodo requerido por la foca común para llevar a cabo su muda es de un mínimo de 8 horas con 53 minutos y un máximo de 15 horas con 31 minutos (Mo *et al.*, 2000).

Con esto se podría pensar que las colonias de ambas islas se rigen por diferentes fotoperiodos; sin embargo, podría existir un fotoperiodo óptimo que es cuando la mayor cantidad de individuos se encuentra en muda.

## **4.2 Cronología de la etapa de muda con respecto al sexo y la edad de los individuos**

Debido al poco dimorfismo sexual que presenta esta especie fue muy difícil determinar la edad y sexo de una gran cantidad de individuos. Se ha propuesto que el desfase de la muda según el sexo y la edad se debe a diferencias en el comportamiento y en las demandas energéticas de la temporada reproductiva. Por lo tanto, en general, los añeros son los primeros en comenzar a mudar, seguidos por los subadultos, luego las hembras adultas y por último los machos adultos (Thompson y Rothery, 1987; Daniel *et al.*, 2003; Cronin *et al.*, 2014). Este patrón no se observó en las islas estudiadas, ya que fueron las hembras las que iniciaron su muda primero (Tabla 8; Fig. 6). El hecho de que no haya sido posible clasificar los subadultos y que se hayan registrado dentro de las categorías de hembras o machos podría haber influenciado este resultado al unificar la muda de individuos inmaduros con la de los adultos.

En Todos Santos los machos fueron los últimos en mudar, lo cual concuerda con lo observado en Alaska, Escocia e Irlanda (Thompson y Rothery, 1987; Daniel *et al.*, 2003; Cronin *et al.*, 2014). En San Roque, sin embargo, los añeros fueron los últimos en comenzar a mudar; en ocasiones, esto sucede cuando tienen una condición corporal baja (Ling, 1970). Por otro lado, las hembras fueron las primeras en comenzar a mudar y las últimas en terminar y no tuvieron un día del máximo. Una explicación de esto es que esta categoría abarcó hembras subadultas, hembras reproductivas exitosas y hembras reproductivas no exitosas. Si el patrón observado en Alaska (Daniel *et al.*, 2003), Escocia (Thompson y Rothery, 1987) e Irlanda (Cronin *et al.*, 2014) rigiera en México, las primeras hembras que se registraron mudando serían las subadultas y las hembras reproductivas no exitosas; las últimas, las hembras reproductivas exitosas.

Es posible que el nivel de sincronización del ciclo de vida según el sexo y edad de la foca común no sea tan marcado en zonas de latitudes bajas, donde las condiciones climáticas son menos variables a lo largo del año. Dada la pequeña proporción de individuos que fue posible clasificar durante las observaciones, se sugiere llevar a cabo observaciones de individuos previamente marcados que se les conoce su sexo, edad y estado reproductivo para comprobar si los patrones observados durante el estudio son correctos o si se deben a un muestreo incompleto o a errores de observación.

### 4.3 Secuencia de muda dominante

La secuencia de muda dominante en diversas especies de pinnípedos, como el lobo marino de Nueva Zelanda (*Phocarctos hookeri*; McConkey *et al.*, 2002), el elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*; Worthy *et al.*, 1992) y del sur (*Mirounga leonina*; Boyd *et al.*, 1993), la foca monje del Mediterráneo (*Monachus monachus*; Badosa *et al.*, 2006) y la foca común (Riviere *et al.*, 1977; Daniel *et al.*, 2003) es la de tipo I (comienza en la cabeza y las aletas y finaliza en el tronco y el vientre), aunque hay lugares, como el suroeste de Irlanda, donde la foca común no presenta una clara secuencia dominante (Cronin *et al.*, 2014). En las colonias de foca común del Estero de Punta Banda (Fernández-Martín, 2012) y de las islas de Todos Santos y San Roque, la secuencia dominante fue la de tipo II (la muda comienza primero en el tronco y el vientre y finaliza en la cabeza y las aletas; Tabla 9).

Se ha propuesto que la secuencia de muda tipo II, donde se retiene el pelo en las aletas y en la cara para evitar perder una gran cantidad de energía, es un indicador de baja condición corporal, ya que se ha observado en crías abandonadas prematuramente de la foca gris (*Halichoerus grypus*) y la foca de Groenlandia (*Pagophilus groenlandicus*; Lydersen *et al.*, 2000), especies que se encuentran a latitudes altas donde el lanugo de las crías juega un papel crucial en la retención de calor (Riedman, 1990; Yochem y Stewart, 2009). La foca común, sin embargo, muda el lanugo dentro del útero, ya que no funciona como buen aislante contra el frío del agua al cual entran minutos después de su nacimiento (Riedman, 1990; Yochem y Stewart,

2009). Por lo tanto, la muda tipo II podría no ser reflejo del estado nutricional de esta especie (Fernández-Martín, 2012; Cronin *et al.*, 2014).

Por otro lado, por medio de termografía infrarroja, Mauck *et al.* (2003) encontraron que la temperatura del cuerpo de diversas especies de focas en tierra varía según su posición: la parte del cuerpo en contacto con el piso presenta la misma temperatura que éste, mientras que en la parte del cuerpo en contacto con el aire se generan “ventanas termales”, donde la temperatura aumenta para regular el calor corporal. En cuatro individuos de *P. vitulina*, cuando la temperatura del aire era baja (5–12°C), al salir del agua, las ventanas termales aparecieron primero en la cabeza, cuello y las aletas posteriores de la foca, pero cuando la temperatura era más elevada (32–36°C), estas ventanas se expandieron rápidamente a otras partes del cuerpo y fueron de mayor tamaño (Mauck *et al.*, 2003). Cuando la temperatura del aire fue más alta, las ventanas aparecieron momentos después de salir del agua mientras que a temperaturas menores tardaron entre 7 y 51 minutos en surgir (Mauck *et al.*, 2003). Por lo tanto, debido a que se requiere una temperatura elevada para mudar (Boily, 1995), la diferencia en la secuencia de muda se podría atribuir a diferencias en la temperatura ambiental. En zonas donde la temperatura ambiental es más baja (latitudes altas), la muda podría comenzar en la cabeza y aletas (tipo I) y en zonas donde la temperatura ambiental es mayor (latitudes más bajas), la pérdida de pelo podría comenzar en otras partes del cuerpo, finalizando en las extremidades (tipo II; Fernández-Martín, 2012). Esto explicaría el gradiente latitudinal que se observa en la secuencia de muda entre Alaska (donde la secuencia de muda dominante es la tipo I) y la isla San Roque (secuencia de muda dominante tipo II).

Asimismo, se encontró una diferencia en la secuencia de muda dominante según la edad de los individuos (Tabla 9). Los adultos mostraron una clara secuencia dominante (tipo II) pero los añeros no, contrario a lo observado en Alaska, donde se observó que todos los añeros y subadultos presentaron muda tipo I y fueron los adultos los que tuvieron mayor variación individual (Daniel *et al.*, 2003). El que los añeros no hayan mostrado una secuencia dominante se podría atribuir a una baja condición corporal o a que, al no encontrarse influenciados por las demandas energéticas del ciclo

reproductivo (Thompson y Rothery, 1987; Daniel *et al.*, 2003) pueden llevar a cabo cualquier secuencia de muda.

El conocer la secuencia en la que mudan los individuos es útil para evitar la pérdida de dispositivos electrónicos que se utilizan para distintos estudios de esta especie, ya que suelen colocarse en el pelo, el cual se cae durante la muda (Lowry *et al.*, 2001; Grigg *et al.*, 2009; London *et al.*, 2012). En las islas mexicanas, se sugiere que la colocación de aparatos se lleve a cabo en mayo y junio y que sean colocados en la cabeza de los adultos cuando éstos estén completamente mudados para así tener un mayor rendimiento y para que provean mayor información. Además, el comienzo de la muda podría ser un buen indicador para intentar recuperar los dispositivos antes de que se pierdan en el mar.

#### **4.4 Relación entre la proporción de individuos mudando y el número de individuos en tierra**

Por medio de los conteos diarios y semanales se encontró que, en general, la isla San Roque alberga a una mayor cantidad de individuos que la isla de Todos Santos, lo cual concuerda con lo hallado por Lubinsky (2010). Esto podría deberse a que, como se mencionó anteriormente, en la isla San Roque sólo habita esta especie de pinnípedo, mientras que en Todos Santos también se encuentran el lobo marino de California (*Zalophus californianus*) y, en menor medida, el elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*; Arias, 2011) los cuales generan competencia por recursos (Lubinsky, 2010). Además San Roque se encuentra más alejada de asentamientos humanos, dentro de la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno, y es vigilada constantemente por la cooperativa pesquera “California de San Ignacio” por lo que es menos impactada y perturbada por actividades antropogénicas que Todos Santos (Samaniego-Herrera *et al.*, 2007; Lubinsky, 2010).

Durante los conteos, la cantidad de individuos observados en tierra varió fuertemente. Se conoce que los mejores momentos para llevar a cabo censos de individuos en tierra son: (1) durante la temporada de crianza, cuando las hembras pasan mayor cantidad

de tiempo en tierra alimentando a sus crías, los machos se congregan para comenzar el apareamiento y ocurre un aumento en la población debido a los nacimientos (Brown y Mate, 1983; Huber *et al.*, 2001; Jemison y Kelly, 2001; Lubinsky, 2010); y (2) durante la temporada de muda (Calambokidis *et al.*, 1978; Brown y Mate, 1983; Thompson *et al.*, 1989; Stewart y Yochem, 1994; Jemison y Kelly, 2001; Codde *et al.*, 2011; Fernández-Martín, 2012; Paterson *et al.*, 2012; Cronin *et al.*, 2014), cuando los individuos deben mantener una temperatura superficial de la piel alta para el crecimiento óptimo del pelo y para minimizar el costo energético de todo el proceso (Feltz y Fay, 1966; Boily, 1995; Paterson *et al.*, 2012).

