



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



VARIACIÓN DE $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ EN VIBRISAS DE
LOBO MARINO DE CALIFORNIA (*Zalophus*
californianus) Y SU RELACIÓN CON EL
PERIODO DE LACTANCIA

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

PRESENTA:

SOFÍA BERENICE LÓPEZ ALVIRDE

LA PAZ, B. C. S., NOVIEMBRE DEL 2014.



SIP-14 BIS

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

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 20 del mes de noviembre del 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"VARIACIÓN DE $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ EN VIBRISAS DE LOBO MARINO DE CALIFORNIA
(*Zalophus californianus*) Y SU RELACIÓN CON EL PERIODO DE LACTANCIA"

Presentada por el alumno:

LÓPEZ

Apellido paterno

ALVIRDE

materno

SOFÍA BERENICE

nombre(s)

Con registro:

B	1	2	0	6	9	2
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DRA. CLAUDIA JANET L. HERNÁNDEZ CAMACHO
Directora de Tesis

DR. DAVID AURIOL GAMBOA
2º. Director de Tesis

DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO

DR. FRANCISCO JAVIER GARCÍA RODRÍGUEZ

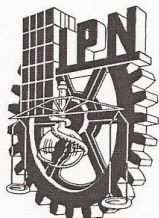
DR. PABLO DEL MONTE LUNA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



IPN
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 28 del mes noviembre del año 2014
el (la) que suscribe BM. SOFÍA BERENICE LÓPEZ ALVIRDE alumno(a) del

Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B120692 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

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

DRA. CLAUDIA JANETL HERNÁNDEZ CAMACHO y DR. DAVID AURIOLES GAMBOA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"VARIACIÓN DE $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ EN VIBRISAS DE LOBO MARINO DE CALIFORNIA

(*Zalophus californianus*) Y SU RELACIÓN CON EL PERIODO DE LACTANCIA"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: s.lopez.alvirde@gmail.com - jcamacho@ipn.mx - daurioles@ipn.mx

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

BM. SOFÍA BERENICE LÓPEZ ALVIRDE

nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional, en particular al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por permitirme continuar mi formación profesional. Así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al programa de Becas de estímulo institucional de formación de Investigadores (BEIFI) por el apoyo brindado durante éstos últimos años de formación académica.

Al proyecto Conacyt 132415 "Estudio integral sobre la lactancia en el lobo marino de California: Periodo crítico en la supervivencia de las crías" así como a los proyectos SIP 20130402 "Población, hábitat y dieta del lobo marino de California, *Zalophus Californianus* en la región de Bahía Magdalena, Baja California Sur", SIP 20120061 "Relación entre la biomagnificación y el enriquecimiento isotópico en la trama trófica frente a Bahía Magdalena" y SIP 20130363 "Valores isotópicos de carbono y nitrógeno de niveles tróficos de organismos marinos frente a Bahía Magdalena". Gracias por brindar el apoyo para la realización del presente trabajo.

Un especial agradecimiento a los dos guías durante este emocionante trayecto; mis directores de tesis: Dra. Claudia Hernández gracias por tantas lecciones que compartió conmigo, por estar siempre al pendiente apoyándome durante mis avances y sobre todo durante mis tropiezos, la considero una persona muy especial. Al Dr. David Auriolés gracias por compartir conmigo un poco de su impresionante trayectoria y su vasto conocimiento, gracias a ambos por su asesoría, sus enseñanzas, su confianza, y por abrirme las puertas del Laboratorio.

Al comité de revisión de tesis: Dra. Laura Sánchez, Dr. Pablo del Monte y Dr. Francisco García por estar al pendiente de mis avances y apoyarme con sus valiosos consejos y comentarios durante la realización del presente trabajo. Gracias al departamento de Servicios Escolares de CICIMAR que siempre están dispuestos a apoyarnos amablemente y con una gran sonrisa.

Gracias al maravilloso equipo del Laboratorio de Ecología de Pinnípedos “Burney J. Le Boeuf” que me apoyaron tanto, me dieron ánimos y unos momentos inolvidables. Gracias Paty, Jime, Danny, Ana, Sam, Su, Cas y Lenin por compartir tantas lecciones, aprendizajes y diversión. Ustedes hicieron que los miércoles se hicieran más interesantes con los extraordinarios seminarios. Paty, gracias especiales por todo el apoyo, las asesorías y por compartir tu conocimiento.

A los amigos que me acompañaron durante este viaje: Michelle, Fabiola, Ardían, Sergio, Sandra, Celene, Karina, Marce, Chio, Lalo, Hadiel y Elias por siempre hacerme sonreír y recordar lo maravillosa que es la vida. Mich gracias además por las certeros recordatorios y tu grandiosa amistad.

Agradezco a mis padres: Q.F.B. Reyna Alvirde y Lic. Felipe López, así como a Denisse y a mi Angelito que siempre han sido los cómplices perfectos de todos mis sueños, aspiraciones y locuras. Gracias por siempre creer en mí y apoyarme incondicionalmente. Los amo y me encanta compartir aventuras con ustedes. A mi hermosa familia del DF y de Oaxaca que siempre está al pendiente de mí echándome porras. Y finalmente, gracias a Mar, mi pequeño gran tesoro, por enseñarme mi propia fortaleza, gracias por hacerme una mejor persona, por esas sonrisas y esos abrazos que me llenan de energía para disfrutar esta maravillosa vida. Gracias por hacerme sentir tanto amor. Eres la mejor compañera de aventuras. Te amo.

Índice:

Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas.....	XI
Resumen.....	XII
Abstract.....	XIII
Introducción.....	1
Antecedentes.....	7
Justificación.....	10
Hipótesis.....	10
Objetivos.....	11
Materiales y métodos.....	11
1. Elección del área de estudio.....	11
2. Obtención de vibrisas.....	17
3. Preparación y selección de muestras para análisis isotópico.....	17
4. Estimación del tiempo representado por la vibrisa.....	20
5. Detección de la señal de lactancia.....	22
6. Estimación de la edad de los lobos marinos muestreados.....	23
7. Detección de diferencias significativas en perfiles isotópicos.....	23
Resultados.....	24
Número de fragmentos y los perfiles isotópicos.....	24
Calculo de edad.....	25
Análisis isotópico.....	26
Periodo de lactancia.....	27
Perfiles isotópicos.....	28
Isla San Esteban.....	29
Los Islotes.....	34
Isla Santa Margarita.....	38

Discusión.....	44
Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$	46
Perfiles isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$	48
Tiempo de destete y diferencias entre isla,,,,,,.....	52
Conclusiones.....	56
Recomendaciones.....	57
Literatura citada.....	58
Anexos.....	68
¿Qué me cuentan tus bigotes? (Versión para divulgación).....	74

Índice de figuras

Figura 1. Perfil de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ registrados a lo largo de vibrisas de crías destetadas de elefante marino del norte (<i>Mirounga angustirostris</i>) del Archipiélago San Benito Baja California. Los valores isotópicos se encuentran graficados en orden cronológico iniciando a la izquierda con los más antiguos y a la derecha los más recientes (tomado de Rivera-De La Parra, 2012).....	6
Figura 2. Área de estudio.....	15
Figura 3. Variación de la chl-a obtenida del satélite MODIS en distintas colonias de lobos. Nótese la diferencia en magnitud y presencia de incrementos anuales de chl-a entre las localidades de Isla San Esteban, Los Islotes e Isla Santa Margarita.....	16
Figura 4. Perfiles isotópicos de la vibrisa M1, usando diferente número de fragmentos. Donde “a” muestra el análisis de todos los fragmentos que componen la vibrisa (n=74), “b” la información de fragmentos alternados (n=38) y “c” usando la información cada dos fragmentos (n=25).....	20
Figura 5. Longitud de las vibrisas de ambos lados del hocico de lobos marinos muestreados durante el verano del 2011 y 2012.....	24
Figura 6. Peso y longitud de organismos muestreados para el presente trabajo. La figura señala la correlación que existe entre el peso y la longitud.....	26
Figura 7. Razones $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ obtenidas en este trabajo (juveniles) y reportadas para vibrisas de hembras adultas por Mote-Herrera (2011) para los Islotes e Isla Santa Margarita y Rosas-Hernández (2013) para Isla San Esteban.....	28
Figura 8. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa E1, obtenida en Isla San Esteban. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Rosas-Hernández (2013).....	30

Figura 9. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa E2, obtenida en Isla San Esteban. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Rosas-Hernández (2013) para hembras adultas.....	31
Figura 10. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa E3, obtenida en Isla San Esteban. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Rosas-Hernández (2013) para hembras adultas.....	32
Figura 11. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa E4, obtenida en Isla San Esteban. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Rosas-Hernández (2013) para hembras adultas.....	33
Figura 12. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa E5, obtenida en Isla San Esteban. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Rosas-Hernández (2013) para hembras adultas.....	34
Figura 13. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa I1, obtenida en Los Islotes. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Mote-Herrera (2011) para hembras adultas.....	35
Figura 14. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa I2, obtenida en Los Islotes. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Mote-Herrera (2011) para hembras adultas.....	35
Figura 15. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa I3, obtenida en Los Islotes. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Mote-Herrera (2011) para hembras adultas.....	36
Figura 16. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa I4, obtenida en Los Islotes. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Mote-Herrera (2011) para hembras adultas.....	37

Figura 17. Perfiles isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la vibrisa I5, obtenida en Los Islotes. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Mote- Herrera (2011) para hembras adultas.es....37

Figura 18. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa M1, obtenida en Isla Santa Margarita. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Mote-Herrera (2011) para hembras adultas.....39

Figura 19. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa M2, obtenida en Isla Santa Margarita. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Mote-Herrera (2011) para hembras adultas.....40

Figura 20. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa M3, obtenida en Isla Santa Margarita. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Mote-Herrera (2011) para hembras adultas.....41

Figura 21. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa M4, obtenida en Isla Santa Margarita. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Mote-Herrera (2011) para hembras adultas.....42

Figura 22. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa M5, obtenida en Isla Santa Margarita. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado por Mote-Herrera (2011) para hembras adultas.....42

Índice de tablas

Tabla 1. Juveniles de lobo marino muestreados en tres colonias reproductivas durante los veranos de 2011 y 2012 y sus biometrías donde H= hembra y M= macho.....	18
Tabla 2. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ reportados para hembras adultas a partir del cual se calculó el valor de lactancia (fraccionamiento trófico de $1.9 \pm 0.38 \text{ ‰}$) para cada lobera analizada en el presente trabajo.....	22
Tabla 3 Relación de las vibrisas muestreadas, los fragmentos obtenidos y días de información isotópica que reflejan	25
Tabla 4. Valores isotópicos de las 15 vibrisas analizadas, agrupadas por colonia reproductiva, mostrando las medias de los perfiles isotópicos, su desviación estándar y sus máximos y mínimos.....	27
Tabla 5. Duración del periodo de lactancia de 15 lobos marinos muestreados en las loberas de reproducción: Isla San Esteban, Los Islotes e Isla Margarita.....	43

Resumen

El periodo de lactancia es crítico en la historia de vida de los pinnípedos, y es altamente variable. En el lobo marino de California (*Zalophus californianus*) la duración de este periodo parece estar relacionada con las condiciones ambientales de cada zona. El objetivo del presente trabajo fue determinar la duración del periodo de lactancia de *Z. californianus* en tres colonias (islas) de reproducción en México. Partiendo del hecho de que la alimentación basada en leche materna deja una huella isotópica en los tejidos de las crías, se usó el análisis de las razones isotópicas de carbono (C) y nitrógeno (N) a lo largo de las vibrisas de juveniles para ubicar el momento del destete. A partir de valores de $\delta^{15}\text{N}$ en crías que se alimentan exclusivamente de leche, se calculó un valor de fraccionamiento de 1.9‰ (por encima del valor de las hembras adultas) para determinar el valor esperado de lactancia en cada isla, debido a que existen diferencias isotópicas desde la base de la red trófica para cada lugar. Estos valores fueron para San Esteban $23.2 \pm 0.6\text{‰}$, para los Islotes $22.7 \pm 0.2\text{‰}$ y para Isla Santa Margarita $21.2 \pm 0.4\text{‰}$. Se analizaron cinco vibrisas por isla, que produjeron un total de 564 fragmentos (198 para Isla San Esteban, 166 para Los Islotes y 200 para Isla Santa Margarita). Los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ por localidad fueron: San Esteban, $-13.5 \pm 0.6\text{‰}$ y $22.6 \pm 0.9\text{‰}$; Los Islotes, $-14.5 \pm 0.4\text{‰}$ y $23.4 \pm 0.3\text{‰}$ e Isla Santa Margarita, $-14.7 \pm 0.4\text{‰}$ y $22.1 \pm 0.6\text{‰}$; respectivamente. La señal del destete se ubicó únicamente en los perfiles de $\delta^{15}\text{N}$ de Isla San Esteban e Isla Santa Margarita debido a que los juveniles tenían en promedio dos años de edad. Los individuos de Los Islotes que tuvieron alrededor de un año mostraron valores de $\delta^{15}\text{N}$ enriquecidos por consumo de leche materna y por lo tanto no se encontró señal de destete, mientras que los de Isla San Esteban e Isla Santa Margarita de la misma edad, mostraron señales de cambio a una dieta independiente pero aun con influencia de leche materna. Los perfiles de $\delta^{13}\text{C}$ mostraron señales de uso de hábitat muestra patrones diferentes entre islas. El 80% de las vibrisas de Isla Santa Margarita reflejó un periodo de lactancia aproximadamente a un año, mientras que el periodo de lactancia en Isla San Esteban fue de 17 a 22 meses. El periodo de lactancia menos prolongado de Isla Santa Margarita probablemente esté asociado a una mayor concentración de clorofila a estacional que permite el crecimiento acelerado de los animales y su destete temprano.

Palabras clave:

Cuidado materno, isótopos estables, pinnípedos, cambio de dieta, perfil isotópico.

Abstract

Lactation is a critical and highly variable period in the life history of pinnipeds. For California sea lions (*Zalophus californianus*), this period varies in part based on the specific ecological characteristics of a given area. In this study, the goal was to determine the duration of the lactation period at three different rookeries in Mexico. Since maternal milk leaves a specific isotopic signature in the tissues of nursing pups, we analyze the carbon (C) and nitrogen (N) isotopes in vibrissae sampled from juveniles in order to determine when weaning occurred based on the change in isotope values. Based on the $\delta^{15}\text{N}$ values of nursing offspring, we set a fractionation value of 1.9‰ higher than the values found in adult female as the cut off in order to identify the isotope value for each rookery. We calculated the isotope value for each rookery because different oceanographic conditions lead to unique isotopic values in all the levels of the food web at each rookery. The isotopic value for lactation was $23.2 \pm 0.6\text{‰}$ at San Esteban Island, $22.7 \pm 0.2\text{‰}$ at Los Islotes and $21.2 \pm 0.4\text{‰}$ at Santa Margarita Island. We analyze five vibrissae per rookery for a total of 564 fragments (198 from San Esteban Island, 166 from Los Islotes, and 200 from Santa Margarita Island). The mean $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values for each rookery were: $-13.5 \pm 0.6\text{‰}$ and $22.6 \pm 0.9\text{‰}$ at San Esteban, $-14.5 \pm 0.4\text{‰}$ and $23.4 \pm 0.3\text{‰}$ at Los Islotes, and $-14.7 \pm 0.4\text{‰}$ and $22.1 \pm 0.6\text{‰}$ at Santa Margarita, respectively. It was only possible to detect the isotopic weaning signal for $\delta^{15}\text{N}$ at San Esteban and Santa Margarita Island where the average juvenile sea lion was two- years- old. Sea lions from Los Islotes were close to one- year- old and showed enriched $\delta^{15}\text{N}$ values, because they were still nursing; thus, we were unable to identify the isotopic signal for weaning. In contrast, sea lions of the same age from San Esteban and Santa Margarita Islands show isotopic signals of diet change with little influence from milk. Interestingly, the $\delta^{13}\text{C}$ values show different patterns that may reflect habitat use more than diet. Eighty percent of the vibrissae from Santa Margarita indicate a lactation period that lasts a year, meanwhile, the lactation period at San Esteban lasts from 17 to 22 months. The shorter lactation period at Santa Margarita Island may be associated with higher seasonal concentration of chl a, which leads to an accelerated growth in pups and earlier weaning.

Key words: Maternal care, stable isotope, pinnipeds, change in diet, stable isotope profile

Introducción

El periodo de lactancia es uno de los procesos metabólicos más costosos de los mamíferos. Su duración y el costo energético materno, varía entre especies. En pinnípedos, la lactancia puede durar desde cuatro días hasta tres años siendo, en general, más larga en lobos marinos y morsas que en focas (Le Boeuf *et al.*, 1972; Riedman, 1990; García-Aguilar y Auriolles-Gamboa, 2003; Elorriaga-Verplancken, 2009; Oftedal, 2011). Las características de la lactancia en pinnípedos: duración, intensidad y composición de la leche, están ligadas con la talla de las especies, los recursos encontrados en las zonas de alimentación, las condiciones ambientales y la latitud (Ferguson, 2006). Se ha encontrado que el periodo de lactancia en el lobo marino de California *Zalophus californianus* (Lesson, 1828) se extiende más allá de un año (Newsome *et al.*, 2006; Oftedal, 2011) y en algunas localidades puede durar hasta más de tres años (Elorriaga-Verplancken, 2009).

La duración del periodo de lactancia en otáridos del Pacífico Nororiental parece estar relacionada con la estacionalidad. En términos generales, en latitudes altas los periodos de alimentación para las hembras adultas son más cortos pero también más productivos. Por lo tanto, las crías pueden crecer rápidamente y ser destetadas en menos tiempo que en latitudes bajas donde la estacionalidad es menos marcada (Gentry y Kooyman, 1986; Ferguson, 2006).

En lobos marinos, la estrategia de cuidado materno se conoce como “ciclo de alimentación”, consiste en periodos de atención a la cría y amamantamiento en tierra, intercalados con viajes de alimentación en el mar. La crianza en los lobos marinos reside exclusivamente en la madre, y de ella depende la supervivencia de la cría, por lo tanto, las hembras requieren implementar estrategias de acuerdo a las condiciones ambientales particulares que enfrentan. La tasa e intensidad de amamantamiento puede variar dependiendo de las condiciones ambientales (Auriolles-Gamboa y García Aguilar, 2003). Se considera que la lactancia termina con el destete, que generalmente es gradual (Boness y Bowen, 1996).

En las poblaciones de lobo marino que habitan el Golfo de California, se ha observado que la duración del periodo de lactancia está relacionada a condiciones ambientales de cada zona. Los periodos más prolongados se encuentran en el norte del Golfo y los más cortos en la parte sur. En el caso de las colonias localizadas en el Océano Pacífico, el periodo de lactancia más prolongado se presenta en latitudes más cercanas al ecuador. Los porcentajes de juveniles destetados posterior al año es ligeramente mayor en colonias del Océano Pacífico comparadas con algunas colonias del Golfo de California (Elorriaga-Verplancken, 2009).

Una manera indirecta de estimar la duración del periodo de lactancia en pinnípedos, es mediante el análisis de isótopos estables en tejidos metabólicamente inertes y de formación secuencial en el tiempo (Newsome *et al.*, 2006; Rivera-de la Parra, 2012). Los valores distintivos de la alimentación basada en la leche nos permiten determinar el momento del destete (Newsome *et al.*, 2006).

Los isótopos estables son átomos del mismo elemento con carga atómica similar pero distinta masa. Éstos no decaen con el tiempo y por ello es posible rastrear su “firma única” en un sistema dinámico, por ejemplo durante el reciclado de los elementos en ecosistemas terrestres o marinos o el análisis de redes tróficas (Fry, 2006). Muchos procesos físicos y químicos que ocurren naturalmente presentan un fraccionamiento isotópico importante, que generalmente conlleva un enriquecimiento o empobrecimiento isotópico (Lajtha y Michener, 1994). En el fraccionamiento isotópico, los efectos de un neutrón extra son importantes, ya que las moléculas presentan un comportamiento ligeramente diferente (Fry, 2006).

Durante los procesos enzimáticos, se “retienen” las moléculas que contienen los isótopos más pesados y se “eligen” preferentemente las que tienen isótopos más livianos (Lajtha y Michener, 1994). Por lo tanto, los isótopos ligeros son exhalados fuera del cuerpo en la respiración y en las heces, mientras que los isótopos pesados tienden a conservarse en una proporción predecible en los tejidos de los organismos (Fry, 2006). Los valores isotópicos de un organismo dependen de las diferentes tasas de recambio del tejido analizado y, en caso de que su dieta se modifique,

dependen también de la velocidad con la que los tejidos se equilibran con la nueva dieta (Fry, 1996; Vander-Zanden y Rasmussen, 2001). Para detectar el fraccionamiento isotópico la notación más usada es la notación “ δ ” la cual se refiere a una razón o cociente. Es la abundancia relativa de los isótopos de un elemento con respecto a estándares universales. Al tratarse de valores muy pequeños, sus dimensiones se dan en partes por mil “‰” (10^{-3}).

El fraccionamiento isotópico del $\delta^{13}\text{C}$ es pequeño, en promedio de 1 ‰ entre niveles tróficos, por lo que es utilizado para identificar la última fuente de carbono obtenida por el organismo (Lajtha y Michener, 2007). Permite identificar el origen de la materia orgánica y con ello se infiere el hábitat de alimentación (Fry, 1998). Valores isotópicos enriquecidos en $\delta^{13}\text{C}$ pueden indicar el uso de un hábitat costero o bentónico, mientras que valores más negativos indican un hábitat oceánico (Michener y Lajtha, 2007).

La síntesis y acumulación de lípidos tiende a generar valores empobrecidos de $\delta^{13}\text{C}$ con respecto a los valores isotópicos de otras moléculas como proteínas y carbohidratos (Post *et al.*, 2002; Tieszen, *et al.*, 1983). La leche materna, que tiene un alto contenido de lípidos, sesga negativamente la señal isotópica del C, de modo que cambios significativos en este isótopo podrían indicar periodos de lactancia y destete (Fogel, 1989; Fuller *et al.*, 2006; Newsome *et al.*, 2006; Rivera-de la Parra, 2012).

Por otra parte, el $\delta^{15}\text{N}$ típicamente se enriquece de 3 ‰ a 4 ‰ entre el consumidor y su presa o entre niveles tróficos. Los valores isotópicos de N son utilizados para el estudio de la dieta de los organismos, realizar estimaciones de nivel trófico (DeNiro y Epstein, 1981; Lajtha y Michener, 2007) y detectar cambios ontogénicos de alimentación (Newsome *et al.*, 2010; Orr *et al.*, 2011).

Con respecto la lactancia, se ha observado que existe un enriquecimiento en el $\delta^{15}\text{N}$ entre cría y madre (Polischuk *et al.*, 2001; Newsome *et al.*, 2006; Porras-Peters *et al.*, 2008). Se ha encontrado que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ se pueden ver alterados además por procesos fisiológicos, desórdenes alimenticios, periodos de

inanición y crecimiento acelerado (Sare *et al.*, 2004; Fuller *et al.*, 2005; Williams *et al.*, 2007).

Los estudios de isótopos estables en mamíferos marinos han aumentado notablemente en las últimas décadas. Los tejidos utilizados para analizar señales isotópicas incluyen: tejido cardíaco y hepático; músculo, sangre, grasa, huesos, piel, barbas, pelo, dientes y vibrisas (Newsome, 2010). Las estructuras más duras como dientes, pelo, barbas de ballena o vibrisas pueden almacenar señales isotópicas de diferentes etapas de la vida de un organismo (Fry, 1996; Newsome *et al.*, 2006; Orr *et al.*, 2011; Riofrío-Lazo *et al.*, 2012).

Las vibrisas, al igual que el pelo, están compuestos de queratina que una vez formada se mantiene inerte reflejando periodos que van desde unos meses a un año en fócidos y hasta tres o más años en otáridos (Hirons *et al.*, 2001; Hall-Aspland *et al.*, 2005; Newsome *et al.*, 2009). En organismos jóvenes, la formación de la vibrisa inicia *in utero* por lo que es posible diferenciar entre el periodo de gestación y lactancia, así como medir su duración a nivel individual (Fuller *et al.*, 2006; Rivera-de la Parra, 2012). Para una adecuada interpretación de la duración de estos periodos es necesario conocer la relación entre el crecimiento de la vibrisa y las señales isotópicas integradas en ella (Hirons, *et al.*, 2001).

Cuando las crías se alimentan exclusivamente de leche, metabolizan esta secreción materna dejando una huella isotópica en sus tejidos, tanto de carbono como de nitrógeno (Figura 1). La leche de *Z. californianus* tiene un contenido de lípidos que varía entre 31 % y 37 % (Pilson y Kelly, 1962) y son ricos en ^{12}C y empobrecidos en ^{13}C . Se espera que las vibrisas, al ser un tejido de integración secuencial, muestren una disminución relativa de $\delta^{13}\text{C}$ en la transición de la fase *in utero* a la fase de lactancia, manteniéndose en valores bajos mientras ésta perdure. Se estima que la señal se enriquezca nuevamente en la medida que el individuo consume alimento de origen marino.

Se espera que los valores isotópicos de N se enriquezcan entre el periodo de gestación y lactancia y permanezcan elevados por efecto del fraccionamiento

isotópico de la leche materna, que enriquece de un modo similar al que ocurre entre el consumidor y su presa (Fuller *et al.*, 2006; Newsome *et al.*, 2006; Rivera-de la Parra, 2012). Contrariamente, los altos valores de $\delta^{15}\text{N}$ disminuirán cuando comience el destete. La señal del cambio de dieta que se presenta entre los diferentes periodos (gestación, lactancia y destete) se incorpora gradual y secuencialmente.

El lobo marino de California *Z. californianus* habita en ambas costas de la Península de Baja California y su distribución parece estar ligada a la distribución y abundancia de cardúmenes de pelágicos menores (Aurioles-Gamboa y Zavala-González, 1994). Analizando genéticamente, se han encontrado diferencias en el ADN mitocondrial entre las colonias del Pacífico y de Golfo (Maldonado, 1995). A su vez, las poblaciones que existen en el Golfo de California están estructuradas en grupos genéticamente diferentes (González-Suárez *et al.*, 2009) y parecen estar delimitadas por variables biológicas, ecológicas, físicas y biogeoquímicas (Szteren y Aurioles-Gamboa, 2011; Szteren y Aurioles-Gamboa, 2013).

El periodo reproductivo de *Zalophus californianus* en México comienza con los nacimientos de finales de mayo hasta mediados de julio, presentándose el pico de nacimientos en la tercera semana de junio. La segunda parte del periodo reproductivo está definida por los apareamientos, que ocurren un mes después de los nacimientos por lo que se extiende hasta mediados de agosto (García-Aguilar y Aurioles-Gamboa, 2003).

Desde el momento en que los individuos nacen y hasta que son destetados se consideran crías. Las crías se caracterizan por presentar un pelaje gris oscuro a negro que permanece hasta que mudan el pelaje durante el otoño. A partir del destete y hasta que alcanzan la madurez sexual son considerados juveniles (Peterson y Bartholomew, 1967). Las hembras adultas de lobo marino presentan una fuerte fidelidad al sitio en el que nacen por lo que el comportamiento alimenticio y probablemente de atención materna están adaptados a las características ambientales locales (García-Rodríguez y Aurioles-Gamboa, 2004; Porras-Peters *et al.*, 2008, Mejía-Ruíz, 2011).

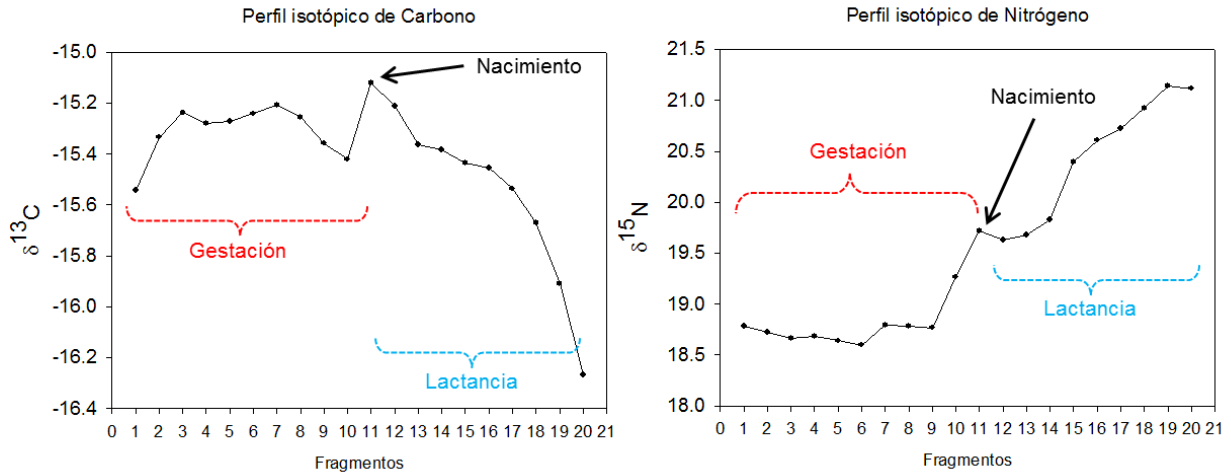


Figura 1. Perfil de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ registrados a lo largo de vibras de crías destetadas de elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*) del Archipiélago San Benito Baja California. Los valores isotópicos se encuentran graficados en orden cronológico iniciando a la izquierda con los más antiguos y a la derecha los más recientes (tomado de Rivera-De La Parra, 2012).

La costa occidental de la Península de Baja California colindante con el Océano Pacífico, es una zona de importante actividad biológica influenciada por el Sistema de la Corriente de California y ciclos de surgencias. Esta corriente cambia de intensidad a escalas estacionales e interanuales y acarrea masas de agua de latitudes más altas (Durazo *et al.*, 2005). Además, puede ser alterada por eventos de calentamiento como El Niño y de mayor escala como La Oscilación Decadal del Pacífico (Mantua *et al.*, 1997; Lluch-Belda *et al.*, 2005).

El Golfo de California, es considerado una cuenca de evaporación con características templadas y tropicales (Santamaría Del Ángel *et al.*, 1994). Se ha dividido en regiones geográficas con base en sus diferentes condiciones oceanográficas, físicas y biológicas. En cada región se observan diferentes procesos físicos que controlan la circulación y la concentración de nutrientes. En la región de las grandes islas, los regímenes oceanográficos y de alta productividad son determinados por surgencias estacionales y mezcla de masas de agua. En el sur del

Golfo, se caracteriza por menor abundancia de fitoplancton (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

Las variaciones ambientales en las zonas donde se encuentran las loberas, confieren características ecológicas diferentes y determinan el tipo y disponibilidad de los recursos alimenticios para las colonias reproductoras de lobos marinos que ahí se encuentran. Estas diferencias ambientales se pueden identificar analizando la variación de la productividad primaria, que a su vez determina la abundancia de recursos disponibles. La producción primaria, entendida como el incremento en materia orgánica de un organismo fotosintetizador por unidad de tiempo, puede ser estimada por medio de la cuantificación de la clorofila “a” (chl-a; Saqueo y Cardemil, 2006). La marcha de la clorofila a varía entre regiones no solo en intensidad, sino también en su modo o “régimen”, presentándose con uno o más incrementos a lo largo del año.

Dado que existen marcadas diferencias estacionales en las condiciones ambientales en las áreas donde se encuentran las colonias de reproducción de lobos marinos, se espera que éstas influyan en la duración del periodo de lactancia. En el presente trabajo se exploraron las razones isotópicas de C y N a lo largo de vibrisas de juveniles de lobos marinos, con el fin de encontrar la señal de lactancia y con ello comparar la duración de este periodo en los organismos capturados en tres colonias de reproducción con diferentes condiciones ambientales; Isla San Esteban, Los Islotes e Isla Santa Margarita.

Antecedentes

El estudio de lactancia y destete usando isótopos estables comenzó con estudios arqueológicos de poblaciones humanas. Fogel *et al.*, (1989) encontraron un enriquecimiento de $\approx 3\text{‰}$ en $\delta^{15}\text{N}$ en tejidos queratinizados (pelo y uñas) de infantes comparados con valores isotópicos de tejidos maternos durante el periodo de lactancia. En el caso del $\delta^{13}\text{C}$, se encontró una alteración menor en sus valores isotópicos cuando la leche materna estaba presente, y se aproximaron a los valores maternos cuando ocurrió el destete (Fuller *et al.*, 2005).

En otros organismos terrestres se han observado un enriquecimiento de 2 ‰ a 4 ‰ en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en pelo de crías con respecto al de las madres (Balasse y Tresset, 2002; Burton *et al.*, 2001; Dalerum *et al.*, 2007; Kurle, 2002). En mamíferos marinos se ha detectado la señal de lactancia principalmente realizando un análisis de $\delta^{15}\text{N}$ en tejidos de osos polares (Polischuk *et al.*, 2001) y delfines (Knoff *et al.*, 2008). En los pinnípedos se ha encontrado un enriquecimiento de $\delta^{15}\text{N}$ como evidencia de lactancia en tejido muscular de *Callorhinus ursinus* (Hobson *et al.*, 1997). Aunado a un empobrecimiento de $\delta^{13}\text{C}$ en dentina y hueso de *C. ursinus*, *Z. californianus* (Newsome *et al.*, 2006; Elorriaga-Verplancken, 2009) *Eumetopias jubatus* y *Mirounga angustirostris* (Hobson y Sease, 1998; Rivera de la Parra, 2012).

Aunque se han encontrado diferencias entre valores isotópicos de tejidos pertenecientes a crías lactando con respecto a los mismos tejidos en adultos (Knoff *et al.* 2008) solo se ha detectado el cambio ontogénico de alimentación en el mismo organismo analizando tejidos metabólicamente inertes y de formación secuencial como pelo, dientes o vibrisas (Hobson *et al.*, 1997; Hobson y Sease, 1998; Newsome *et al.*, 2006; Elorriaga-Verplancken, 2009; Rivera de la Parra, 2012).

Se reconoce que los valores enriquecidos en $\delta^{15}\text{N}$ y valores empobrecidos de $\delta^{13}\text{C}$ en crías son indicativos de lactancia, no ha sido posible dar un seguimiento en el tiempo de manera continua, excepto por múltiples muestreos de tejidos como músculo o sangre en algunos casos (Orr *et al.*, 2011). Para lograrlo, es necesario contar con un tejido de integración isotópica secuencial con una tasa de crecimiento conocida y que además tenga una resolución de semanas o al menos meses: por ejemplo los estudios de dientes que se basan en capas de crecimiento anual, permiten determinar señales de lactancia en una ventana de un año (Newsome *et al.*, 2006; Elorriaga *et al.*, 2013) pero no permiten medir su duración con precisión. En este sentido, las vibrisas representan un reservorio de información de largo plazo (meses a años) que integra dimensiones espaciales y temporales del nicho ecológico (Newsome, *et al.*, 2009; Kernaléguen *et al.*, 2012).

La tasa de crecimiento de vibrisas se ha estimado usando modelos lineales y exponenciales, encontrando que en fócidos las tasas de crecimiento varían desde 0.033 hasta 0.33 mm/día (Hirons *et al.*, 2001; Hall-Aspland *et al.*, 2005). Las vibrisas de este grupo experimentan un crecimiento acelerado y en muchos casos se mudan por lo menos anualmente (Hirons *et al.*, 2001).

En otáridos, Cherel *et al.*, (2009) estimaron una tasa de crecimiento para las vibrisas del lobo fino Antártico (*Arctocephalus gazella*) de 0.16 mm/día, tomando en cuenta las oscilaciones encontradas en los valores isotópicos originadas por las migraciones anuales de esta especie. Para el lobo marino de Steller (*Eumetopias jubatus*), Hirons *et al.*, (2001) calcularon que el crecimiento de las vibrisas era de 0.1 a 0.17 mm por día usando un marcador de glicina en individuos en vida libre y en cautiverio. Analizando las oscilaciones isotópicas encontradas en las vibrisas, corroboraron que estos tejidos pueden guardar información correspondiente a varios años, ya que las vibrisas de otáridos no se mudan, solo se reemplazan cuando se rompen o se gastan.

En el caso de *Z. californianus*, Mote-Herrera (2011) examinó el índice de surgencias y la concentración en chl-a en la región de Bahía Magdalena para relacionarlo con las oscilaciones de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ encontradas en vibrisas de individuos residentes en Isla Santa Margarita. Usando un modelo lineal, calculó una tasa de crecimiento de 0.16 mm/día. Rosas-Hernández (2013) relacionó dos variables oceanográficas: chl-a y temperatura superficial del mar de la región de las grandes islas con las oscilaciones de los mismos isótopos encontradas en vibrisas obtenidas de hembras adultas en Isla San Esteban, Golfo de California. Notó que la periodicidad en los valores isotópicos de las vibrisas está relacionada con la periodicidad ambiental con un desfase entre las condiciones ambientales y la información isotópica de la vibrisa de 2.4 meses. Concluyó que las oscilaciones de las vibrisas corresponden a un tiempo determinado, con lo que estimó la tasa de crecimiento usando el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy. Dado que se conocían todos los parámetros de la ecuación de Bertalanffy excepto K (tasa de crecimiento), la ecuación se resolvió para ese parámetro. Una vez estimada la tasa

de crecimiento, fue posible asignar fechas (edades) a los distintos fragmentos de las vibrisas analizadas. Encontró que la tasa de crecimiento fue de 0.005 mm/día.

Justificación

El estudio de la lactancia en mamíferos y en pinnípedos en particular, es relevante porque es un indicador claro de la inversión materna y/o del grado de dependencia de las crías hacia sus madres. Constituye un rasgo de historia de vida en la adaptación y evolución de estas especies al medio ambiente. Medir la duración del periodo de lactancia en distintas poblaciones o regiones, permite conocer el grado de adaptabilidad en el patrón de inversión materna y predecir su respuesta ante cambios drásticos en las condiciones del ambiente.

Hipótesis

La duración del periodo de lactancia en el lobo marino de California varía entre colonias ubicadas en localidades con distintas condiciones ambientales. En ambientes con una marcha de chl-a estacional y de mayor duración e intensidad, las hembras destetarán a sus crías en una etapa más temprana que en ambientes con concentración de chl-a estacional menor.

En este estudio se espera ubicar la señal isotópica de lactancia en las vibrisas de lobos marinos, y con ello, medir la duración de este periodo. Al compararlo entre las zonas de muestreo se infiere que el periodo de lactancia será menor en juveniles provenientes de Isla Santa Margarita ubicada en la costa occidental de Baja California, donde se infiere que existe una mayor abundancia de recursos. Por lo tanto se espera que las crías sean destetadas antes que las crías de las colonias en Isla San Esteban y los Islotes al interior del Golfo de California.

Objetivo general:

Determinar la duración del periodo de lactancia a partir de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ encontrada en vibrisas de juveniles de lobo marino de California en tres localidades con diferentes condiciones ambientales: Isla San Esteban, Los Islotes e Isla Santa Margarita.

Objetivos particulares:

- ✎ Analizar las variaciones en la señal isotópica de C y N a lo largo de vibrisas de juveniles del lobo marino de California, y determinar el momento en que se presentan fluctuaciones importantes en las razones isotópicas en C y N que indiquen un cambio ontogénico en la dieta.
- ✎ Estimar el tiempo de integración isotópica de cada fragmento a partir del modelo de crecimiento de von Bertalanffy propuesto para vibrisas de lobo marino de California (Rosas-Hernández, 2013).
- ✎ Comparar la duración del periodo de lactancia en tres localidades de la Península de Baja California con distintas condiciones ambientales

Materiales y métodos

1. Elección del área de estudio

Se eligieron tres colonias de reproducción; dos de ellas dentro del Golfo de California; San Esteban y Los Islotes y una en el Océano Pacífico; Isla Santa Margarita (Figura 2). Se eligieron estas colonias con base en los valores de chl-a inferidos por Rosas- Hernández (en preparación) a partir de imágenes satelitales nivel 3 captadas por el sensor MODIS – AQUA. Las imágenes fueron obtenidas de la página Ocean Color Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) con una resolución de 4x4 km. Para extraer las imágenes en un formato con el cual se pueda comparar entre islas, se usó el lenguaje de programación MATLAB versión 7.10.0. Las

imágenes corresponden a un promedio de ocho días, desde enero del 2007 hasta diciembre del 2013 (Figura 3).

Isla San Esteban

La Isla San Esteban se encuentra en la región de las Grandes Islas dentro del Golfo de California; cuyas características oceanográficas la distinguen debido a que presenta las menores temperaturas superficiales y la mayor concentración de nutrientes y CO₂ del golfo (Álvarez-Borrego *et al.*, 1978). En esta zona, las corrientes de marea son muy intensas, lo que genera una situación parecida a una constante surgencia, por ello, la productividad primaria es alta (Álvarez-Borrego, 2008). La mezcla formada alrededor de Isla San Esteban agita la columna de agua, transportando aguas frías y ricas en nutrientes hacia la superficie. En la región de las Grandes Islas, a lo largo de todo el año se tiene mezcla de agua debido a fenómenos asociados a las mareas, sin embargo, se han registrado índices de estratificación más altos en verano que en invierno (Cortés-Lara *et al.* 1994). En la región circundante a la Isla San Esteban, se han reportado dos picos en la marcha de clorofila a anuales: uno durante invierno-primavera y otro durante el verano asociados a eventos de surgencias (Figura 3) (Rosas-Hernández, 2013).

En Isla San Esteban se encuentra la colonia con la mayor abundancia de lobos marinos del Golfo de California. Szteren *et al.*, (2006) cuantificaron un total de 5,666 lobos marinos y 1,748 crías en esta colonia y estimaron un incremento anual en el número de crías de 8.2 % desde 1991. Los lobos marinos de Isla San Esteban se alimentan principalmente de peces con hábitos pelágicos como sardina y peces linterna o mictófidios. Tienen un patrón de alimentación que depende de la abundancia de peces pelágicos como *Trichiurus lepturus*, y *Sardinops caeruleus* en la zona. Presentan una diversidad de presas alta en enero y baja en septiembre, ya que en esta época la sardina es dominante (Aurioles-Gamboa y García-Rodríguez, 2004).

Los Islotes

Esta lobería es parte del complejo insular Espíritu Santo, se encuentra ubicada dentro de Bahía de la Paz, situada en la zona sur del Golfo de California.

Las imágenes satelitales obtenidas de esta región, muestran una alta concentración de pigmentos o surgencias durante el invierno, las surgencias que se detectan durante el verano son más débiles. Se han detectado giros de 50 a 150 km de diámetro, los cuales son un componente importante en la circulación del Golfo de California. Los procesos de mesoescala son de gran importancia para esta zona, principalmente durante el verano (Lavín y Marinone, 2003). La concentración máxima de clorofila que se presenta en la entrada del Golfo es de $\sim 0.1 \text{ mg/m}^3$ (Reyes – Salinas *et al.*, 2003).

Los Islotes en 2004, tenía una población de 439 lobos marinos y 143 crías, incrementando su tamaño en un 50.6% de 1996 al 2004 (Szteren *et al.*, 2006). Es una de las pocas colonias del Golfo de California que han aumentado su población (Ward *et al.*, 2009). En esta localidad, los lobos marinos se alimentan principalmente de peces con hábitos demersales y bentónicos así como de cefalópodos (Porrás-Peters *et al.*, 2008). Las presas más importantes en su dieta pertenecen a la familia Aulopidae y Serranidae (Auriol-Gamboa *et al.*, 2003).

Isla Santa Margarita

Isla Santa Margarita se ubica en la costa sur occidental de la Península de Baja California. Es parte del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, el cual es considerado como uno de los sistemas lagunares más importantes del noroeste mexicano por su extensión, su alta productividad biológica y por ser un activo centro pesquero. Confluyen flora y fauna marina residente, adaptada a los cambios de ambiente y especies migratorias de afinidad tanto templada como tropical (Fuentes-Rodríguez *et al.*, 2007).

Esta zona presenta una elevada concentración de clorofila a (Figura 3) mostrando dos picos a través del año; de noviembre a marzo con valores mínimos (<1.5 mg de chl-a m^3) y concentraciones mayores de abril a junio (hasta 9.0 mg de chl-a m^3 Palomares-García *et al.*, 2003). En esta zona, el lobo marino de California, se alimenta principalmente de peces y calamares. Las especies que mayor energía le confieren son *Sardinops sagax* y *Merluccius angustimanus*, la primera por su alto valor energético y la segunda por su gran cantidad de biomasa (Rodríguez-Valenzuela, 2009).