En este trabajo, el momento en que se contabilizó una mayor cantidad de individuos en tierra sucedió primero en San Roque, el 21 de abril, y posteriormente en Todos Santos, el 2 de mayo. En San Roque, a diferencia de Todos Santos, hubo dos periodos en que hubo un aumento en la cantidad de individuos (Fig. 8), uno al comienzo y otro a mediados del estudio, siendo el segundo el más pronunciado. Este primer aumento podría corresponder a la temporada de crías (Jemison y Kelly, 2001; Fernández-Martín, 2012) y posiblemente no fue registrado en Todos Santos, ya que las observaciones comenzaron a finales de la temporada reproductiva. En ambas islas, el máximo número de individuos en tierra ocurrió entre el máximo de la proporción de individuos en premuda y en muda (Fig. 8). En Todos Santos, el día en que se registró la mayor cantidad de individuos en tierra, 75% de los individuos se encontraban en etapa de premuda, 23% en etapa de muda y 2% en etapa de postmuda, mientras que en San Roque, 80% se encontraban en etapa de premuda, 17% en etapa de muda y 3% en etapa de postmuda.

Los hallazgos en este estudio difieren de lo observado en Irlanda y Alaska donde se encontró que el momento cuando hubo una mayor cantidad de individuos en tierra fue cuando la mayor proporción de individuos se encontraba en etapa de muda (Daniel *et al.*, 2003; Cronin *et al.*, 2014). Conforme la mayoría de los individuos completaba su muda, se observó una clara disminución en la cantidad de individuos en tierra, lo cual coincide con estudios que registran que, ya terminada la muda, los individuos no

regresan a tierra tan frecuentemente y permanecen por periodos más cortos de tiempo (Thompson *et al.*, 1989; Lubinsky, 2010; Fernández-Martín, 2012).

Muchos estudios que pretenden estimar la abundancia de colonias se realizan durante la temporada de muda (Boveng *et al.*, 2003; Allen *et al.*, 2004; Lowry *et al.*, 2008; Flynn *et al.*, 2009; Fernández-Martín, 2012); sin embargo, el número de individuos en tierra varía considerablemente durante esta temporada. Por lo tanto, se recomienda que los censos de la población se realicen en varias ocasiones durante un tiempo relativamente amplio y no en un solo día (Calambokidis *et al.*, 1978; Stewart y Yochem, 1994) o que se lleven a cabo estudios previos como éste para conocer el momento preciso en que se congrega la mayor cantidad de individuos en tierra en relación con su temporada de muda. En Alaska, por ejemplo, el número de individuos observados se redujo 85% en un periodo de 3 semanas (Mathews y Kelly, 1996).

Estos resultados sugieren que las mejores fechas para realizar conteos de *P. v. richardii* en México son a finales de abril en las islas más sureñas de su distribución, como San Roque y Asunción, y a principios de mayo en las islas más al norte, como Todos Santos y Coronados, cuando comienza la etapa de muda de las colonias. Aunque, la ventana favorable para el conteo en el Estero de Punta Banda va de principios de mayo a principios de junio (Fernández-Martín, 2012).

#### **4.5 Presencia de parches negros sin pelo**

No se encontró información en la literatura acerca de los parches negros sin pelo que fueron observados en varias de las focas en ambas islas. La pérdida de pelo se ha observado también en focas del Ártico, pero aún se desconoce su causa (Frances Gulland, The Marine Mammal Center, Sausalito, California, com. pers.). En la foca común, estos parches anómalos no parecieran tener relación con el proceso de muda ya que, si fuera el caso, los destetados, que no mudan, no los tendrían. Por otro lado, los parches podrían deberse a alguna enfermedad infecciosa o a cambios hormonales (Frances Gulland, The Marine Mammal Center, Sausalito, California, com. pers.).

## 5. Conclusiones

---

- En 2014, la etapa de premuda de *P. v. richardii* en la isla de Todos Santos duró aproximadamente 15 semanas, del 8 de marzo al 19 de junio, mientras que en la isla San Roque duró 22 semanas, del 1 de enero al 7 de junio.
- La etapa de muda en 2014 duró 12 semanas en Todos Santos, del 18 de abril al 10 de julio, y 17 semanas en San Roque, del 25 de febrero al 25 de junio.
- La información obtenida en este estudio coincide con la clina latitudinal documentada previamente para la temporada de nacimientos en el Pacífico nororiental. Las colonias que habitan latitudes más al sur comienzan a mudar antes que las del norte.
- La mayor proporción de individuos en muda en ambas islas coincidió con las fechas en que se registraron los mayores índices de surgencia del año en cada zona.
- En ambas islas, las hembras fueron las primeras en comenzar a mudar. En Todos Santos los añeros fueron los segundos en comenzar a mudar y los machos los últimos, mientras que en San Roque los machos fueron los segundos y los añeros los últimos.
- La secuencia de muda dominante fue la de tipo II en ambas islas, con una proporción mayor de individuos en San Roque que en Todos Santos. Esto sugiere que existe una clina latitudinal en cuanto a la secuencia de muda, la secuencia de muda tipo I predominando en las colonias de más al norte (Alaska) y a medida que disminuye la latitud, la de tipo II se vuelve dominante.
- Se sugiere que los estudios en que es necesario colocar aparatos electrónicos en las focas de colonias mexicanas se lleven a cabo entre los meses de mayo y junio, y que los aparatos sean colocados en la cabeza de los adultos cuando éstos hayan mudado completamente para minimizar el riesgo de pérdida.

- El día en que se observó la mayor cantidad de individuos en tierra no coincidió con el día en que se registró la mayor proporción de individuos en muda.
- Con base en este estudio, los periodos óptimos para realizar conteos de la mayoría de las colonias de *P. v. richardii* en México son a finales de abril en las islas ubicadas más al sur de su distribución, como San Roque y Asunción, y a principios de mayo en las islas ubicadas más al norte, como Todos Santos y Coronados, cuando comienza la etapa de muda y cuando hay una gran proporción de individuos en premuda. Dado que el número de individuos en tierra varía considerablemente de un día a otro, se recomienda llevar a cabo varios conteos durante los periodos óptimos.

## Lista de referencias bibliográficas

- Aguilar-Rosas, R., Aguilar-Rosas, L., Ávila Serrano, G., González Yajimovich, O. y Becerril-Bobadilla, F. (2010). Macroalgas submareales de la bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(3), 601-618.
- Alamán, R. (2014). *Hábitos alimentarios de la foca de puerto, Phoca vitulina richardsi, en la Bahía Todos Santos, Baja California, México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. 79 p.
- Allen, B. M. and Angliss, R. P. (2013). *Alaska marine mammal stock assessments, 2012*. NOAA Technical Memorandum NMFS-AFSC-245. NOAA. 291 pp.
- Allen, S., Waber, S., Holter, W. and Press, D. (2004). *Long-term monitoring of harbor seals at Point Reyes, California*. 5-year annual report 1997-2001. Point Reyes National Seashore. 66 pp.
- Arias, A. (2011). *Uso de hábitat por cuatro especies de pinnípedos en las islas al occidente de Baja California*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 141 p.
- Ashwell-Erickson, S., Fay, F. H., Elsner, R. and Wartzok, D. (1986). Metabolic and hormonal correlates of molting and regeneration of pelage in Alaskan harbor and spotted seals (*Phoca vitulina* and *Phoca largha*). *Canadian Journal of Zoology*, 64(5), 1086-1094.
- Atkinson, S., Arnould, J. P. Y. and Mashburn, K. L. (2011). Plasma cortisol and thyroid hormone concentrations in pre-weaning Australian fur seal pups. *General and comparative endocrinology*, 172(2), 277-281.
- Badosa, E., Pastor, T., Gazo, M. and Aguilar, A. (2006). Moulting in the Mediterranean monk seal from Cap Blanc, western Sahara. *African Zoology*, 41(2), 183-192.
- Berta, A. (2009). Pinnipedia, Overview. In: W. F. Perrin, B. Wursig and J. G. Thewissen (Eds.). *Encyclopedia of Marine Mammals*. (pp. 878-885). Academic Press.
- Berta, A., Sumich, J. and Kovacs, K. (2006). *Marine Mammals: Evolutionary Biology*. (2<sup>nd</sup> ed). (547 pp.). San Diego: Elsevier.

- Boily, P. (1995). Theoretical heat flux in water and habitat selection of phocid seals and beluga whales during the annual molt. *Journal of Theoretical Biology*, 172(3), 235-244.
- Boily, P. (1996). Metabolic and hormonal changes during the molt of captive gray seals (*Halichoerus grypus*). *American Journal of Physiology*, 270(5 Pt 2), 1051-1058.
- Boness, D. J., Bowen, W. D., Buhleier, B. M. and 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.
- Bonner, N. (1999). *Seals and Sea Lions of the World*. (224 pp.). London: Blandford.
- Boulva, J. and McLaren, I. A. (1979). Biology of the harbor seal, *Phoca vitulina*, in Eastern Canada. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 200, 1-24.
- Boveng, P. L., Bengtson, J. L., Withrow, D. E., Cesarone, J. C., Simpkins, M. A., Frost, K. J. and Burns, J. J. (2003). *Marine Mammal Science*, 19(1), 111-127.
- Bowen, W. D. (1997). Role of marine mammals in aquatic ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 158, 267-274.
- Bowen, W. D., Beck, C. A. and Austin, D. A. (2009). Pinniped Ecology. In: W. F. Perrin, B. Wursig and J. G. Thewissen (Eds.). *Encyclopedia of Marine Mammals*. (pp. 852-861). Academic Press.
- Boyd, I., Arnbom, T. and Fedak, M. (1993). Water flux, body composition, and metabolic rate during molt in female southern elephant seals (*Mirounga leonina*). *Physiological Zoology*, 66(1), 43-60.
- Brown, R. F. and Mate, B. R. (1983). Abundance, movements, and feeding habitats of harbor seals, *Phoca vitulina*, at Netarts and Tillamook Bays, Oregon. *Fishery Bulletin*, 81(2), 291-301.
- Burns, J. (2009). Harbor seal and spotted seal. In: W. F. Perrin, B. Wursig and J. G. Thewissen (Eds.). *Encyclopedia of Marine Mammals*. (pp. 533-541). Academic Press.
- Calambokidis, J., Bowman, K., Carter, S., Cabbage, J., Dawson, P., Fleischner, T., Schuett-Hames, J., Skidmore, J. and Taylor, B. (1978). *Chlorinated hydrocarbon concentrations and the ecology and behavior of harbor seals in Washington state waters*. The Evergreen State College. 123 p.