Alrededor de cada localidad de estudio, se presenta una marcha de chl-a característica, similar dentro de las islas a través del tiempo, pero distinto entre ellas. En la figura 3 se pueden observar los niveles de concentración de chl-a mensuales de 2006 a 2012.

En la Isla San Esteban, se presentan dos incrementos en el año aproximadamente similares. En Isla Santa Margarita se nota un incremento muy alto en la marcha de clorofila a, seguido de un incremento menos importante. En los Islotes, que se encuentran en la región sur del Golfo de California, se observan tasas máximas de concentración del pigmento durante primavera que disminuyen hacia el verano y otoño. Se nota claramente una periodicidad a través de los años donde se mantiene el patrón anual en cada sitio.

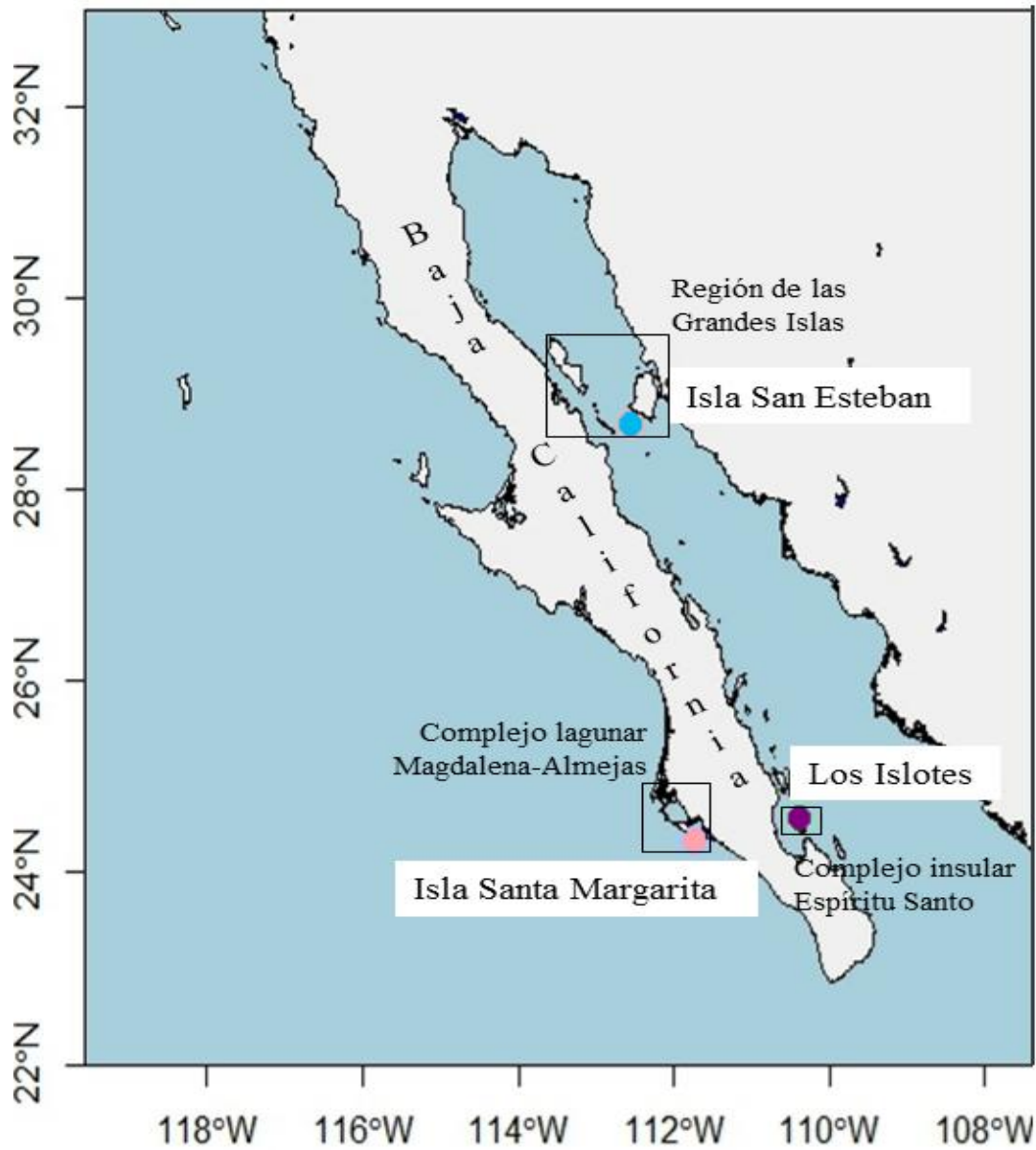


Figura 2. Ubicación de las colonias reproductoras de lobo marino de California donde se obtuvieron vibrisas de juveniles para este estudio.

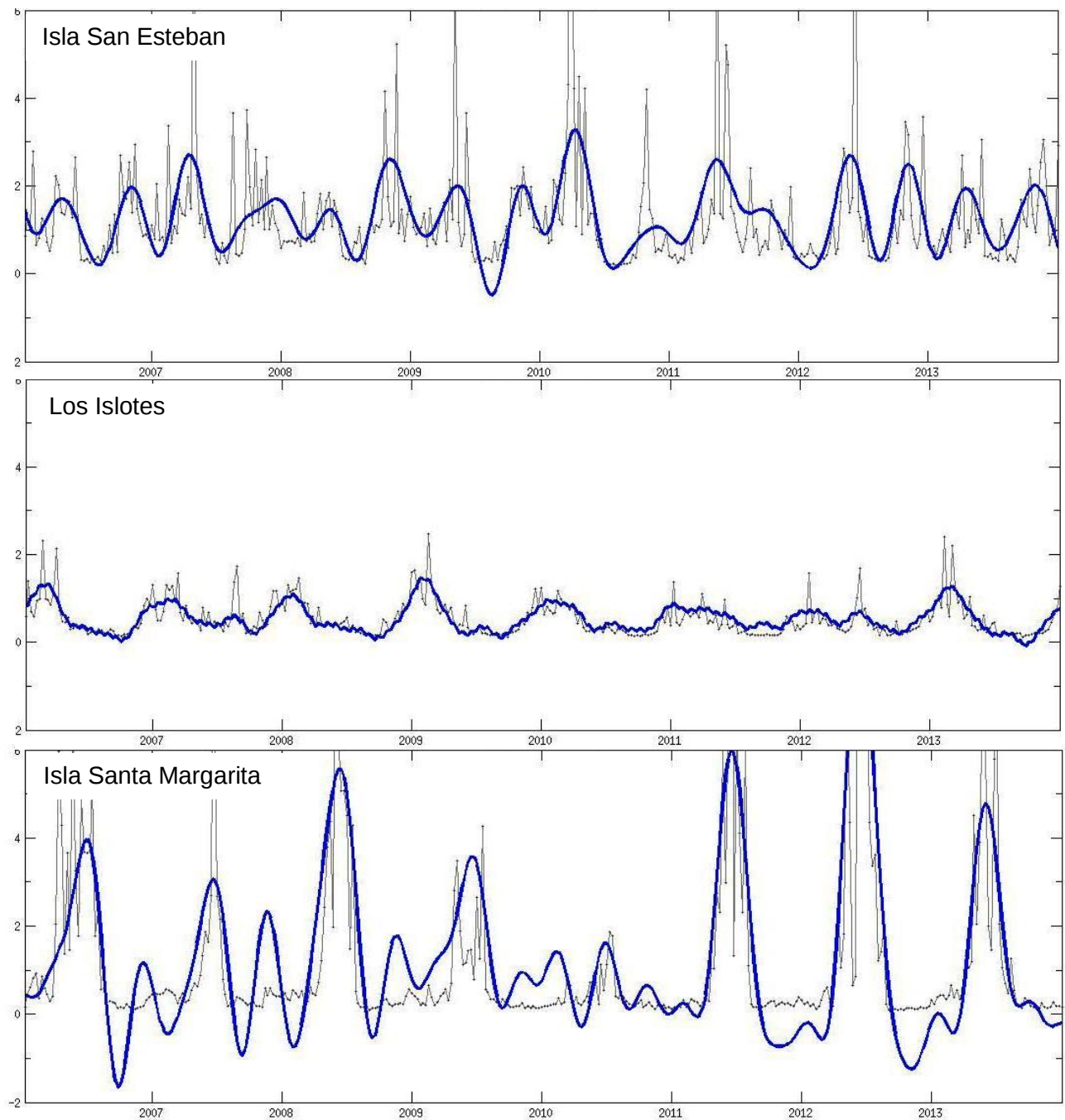


Figura 3. Variación de chl-a obtenida del satélite MODIS-AQUA alrededor de las tres colonias de lobo marino en este estudio. Nótese la diferencia en magnitud y presencia de incrementos anuales de chl-a entre las localidades de Isla San Esteban, Los Islotes e Isla Santa Margarita. Tomado de Rosas-Hernández (en elaboración).

2. Obtención de vibrisas:

Se capturaron lobos marinos juveniles de ambos sexos en las tres localidades de estudio: Isla San Esteban en la parte central del Golfo de California, Los Islotes en Bahía de la Paz e Isla Santa Margarita en la costa occidental de Baja California Sur (Figura 2) durante la temporada de reproducción de junio 2011 y mayo 2012. Se capturaron de 6 a 12 animales en cada colonia y se eligieron aquellos que no presentaban visualmente el color característico de crías, por lo que se esperaba que tuvieran por lo menos un año de edad.

Cada individuo se pesó con una báscula y se midió con una cinta métrica. Se colectaron por lo menos 2 vibrisas misticiales de ambos lados del hocico de cada lobo marino, extrayéndolas con unas pinzas metálicas. Las muestras fueron guardadas en sobres de papel, etiquetado con las características del organismo, la fecha y el sitio de colecta, así como el lado del hocico donde fueron extraídas. Se midieron todas las vibrisas colectadas. De los 28 organismos capturados se obtuvo un total de 84 vibrisas: 29 de Isla San Esteban, 19 de Los Islotes y 36 de lobos marinos de Isla Santa Margarita. La longitud de las vibrisas osciló entre 2.5 y 15 cm. Finalmente, se seleccionaron las vibrisas más largas de los cinco juveniles que presentaron mayor longitud corporal para el análisis isotópico.

3. Preparación y selección de muestras para análisis isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Se midieron las 84 vibrisas recolectadas en el campo, separándolas por cada lado del hocico. Se comprobó que las longitudes del lado derecho y el izquierdo no presentaron diferencias significativas mediante una prueba de t. Se realizó un análisis preliminar usando las vibrisas completas de los dos organismos de mayor longitud de cada isla. Cada vibrisa se lavó con agua destilada para evitar contaminación de otros tejidos o arena. Posteriormente, se lavaron con una mezcla de cloroformo–metanol 2:1 para eliminar cualquier rastro de lípidos, tal y como se realiza para otros tejidos queratinizados (Sare *et al.*, 2005; Orr *et al.*, 2012). Se eliminó el primer fragmento de la raíz para asegurar que no hubiera rastros de otros

tejidos como piel o sangre que sesgaran el análisis isotópico, pero se anotó la longitud de este primer fragmento para el cálculo de la edad de la vibrisa.

Tabla 1. Juveniles de lobo marino muestreados en tres colonias reproductivas durante los veranos de 2011 y 2012 y sus biometrías. Donde H= hembra y M = macho.

Colonia	Fecha de colecta	Animales capturados		Peso (Kg)	Longitud (cm)
		H	M		
Isla San Esteban	25 al 28 de Junio de 2011	6	4	39.125 ± 6.28	125.06 ± 4.42
Los Islotes	11y 12 de mayo de 2012	3	3	32.28±4.58	114.08±3.35
Isla Santa Margarita	3 al 6 de Junio de 2011	6	6	35.09 ± 6.09	117 ± 7.23
Total		15	13	36.06 ± 8.99	118.5 ± 7.57

Cada vibrisa se cortó en fragmentos menores de 1 mm que se pesaron en una micro balanza analítica; cuando fue necesario se añadieron más fragmentos hasta aforar un peso de entre 0.8 y 1.2 µg, peso requerido por el laboratorio de análisis isotópico. Posterior al pesaje, se guardaron los fragmentos en capsulas de estaño de 5 mm. Las capsulas se sellaron y se enviaron al Laboratorio de Isótopos Estables en la Universidad de California en Davis California, donde se cuantificaron las razones isotópicas de N y C con un espectrómetro de masas de flujo continuo (CF-IRMS) acoplado a un analizador elemental PDZ Europa 20-20, con una precisión de ±0.2‰ para ambos isótopos. Ese laboratorio realiza periódicamente análisis de calibración de la señal isotópica de nitrógeno atmosférico y sacarosa para el carbono. La calibración se realizó con estándares internacionales de referencia: N₂ atmosférico ($\delta^{15}\text{N}$ = 0.004 ‰) y carbonato de calcio conocido como Pee Dee Belemnita (PDB) ($\delta^{13}\text{C}$ = 0.011 ‰) para carbono. Los resultados se expresaron en “ δ ”, que indica la relación entre el isótopo pesado dividido entre el isótopo ligero y advierten una

diferencia de valores entre la muestra y un estándar. Sus unidades se expresan en ‰ (partes por mil). Se miden con la siguiente fórmula:

$$\delta \text{ ‰} = (R \text{ muestra} - R \text{ estándar}) / R \text{ estándar} * 1000$$

Dónde:

R muestra = Razón del isótopo pesado/isótopo ligero ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ o $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) de la muestra analizada.

R estándar = Razón del isótopo pesado/isótopo ligero ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ o $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) del estándar usado en el laboratorio.

Con los datos isotópicos de las primeras seis vibrisas se realizaron perfiles de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Como fue necesario analizar más muestras, se usaron solo algunos fragmentos de la vibrisa para optimizar recursos. Para conocer cuántos fragmentos eran suficientes para no perder información importante, se generaron perfiles isotópicos derivados de distinto número de fragmentos usando sucesivamente fragmentos alternados, cada dos fragmentos. Posteriormente se analizaron visualmente todos los perfiles para definir en qué número de fragmentos se perdía el patrón isotópico y se seleccionó el primer perfil donde se redujo el número de fragmentos aproximadamente a la mitad (Figura 4).

Se eligió usar este número de fragmentos ya que la información de la mitad de la vibrisa aún reflejaba el patrón representado por la vibrisa completa y los costos se redujeron a la mitad. En el caso del perfil generado usando la información de un fragmento si y dos no, se pierden las suaves fluctuaciones dentro de los perfiles isotópicos, los cuales brindan información acerca de posibles cambios en la dieta del organismo. Finalmente, al notar patrones semejantes entre los dos perfiles isotópicos de los animales de la misma localidad, pero distintos en relación de otras localidades, se decidió analizar tres individuos más por cada isla, resultando en un total de cinco vibrisas analizadas en cada sitio.

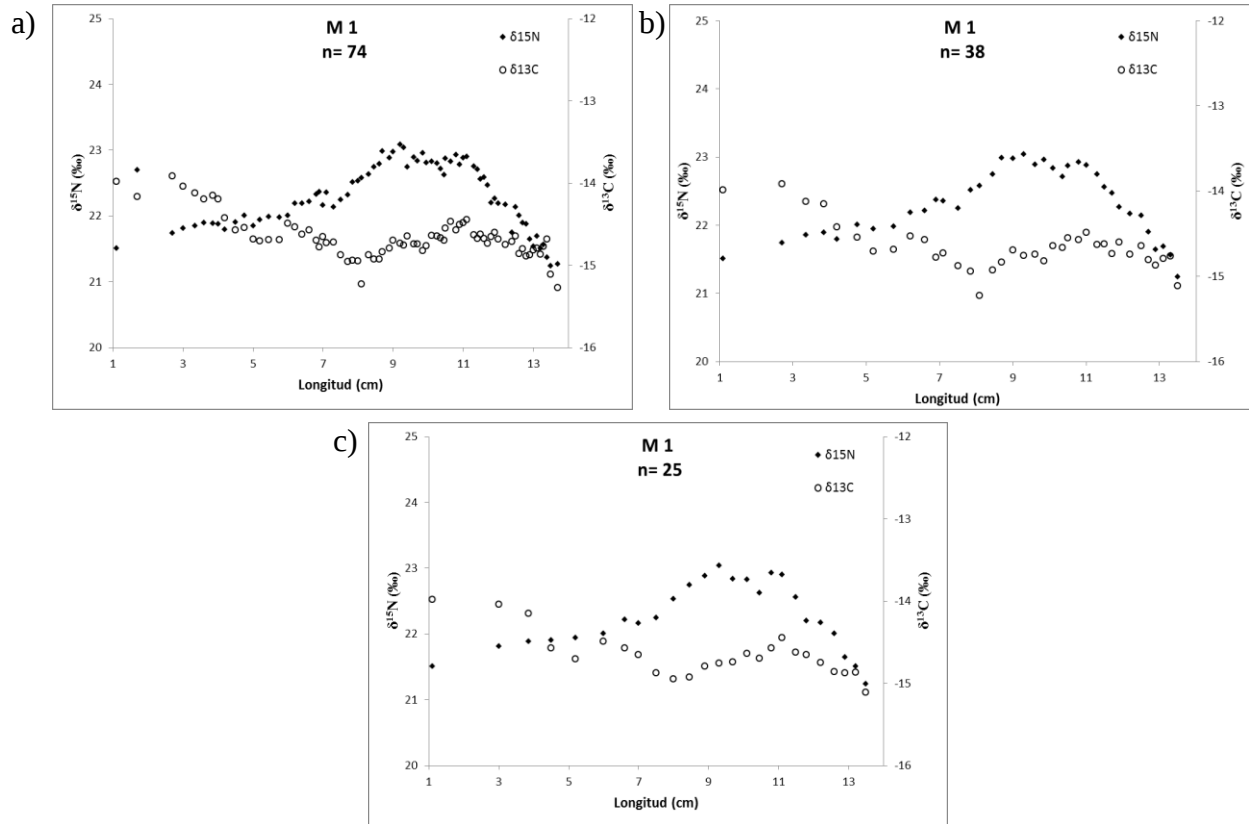


Figura 4. Perfiles isotópicos de la vibrisa M1, usando diferente número de fragmentos. Donde “a” muestra el análisis de todos los fragmentos que componen la vibrisa (n=74), “b” la información de fragmentos alternados (n=38) y “c” usando la información cada dos fragmentos (n=25).

4. Estimación del tiempo representado por las vibrisas

Se realizaron perfiles isotópicos para cada vibrisa analizada con el fin de notar cambios isotópicos potencialmente asociados al periodo de lactancia y el destete. Se calculó el tiempo que representaba cada fragmento de la vibrisa a partir del modelo de crecimiento de Von Bertalanffy, previamente desarrollado por Rosas-Hernández (2013) para vibrisas de lobo marino de California de la Isla San Esteban:

Ecuación general del modelo Von Bertalanffy

$$L_{(t)} = L_y * [1 - \exp(-K*(t-t_0))]$$

Dónde:

$L_{(t)}$: Longitud a la edad “t”

L_y = Longitud máxima promedio

K= Tasa de crecimiento

t= Edad

t_0 = Edad hipotética cuando la longitud es cero (-0.012)

La ecuación de Von Bertalanffy resuelta para la edad (tiempo reflejado en cada fragmento de la vibrisa) se expresa como:

$$t = t_0 - \left(\frac{1}{K}\right) * \ln\left(1 - \left(\frac{L(t)}{L_y}\right)\right)$$

Dónde:

t= “Edad” del fragmento.

t_0 = -0.012 (Rosas- Hernández, 2013).

K= 0.005 mm/día (Rosas-Hernández, 2013).

$L_{(t)}$: Longitud de cada fragmento de vibrisa.

L_y = 160 mm (Rosas-Hernández, 2013).

Se realizaron gráficas de dispersión mostrando las razones isotópicas de cada fragmento con relación al tiempo calculado en días de acuerdo al modelo.

5. Detección de la señal de lactancia

Para asignar el valor de referencia al periodo de lactancia, se usaron valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$, ya que es el isótopo que indica relaciones tróficas. Fue necesario primero calcular el valor de fraccionamiento isotópico que se espera del tejido de las crías con respecto a la leche materna. El fraccionamiento se calculó tomando en cuenta el valor isotópico de leche materna y el valor del suero de crías lactantes, que muestra la señal de alimento más reciente, por lo que ofrece información del enriquecimiento del tejido con respecto a la leche. Los valores de suero y de leche materna fueron tomados de los reportados por Auriolles-Gamboa *et al.* (en preparación). Se obtuvo un valor de fraccionamiento trófico de $1.9 \pm 0.38 \text{ ‰}$.

Tomando en cuenta las variaciones isotópicas de cada lugar de muestreo debido a diferencias isotópicas que provienen desde la base de la red trófica (Auriolles-Gamboa *et al.*, 2009; Auriolles-Gamboa *et al.*, 2013) se optó por calcular un rango de valores de lactancia para cada localidad. Este cálculo se basó en valores de $\delta^{15}\text{N}$ reportados por Mote-Herrera (2011) para Los Islotes e Isla Santa Margarita y por Rosas-Hernández (2013) para Isla San Esteban. En todos los casos, se tomaron valores isotópicos de vibrisas de hembras adultas muestreadas en la temporada reproductiva. El promedio y desviación estándar de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ se ajustó al valor de fraccionamiento calculado y se obtuvieron los valores de lactancia (tabla 2).

Tabla 2. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ reportados para hembras adultas a partir del cual se calculó el valor de lactancia (fraccionamiento trófico de $1.9 \pm 0.38 \text{ ‰}$) para cada lobera analizada en el presente trabajo.

Lobera	Valor de $\delta^{15}\text{N}$ reportado para hembras adultas (‰)	Valor de lactancia (‰)
Isla San Esteban	21.31 ± 0.6	23.21 ± 0.6
Los Islotes	20.77 ± 0.2	22.67 ± 0.2
Isla Santa Margarita	19.29 ± 0.38	21.19 ± 0.38

6. Estimación de la edad de los lobos marinos muestreados

Para estimar la edad aproximada de los lobos marinos de los que se obtuvieron las vibrisas, se usó la siguiente información como referencia: 1) relación edad-longitud de individuos de edad conocida (Hernández-Camacho datos no publicados); 2) valores isotópicos de nitrógeno a través de la vibrisa, tomando en cuenta que estos valores muestran un enriquecimiento posterior al nacimiento; y 3) la temporada de nacimientos. Se sabe que los pinnípedos presentan un ciclo reproductivo con una periodicidad anual y una marcada sincronización durante este periodo (Boness y Bowen, 1996). El pico de nacimiento en *Z. californianus* en los Islotes, es durante el mes de junio, pero, este periodo se puede extender a principios de Julio (García-Aguilar y Auriolles-Gamboa, 2003). De modo que al nacer todos los individuos de una población en el verano de cada año, es posible asignar un año cerrado de edad a cada animal si este es capturado y medido durante el verano, como fue el caso en este estudio.