- Carretta, J. V., Oleson, E., Weller, D. W., Lang, A. R., Forney, K., A, Baker, J., Hanson, B., Martien, K., Muto, M. M., Orr, A. J., Huber, H. R., Lowry, M. S., Barlow, J., Lynch, D., Carswell, L., Brownell, R. L. and Mattila, D. K. (2014). *U.S. Pacific marine mammal stock assessments, 2013*. NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC-532. NOAA. 384 pp.
- Codde, S., Press, D., Roberts, D. and Allen, S. (2011). *Pacific harbor seal (Phoca vitulina richardsi) monitoring at Point Reyes National Seashore and Golden Gate National Recreation Area*. 2010 Annual Report. National Park Service. 46 pp.
- Committee on Taxonomy. (2014). *List of marine mammal species and subspecies*. Society for Marine Mammalogy. Recuperado el 30 de julio de 2015, de: [www.marinemammalscience.org](http://www.marinemammalscience.org).
- Cronin, M., Gregory, S. and Rogan, E. (2014). Moulting phenology of the harbour seal in south-west Ireland. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 94(6), 1079-1086.
- Cunningham, L., Baxter, J. M., Boyd, I., Duck, C., D., Lonergan, M., Moss, S. E. and McConnell, B. J. (2009). Harbour seal movements and haul-out patterns: implications for monitoring and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 19, 398-407.
- Daniel, R. G., Jemison, L. A., Pendleton, G. W. and 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)*. DFO Canadian Science Advisory Secretariat Science Advisory Report 2009/011. 10 pp.
- Donlan, J., Croll, D. and Tershy, B. (2003). Islands, exotic herbivores, and invasive plants: Their roles in coastal California restoration. *Society for Ecological Restoration International*, 8(4), 524-530.
- Donlan, J., Tershy, B., Keitt, B., Wood, B., Sánchez, J. Á., Weinstein, A., Croll, D., Hermosillo, M. Á. and Aguilar, J. L. D. R. Browne, K. L. Mitchell and H. W. Chaney (Eds.). *Island conservation action in northwest Mexico*. Proceedings of the Fifth California Islands Symposium in Santa Barbara, California, 2000. Santa Barbara Museum of Natural History.
- Durazo-Rodríguez, P. (en elaboración). *Variación espacio-temporal de los hábitos alimentarios de la foca de puerto (Phoca vitulina richardii) en México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California.

- Espinosa, T. L., Cepeda, J. C. A. y Gaxiola, G. (2007). Influencia de los procesos físicos en la producción de carbono orgánico frente a Baja California. En: B. Hernández y G. Gaxiola (Eds.). *Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México*. (pp. 293-304). Instituto Nacional de Ecología.
- Estes, J. E. (2009). Ecological effects of marine mammals. In: W. F. Perrin, B. Wursig and J. G. Thewissen (Eds.). *Encyclopedia of Marine Mammals*. (pp. 357-361). Academic Press.
- Feltz, E. T. and Fay, F. H. (1966). Thermal requirements *in vitro* of epidermal cells from seals *Cryobiology*, 3(3), 261-264.
- Fernández-Martín, E. (2012). *Fenología de los nacimientos y de la muda de Phoca vitulina richardsi (Gray, 1864) en el Estero de Punta Banda, B.C., México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 98 p.
- Fernández-Martín, E. (en elaboración). *Estructura genética poblacional, fenología de los nacimientos y estado de salud de las crías de Phoca vitulina richardii en México*. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California.
- Flynn, E., Press, D., Codde, S., Roberts, D. and Allen, S. (2009). *Pacific harbor seal (Phoca vitulina richardsi) monitoring at Point Reyes National Seashore and Golden Gate National Recreation Area*. 2008 Annual Report. National Park Service. 38 pp.
- Gallivan, G. J. and Ronald, K. (1979). Temperature regulation in freely diving harp seals (*Phoca groenlandica*). *Canadian Journal of Zoology*, 57(11), 2256-2263.
- Gallo, J. P. (2000). Familia Phocidae. En: S. T. Alvarez-Castañeda y J. L. Patton (Eds.). *Mamíferos del noroeste de México*. (pp. 781-787). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- González, J. I. (2010). Programa MAR V1.0 Predicción de Mareas en México. Oceanografía Física. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Recuperado de: <http://predmar.cicese.mx/marques.html>
- Grigg, E., Allen, S. A., Craven-Green, D. E., Klimley, A. P., Markowitz, H. and Elliott-Fisk, D. L. (2012). Foraging distribution of Pacific harbor seals (*Phoca vitulina richardii*) in a highly impacted estuary. *Journal of Mammalogy*, 93(1), 282-293.

- Grigg, E., Klimley, A. P., Green, D. E., Elliott-Fisk, D. L. and Markowitz, H. (2009). Spatial and seasonal relationships between Pacific harbor seals (*Phoca vitulina richardii*) and their prey, at multiple scales. *Fishery Bulletin*, 107(3), 359-372.
- Hayes, S. A., Costa, D. P., Harvey, J. T. and LeBouef, B. (2004). Aquatic mating strategies of the male pacific harbor seal (*Phoca vitulina richardii*): Are males defending the hotspot? *Marine Mammal Science*, 20(3), 639-656.
- Hernández-Ayón, J. M., Camacho-Ibar, V. F., Mejía-Trejo, A. y Cabello-Pasini, A. (2007). Variabilidad del CO<sub>2</sub> total durante eventos de surgencia en bahía San Quintín, Baja California, México. En: B. Hernández y G. Gaxiola (Eds.). *Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México*. (pp. 439-450). Instituto Nacional de Ecología.
- Huber, H. R., Jeffries, S. J., Brown, R. F., DeLong, R. L. and VanBlaricom, G. (2001). Correcting aerial survey counts of harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) in Washington and Oregon. *Marine Mammal Science*, 17(2), 276-293.
- Hyams, D. G. (2014). CurveExpert Professional, versión 2.2. Recuperado de: <http://www.curveexpert.net>.
- Jefferson, T., Webber, M. and Pitman, R. (2008). *Marine Mammals of the World. A Comprehensive Guide to their Identification*. (573 pp.). London: Academic Press.
- Jemison, L. and Kelly, B. (2001). Pupping phenology and demography of harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) on Tugidak island, Alaska. *Marine Mammal Science*, 17(3), 585-600.
- John, T. M., Ronald, K. and George, J. C. (1987). Blood levels of thyroid hormones and certain metabolites in relation to moult in the harp seal (*Phoca groenlandica*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 88(4), 655-657.
- King, J. (1964). *Seals of the world*. (154 pp.). London: British Museum (Natural History).
- Ling, J. (1970). Pelage and molting in wild mammals with special reference to aquatic forms. *The Quarterly Review of Biology*, 45(1), 16-54.
- Ling, J. (2012). The skin and hair of the southern elephant seal, *Mirounga leonina* (Linn.). IV. Annual cycle of pelage follicle activity and moult. *Australian Journal of Zoology*, 60(4), 259-271.
- Liwanag, H. E. M., Berta, A., Costa, D. P., Budge, S. M. and Williams, T. M. (2012). Morphological and thermal properties of mammalian insulation: the evolutionary

- transition to blubber in pinnipeds. *Biological Journal of the Linnean Society*, 107(4), 774-787.
- London, J. M., Ver Hoef, J. M., Jeffries, S. J., Lance, M. M. and Boveng, P. (2012). Haul-out behavior of harbor seals (*Phoca vitulina*) in Hood Canal, Washington. *PLoS ONE*, 7(6), e38180.
- Lowry, L. F., Frost, K. J., VerHoef, J. M. and 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.
- Lowry, M. S., Carretta, J. V. and Forney, K., A. (2008). Pacific harbor seal census in California during may–july 2002 and 2004. *California Fish and Game*, 94(4), 180-193.
- Lubinsky, D. (2010). *Estado actual de la foca común del Pacífico oriental (Phoca vitulina richardsi), en México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. 147 p.
- Lydersen, C., Kovacs, K. and Hammill, M. O. (2000). Reversed molting pattern in starveling gray (*Halichoerus grypus*) and harp (*Phoca groenlandica*) seal pups. *Marine Mammal Science*, 16(2), 489-493.
- Maravilla-Chávez, M. O. y Lowry, M. S. (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.
- Mathews, E. and Kelly, B. (1996). Extreme temporal variation in harbor seal (*Phoca vitulina richardsi*) numbers in Glacier bay, a glacial fjord in southeast Alaska. *Marine Mammal Science*, 12(3), 483-489.
- Mauck, B., Bilgmann, K., Jones, D. D., Eysel, U. and Dehnhardt, G. (2003). Thermal windows on the trunk of hauled-out seals: hot spots for thermoregulatory evaporation? *The Journal of Experimental Biology*, 206, 1727-1738.
- McConkey, S., Lalas, C. and Dawson, S. (2002). Moults and changes in body shape and pelage in known-age male New Zealand sea lions (*Phocartos hookeri*). *New Zealand Journal of Zoology*, 29(1), 53-61.
- Mo, G., Gili, C. and Ferrando, P. (2000). Do photoperiod and temperature influence the molt cycle of *Phoca vitulina* in captivity? *Marine Mammal Science*, 16(3), 570-577.