7. Detección de diferencias significativas en perfiles isotópicos.

Se realizó el análisis de los perfiles isotópicos con el detector de cambio de régimen STARS (Rodionov, 2004). Las pruebas se realizaron usando una $p = 0.05$ y una longitud de corte de 10 fragmentos. La longitud de corte controla la magnitud de los cambios detectados y es directamente proporcional a los cambios encontrados. Los regímenes sugeridos por la prueba no se pudieron explicar biológicamente, como periodo de gestación, lactancia o destete (Anexo 2) ya que en muchos casos se encontraron más de tres regímenes en un mismo perfil. Es importante resaltar que aunque se realizaron pruebas con varias longitudes de corte, no fue posible la interpretación, ya que la prueba encuentra cambios de régimen en vibrisas tanto en hembras adultas como en organismos lactando que, al analizar sus valores isotópicos e historia de vida, no se esperaba que mostraran cambios ontogénicos (Anexo 2).

Resultados

Número de fragmentos y los perfiles isotópicos

Sobre la base de los individuos de cada colonia, se agruparon las vibrisas obtenidas del lado derecho del hocico y las vibrisas obtenidas del lado izquierdo. Se midieron independientemente (Figura 5) y no se encontraron diferencias significativas entre la longitud de las vibrisas del lado derecho y las del lado izquierdo para ninguna (Isla San Esteban $t(28) = 0.4$, $p > 0.05$; Los Islotes $t(18) = 0.74$, $p > 0.05$; Isla Santa Margarita $t(35) = 0.66$, $p > 0.05$)

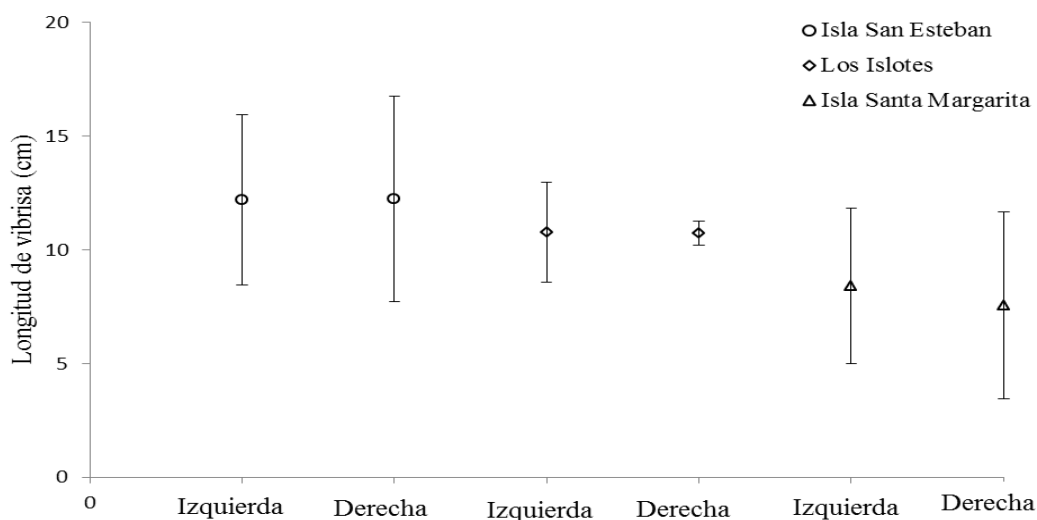


Figura 5. Longitud de las vibrisas de ambos lados del hocico de lobos marinos muestreados durante el verano del 2011 y 2012.

Para el análisis isotópico se eligieron cinco vibrisas por isla, provenientes de los cinco lobos marinos más grandes capturados (con base en su longitud). Se eligió esta cantidad ya que durante el análisis preliminar se observó que el patrón que seguían los perfiles isotópicos era similar dentro de cada isla. Se seleccionó la vibrisa más larga de cada uno de los organismos, obteniendo un total de 781 fragmentos. De los fragmentos generados, 564 fueron enviados al Laboratorio de Isótopos Estables en la Universidad de Davis en California para analizar sus razones

isotópicas (Tabla 3). Para distinguir las vibrisas se les asignó una clave que contiene la isla de la cual proviene la muestra, donde (M) es Isla Santa Margarita, (E) es Isla San Esteban e (I) Los Islotes y un número consecutivo que va del 1 al 5.

Calculo de edad:

A partir del modelo de crecimiento obtenido por Rosas-Hernández (2013) se estimó el número de días transcurridos entre cada fragmento y dado que conocíamos la fecha de colecta correspondiente al extremo más reciente de cada vibrisa (raíz) fue posible asignarle una fecha y a cada fragmento (Tabla 3).

Tabla 3. Relación de las vibrisas muestreadas, los fragmentos obtenidos y días de información isotópica contenida.

	Organismo				Vibrisa		Tiempo (días)
	Sexo	Peso (kg)	Longitud (cm)	Longitud (cm)	Fragmentos obtenidos	Fragmentos analizados	
Isla San Esteban	M	42	134	11.5	55	55	291
	M	40	130	13.7	63	63	489
	H	37	125.5	13.6	53	27	474
	H	41	125	12	57	29	322
	H	40	125	10.6	47	24	245
Los Islotes	M	34	116.5	11.2	48	48	275
	M	37	116	11.3	49	25	280
	M	29	114	11.1	33	17	269
	H	36	117	10.5	50	50	240
	H	25	113	12	51	26	322
Isla Santa Margarita	M	52	129	13.9	76	76	522
	M	36	124	11.1	43	22	269
	H	40	124	10	46	46	220
	H	37	123	15	61	31	680
	H	35	118	11.6	49	25	297

Dos factores importantes para estimar la edad de un lobo marino son el peso y la longitud. En los juveniles analizados en el presente trabajo se observó una correlación entre estos dos parámetros. Cabe señalar que los ejemplares capturados en Los Islotes son los más chicos, tanto en peso como en longitud, mientras que los de Isla San Esteban son los más grandes tomando en cuenta la longitud (Figura 6).

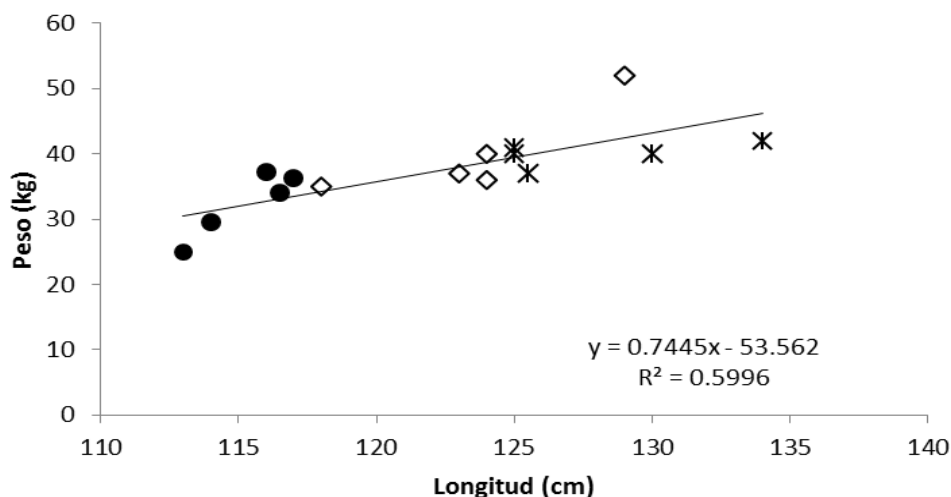


Figura 6. Peso y longitud de organismos muestreados para el presente trabajo. La figura señala la correlación que existe entre el peso y la longitud.

Análisis isotópico

Se analizaron las vibrisas de 15 lobos marinos en un total de 564 fragmentos (cinco vibrisas por cada isla). Los valores promedio obtenidos se presentan en la Tabla 4. Los valores más enriquecidos en $\delta^{15}\text{N}$ se encontraron en Los Islotes y los más empobrecidos en Isla Santa Margarita, en tanto que los valores más enriquecidos en $\delta^{13}\text{C}$ se encontraron en Isla San Esteban, mientras que los valores más empobrecidos de carbono se ubicaron en Isla Santa Margarita. Otro aspecto a resaltar en los valores isotópicos de las vibrisas, es que aquellas que presentaron una menor variación tanto de $\delta^{13}\text{C}$ como de $\delta^{15}\text{N}$ fueron las procedentes de Los Islotes, mientras que las vibrisas de Isla San Esteban, se distinguen por una mayor

variación para ambas razones isotópicas. Todas las vibrisas analizadas mostraron un enriquecimiento de $\delta^{15}\text{N}$ con respecto a los valores de hembras adultas obtenidas en otros trabajos (Figura 7). El enriquecimiento de hasta 4 ‰ se debe a los valores enriquecidos de leche materna.

Tabla 4. Valores isotópicos de las 15 vibrisas analizadas, agrupadas por colonia reproductiva, mostrando las medias de los perfiles isotópicos, su desviación estándar y sus máximos y mínimos.

Colonia	Muestra	Razón Isotópica	Media $\pm$ SD	Máximo	Mínimo
Isla San Esteban	198	$\delta^{13}\text{C}$	-13.47 ± 0.59	-12.46	-14.71
		$\delta^{15}\text{N}$	22.58 ± 0.91	24.24	20.13
Los Islotes	166	$\delta^{13}\text{C}$	-14.45 ± 0.39	-13.28	-15.30
		$\delta^{15}\text{N}$	23.41 ± 0.33	24.27	22.63
Isla Santa Margarita	200	$\delta^{13}\text{C}$	-14.68 ± 0.43	-13.46	-15.72
		$\delta^{15}\text{N}$	22.11 ± 0.65	23.65	20.37

Periodo de lactancia

El valor isotópico de la lactancia se calculó con base en el valor de $\delta^{15}\text{N}$ de hembras adultas reportado por Mote-Herrera (2011) y Rosas- Hernández (2013) más el valor de fraccionamiento calculado a partir del valor isotópico de leche materna y el suero de crías reportado por Aurióles-Gamboa (en preparación). Además se tomó como indicador de alimentación independiente el valor de $\delta^{15}\text{N}$ de hembras adultas. De este modo, se obtuvo un valor promedio por isla, el cuál fue: 23.21 ± 0.6 para Isla San Esteban; 22.67 ± 0.2 para Los Islotes y 21.19 ± 0.39 para Isla Santa Margarita. En las vibrisas obtenidas en Isla San Esteban e Isla Margarita fue posible detectar cambios en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ que sugieren cambio ontogénico en la dieta (Figuras

8 a 12 y 18 a 22) mientras que en Los Islotes no se detectó ningún cambio que se pudiera interpretar como gestación, destete o alimentación libre (Figura 13 a 17).

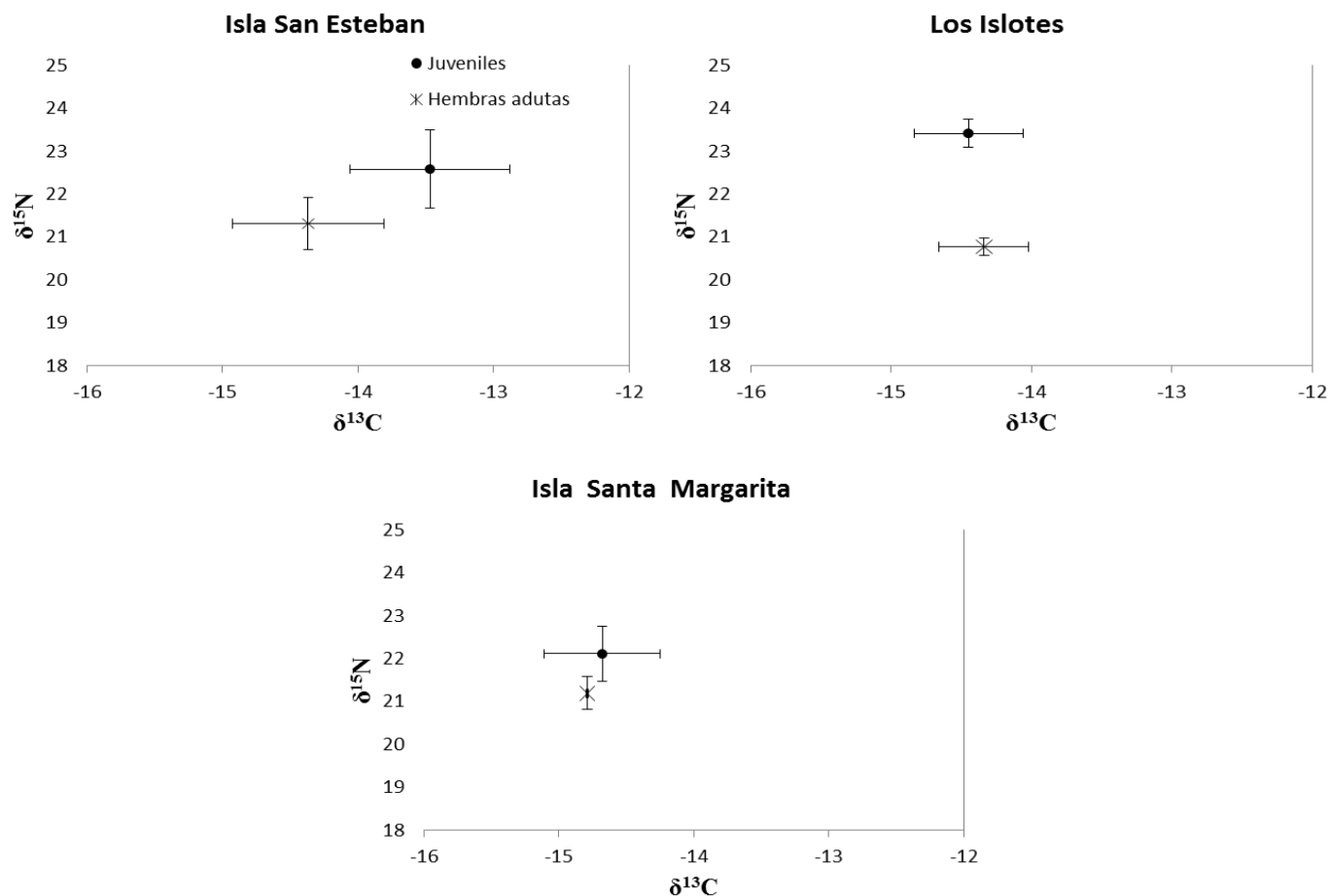


Figura 7. Razones $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ obtenidas en este trabajo (juveniles) y reportadas para vibrisas de hembras adultas por Mote-Herrera (2011) para los Islotes e Isla Santa Margarita y Rosas-Hernández (2013) para Isla San Esteban.

Perfiles Isotópicos

Cada perfil isotópico muestra la historia de un individuo. Al inicio de cada perfil, se aprecia la señal isotópica más antigua (la punta), mientras que al final del perfil están las señales más recientes (la raíz). En general, se notan oscilaciones de

mayor magnitud en las vibrisas obtenidas en Isla San Esteban (Figuras 8 a 12). Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los perfiles de las muestras de Isla San Esteban, están notablemente más enriquecidos al inicio que al final. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los perfiles de Los Islotes están enriquecidos y no es posible ver la caída de valores isotópicos como en los casos anteriores (Figuras 13 a 17). En las vibrisas de Isla Santa Margarita se observa un patrón similar al de Isla San Esteban, lo que en ambos casos puede sugerir lactancia (Figuras 18 a 22).

En los perfiles de $\delta^{13}\text{C}$, se observan distintos patrones para cada isla. Las vibrisas de Isla San Esteban muestran valores relativamente bajos seguidos de un enriquecimiento isotópico y un posterior empobrecimiento. En las vibrisas de Los Islotes, el enriquecimiento isotópico es de menor magnitud (Figuras 13 a 17). Los perfiles isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ de las vibrisas provenientes de Isla Santa Margarita parecen seguir dos patrones diferentes: las vibrisas M1 y M2 (Figuras 18 y 19) presentan un continuo empobrecimiento isotópico, con valores cada vez más bajos, mientras que el resto de las vibrisas provenientes de esta lobera tienen un empobrecimiento isotópico seguido de un enriquecimiento y un posterior empobrecimiento. (Figuras 20, 21 y 22).

Isla San Esteban

En las vibrisas obtenidas en la Isla San Esteban es posible detectar cambios en la dieta de los organismos muestreados analizando el perfil isotópico de nitrógeno, ya que se aprecian fluctuaciones de hasta 4.1‰. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ encontrados en la zona apical (la más antigua) están enriquecidos, por lo que se infiere falta una porción donde deberían observarse valores isotópicos de gestación (más bajos). En el caso de los perfiles isotópicos de carbono, no fue posible detectar cambios de dieta claros, sin embargo se puede distinguir el mismo patrón en las cinco vibrisas: un enriquecimiento seguido de un decaimiento de los valores isotópicos.

La vibrisa E1, de un juvenil macho de 134 cm de longitud y 42 kg de peso, midió 11.5 cm de longitud, lo que representa aproximadamente 10 meses de acuerdo

al modelo de crecimiento de Von Bertalanffy. Esta vibrisa refleja información integrada desde septiembre del 2010 hasta junio del 2011. Analizando el perfil de nitrógeno, se observa que para el mes de enero del 2011 la señal isotópica se empobrece, lo que puede indicar el inicio del destete e introducción de alimento marino en la dieta. Entre enero y febrero los valores de $\delta^{15}\text{N}$ van disminuyendo señalando un desgaste gradual. La señal de lactancia se refleja en casi cinco meses del perfil isotópico.

Dado que el periodo reproductivo del lobo marino de California es en verano, se infiere que este ejemplar nació en junio del 2010, por lo que se estima que hay tres meses faltantes de información que probablemente se perdieron por desgaste. En este caso, el periodo de lactancia estimado es de por lo menos ocho meses, sin embargo existe la posibilidad de que se extienda hasta 20 meses si el juvenil estuviese cumpliendo su tercer año de edad al momento del muestreo. Para febrero del 2011, el valor de $\delta^{15}\text{N}$ de esta vibrisa, alcanza el valor isotópico de hembras adultas reportados por Rosas-Hernández (2013), por lo que se infiere que alrededor de esta fecha, la dieta del organismo es similar a la de las hembras adultas.

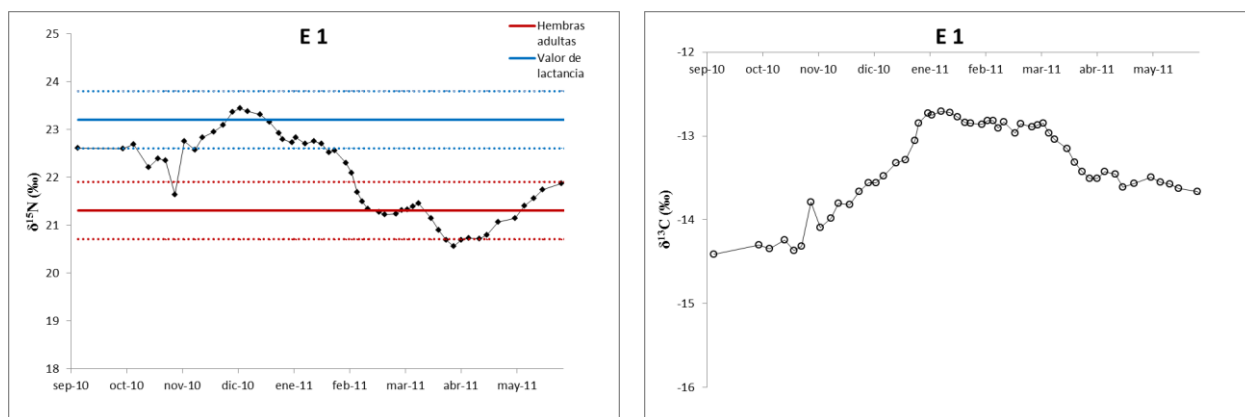


Figura 8. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa E1, obtenida en Isla San Esteban. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Rosas-Hernández (2013).

La vibrisa E2 tuvo una longitud de 13.7 cm y representa un periodo aproximado de 16 meses. Pertenecía a un juvenil macho de 130 cm de longitud y 40 kg de peso. Analizando el perfil isotópico de nitrógeno, no parece mostrar señal de gestación. El periodo de lactancia parece prolongarse hasta noviembre del 2010 mientras que la información de la vibrisa comienza en marzo del 2010, por lo que se infiere que este juvenil nació aproximadamente en junio del 2009 y tenía dos años de edad a la fecha de muestreo. El periodo de lactancia detectado en la vibrisa más los nueve meses que no se tiene información isotópica como consecuencia del desgaste, da como resultado que la duración del periodo de lactancia es de aproximadamente de 17 meses. Para diciembre del 2010, los valores de nitrógeno se acercan mucho a los valores de hembras adultas, lo que indica que para esta fecha la dieta del organismo fue similar a la de las hembras adultas. Se observa un enriquecimiento en la parte más reciente del perfil isotópico.

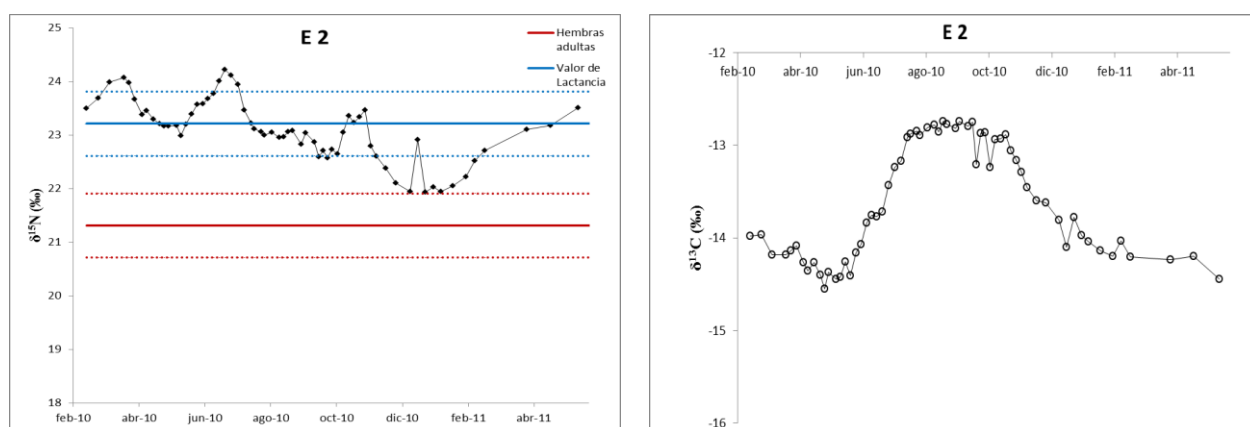


Figura 9. Perfiles isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la vibrisa E2, obtenida en Isla San Esteban. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Rosas-Hernández (2013).

La longitud de la vibrisa E3 fue de 13.3 cm y refleja un periodo de casi 16 meses. Pertenecía a una hembra de 125.5 cm de longitud y 37 kg de peso. Es

probable que la fecha de nacimiento de esta hembra fuera junio del 2009, ya que en la parte más antigua de la vibrisa no se aprecia la señal de gestación. Es evidente la señal de lactancia hasta noviembre del 2010, por lo que se puede inferir un periodo de 18 meses aproximadamente. Para diciembre del 2010, la señal isotópica de nitrógeno indica alimentación independiente similar a la de las hembras adultas y un enriquecimiento en la parte más reciente del perfil isotópico de nitrógeno como en el caso de E1.

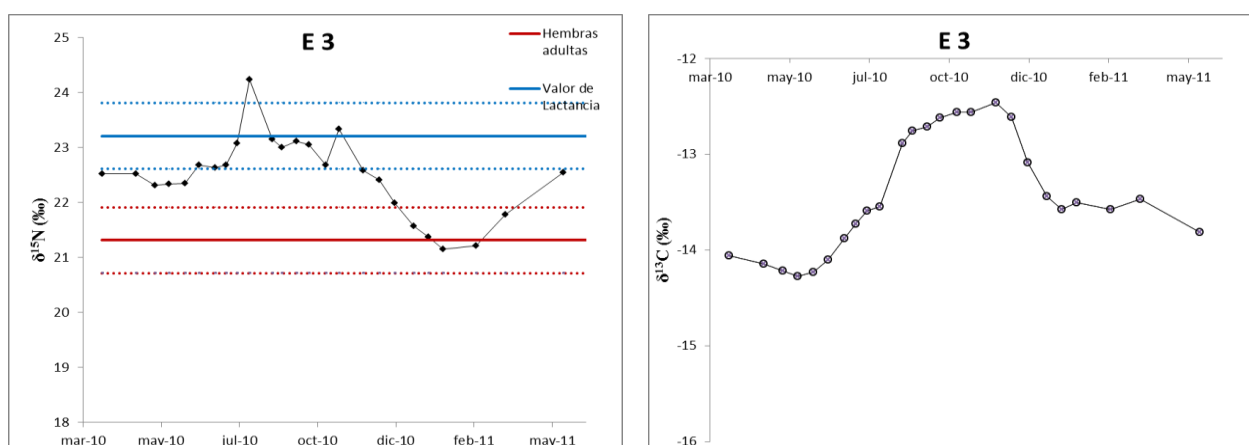


Figura 10. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa E3, obtenida en Isla San Esteban. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Rosas-Hernández (2013).

La vibrisa E4 que midió 11.8 cm perteneció a una hembra de 125 cm y 41 kg de peso. Se infiere que la fecha de nacimiento pudo ser junio del 2010 o junio del 2009. De los nueve meses que se registran en la vibrisa es posible definir que el periodo de lactancia dura hasta enero del 2011, pues en ésta fecha se encuentra un fuerte decaimiento isotópico y para febrero alcanza el valor reportado para hembras adultas. La señal de $\delta^{15}\text{N}$ continúa decayendo hasta abril del 2011, cuando experimenta un enriquecimiento justo en la parte más reciente de la vibrisa como en los casos anteriores. Se estima que la información encontrada en la vibrisa parte de

septiembre del 2010, por lo que si la fecha de nacimiento fue junio del 2010, entonces el periodo de lactancia duró aproximadamente 7 meses, sin embargo si el nacimiento fue en junio del 2009 el periodo de lactancia abarcó 19 meses.

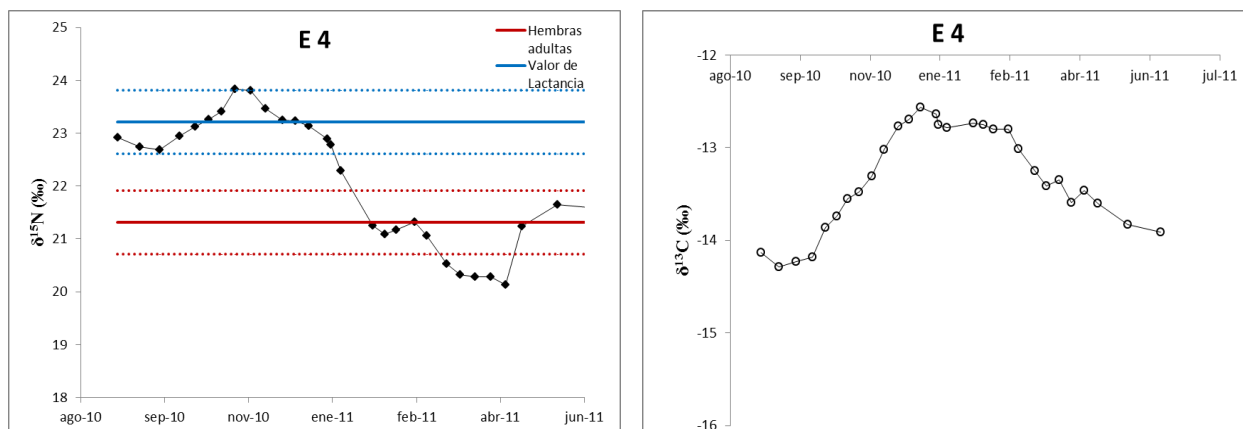


Figura 11. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa E4, obtenida en Isla San Esteban. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Rosas-Hernández (2013).

La vibrisa E5 con una longitud de 10.6 cm muestra un periodo de aproximadamente ocho meses, perteneció a una hembra de 125 cm de longitud y 40 kg. La señal de lactancia es visible en el perfil de $\delta^{15}\text{N}$ hasta abril del 2011. La vibrisa incluye información a partir de diciembre del 2010, por lo que en caso de haber nacido este individuo en junio del 2009, la lactancia tendría una duración de 10 meses. En el caso de haber nacido en junio del 2009, el periodo de lactancia sería de 22 meses. A finales de abril, el perfil muestra la mayor cercanía a los valores empobrecidos de las hembras adultas, pero para mayo existe un enriquecimiento que continúa hasta la parte más reciente de la vibrisa (junio 2011).

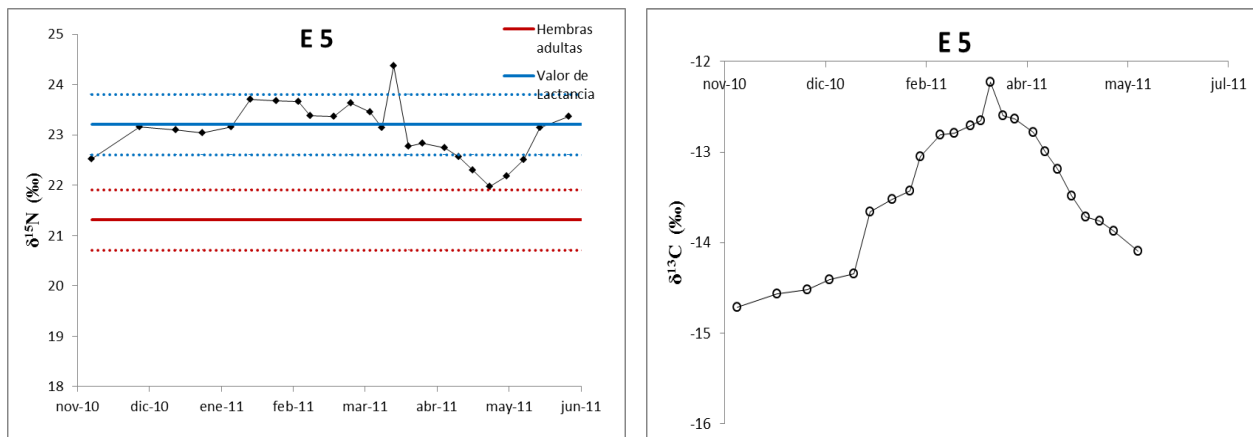


Figura 12. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa E5, obtenida en Isla San Esteban. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Rosas-Hernández (2013).

Los Islotes

Las cinco vibrisas obtenidas en Los Islotes no presentan cambios en las razones isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$ tan evidentes como las de Isla San Esteban. No presentan evidencia de la señal de gestación, es decir datos similares a los de sus madres, ni tampoco valores definidos como el final de la lactancia.

La vibrisa I1 corresponde a una hembra juvenil con 117 cm de longitud y un peso de 36 kg. La vibrisa midió 10.5 cm y arroja información de aproximadamente ocho meses a partir de septiembre del 2011. Se infiere que esta hembra nació en junio del 2011 y se calcula un periodo de lactancia de por lo menos de 11 meses.

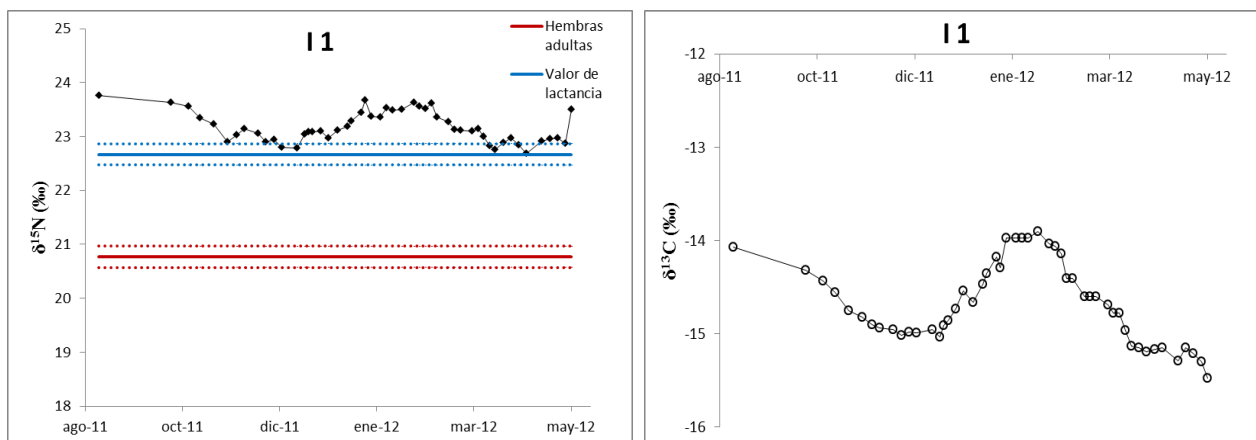


Figura 13. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa I1, obtenida en Los Islotes. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Mote-Herrera (2011).

La vibrisa I2 pertenecía a un macho de 117 cm de longitud y 34 kg de peso. La vibrisa midió 11.3 cm e incluyó información de ocho meses a partir de septiembre del 2011. Se infiere que este juvenil nació en junio del 2011, por lo que se asume que se han perdido aproximadamente tres meses de información. El periodo de lactancia es de por lo menos 12 meses.

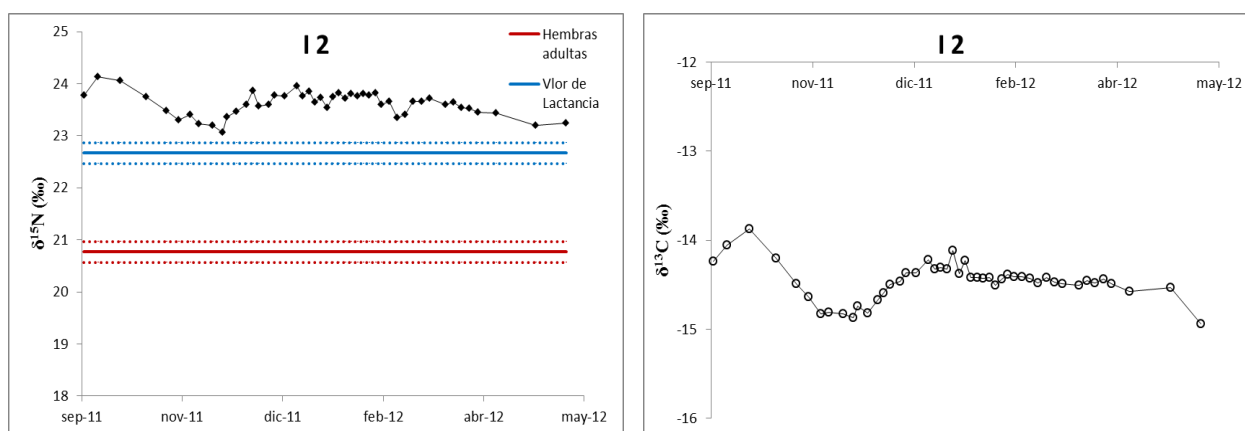


Figura 14. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa I2, obtenida en Los Islotes. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Mote-Herrera (2011).

La vibrisa I3 que midió 11.3 cm pertenecía a un macho juvenil de 118 cm de longitud y 37 kg de peso. Esta vibrisa reflejó aproximadamente nueve meses de información, iniciando en agosto del 2011. Se infiere que este individuo nació en junio de ese mismo año, por lo que se calcula un periodo de lactancia de por lo menos 11 meses.

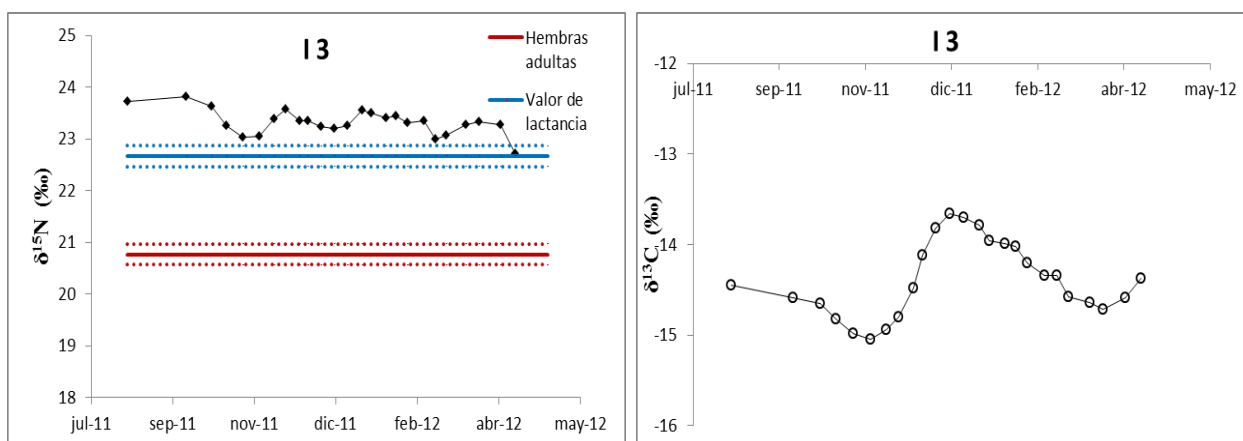


Figura 15. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa I3, obtenida en Los Islotes. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Mote-Herrera (2011).

La vibrisa I4 pertenecía a un macho de 114 cm de longitud y 29 kg de peso. La vibrisa midió 11.1 cm e integró información aproximadamente de nueve meses a partir del fragmento fechado como septiembre del 2011. Se infiere que el juvenil nació en junio del 2011 y que el periodo de lactancia duró por lo menos 12 meses.

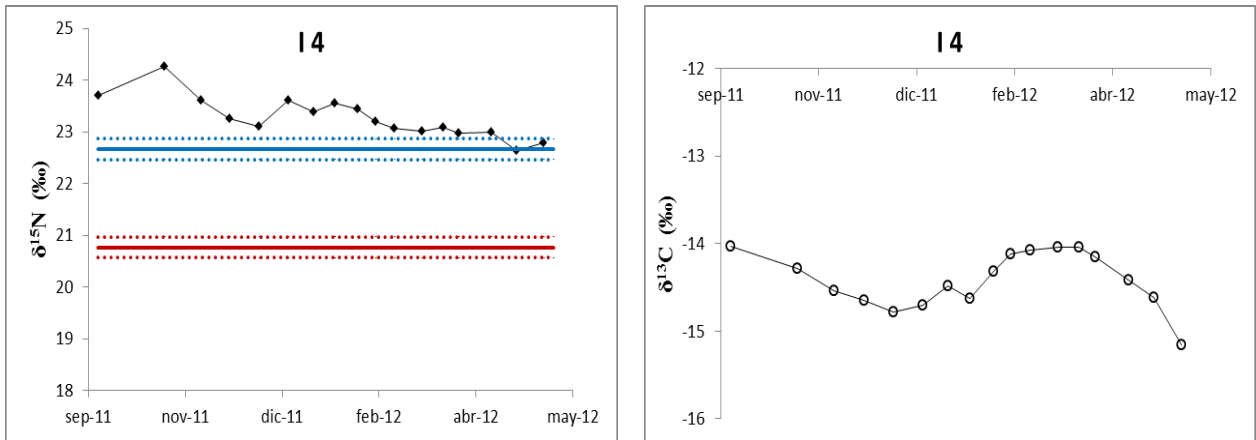


Figura 16. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa I4, obtenida en Los Islotes. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Mote-Herrera (2011).

La vibrisa I5 perteneció a una hembra de 113 cm de longitud y 25 kg. La vibrisa midió 12 cm y contenía información de aproximadamente 11 meses a partir del fragmento fechado como agosto del 2011. Asumiendo que la fecha aproximada de nacimiento fue junio del 2011, se calcula un periodo de lactancia de por lo 13 meses.

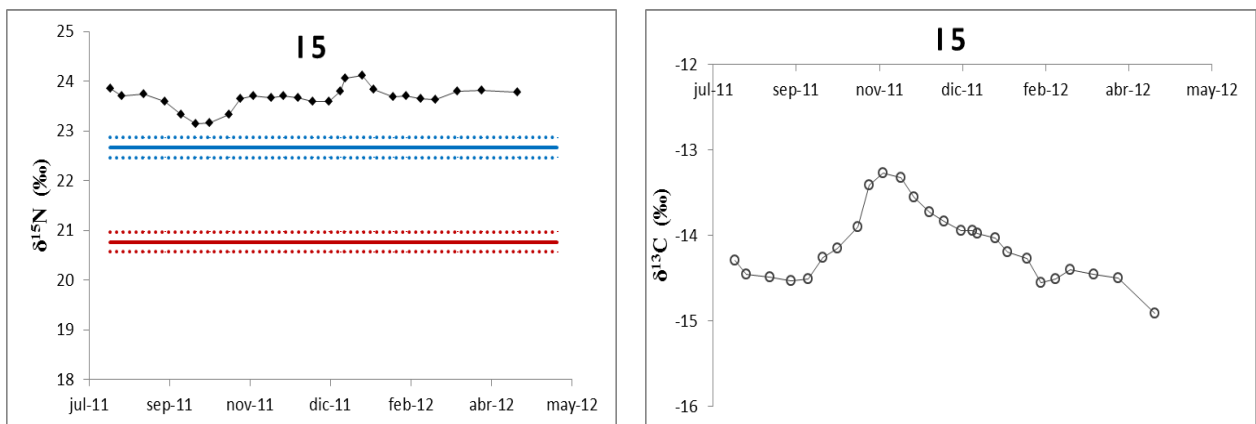


Figura 17. Perfiles isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la vibrisa I5, obtenida en Los Islotes. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Mote-Herrera (2011).

Es interesante notar que en ninguna de las cinco vibrisas, la señal de $\delta^{15}\text{N}$ fue menos enriquecida que la señal de lactancia y se encontraron muy por encima de los valores isotópicos reportados por Mote-Herrera (2011) de hembras adultas. Se infiere, por lo tanto, que la alimentación de estos individuos de esta colonia aún depende de la leche materna. Por lo tanto el periodo de lactancia supera la edad de los organismos. Los valores isotópicos no muestran ningún decaimiento por lo que se infiere que el periodo de destete aun no comenzaba.

Isla Santa Margarita:

En los perfiles de $\delta^{15}\text{N}$ de las vibrisas de Isla Santa Margarita fue posible detectar cambios de dieta, pero no así en los de $\delta^{13}\text{C}$ que no mostraron patrones claros o indicativos de cambios de alimentación en las fases esperadas.

La vibrisa M1 midió 13.9 cm integrando información de próximamente 16 meses. Esta vibrisa correspondió a un macho juvenil que midió 129 cm y pesó 52 kg. En el perfil de $\delta^{15}\text{N}$ se puede notar el enriquecimiento en la señal isotópica generado por la leche materna, en julio del 2010 alcanzaron su máximo. La señal de lactancia se puede apreciar en todo el perfil, sin embargo presenta un constante decaimiento a partir de septiembre del 2010. Por lo que es probable que ya exista un aporte isotópico procedente de alimento de origen marino. Este empobrecimiento pareciera el comienzo de un destete gradual; a pesar de que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ no sobrepasan el valor supuesto de lactancia, se acercan paulatinamente ya que existe un decaimiento constante. Se infiere un desgaste de la vibrisa ya que en los valores más antiguos no alcanzan los valores de hembras adultas, sin embargo, se aprecia una mezcla de valores empobrecidos correspondientes a la señal de gestación. Tomando en cuenta el pico de nacimientos en esta especie, se deduce como fecha probable de nacimiento junio del 2009, por lo tanto, la información desgastada equivale a siete meses y el periodo de lactancia va más allá de 23 meses.