- Nowak, R. M. (2003). *Walker's Marine Mammals of the World*. (264 pp.). Baltimore and London: Johns Hopkins University Press.
- Padilla, 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 en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 92p.
- Paterson, W., Sparling, C. E., Thompson, D., P, P. P., Currie, J. I. and McCafferty, D. J. (2012). Seals like it hot: Changes in surface temperature of harbour seals (*Phoca vitulina*) from late pregnancy to moult. *Journal of Thermal Biology*, 37(6), 454-461.
- PFEL (2015). *Upwelling indices*. Recuperado el 9 de julio de 2015, de: <http://www.pfeg.noaa.gov/products/PFELData/upwell/monthly/upindex.mon>.
- Pitcher, K. (1986). Variation in blubber thickness of harbor seals in southern Alaska. *The Journal of Wildlife Management*, 50(3), 463-466.
- Pitcher, K. and Calkins, D. (1979). Biology of the harbor seal, *Phoca vitulina richardsi* in the gulf of Alaska. *Environmental Assessment of the Alaskan Continental Shelf: Final Report*, 19, 231-310.
- Power, G. and Gregoire, J. (1978). Predation by freshwater seals on the fish community of Lower Seal Lake, Quebec. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 35(6), 844-850.
- Renouf, D. and Brotea, G. (1991). Thyroid hormone concentrations in harbour seals (*Phoca vitulina*): No evidence of involvement in the moult. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 99(1-2), 182-194.
- Riedman, M. (1990). *The Pinnipeds: Seals, Sea Lions and Walruses*. (439 pp.). Berkeley: University California Press.
- Riviere, J. E., Engelhardt, F. R. and Solomon, J. (1977). The relationship of thyroxine and cortisol to the moult of the harbor seal *Phoca vitulina*. *General and Comparative Endocrinology*, 31(4), 398-401.
- Samaniego-Herrera, A., Peralta-García, A. y Aguirre-Muñoz, A. (2007). *Vertebrados de las islas del Pacífico de Baja California*. (178 pp.). Ensenada: Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C.

- Scheffer, V. B. and Slipp, J. W. (1944). The harbor seal in Washington state. *American Midland Naturalist*, 32(2), 373-416.
- SEMARNAT. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestre, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio y lista de especies en riesgo*. México. 78 pp.
- Simpkins, M., Withrow, D., Cesarone, J. and Boveng, P. (2003). Stability in the proportion of harbor seals hauled out under locally ideal conditions. *Marine Mammal Science*, 19(4), 791-805.
- StatSoft, I. (2005). STATISTICA (data analysis software system), versión 7.1. Recuperado de: [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Stewart, B. and Yochem, P. (1994). Ecology of harbor seals in the southern California bight. In: W. L. Halvorson and G. J. Maender (Eds.). *The Fourth California Islands Symposium: Update on the Status of Resources*. (pp. 123-134). Santa Barbara Museum of Natural History.
- Stutz, S. S. (1966). *Moult and pelage patterns in the pacific harbour seal Phoca vitulina*. Tesis de Maestría en Ciencias. The University of British Columbia. 86 p.
- Temte, J. L., Bigg, M. A. and Wiig, Ø. (1991). Clines revisited: The timing of pupping in the harbour seal (*Phoca vitulina*). *Journal of Zoology*, 224(4), 617-632.
- Thompson, D. and Härkönen, T. (2008). *Phoca vitulina*. Recuperado el 30 de julio de 2015, de: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
- Thompson, P. and Rothery, P. (1987). Age and sex differences in the timing of moult in the common seal, *Phoca vitulina*. *Journal of Zoology*, 212(4), 597-603.
- Thompson, P. M., Fedak, M., McConnell, B. J. and Nicholas, K. S. (1989). Seasonal and sex-related variation in the activity patterns of common seals (*Phoca vitulina*). *Journal of Applied Ecology*, 26, 521-535.
- Trites, A. W. (1997). The role of pinnipeds in the ecosystem. In: G. Stone, J. Goebel and S. Webster (Eds.). *Pinniped populations, eastern north Pacific: status, trends and issues*. (pp. 31-39). A symposium of the 127th Annual Meeting of the American Fisheries Society.

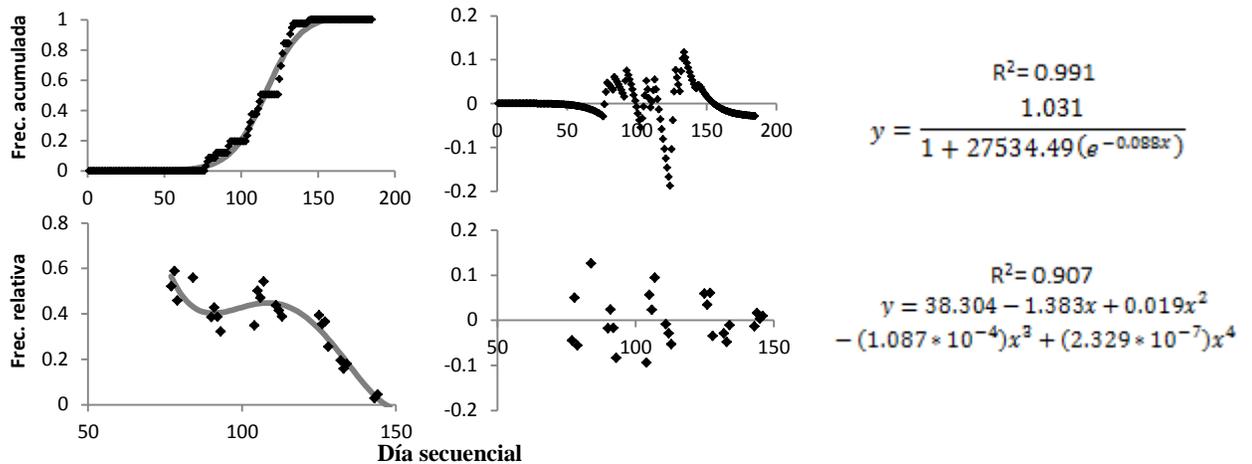
- Williams, T. M. and Worthy, G. A. J. (2002). Anatomy and physiology: The challenge of aquatic living. In: A. R. Hoelzel (Ed.), *Marine Mammal Biology: An Evolutionary Approach*. (pp. 73-97). Blackwell Publishing.
- Worthy, G. A. J., Morris, P. A., Costa, D. P. and LeBouef, B. (1992). Molt energetics of the northern elephant seal (*Mirounga angustirostris*). *Journal of Zoology*, 227, 257-265.
- Yochem, P. and Stewart, B. (2009). Hair and fur. In: W. F. Perrin, B. Wursig and J. G. Thewissen (Eds.). *Encyclopedia of Marine Mammals*. (pp. 529-530). Academic Press.

## ANEXOS

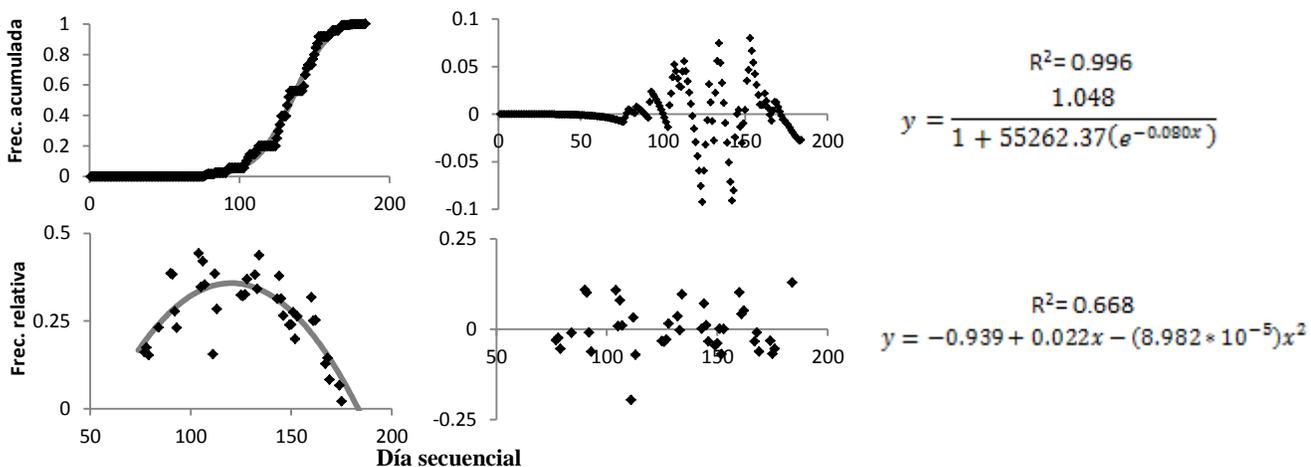
En las gráficas de la columna izquierda, los puntos negros representan los datos observados, mientras que la línea continua gris representa los datos estimados. Las primeras gráficas de todos los apartados representan las curvas logísticas, las cuales indican las fechas del inicio y fin, mientras que las gráficas del segundo renglón son los modelos polinomiales, los cuales indican el día donde se observó la mayor proporción de individuos en cada subetapa/etapa, es decir, la fecha del máximo. A su derecha, cada gráfica muestra sus respectivos residuales, coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y ecuación. Día secuencial 1 = 1 enero, día secuencial 200 = 19 julio.

### Anexo 1. Curvas logísticas y modelos polinomiales de las subetapas y etapas del ciclo de muda en la Isla de Todos Santos.