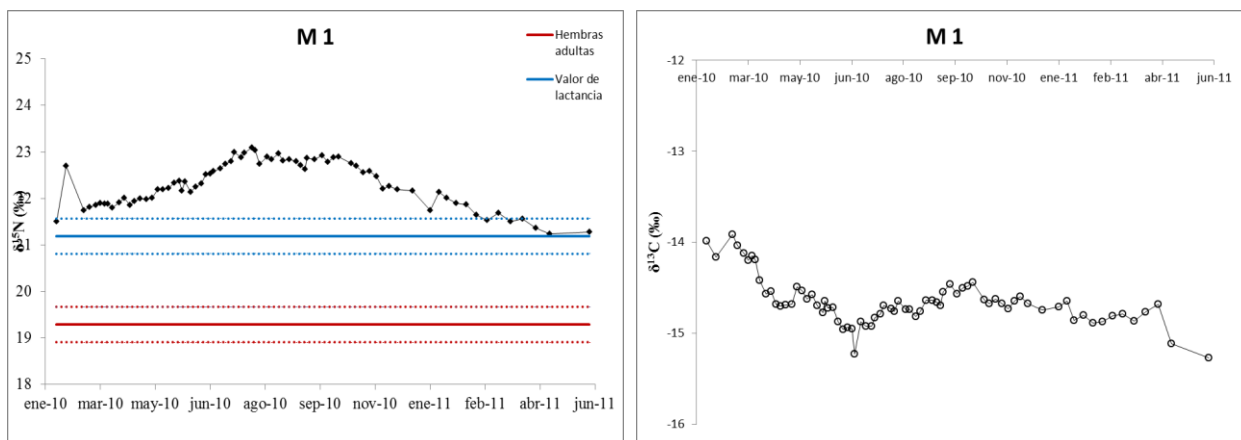


Figura 18. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa M1, obtenida en Isla Santa Margarita. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor para hembras adultas reportado por Mote-Herrera (2011).

La vibrisa M2, con una longitud de 10 cm que corresponden a siete meses, pertenecía a una hembra que midió 124 cm y pesó 40 kg. Analizando el perfil de $\delta^{15}\text{N}$ es posible detectar el enriquecimiento isotópico provocado por la leche materna. Para febrero del 2011, la señal isotópica alcanzó sus máximos valores y en marzo del 2011 comenzó el decaimiento isotópico, por lo que se infiere inicie el destete gradual. La señal de lactancia se va perdiendo desde abril 2011 y para mayo ha desaparecido por completo sin llegar a tener el valor de las hembras adultas. Se infiere que las señales isotópicas más recientes a la fecha de muestreo, ya no tienen influencia de la leche materna. Si esta hembra nació en junio del 2010, entonces el periodo de lactancia duró entre 10 y 11 meses.

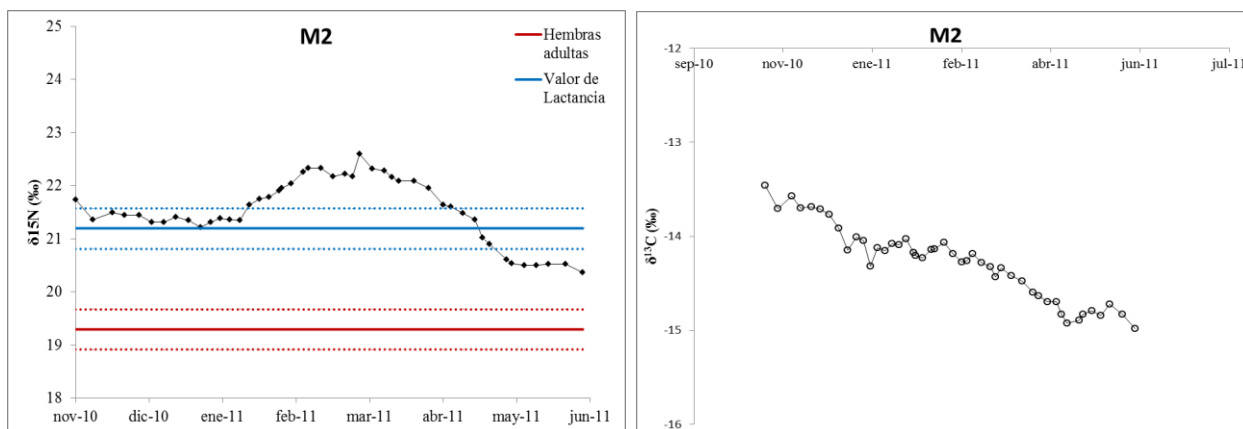


Figura 19. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa M2, obtenida en Isla Santa Margarita. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor para hembras adultas reportado por Mote-Herrera (2011).

La vibrisa M3, que tenía una longitud de 15 cm, representó casi 23 meses de integración isotópica y proviene de un hembra juvenil de dos años que midió 123 cm y pesó 37 kg. El perfil de $\delta^{15}\text{N}$ sugiere que es una vibrisa completa ya que presentó tanto la señal de gestación reflejada por valores menos enriquecidos en la parte más antigua de la vibrisa, como de lactancia y destete gradual (Fig. 19). Se puede inferir que el nacimiento fue entre junio y julio del 2009 y que la mezcla de alimento proveniente del mar comienza en julio del 2010. Del tiempo reflejado en la vibrisa, aproximadamente un mes corresponde a gestación. La señal de lactancia es clara hasta febrero del 2011. La lactancia de este organismo pudo durar entre 12 y 18 meses.

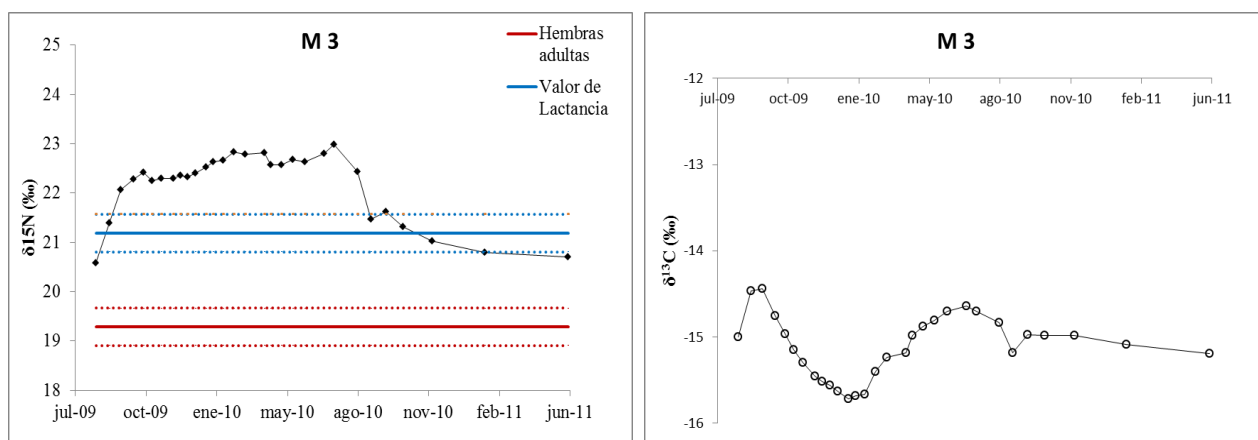


Figura 20. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa M3, obtenida en Isla Santa Margarita. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Mote-Herrera (2011).

La vibrisa M4 que midió 11.1 cm perteneció a un macho de un año de edad con longitud de 124 cm y 36 kg de peso y tuvo información de aproximadamente nueve meses. Se puede inferir que este juvenil macho aun dependía de la leche materna, pero el decaimiento constante, a partir de marzo del 2011 hace suponer que en su dieta ya existía alimento proveniente del mar. Asumiendo que la fecha de nacimiento fuera junio del 2010, la lactancia habría tenido una duración de por lo menos 12 meses, pero no se aprecia el final del periodo de lactancia.

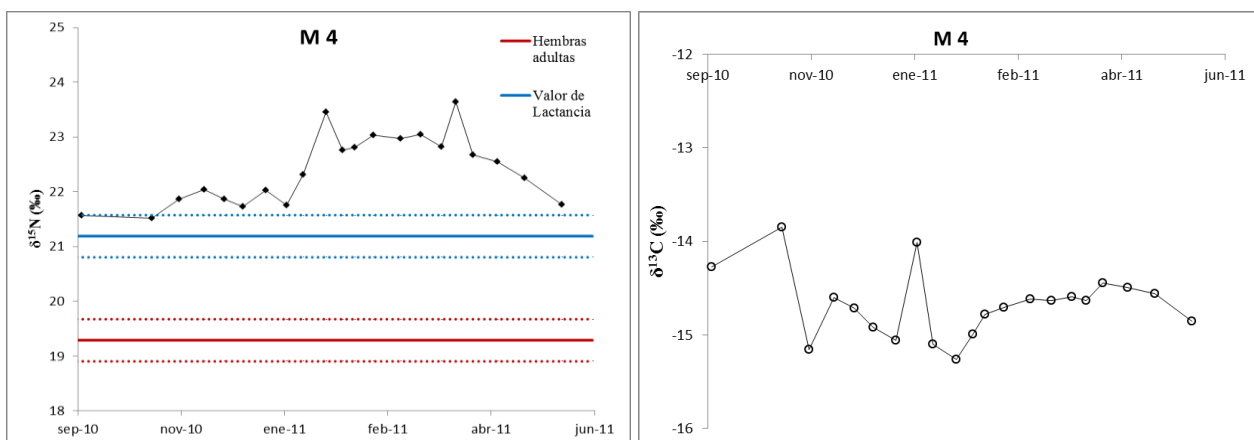


Figura 21. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa M4, obtenida en Isla Santa Margarita. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor para hembras adultas reportado por Mote- Herrera (2011).

La vibrisa M5, perteneció a un juvenil macho con 118 cm de longitud y 35 kg de peso, midió 11.6 cm. Su perfil de $\delta^{15}\text{N}$ no muestra señal de gestación, por lo que se infiere que la vibrisa no está completa. Se infiere que este juvenil nació en junio del 2010. De los nueve meses de registro isotópico en la vibrisa que inicia en septiembre del 2010, de siete a nueve meses corresponden a lactancia. Se calcula un periodo de lactancia mayor a 12 meses, sin embargo el decaimiento constante de valores de $\delta^{15}\text{N}$ hace suponer que el final de la lactancia se encuentra próximo.

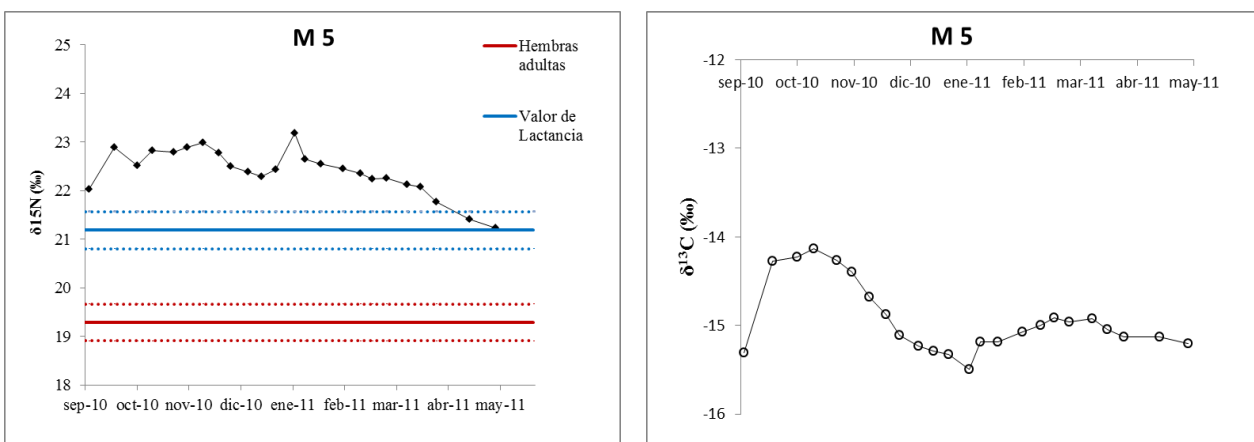


Figura 22. Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la vibrisa M5, obtenida en Isla Santa Margarita. La línea azul representa el valor isotópico calculado para la lactancia y la línea roja representa el valor reportado para hembras adultas por Mote- Herrera (2011).

En la tabla 5 se presenta un resumen de los datos sobre edad aproximada, tiempo de registro isotópico y duración de lactancia para fines comparativos.

Tabla 5. Duración del periodo de lactancia de 15 lobos marinos muestreados en las loberas de reproducción: Isla San Esteban, Los Islotes e Isla Margarita.

Vibrisa	Edad estimada del individuo (meses)	Tiempo reflejado en la vibrisa (meses)	Duración del periodo de lactancia (meses)
E 1	36	10	20
E 2	24	16	17
E 3	24	16	18
E 4	24	9	19
E5	24	8	22
	26.4 ± 5.4	11.8 ± 3.9	De 17 hasta 22
I 1	12	8	>11
I 2	12	8	>12
I 3	12	9	>11
I 4	12	9	>12
I 5	12	11	>13
	12	9 ± 1.2	>11.8
M 1	24	16	>23
M 2	12	7	Entre 10 y 11
M 3	24	23	Entre 12 y 18
M 4	12	9	>12
M 5	12	9	>12
	16.8± 6.6	12.8 ± 6.6	Desde 10 hasta 23

Discusión

El análisis de isótopos estables fue útil para encontrar cambios ontogénicos en la alimentación del lobo marino de California en etapas tempranas. Los isótopos estables son una herramienta valiosa porque no depende de la observación directa de los individuos, es poco invasiva y aporta información de un lapso importante de la vida de un juvenil. Para ubicar la señal isotópica del periodo de lactancia, resultó adecuado analizar las razones isotópicas de nitrógeno. Dalerum y Angerbjörn (2007) indican que la única manera de conocer cambios ontogénicos en la dieta de un vertebrado es tener acceso a información en el mismo tejido del animal en diferentes etapas de su vida. En las vibrisas analizadas en el presente trabajo se encontró información de un periodo de ocho a 23 meses.

Para distinguir cambios ontogénicos de alimentación, fue necesario obtener información de diferentes etapas de la vida de los juveniles, lo que se logró analizando longitudinalmente la vibrisa. Con la finalidad de encontrar en el registro isotópico la señal que indicara el periodo de gestación, lactancia y posteriormente el destete, se analizaron seis vibrisas completas (dos por cada colonia) y nueve con fragmentos alternados con el fin de aminorar los costos, una vez que se verificó que el patrón general isotópico se mantuviera. Al comparar los perfiles isotópicos de todas las vibrisas, se encontró que la información obtenida a partir de las vibrisas completas y con fragmentos alternados, fue similar y por lo tanto adecuado para identificar el cambio ontogénico de dieta.

Con el fin de conocer el tiempo de información reflejado en cada vibrisa, se usó el modelo de crecimiento ajustado para este tejido en el lobo marino de California de la Isla San Esteban (Rosas-Hernández, 2013). Se eligió este modelo porque toma como base el crecimiento exponencial, lo cual es más apegado al crecimiento esperado de la vibrisa, donde al inicio el crecimiento es lento, seguido de una fase de crecimiento rápido (crecimiento exponencial) hasta alcanzar una asíntota. El mismo modelo se aplicó a las vibrisas de Isla Santa Margarita y Los Islotes, asumiendo que la tasa de crecimiento es la misma en todas las colonias.

Usando este modelo, fue posible asignar la edad de cada fragmento de las vibrisas y con ello ubicar en el tiempo los cambios observados en la alimentación. En Isla Santa Margarita e Isla San Esteban se encontró la señal del destete (y en un caso, la señal isotópica que corresponde a la gestación) reflejando el periodo desde que aparecen las vibrisas en el feto hasta el momento en que se colectó la muestra. Todas las vibrisas analizadas presentaron la señal de lactancia y, aunque solo una presentó señal de gestación, los valores isotópicos más antiguos exhiben rastros de esta señal.

En todas las vibrisas provenientes de Isla San Esteban e Isla Santa Margarita se pudo distinguir la señal de lactancia y un subsecuente empobrecimiento en el $\delta^{15}\text{N}$, lo que indica el inicio del destete. En el caso de las vibrisas obtenidas en Los Islotes, no es posible apreciar ninguna fluctuación de los valores isotópicos que señalen cambio de dieta, por lo que se puede inferir que para el momento de muestreo aún no había comenzado el proceso de destete.

En las vibrisas que no presentaron señal de gestación, se considera que la pérdida de información isotópica de la punta de la vibrisa es debido al efecto del desgaste de la vibrisa en tierra. Es probable que el desgaste en las vibrisas se deba al sustrato rocoso en el que constantemente se mueven los organismos en tierra, a diferencia de colonias con sustrato arenoso donde el desgaste es menor. Los Islotes (en mayor grado) y San Esteban presentan sustrato rocoso. En Isla Santa Margarita, en cambio hay sustratos rocosos y arenosos donde éste último comprende la superficie mas amplia con aproximadamente tres km^2 , equivalente a un 80% de la zona de distribución total de los lobos marinos presentes (Ramírez y Fleisher, 1990; Bohórquez-Herrera, 2014).

Analizando los perfiles isotópicos y tomando en cuenta que el ciclo reproductivo de los lobos marinos es anual, de finales de mayo a finales de julio, los individuos muestreados tienen entre uno y dos años. La excepción es un individuo muestreado en Isla San Esteban, que se encontró que probablemente tenía tres años de edad. Es importante señalar que los organismos de menor longitud

corresponden a los muestreados en Los Islotes, por lo que se les considera más jóvenes. Aunque se notó que existe un traslape de longitudes corporales en organismos de la misma edad, hay una correlación significativa entre peso y longitud de los lobos muestreados en el presente trabajo (Figura 6).

Perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$

En depredadores marinos, los principales factores que modifican los valores isotópicos son la fisiología, la dieta y la zona de forrajeo (Aurioles-Gamboa, *et al.*, 2006; Grahamet *et al.*, 2010). En el caso de los lobos marinos en vida libre, las diferencias isotópicas son originadas por cambios en las presas, uso de distintas áreas de alimentación, y análisis de tejidos con diferente composición de macromoléculas (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2009).

En este estudio, los cambios de dieta se refieren a cambios ontogénicos dentro de un mismo tejido. Estos cambios se detectaron analizando los perfiles de $\delta^{15}\text{N}$, que coincide con lo reportado para otros mamíferos (Jenkins *et al.*, 2001; Fuller *et al.*, 2006; Orr *et al.*, 2011; Fahy *et al.*, 2013). La fluctuación mayor en los valores de $\delta^{15}\text{N}$, son evidentes en las vibrisas obtenidas de Isla Santa Margarita e Isla San Esteban, pero no así en Los Islotes (de organismos más jóvenes).

Las vibrisas de los Islotes presentan valores de $\delta^{15}\text{N}$ enriquecidos y sus fluctuaciones son suaves. Los valores isotópicos detectados en estas vibrisas están por encima del valor asignado para la lactancia. Están enriquecidos desde 1.66 ‰ hasta 3.2 ‰ con respecto al valor promedio reportado por Mote Herrera (2011) para hembras adultas muestreadas en la misma temporada reproductiva que en el presente trabajo. Por lo tanto, se infiere que los organismos capturados (cuya longitud fue de 114 ± 3 cm) cumplieron un año en la fecha de captura (mayo 2012), que su alimentación aun dependía exclusivamente de leche materna y que no presentaban rastro de alimentación del medio marino.

Se sabe que el destete en esta especie es gradual (Boness y Bowen, 1996) por lo que se puede deducir que la lactancia en Los Islotes es mayor a un año y que los organismos analizados aún no habían combinado alimento marino con leche materna. En Los Islotes no se encontró un decaimiento en la señal de $\delta^{15}\text{N}$ característica del destete.

Las vibrisas obtenidas en Isla Santa Margarita fueron las mejor conservadas. En una de las muestras se distingue la señal isotópica que identifica el periodo de gestación (valores de $\delta^{15}\text{N}$ que están por debajo de los asignados para la señal de lactancia) lográndolo ubicar que la fecha aproximada del nacimiento es cuando la cría empezó a consumir leche materna y los valores de $\delta^{15}\text{N}$ se enriquecen.

Al comparar las razones isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$ obtenidas en el presente trabajo con los valores isotópicos obtenidos por Mote-Herrera (2011) de vibrisas de hembras adultas capturadas en Isla Santa Margarita, se puede comprobar que los juveniles muestreados presentan señal isotópica de lactancia. El valor promedio de $\delta^{15}\text{N}$ en vibrisas de juveniles de Isla Santa Margarita fue de $22.11 \pm 0.65 \text{ ‰}$, mientras que el valor de hembras adultas fue de $19.3 \pm 0.38 \text{ ‰}$ (Mote-Herrera 2011). Los valores isotópicos se encuentran enriquecidos en casi 3 ‰, lo que representa un enriquecimiento equivalente al que existe entre niveles tróficos (Lajtha y Michener, 2007). En este caso, este enriquecimiento se presenta entre cría y madre durante el periodo de lactancia como también se ha encontrado en otros mamíferos como osos polares (Polischuk *et al.*, 2001); humanos (Fuller *et al.*, 2006), primates (Reitsema., 2012), chimpancés (Fahy *et al.*, 2013); y en pinnípedos (Hobson y Sease 1998; Newsome *et al.*, 2006).

Analizando los perfiles del $\delta^{15}\text{N}$ se puede observar que todas las vibrisas de los individuos de Isla Santa Margarita muestran un enriquecimiento desde los valores más antiguos (rastros de la señal de gestación) el cual se debe a la señal de lactancia. Cuando los valores de $\delta^{15}\text{N}$ alcanzan su máximo de $23.1 \pm 0.38 \text{ ‰}$ en los fragmentos de la vibrisa, se interpreta que el alimento consumido es exclusivamente leche materna. Las fluctuaciones más sutiles encontradas durante el periodo de

lactancia podrían ser consecuencia de una composición diferente de la leche materna durante este periodo. Posteriormente se observa un decaimiento en los valores de $\delta^{15}\text{N}$, que corresponden al destete, ya que valores empobrecidos indican una incorporación de alimento del mar en la dieta del juvenil.

Dos de los lobos marinos de Isla Santa Margarita ya estaban destetados, mientras que el resto presenta un decaimiento constante que sugiere la introducción de alimento marino y un próximo destete. El empobrecimiento gradual de la señal indica que se combina leche materna y alimento del mar durante el proceso del destete.

Los valores del $\delta^{15}\text{N}$ en vibrisas obtenidas en Isla San Esteban presentaron una mayor variabilidad; además de estar presente la señal de lactancia y destete, es probable que también estén presentes variaciones en la señal isotópica originadas ya sea por condiciones oceanográficas que alteran las señales isotópicas desde la base de la cadena alimenticia, o bien fluctuaciones que obedecen al aprovechamiento por parte de las madres de diferentes recursos alimenticios, que a su vez se reflejan en las señales isotópicas de la leche y por lo tanto en la señal que se detecta durante la lactancia en la vibrisa de los juveniles.

Comparando los valores reportados para hembras adultas y los obtenidos para juveniles, se puede encontrar un enriquecimiento en los valores de $\delta^{15}\text{N}$, sin embargo los valores de $\delta^{13}\text{C}$ se traslapan y no es posible hacer diferencias entre valores de $\delta^{13}\text{C}$ de hembras adultas y de los encontrados para juveniles en el presente trabajo

Perfiles de $\delta^{13}\text{C}$

Analizar los perfiles isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ fue más complejo debido a que las señales isotópicas suelen depender de diferentes factores: Por un lado, al igual que el $\delta^{15}\text{N}$, el $\delta^{13}\text{C}$ sufre un enriquecimiento isotópico con respecto al consumo del alimento, sin embargo la magnitud de enriquecimiento es pequeña y varía entre 0 y 1 ‰ por cada nivel trófico (Fry, 2006; Lajtha y Michener, 2007). Por otro lado, se ha

detectado que en presencia de lípidos la señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ se empobrece, lo cual se debe a que los lípidos, a diferencia de otras macromoléculas, tienen valores menos enriquecidos por el fraccionamiento que ocurre en las reacciones cinéticas durante la conversión de piruvato a acetil coenzima "A". La presencia de lípidos puede sesgar negativamente de 6 ‰ a 8‰ los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (DeNiro y Epstein, 1977). El sesgo depende del tejido analizado y de la alimentación del individuo.

Finalmente, se ha encontrado que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ también pueden estar en función del ambiente donde se encuentre el organismo. Se sabe que en ambientes cercanos a las costas, frentes o surgencias, los organismos se encuentran enriquecidos en $\delta^{13}\text{C}$, mientras que en zonas oceánicas, donde la concentración de clorofila a no es tan alta, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ están más empobrecidos (Michener y Lajtha, 2007). La forma en cómo afecta cada uno de estos mecanismos al tejido analizado es importante ya que el efecto de un proceso puede enmascarar a otro o actuar en sentido inverso. Los tejidos que almacenan mayor información isotópica como vibrisas, dientes y hueso pueden enmascarar cambios de dieta o fenómenos ecológicos de corto plazo (Hobson *et al.*, 1994).

Para determinar si el contenido de lípidos sesga el valor del $\delta^{13}\text{C}$ en una muestra, Post *et al.*, (2007) recomiendan verificar la relación C:N en tejidos de animales acuáticos. Un valor menor que 3.5, indica que el contenido de lípidos del tejido analizado es aproximadamente de 5 %, por lo tanto, los lípidos no tienen mucha influencia en los valores isotópicos. En el presente trabajo, el mayor valor de la razón C: N se obtuvo en un fragmento de una vibrisa de los Islotes y fue 2.99, por lo tanto se infiere que el valor de $\delta^{13}\text{C}$ en las vibrisas estuvo determinado principalmente por proteínas.

Por otro lado, el promedio de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos en las vibrisas de los juveniles capturados, se traslaparon con los valores de las hembras adultas, las cuales ya no presentaron señal isotópica de leche materna. Por consiguiente, el factor que influye en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ también está presente en hembras adultas.

Si bien se ha reportado empobrecimiento del $\delta^{13}\text{C}$ provocado por el contenido lipídico de la leche materna (Hobson y Sease, 1998; Jenkins *et al.*, 2001; Newsome *et al.*, 2006; Rivera-de la Parra, 2012), este patrón no siempre se cumple (Jenkins *et al.*, 2007; Orr *et al.* 2011).

En vertebrados marinos, se ha observado que el valor isotópico de carbono es un indicador de uso de hábitat más que de nivel trófico (Hobson, 1993). Por lo tanto, el carbono puede ser un buen indicador de zonas de forrajeo (Hobson y Sease, 1998; Auriol-Gamboa *et al.*, 2006; Orr *et al.*, 2011). Los patrones de los perfiles isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ son muy similares entre individuos de la misma lobera tanto en Los Islotes como en Isla San Esteban, lo que podría indicar que los lobos marinos en cada isla aprovechan los recursos de los mismos sitios de alimentación.

Sin embargo, los perfiles isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ en Isla Santa Margarita muestran dos patrones diferentes, las primeras dos vibrisas: M1 y M2, muestran un empobrecimiento isotópico constante, mientras que el resto de las vibrisas obtenidas en esta lobera, muestran un empobrecimiento seguido de un enriquecimiento de $\delta^{13}\text{C}$. Lo anterior puede indicar que los lobos marinos en esta isla usan al menos dos áreas de alimentación con sendas firmas isotópicas. Rodríguez-Valenzuela (2009) encontró al menos dos rutas tróficas que convergen en *Z. californianus*; una pelágica donde el plancton es predominante en la base trófica, pasa por zooplankton de ahí a la sardina (*Sardinops sagax*) que es consumida por el lobo marino y la otra béntica, en la que existe una mayor participación del detritus vía langostilla (*Pleuroncodes planipes*) posteriormente a la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*) al miracielos (*Kathestoma avaruncus*) y finalmente el lobo marino.

Probablemente esto genere señales isotópicas diferentes en las vibrisas de crías nutridas por hembras adultas que se alimentan en diferentes zonas donde predominan componentes pelágicos o bentónicos. Este uso diferencial de zonas o hábitat se ha observado mediante el seguimiento satelital de hembras adultas de Isla Santa Margarita, donde algunas se alimentan en el ambiente pelágico y otras muy

cerca de la costa o incluso dentro de los cuerpos lagunares de Bahía Magdalena (Hernández-Camacho y Auriol-Gamboa, datos no publicados).

El patrón constante de empobrecimiento del $\delta^{13}\text{C}$ observado en las vibrisas M1 y M2 podría deberse a que después del nacimiento, la frecuencia y la duración de los periodos de amamantamiento son mayores y las crías no cuentan con una capa protectora de grasa que les pueda servir de reservorio energético (García-Aguilar y Auriol-Gamboa, 2003). En virtud de la gran inversión energética que supone el cuidado de la cría, la madre tiende a explotar recursos costeros, los cuales presentan valores isotópicos enriquecidos. Mientras la cría se desarrolla, la madre puede usar recursos cada vez más lejanos a la costa, los cuales poseen valores isotópicos comparativamente menores. Adicionalmente, la duración de los eventos de amamantamiento es mayor pero la frecuencia es menor. Existen estudios que sugieren que el área de alimentación de las hembras adultas se extiende conforme las crías crecen, este comportamiento se ha reportado para *Z. californianus* de Isla Granito dentro del Golfo de California (Villegas-Amtmann *et al.*, 2011) y para *Otaria flavescens* de Uruguay (Franco-Trecu *et al.*, 2012).

El segundo patrón de un enriquecimiento isotópico seguido de un empobrecimiento, puede deberse a la explotación de recursos costeros (France, 1995) o bentónicos que se caracterizan ambos por ser más enriquecidos en $\delta^{13}\text{C}$ (France y Holmquist, 1997). El uso de diferentes zonas y recursos puede incluso llevar a un crecimiento diferencial en las crías.

El patrón del perfil de $\delta^{13}\text{C}$ de las vibrisas de Isla San Esteban y de Los Islotes, muestra un enriquecimiento seguido de un empobrecimiento. Similar a las vibrisas de Isla Santa Margarita, esto puede ser indicativo de los recursos utilizados por las hembras. En el periodo más cercano al nacimiento de las crías, las madres explotan recursos cercanos a la costa y conforme aquellas van creciendo y demandan menor cuidado de sus madres, es posible que las hembras puedan alejarse de la costa durante más tiempo, utilizando una variedad de recursos pelágicos y bentónicos.

Tiempo de destete y diferencia entre Islas.

Analizando longitudinalmente las vibrisas de Isla San Esteban e Isla Santa Margarita, fue posible ubicar los cambios ontogénicos en la dieta, los cuales corresponden a los periodos de gestación, lactancia y destete. Conociendo la tasa de crecimiento del tejido analizado también se determinó el tiempo que representa cada fragmento y por lo tanto la duración de cada uno de esos periodos. Sobre esta base se pudieron comparar las lecturas entre las muestras de distintas islas con características ambientales y oceanográficas propias.

Es evidente que el periodo de lactancia en Los Islotes es más largo que un año. Sin embargo, no es posible determinar exactamente cuándo termina éste periodo, debido a que todos los organismos muestreados presentaron una señal de $\delta^{15}\text{N}$ enriquecida. Los juveniles muestreados tenían entre 11 y 13 meses de edad y no presentan el característico rastro de empobrecimiento isotópico gradual del destete. Observando los perfiles de $\delta^{15}\text{N}$ se puede inferir que los organismos dependieron exclusivamente de leche materna.

La zona sur del Golfo de California, ha sido reportada como el área del golfo que presenta menor concentración en pigmentos fotosintéticos (Reyes-Salinas *et al.*, 2003). En aguas adyacentes al complejo insular se han encontrado valores de alrededor de 0.15 mg/m^3 en la capa superficial en el mes de marzo y de $0.3 - 0.4 \text{ mg/m}^3$ a finales de noviembre. Las menores concentraciones de pigmento se registran en los meses de verano y otoño, y se incrementan durante invierno y primavera. (Programa de manejo, complejo Insular Espíritu Santo, México). De las tres áreas de estudio analizadas, Los Islotes presenta una menor intensidad en la concentración de clorofila a, especialmente durante el segundo pico en verano. Álvarez-Borrego *et al.*, (1978) se refieren a esta zona como la de menor concentración de pigmentos en el Golfo de California. Por lo tanto, en respuesta a estos patrones, se infiere que las hembras de lobo marino de esta colonia pueden llegar a presentar lactancias más prolongadas, como fue reportado en el 20% de las muestras analizadas por Elorriaga-Verplancken (2009) en Los Islotes.

Dentro del Golfo de California, la región de las grandes islas, donde se ubica Isla San Esteban, es considerada como la zona de mayor concentración de nutrientes de todo el Golfo de California (Álvarez-Borrego *et al.*, 1978). En esta zona, Rosas-Hernández (2013) encontró fluctuaciones del $\delta^{15}\text{N}$ que relacionó con la estacionalidad y variación ambiental regional. Es interesante notar que, a diferencia de las otras colonias analizadas en este estudio, en Isla San Esteban se presentan importantes fluctuaciones en los perfiles isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$, incluso dentro del periodo de lactancia, que pudieran estar relacionadas con variaciones oceanográficas o bien con la explotación de recursos alimenticios con firmas isotópicas diferentes. Las variaciones en la dieta entre grupos de la misma especie pueden originar patrones característicos de $\delta^{15}\text{N}$ (Dalerum *et al.*, 2007).

En las vibrisas provenientes de Isla San Esteban, se identificaron valores de $\delta^{15}\text{N}$ indicativos de lactancia, destete y de alimentación en el mar, sin embargo no en todas las vibrisas fue posible ubicar la señal de gestación. La ausencia de esta señal puede deberse a que la zona apical de la vibrisa (la cual corresponde a esa etapa de la vida) desapareció por desgaste pues fueron extraídas de animales de mayor edad. A pesar de que se observa el final de la lactancia, solo se puede inferir el momento en que comenzó. Se sabe que la mayor cantidad de nacimientos ocurren en junio, por lo tanto, es posible considerar que en promedio, en este mes inicia la lactancia.

La información isotópica que muestra el 40 % de las vibrisas obtenidas en Isla San Esteban, permite inferir que los juveniles muestreados nacieron en la temporada reproductiva del año 2009. Aunque no está presente la señal de gestación, se sabe que ésta comienza alrededor de junio, por lo que se puede estimar el tiempo de duración del periodo de lactancia, el cual va de 17 a 18 meses en estas muestras. Con el resto de las muestras, no se puede inferir el año de nacimiento exacto, sin embargo, se pueden plantear dos escenarios: los juveniles nacen en junio del 2010. lo que implicaría un periodo de lactancia entre ocho y diez meses; o bien juveniles nacidos en junio del 2009 en cuyo caso, el periodo de lactancia sería de 19 a 22 meses. Al encontrar evidencia de periodos de lactancia superiores al año en las otras

vibrisas analizadas y las reportadas por Elorriaga-Verplancken (2009) en esta isla, se propone que el segundo escenario es el más probable. Es importante señalar que la desviación estándar en el segundo escenario es notablemente menor que en el primer escenario, por lo que se sugiere como más probable que el periodo de lactancia de los juveniles muestreados en Isla San Esteban sea de 17 hasta 22 meses. El periodo de destete se encontró de noviembre hasta marzo.

En Isla Santa Margarita, el 40 % de las muestras indican un periodo de lactancia de 10 a 18 meses y en otro 40 % señala el valor de lactancia mayor a 12 meses. Sin embargo, el empobrecimiento gradual y constante de los valores señala que el alimento marino ya está presente en los juveniles y no dependen exclusivamente de lecha materna, por lo que el destete se encuentra próximo. El 20 % puede llegar a una lactancia superior a 23 meses. Esta diferencia en la duración del periodo de lactancia puede deberse a un aprovechamiento diferencial de los recursos, ya que a su vez se refleja en el uso de diferentes zonas de alimentación por parte de las hembras adultas. Hernández-Camacho (datos no publicados) ha encontrado diferencias significativas en el tamaño y peso de crías de lobo marino para el mes de noviembre, que hace pensar en notables diferencias en estrategias alimenticias e inversión materna en esta colonia.

La mayoría de las vibrisas analizadas en Isla Santa Margarita muestran un periodo de lactancia cercano a un año. Las vibrisas obtenidas de San Esteban muestran periodos de lactancia superiores al año, pero fue evidente el proceso de destete, y la lactancia terminó antes del segundo año. En Los Islotes, el periodo de lactancia en el 100 % de las vibrisas analizadas es mayor al año pero no es posible definir qué tan prolongado puede llegar a ser ya que no se encontró ninguna señal de destete. En este caso la explicación principal es que los juveniles muestreados fueron más jóvenes que en las otras colonias.

En esta especie la supervivencia de las crías depende de sus madres, quienes invierten una gran cantidad de energía durante el periodo de lactancia. Las hembras adultas adoptan diferentes estrategias de cuidado materno con el fin de aprovechar

los recursos existentes en el medio ambiente y asegurar la supervivencia de sus crías (García y Auriolles-Gamboa, 2003). En este trabajo, se encontraron diferencias en la duración del periodo de lactancia entre colonias con distintas condiciones ambientales, lo que repercute directamente en la cantidad y calidad de alimento disponible para las madres. Se confirmó que el periodo de lactancia puede ser más corto en ambientes con una concentración de chl-a elevada como Isla Santa Margarita. En Isla San Esteban, la lactancia puede prolongarse hasta dos años. En Los Islotes no se pudo determinar la duración total de la lactancia, pero al menos fue de un año.

Conclusiones

En el presente trabajo, por primera vez, se logró ubicar la señal isotópica de lactancia y analizarla a través del tiempo en una estructura metabólicamente inerte, la vibrisa. Además se propone un valor isotópico para el periodo de lactancia. Analizando los perfiles isotópicos de carbono y nitrógeno, se encontró que las razones $\delta^{15}\text{N}$ mostraron mayor sensibilidad al cambio ontogénico de la dieta y permitieron ubicar el periodo de gestación, lactancia y destete. Se encontró que durante el periodo de lactancia la razón isotópica de nitrógeno puede llegar a enriquecerse hasta 3 ‰ con respecto a la señal de las hembras adultas. Los valores isotópicos de carbono fueron útiles para deducir el ambiente en el cuál se alimentan preferencialmente las hembras adultas que amamantaron a esos individuos y de algún modo dificultó la interpretación sobre la lactancia.

Con base en el modelo de crecimiento de las vibrisas, fue posible calcular el tiempo que representó cada fragmento de dicha estructura y por lo tanto determinar la duración de la lactancia. Se encontraron diferencias en la duración de la lactancia en las tres loberas analizadas que presentan condiciones ambientales diferentes. En la Isla San Esteban y Los Islotes, el periodo de lactancia fue mayor a un año; mientras que en la Isla Santa Margarita se encontraron dos escenarios; Uno donde el 60 % de las vibrisas mostraron lactancias cercanas a un año y el otro donde 40 % presentaron lactancias cercanas a dos años. La diferencia en la duración del periodo de lactancia puede deberse a un aprovechamiento diferencial de los recursos encontrados en esta lobería.

Recomendaciones

En el presente trabajo únicamente se observó el periodo de lactancia en la información isotópica reflejada en las vibrisas de Los Islotes, debido a que los individuos muestreados aún se alimentaban de leche materna. Para observar el destete se sugiere muestrear individuos de dos años de edad o mayores.

Para estudios isotópicos donde se analicen vibrisas, se recomienda analizar fragmentos alternados que producen el patrón de información completa del tiempo registrado en la vibrisa y al mismo tiempo aminora costos.

Debido a que las colonias estudiadas presentan condiciones ambientales diferentes y esto puede afectar la tasa de crecimiento de los individuos, se sugiere, para futuros estudios, estimar la tasa de crecimiento de las vibrisas para cada colonia. En el presente estudio se utilizó la tasa de crecimiento de vibrisas de individuos de la Isla San Esteban.

Literatura citada

Álvarez-Borrego S, Rivera J A, Gaxiola-Castro G, Acosta-Ruiz M J, Schwartzlose RA.1978. Nutrientes en el Golfo de California. Cienc. Mar. 5: 21–36.

Álvarez Borrego, S. 2008 Oceanografía de la región de las grandes Islas. En: Gustavo D. Danemann y Exequiel Ezcurra, Editores, "Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea base 2007". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 45-65.

Álvarez-Borrego, S. y J. R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and productivity of the Gulf of California. In: Dauphin JP, Simoneit B (eds) The Gulf and peninsular province of the Californias. Am Assoc Pet Geol Mem 47:555–567

Asencio-Estrada, H. 2010. Evaluación de la mortalidad del lobo marino de California *Zalophus californianus* en Isla Magdalena, B. C. S. México. Tesis de maestría. CICIMAR IPN. La Paz, B. C. S. 142.

Aurioles-Gamboa, D. y Zavala, G. 1994. Algunos factores ecológicos que determinan la distribución del lobo marino *Zalophus californianus*, en el Golfo de California. Ciencias Marinas 20 (4): 535-553.

Aurioles-Gamboa, D., F. García Rodríguez, M. Ramírez Rodríguez, C. Hernández Camacho. 2003. Interacción entre el lobo marino de California y la pesquería artesanal en la Bahía de La Paz, Golfo de California, México. Ciencias Marinas 29(003):357-370.

Aurioles-Gamboa D., S.D. Newsome, S. Salazar-Pico, P. L. Koch. 2009. Stable isotope differences between sea lions (*Zalophus*) from the Gulf of California and Galapagos Islands. J. Mammal., 90, pp. 1410–1420

Aurioles-Gamboa, D., E. Beier Martin y F. Elorriaga. 2008. El lobo marino de California como monitor del calentamiento global en ecosistemas costeros del

Pacífico Norte Mexicano. Proyecto sometido a la Convocatoria SEMARNAT-CONACyT-2008.

Auriolles-Gamboa, D., M. Y. Rodríguez-Pérez, L. Sánchez-Velasco, y M. F. Lavín. 2013. Habitat, trophic level, and residence of marine mammals in the Gulf of California assessed by stable isotope analysis. *MEPS* 488:275–290.

Balasse, M. and Tresset, A. 2002. Early weaning of domestic cattle (Berecy, France) revealed by Intratooth Variation in nitrogen isotope ratios. *Journal of Archaeological Science* 29: 853-859

Bohorquez-Herrera, J. 2014. Diferencias ecomorfológicas craneales de las poblaciones del lobo marino de California, *Zalophus californianus*. Tesis doctoral. CICIMAR IPN. La Paz, B.C.S. 126.

Bones, D. J. y Bowen, W. D. 1996. Evolution of maternal care in pinnipeds. *Bioscience*. 46 (9): 645-654.

Burton, R. K., J. J. Snodgrass, D. Gifford-Gonzalez T. Guilderson, T. Brown and P. L. Koch. 2001. Holocene changes in the ecology of northern fur seals: Insights from stable isotopes and archaeofauna. *Oecologia* 128:107–115.

Cherel, Y., K. Hobson, C. Guinet, y C. Vanpe. 2007. Stable isotopes document seasonal changes in trophic niches and winter foraging individual specialization in diving predators from the Southern Ocean. *The Journal of animal ecology* **76**:826–836.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Programa de manejo: Complejo insular del Espíritu Santo, México. Componente del área de protección de flora y fauna Islas del Golfo de California. 2000. México: SEMARNAT: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Cortés-Lara MC, Álvarez-Borrego S, Giles-Guzmán AD. 1999. Efecto de la mezcla vertical sobre la distribución de nutrientes y fitoplancton en dos regiones del Golfo de California, en verano. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 49: 193–206.

Dalerum, F., y A. Angerbjörn. 2005. Resolving temporal variation in vertebrate diets. Using naturally occurring stable isotopes. *Oecologia* 144:647–658.

Dalerum, F., Bennett, N. C., and Clutton-Brock, T. H. (2007). Longitudinal differences in ^{15}N between mothers and offspring during and after weaning in a small cooperative mammal, the meerkat (*Suricata suricatta*). *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 21, 1889-1892. Doi: 10.1002/rcm. 3032.

DeNiro y Epstein 1979 Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, Vol. 42. pp. 495 to 506.

Durazo R., Gaxiola-Castro G., Lavaniegos B., Castro-Valdez R., Gómez-Valdés J. y Mascarenhas Jr. A. D. S. 2005. Oceanographic conditions west of the Baja California coast, 2002–2003: A weak El Niño and subarctic water enhancement. *Ciencias Marinas*. 31: 537–552.

Elorriaga. F. R. 2009. Variación de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en colágeno dental de lobos marinos del género *Zalophus*: Patrones ontogénicos y geográficos. Tesis doctoral. CICIMAR IPN. La Paz, B.C.S. 142.

Elorriaga-Verplancken F. R., Auriolles Gamboa D., Newsome S. D., Martínez Díaz S. F. 2013. $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values in dental collagen as a proxy for age and sex related variation in foraging strategies of California sea lions. *Marine Biology*. 160(1): 641-652.