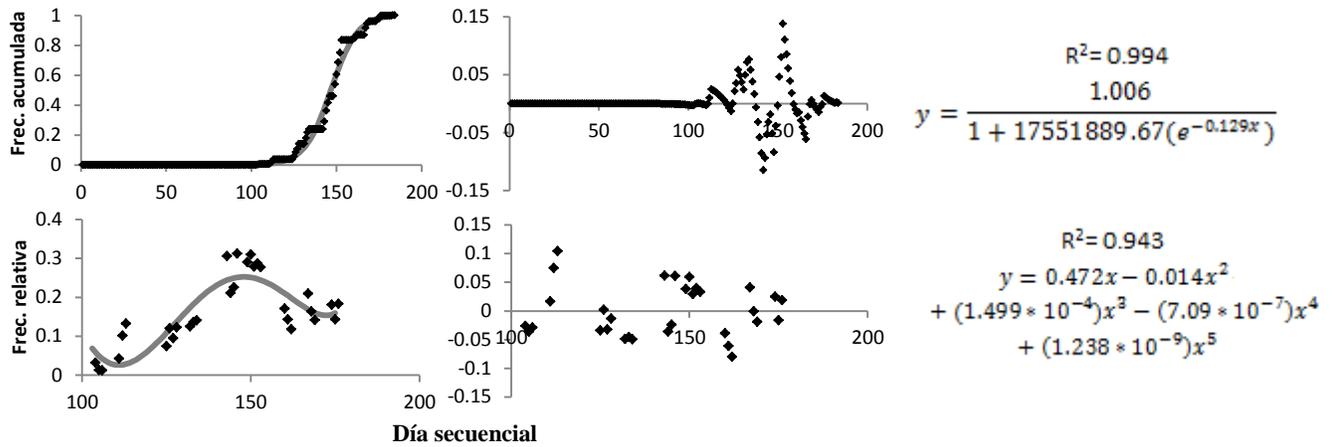
*Premuda intermedia:*



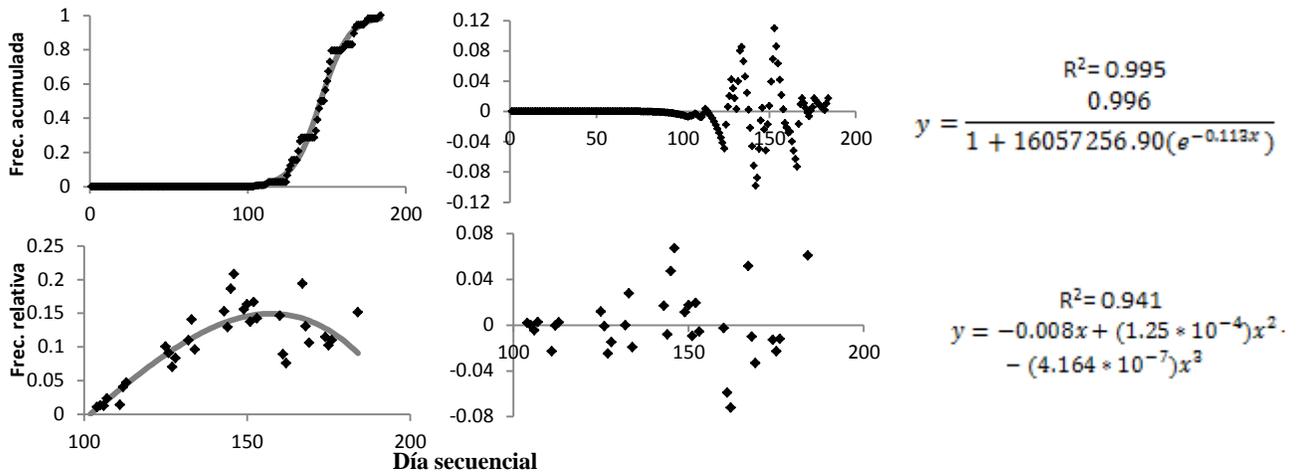
*Premuda final:*



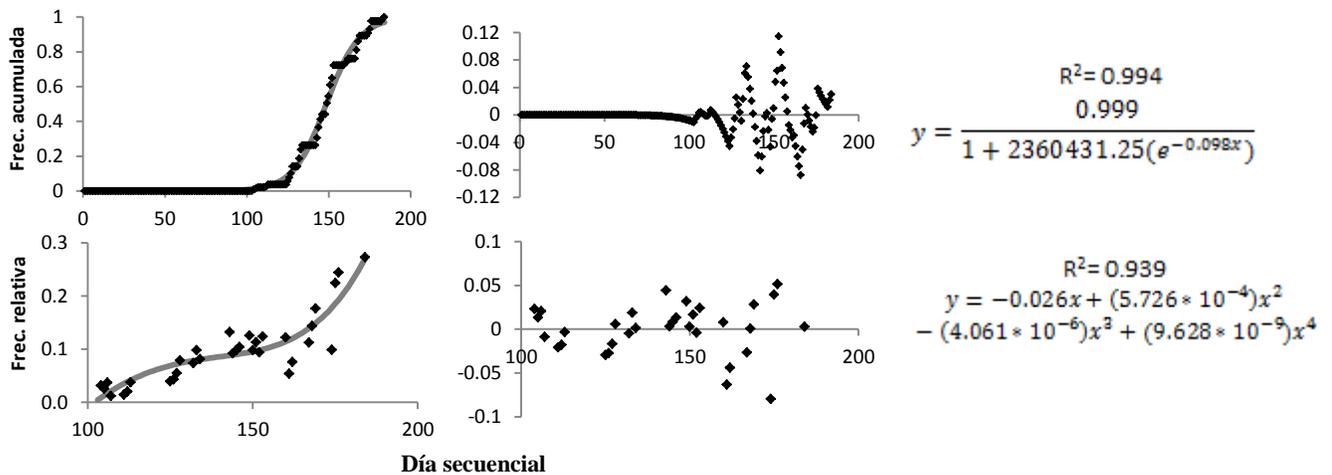
*Muda inicial:*



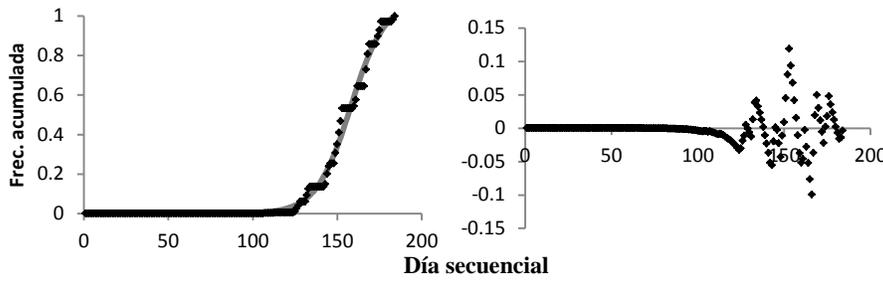
*Muda intermedia:*



*Muda final:*



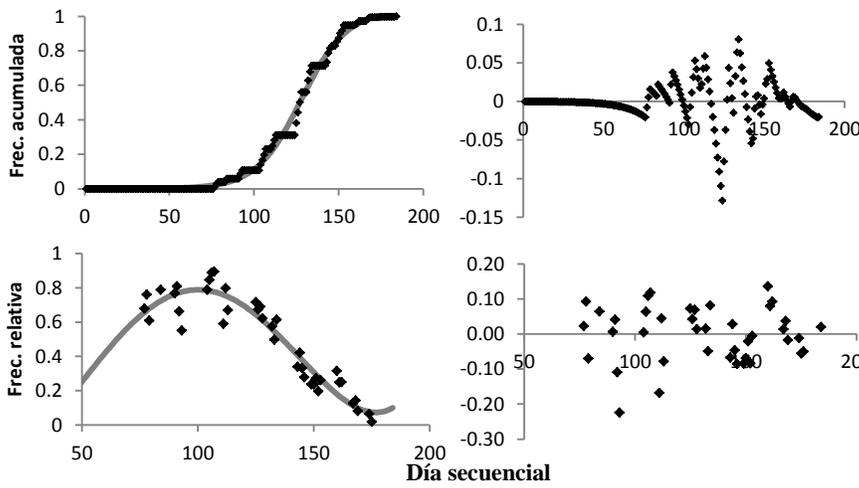
Postmuda:



$$R^2 = 0.994$$

$$y = \frac{1.081}{1 + 5173017.22(e^{-0.097x})}$$

Temporada de premuda:



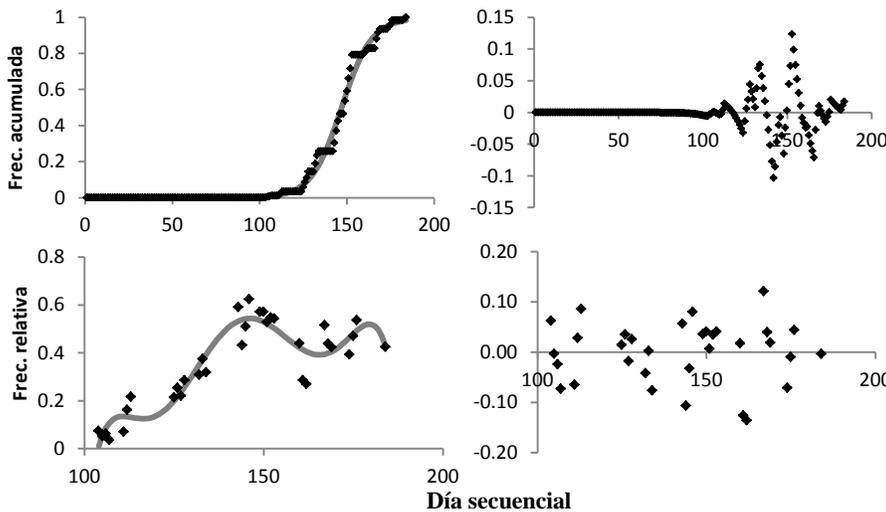
$$R^2 = 0.996$$

$$y = \frac{1.035}{1 + 14937.95(e^{-0.075x})}$$

$$R^2 = 0.98$$

$$y = -0.021x + (8.478 \times 10^{-4})x^2 - (7.531 \times 10^{-6})x^3 + (1.937 \times 10^{-8})x^4$$

Temporada de muda:



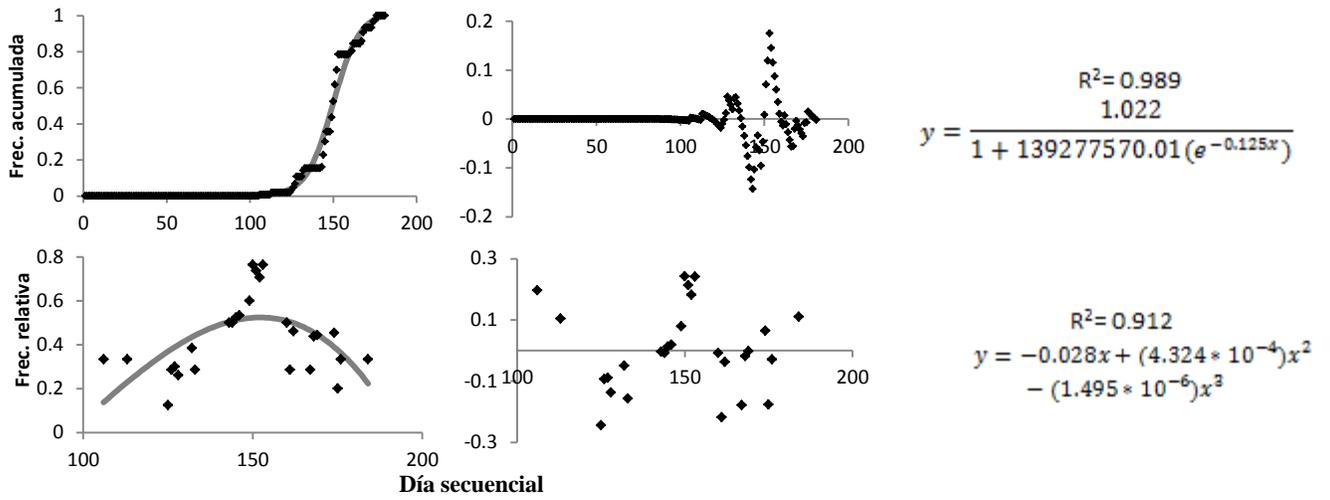
$$R^2 = 0.994$$

$$y = \frac{0.996}{1 + 25697193.32(e^{-0.116x})}$$

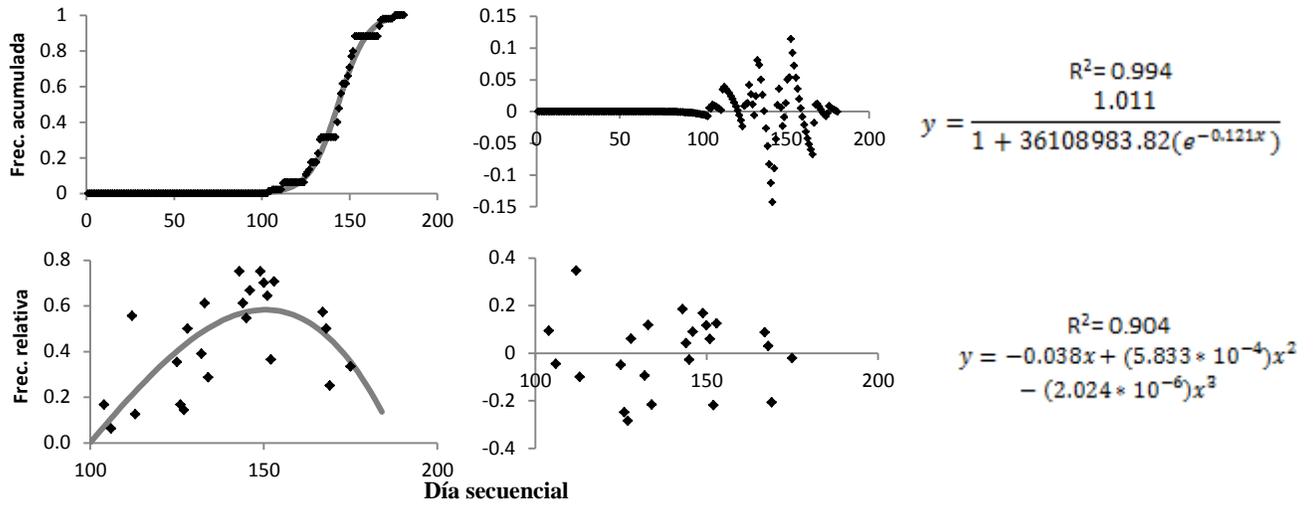
$$R^2 = 0.883$$

$$y = -3930.062 + 171.671x - 3.097x^2 + 0.03x^3 - (1.569 \times 10^{-4})x^4 + (4.407 \times 10^{-7})x^5 - (5.112 \times 10^{-10})x^6$$

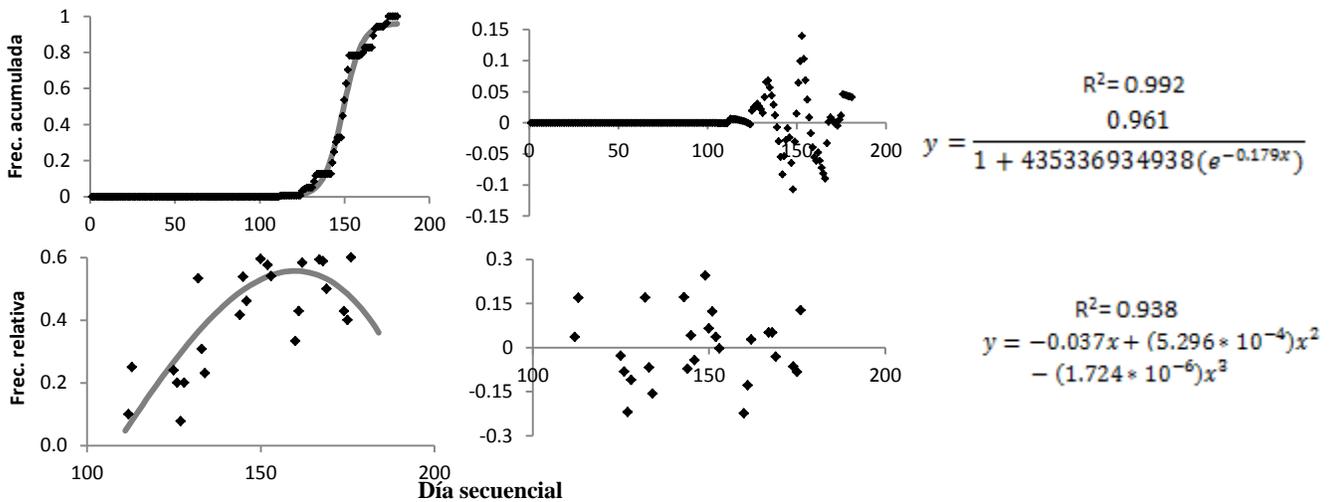
Temporada de muda de añeros:



Temporada de muda de hembras:

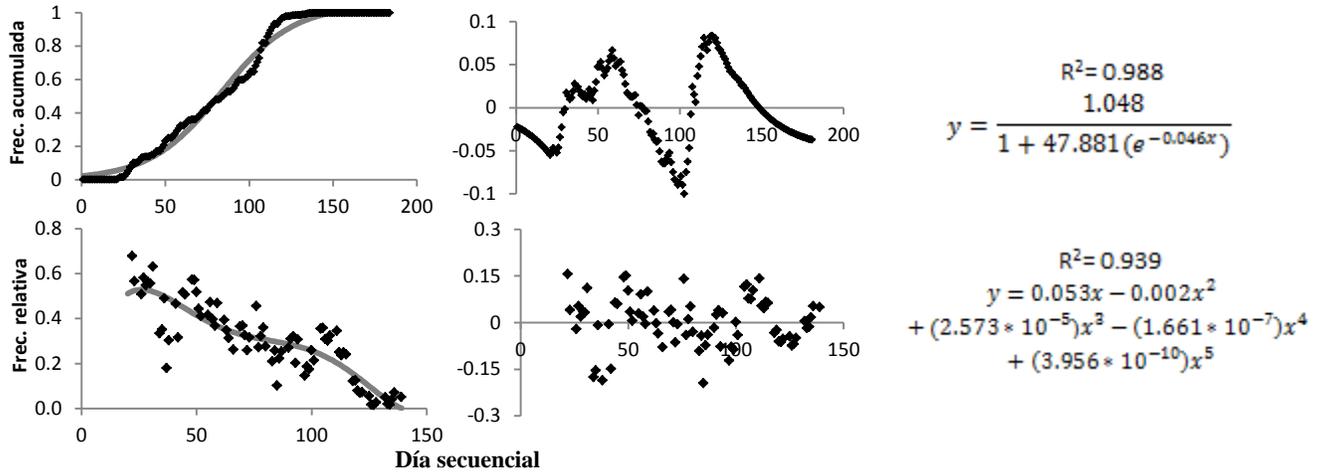


Temporada de muda de machos:

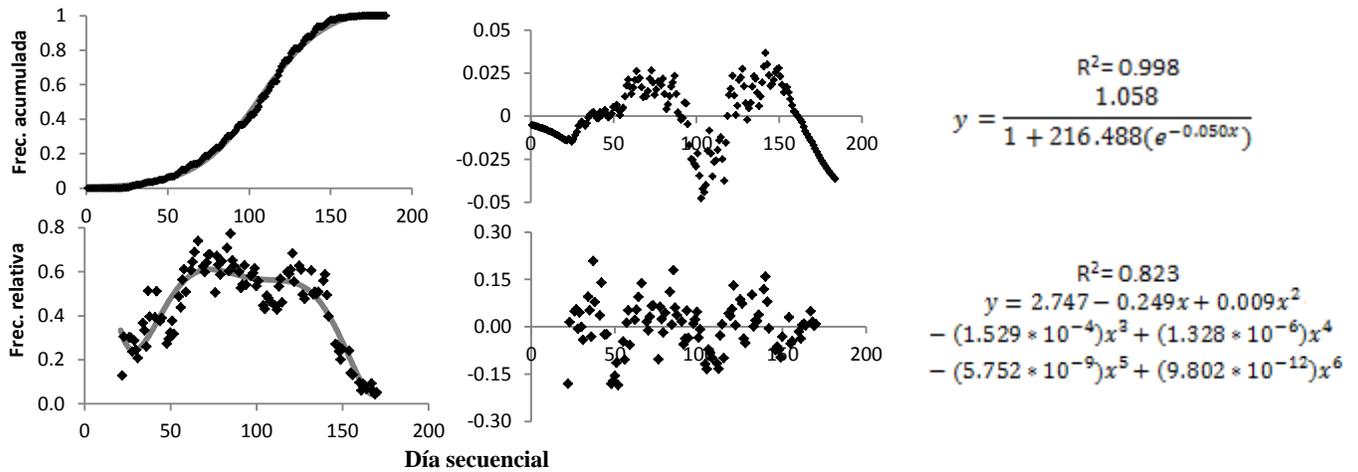


## Anexo 2. Curvas logísticas y modelos polinomiales de las subetapas y etapas del ciclo de muda en la Isla San Roque.

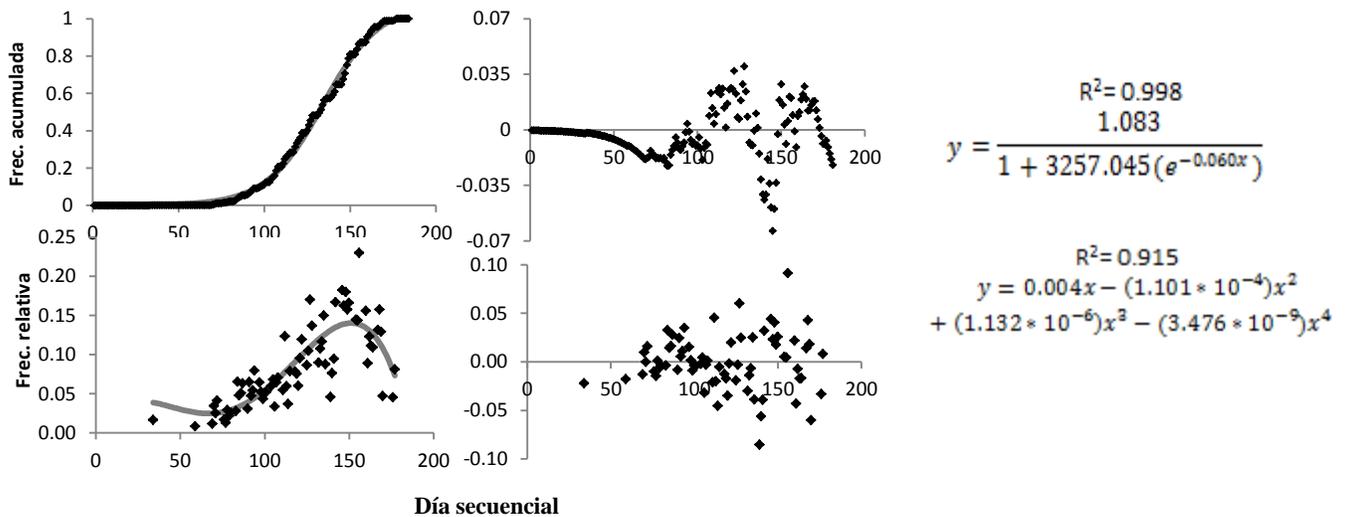
*Premuda intermedia:*



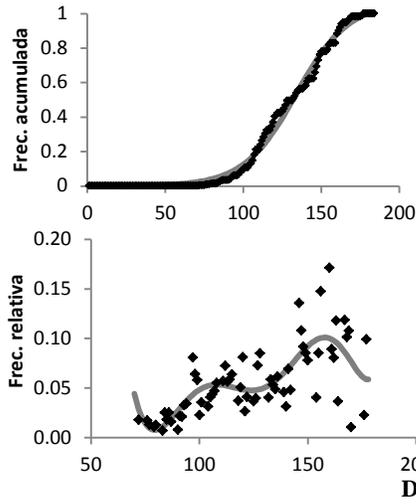
*Premuda final:*



*Muda inicial:*



*Muda intermedia:*



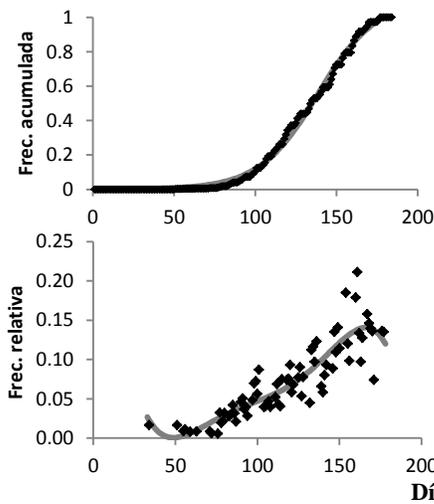
$$R^2 = 0.994$$

$$y = \frac{1.065}{1 + 2878.353(e^{-0.059x})}$$

$$R^2 = 0.863$$

$$y = 0.449x - 0.023x^2 + (4.866 \times 10^{-4})x^3 - (5.339 \times 10^{-6})x^4 + (3.227 \times 10^{-8})x^5 - (1.020 \times 10^{-10})x^6 + (1.319 \times 10^{-13})x^7$$

*Muda final:*



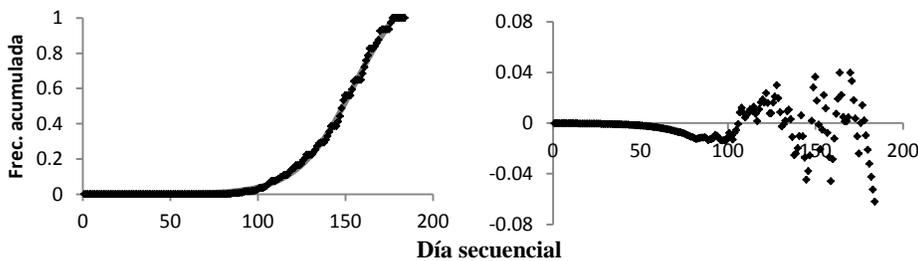
$$R^2 = 0.997$$

$$y = \frac{1.109}{1 + 2020.712(e^{-0.054x})}$$

$$R^2 = 0.793$$

$$y = 0.523 - 0.032x + (7.223 \times 10^{-4})x^2 - (7.618 \times 10^{-6})x^3 + (3.847 \times 10^{-8})x^4 - (7.433 \times 10^{-11})x^5$$

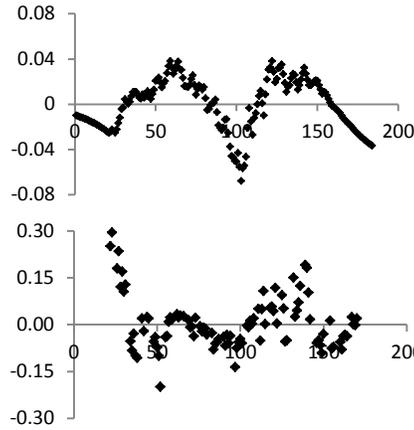
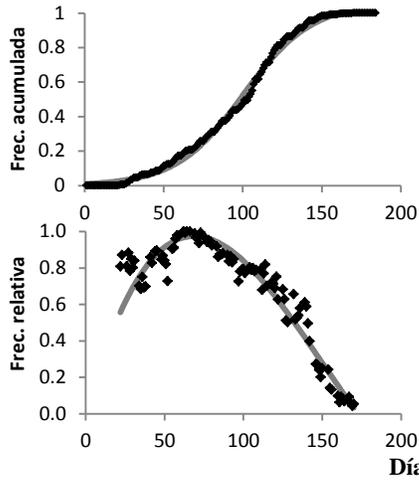
*Postmuda:*



$$R^2 = 0.998$$

$$y = \frac{1.237}{1 + 15290.88(e^{-0.062x})}$$

Temporada de premuda:



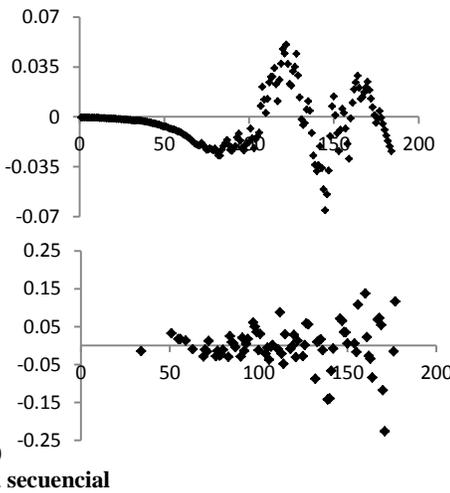
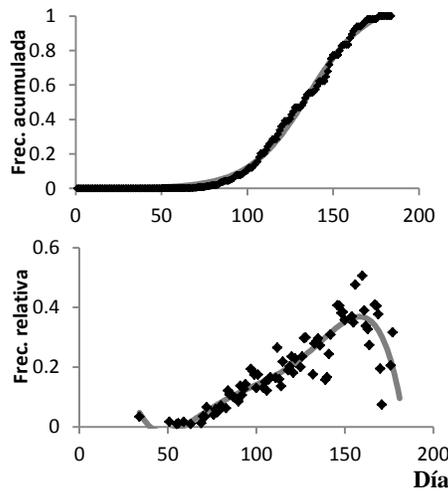
$$R^2 = 0.997$$

$$y = \frac{1.057}{1 + 107.706(e^{-0.046x})}$$

$$R^2 = 0.987$$

$$y = 0.032x - (2.989 \times 10^{-4})x^2 + (6.734 \times 10^{-7})x^3$$

Temporada de muda:



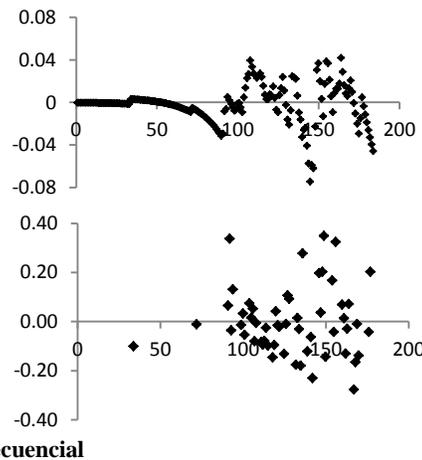
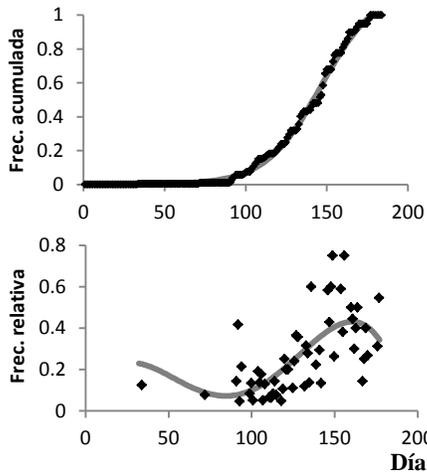
$$R^2 = 0.997$$

$$y = \frac{1.085}{1 + 2652.579(e^{-0.058x})}$$

$$R^2 = 0.806$$

$$y = 1.684 - 0.106x + 0.002x^2 - (2.616 \times 10^{-5})x^3 + (1.348 \times 10^{-7})x^4 - (2.671 \times 10^{-10})x^5$$

Temporada de muda de añeros:



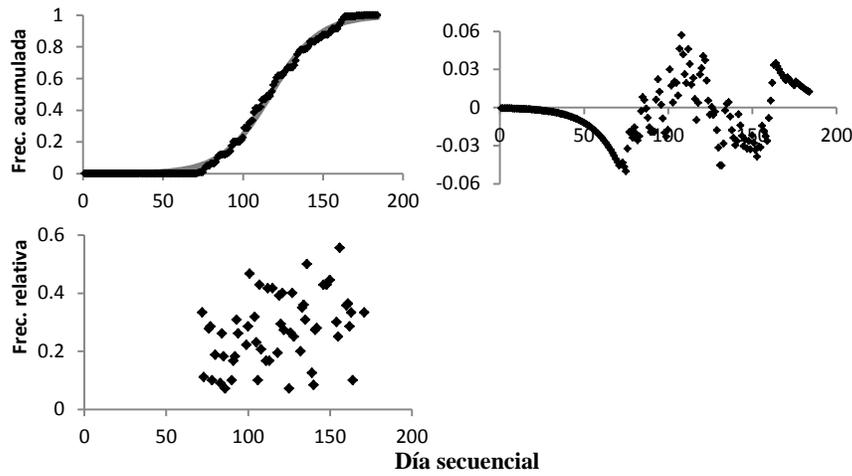
$$R^2 = 0.997$$

$$y = \frac{1.161}{1 + 5386.133(e^{-0.058x})}$$

$$R^2 = 0.824$$

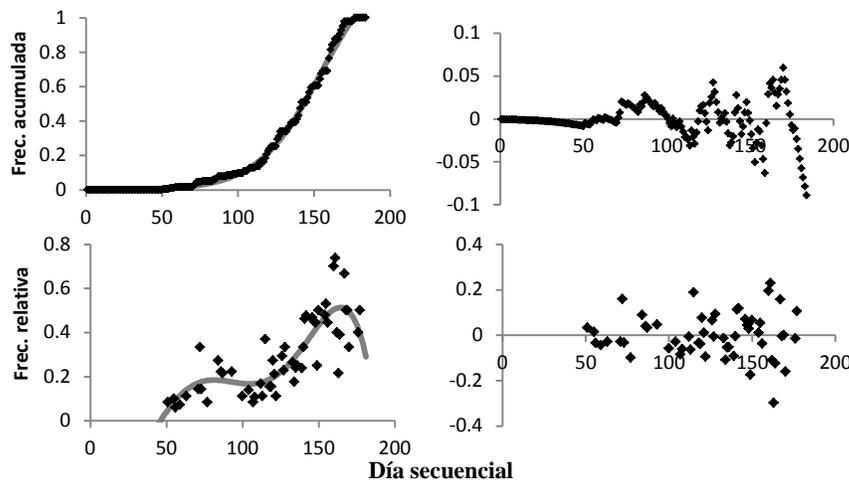
$$y = 0.020x - (5.274 \times 10^{-4})x^2 + (4.698 \times 10^{-6})x^3 - (1.291 \times 10^{-8})x^4$$

*Temporada de muda de hembras:*



$$y = \frac{R^2 = 0.997}{1 + 2253.673(e^{-0.065x})}$$

*Temporada de muda de machos:*

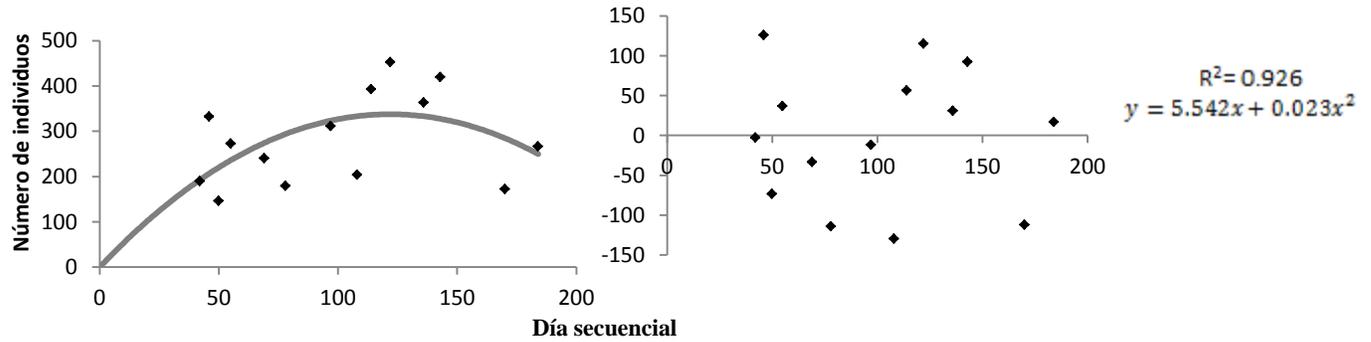


$$y = \frac{R^2 = 0.997}{1 + 1728.109(e^{-0.048x})}$$

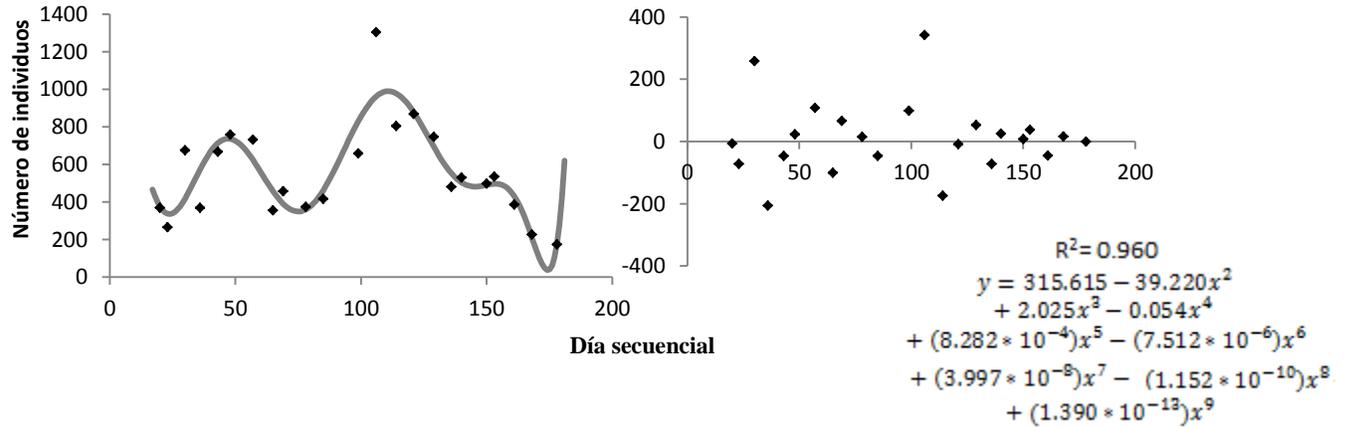
$$y = -0.036x + 0.002x^2 - (2.266 \times 10^{-5})x^3 + (1.388 \times 10^{-7})x^4 - (3.025 \times 10^{-10})x^5$$

### Anexo 3. Modelos polinomiales del número de individuos en tierra en ambas islas.

*Isla de Todos Santos:*



*Isla San Roque:*



**Anexo 4. Fotos de individuos con parches negros sin pelo.**



**Añoero en la isla San Roque**



**Destetado en la isla San Roque**



**Hembra adulta en la isla San Roque**



**Adulto en la isla de Todos Santos**



**Adulto completamente negro y sin pelo en la isla San Roque**