Fahy, G.E., Richards, M., Riedel, J., Hublin, J.-J. and Boesch, C., (2013), Meat-eating and hunting specialization in adult male chimpanzees, *Proceedings of the National Academy of Science*, 110; 15: 5829–5833.

Ferguson, S. H. 2006. The influences of environment, mating habitat, and predation on Evolution of Pinniped Lactation Strategies. *Journal of Mammalian Evolution*. 13 (1):63-82.

Fogel, M. L., N. Tuross and D. W. Owsley. 1989. Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations. Annual Report of the Director, Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington 1988–1989, 111–117.

France, R. L., 1995. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. Mar. Ecol. Prog. Ser. 124, 302-312.

France, P. L., Holmquist, J. G. (1997): Delta13C variability of macroalgae: Effects of water motion via baffling by sea grasses and mangroves. Mar. Ecol. Progr. Ser. 149. 305-308.

Franco-Trecu, V.,D. Auriolles Gamboa, M. Arim & M. Lima (2012). Prepartum and postpartum trophic segregation between sympatrically breeding female *Arctocephalus australi* and *Otaria flavescens*. Journal of Mammalogy, 93(2): 514-521.

Fry, B. 2006, Stable Isotope Ecology. Springer. U.S.A. 308.

Fuller BT, Fuller J. L., Sage N. E., Harris D.A., O'Connell T. C., Hedges R. E. M. 2005. Nitrogen balance and $\delta^{15}\text{N}$: why you're not what you eat during nutritional stress, Rapid Commun Mass Spectrom 19:2497.

Fuller BT, Fuller JL, Harris DA, Hedges RE. 2006. Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios. Am J Phys Anthropol 129:279–293

Fuentes-Rodríguez, R.; J. Gómez-Gutiérrez ; R. Palomares-García. 2007. Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México. 311 pp.

Gentry, L. R. y Kooyman, G. L. 1986. Fur seals: Maternal strategies on land and at sea. Princetown University Press. Nueva Jersey, Estados Unidos.

González-Suárez M, Flatz R, Aurióles-Gamboa D, Hedrick PW, Gerber LR. 2009. Isolation by distance among California sea lion populations in Mexico: Redefining management stocks. *Molecular. Ecology*. 18: 1088–1099.

García-Aguilar, M. y Aurióles, G. D. 2003. Cuidado materno en el lobo marino de California (*Zalophus californianus*) de Los Islotes, Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*. 29: 573-583.

García-Rodríguez FJ, Aurióles-Gamboa D. 2004. Spatial and temporal variation in the diet of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Fish. Bull.* 102: 47–62.

Graham, B. S., Kock, P. L., Newsome, S. D., Kelton, W. M and Aurióles D. Isoscapes. Using Isoscapes to Trace the Movements and Foraging Behavior of Top Predators in Oceanic Ecosystems. En West, J. B., Bowen, G. J. Dawson, T. E., and Tu, K. P. *Isoscapes*. 2010. Springer. 487 pp.

Hall-Aspland, S. A., Rogers, T. L. y Canfield, R. B. 2005. Stable carbon and nitrogen isotope analysis reveals seasonal variation in the diet of leopard seals. *Marine Ecology Progress Series*. 305: 249-259.

Hirons, A. C., Schell, D. M. y Finney, B. P. 2001. Temporal records of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in North Pacific pinnipeds: inferences regarding environmental change and diet. *Oecologia*. 129: 591–601.

Hirons, A., D. Schell, y D. Aubin. 2001a. Growth rates of vibrissae of harbor seals (*Phoca vitulina*) and Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*). *Canadian Journal of Zoology* 79:1053–1061.

Hobson KA, Sease JL, Merrick RL, Piatt JF (1997) Investigating trophic relationships of pinnipeds in Alaska and Washington using stable isotope ratios of nitrogen and carbon. *Mar Mammal Sci* 13:114–132

Hobson, K., y J. Sease. 1998. Stable isotope analysis of tooth annuli reveals temporal dietary records: An example using Steller Sea lions. *Marine Mammal Science* 14:116– 129.

Hobson, A. C. y Wassenaar. 1999. Stable Isotope Ecology: an introduction. *Oecologia*. 120: 312-313.

Jenkins, S. G., S. T. Partridge, T. R. Stephenson, S. D. Farley, and C. T. Robbins 2001. Nitrogen and carbon isotope fractionation between mothers, neonates, and nursing offspring. *Oecologia* 129:336–341.

Kernaléguen, L., B. Cazelles, J. P. Arnould, P. Richard, C. Guinet, y Y. Cherel. 2012. Long-term species, sexual and individual variations in foraging strategies of fur seals revealed by stable isotopes in whiskers. *PLoS one* 7:e32916.

Knoff A, Hohn A, Macko S (2008) Ontogenetic diet changes in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) reflected through stable isotopes. *Mar Mamm Sci* 24: 128–137

Kurle CM, Worthy GAJ (2002) Stable nitrogen and carbon isotopes ratios in multiple tissues of the northern fur seal *Callorhinus ursinus*: implications for dietary and migratory reconstructions. *Mar Ecol Prog Ser* 236: 289–300.

Lajtha K. y R. H. Michener. 2007. Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science. Blackwell scientific publications. U.S.A. 316 pp.

Lavín M. F. and S. G. Marinone. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. In: Velasco Fuentes, O. U., J. Sheinbaum and J. L. Ochoa de la Torre (Eds.) *Nonlinear Processes in Geophys. Fluid Dynamics*. Kluwer

670 Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 237-255. 173-204

Le Boeuf, B. J., Whiting, R. J. y R. F. Gantt. 1972. Perinatal behavior of northern elephant seal females and their young. *Behavior* 43:121-156.

Lluch-Belda, D. J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz. 2000. Centros de actividad biológica del Pacífico Mexicano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México. 35

Lluch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota, and S. E. Lluch-Cota (2005), Changes in marine faunal distributions and ENSO events in the California Current, *Fish. Oceanogr.*, 14, 458–467.

Maldonado EJ, Orta-Davila F, Stewart BS, Greffen E, Wayne RK. 1995. Intraspecific genetic differentiation in California sea lions (*Zalophus californianus*) from southern California and the Gulf of California. *Mar. Mamm. Sci.* 11: 46–58.

Mantua N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace and R. C. Francis, 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *B. Am. Meteorol. Soc.* 78, 1069-1079.

Mejía-Ruiz, P. 2011. Fidelidad al sitio de nacimiento en el lobo marino de California, *Zalophus californianus*, durante la temporada reproductiva en la lobera Los Islotes, Golfo de California, México. Tesis de licenciatura. UABCS. La Paz, B. C. S. 53 pp.

Mote-Herrera, S. 2011. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en vibras de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) como indicador de la variación trófica estacional en bahía Magdalena y Bahía de la Paz, B. C. S., México. Tesis maestría. CICIMAR IPN. La Paz, B. C. S. 106.

Newsome, S. D., Koch, P., Etnier, M. A. y G. D. Auriolles, 2006. Using carbon and nitrogen isotope values to investigate maternal strategies in Northeast Pacific Otariids. *Mar. Mammal Sci.* 22:1-18.

Newsome, S. D., M. T. Tinker, D. H. Monson, O. T. Oftedal, K. Ralls, M. M. Staedler, M. L. Fogel, y J. A. Estes. 2009. Using stable isotopes to investigate individual diet specialization in California sea otters (*Enhydra lutris nereis*). *Ecology* 90:961–974.

Newsome, S.D., Clementz, M.R., Koch, P.L. 2010. Using stable isotope biochemistry to study marine mammal ecology. *Marine Mammal Science* 26(3): 509-572.

Oftedal, O. T. 2011. Milk of Marine Mammals. In: Fuquay J. W, Fox P.F. y McSweeney P. L. H. (eds.), *Encyclopedia of Dairy Sciences*, Second Edition. San Diego: Academic Press.vol. 3, 563–580.

Orr A, Newsome S., Laake L., VanBlaricom G, and DeLong R. 2011. Ontogenetic dietary information of the California sea lion (*Zalophus californianus*) assessed using stable isotope analysis. *Marine Mammal Science* 28 (4): 714–732.

Peterson, R.S. y Bartholomew, G. A. 1967. The natural history and behavior of the California sea lion. *American Society of Mammalogy. Publicación especial*. 1:79.

Palomares-García R J, Martínez-López A, De Silva-Dávila R, Funes-Rodríguez R, Carballido-Carranza M A, Avendaño- Ibarra R, Hinojosa-Medina A, López-Ibarra GA (2003) Biological effect of El Niño 1997-1998 on a shallow subtropical ecosystem: Bahía Magdalena, México. *Geo Intern* 42:455-466.

Pilson M. E. Q., and Kelly A, L.1962. Composition of the Milk from *Zalophus californianus*, the California Sea Lion. *Science*. 135, 104-105.

Platt T, Caverhill C, Sathyendranath S. 1991 Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J Geophys Res* 96:15147-15159.

Polischuk, S. C., K. A. Hobson y M. A. Ramsay. 2001. Use of stable-carbon and nitrogen isotopes to assess weaning and fasting in female polar bears and their cubs. *Canadian Journal of Zoology* 79:499–511.

Post M. D. 2002. Using Stable Isotopes to Estimate Trophic Position: Models, methods, and assumptions. *Ecology* 83 (3): 708 – 718.

Porras-Peters, H., Aurióles, G. D., Cruz, V., Koch, P. 2008. Trophic level and overlap of California sea lions, *Zalophus californianus* in the Gulf of California. Marine Mammal Science. 24 (3): 554-576.

Ramírez y Fleisher 1990. Distribución y abundancia poblacional del lobo marino (*Zalophus Californianos* Lesson 1828) en Isla Santa Margarita, durante la temporada otoñal de 1986. Secretaría de Pesca. ISBN 968-817.213-8.

Reitsema L J. 2012. Introducing fecal stable isotope analysis in primate weaning studies. Am J Primatol 74:926–939.

Reyes-Salinas, A. 1999. Factores que controlan la productividad primaria en la Bahía de La Paz, B. C. S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR, La Paz, México. 112.

Riedman, M. 1990. The pinnipeds, Seals, Sea lions and Walruses. University of California Press. California E. U. A. 439.

Rivera de la Parra, L. 2012. $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en crías de elefante marino (*Mirounga angustiristris*), como indicadores de potenciales áreas de alimentación de hembras residentes de islas San Benito. Tesis de maestría. CICIMAR IPN. La Paz, B.C.S. 82.

Riofrío-Lazo et al., 2012. M. Riofrío-Lazo, D. Aurióles-Gamboa, B.J. Le Boeuf. Ontogenetic changes in feeding habits of northern elephant seals revealed by $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ analysis of growth layers in teeth. Mar. Ecol. Prog. Ser., 450 (2012), pp. 229–241

Rodionov, S. N. (2004), A sequential algorithm for testing climate regime shifts, Geophys. Res. Lett., 31, L09204, [oi:10.1029/2004GL019448](https://doi.org/10.1029/2004GL019448)

Rodríguez Valenzuela, M. T. 2009. Contenido energético y ácidos grasos biomarcadores en dos rutas tróficas que llegan al lobo marino, *Zalophus californianus*. Tesis de Maestría. CICIMAR IPN, La Paz, B. C. S. México, 108.

Rosas Hernández. 2013. Señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en vibrisas de hembras de lobo marino de california (*Zalophus californianus*) y su relación con la variabilidad ambiental en la Isla San Esteban, Sonora, México. Tesis de maestría. CICIMAR IPN. La Paz, B. C. S. 100.

Santamaría-del-Ángel E, Alvarez-Borrego S, Muller-Karger FE. 1994. The 1982–1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal zone color scanner imagery. *J. Geophys. Res.* 99: 7423–7431.

Sare, D. T. J., Millar, J. S., & Longstaffe, F. J. (2005). Nitrogen- and carbon-isotope fractionation between mothers and offspring in red-backed voles (*Clethrionomys gapperi*). *Canadian Journal of Zoology*, 83, 712-716. doi:10.1139/z05-054

Saqueo, F. A y Cardemil, L. Eds. 2006. Fisiología Vegetal. Ediciones Universidad de la Serena, La Alerena, Chile, 306.

Szteren, D., D. Aurióles, y L. R. Gerber. 2006. Population status and trends of the California sea lion (*Zalophus californianus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Sea Lions of the World*. Alaska Sea Grant College Program, University of Alaska, Fairbanks pages 369–403.

Szteren D, Aurióles-Gamboa D. 2011. Ecological regionalization of *Zalophus californianus* rookeries, as a tool for conservation in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*. 37: 349-368.

Tieszen, L. L., Boutton, T. W., Tesdahl, K .G. y N. A. Slade. 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia*, 57:32-37.

Vander-Zanden, M. J., y J. B. Rasmussen. 1999. Primary consumer $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology* 80:1395-1404.

Villegas-Amtmann S, Simmons SE, Kuhn CE, Huckstadt LA, Costa DP (2011) Latitudinal Range Influences the Seasonal Variation in the Foraging Behavior of Marine Top Predators. PLoS ONE 6(8): e23166. doi:10.1371/journal.pone.0023166

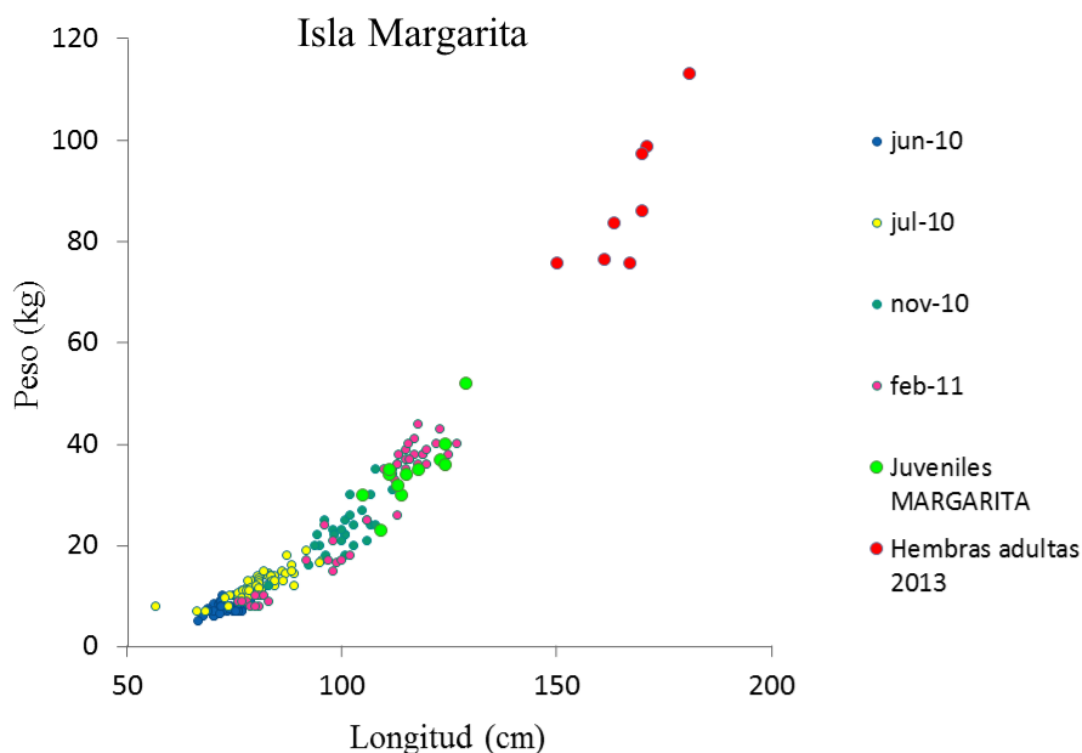
Ward EJ, Chirakkal H, González-Suárez M, Aurióles-Gamboa D, Holmes EE, Gerber LR. 2010. Inferring spatial structure from time-series data: Using multivariate state-space models to detect metapopulation structure of California sea lions in the Gulf of California, Mexico. J. Appl. Ecol. 47: 47–56.

West, A.G., et al., 2004. Short-term diet changes revealed using stable carbon isotopes in horse tail-hair. Functional Ecology 18, 616–624.

ANEXO 1

La primera aproximación del cálculo de edad de los lobos marinos muestreados se realizó con base en la longitud. Se compararon las longitudes de los organismos capturados en el campo con las longitudes de organismos de edad conocida. Sin embargo, dado que existe una variabilidad muy alta en las longitudes de organismos de la misma edad, no es muy confiable usar solo este método para determinar la edad de los individuos. Por ejemplo, en la longitud de las crías marcadas en febrero del 2010, que tienen 8 meses, se traslapa con la longitud de juveniles de 1 y 2 años de edad. Por lo que en el presente trabajo se decidió usar información complementaria como los perfiles isotópicos y las fechas de nacimiento para definir la edad de los organismos muestreados

Anexo 1: Longitud y peso de organismos de *Z. californianus* capturados en Isla Margarita desde junio 2010. Datos obtenidos por Auriolles-Gamboa y Hernández-Camacho sin publicar.



ANEXO 2.

Detección de diferencias estadísticamente significativas en perfiles isotópicos

Analizando los perfiles isotópicos de las vibrisas, se detectó el punto en el que los valores isotópicos son estadísticamente diferentes mediante el complemento de Excel STARS. Este programa usa un algoritmo secuencial para reconocer cambios de regímenes climáticos mediante el cálculo de pruebas secuenciales de T que detectan diferencias significativas en una serie continua de datos (Rodionov, 2004). Los cambios en los valores isotópicos pudieran indicar cambios en la dieta del organismo. En el caso de los organismos juveniles, analizados en el presente trabajo, se esperaba que el cambio de dieta pudiera referirse al inicio y final del periodo de lactancia.

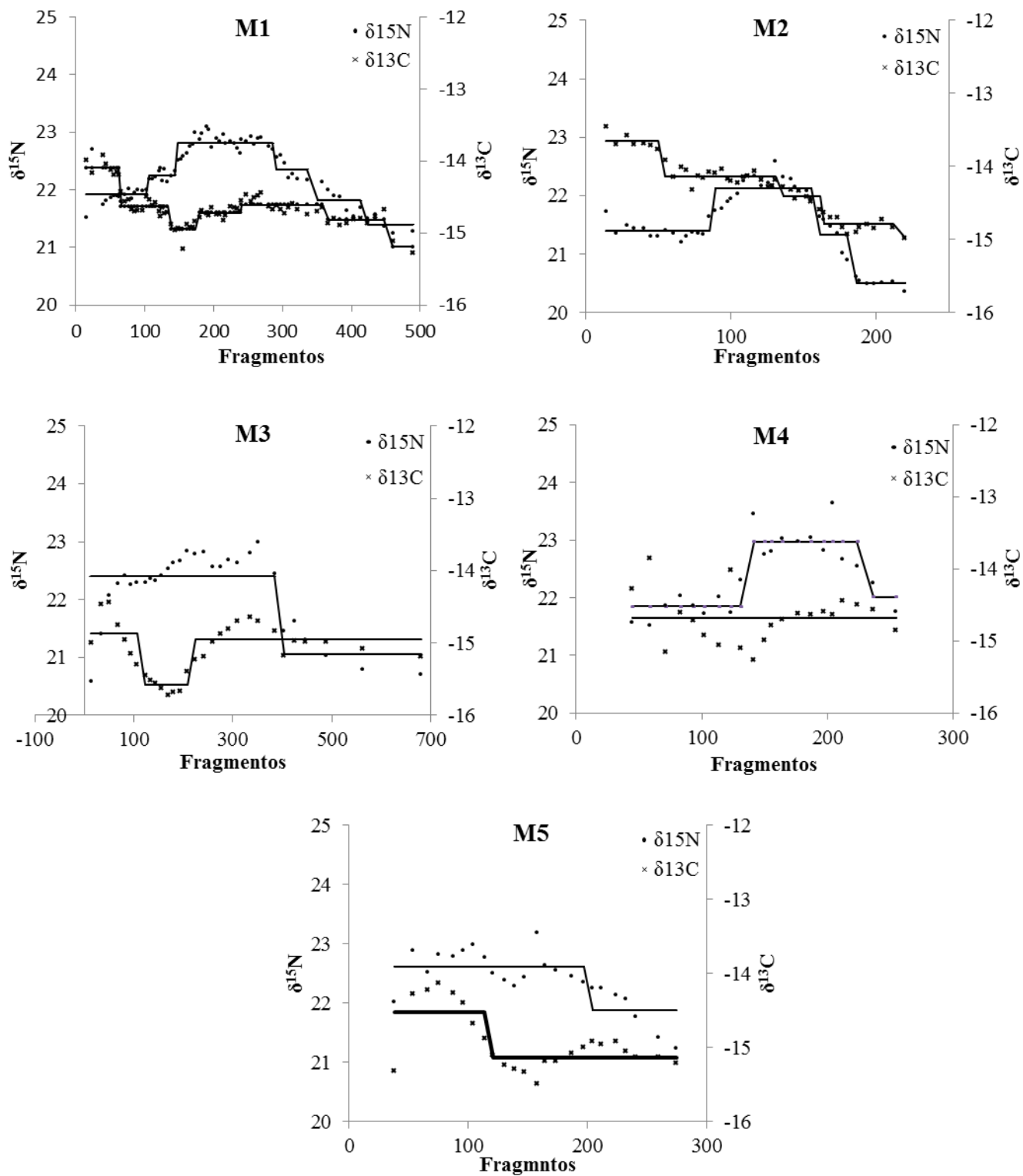
El detector de cambio de régimen es un programa utilizado para encontrar regímenes climáticos. Tiene la bondad de analizar un set de datos y encontrar el momento en el cual existe una diferencia significativa en los datos mediante pruebas secuenciales pruebas de T. Para analizar los datos es posible “calibrar” la magnitud del cambio encontrado mediante la manipulación de dos parámetros: “l” y “p”. El parámetro “p” es el nivel de confianza bajo el cual se realizarán las pruebas y “l” es la longitud del corte que se realizarán las pruebas, en este caso, la cantidad de fragmentos analizados. Mientras se use una “l” mayor, los cambios necesitan ser mayores para ser detectados y viceversa (Rodionov, 2004).

Se analizaron tres tipos de perfiles isotópicos: aquellos que era evidente el cambio ontogénico de dieta, los que no presentaban cambios ontogénicos en la dieta y perfiles de vibrisas pertenecientes a hembras adultas. En los tres casos se encontraron diferentes regímenes por lo que no fue posible explicarlos mediante el cambio de dieta ontogénico ya que en dos de estos casos no presentaban cambios ontogénicos.

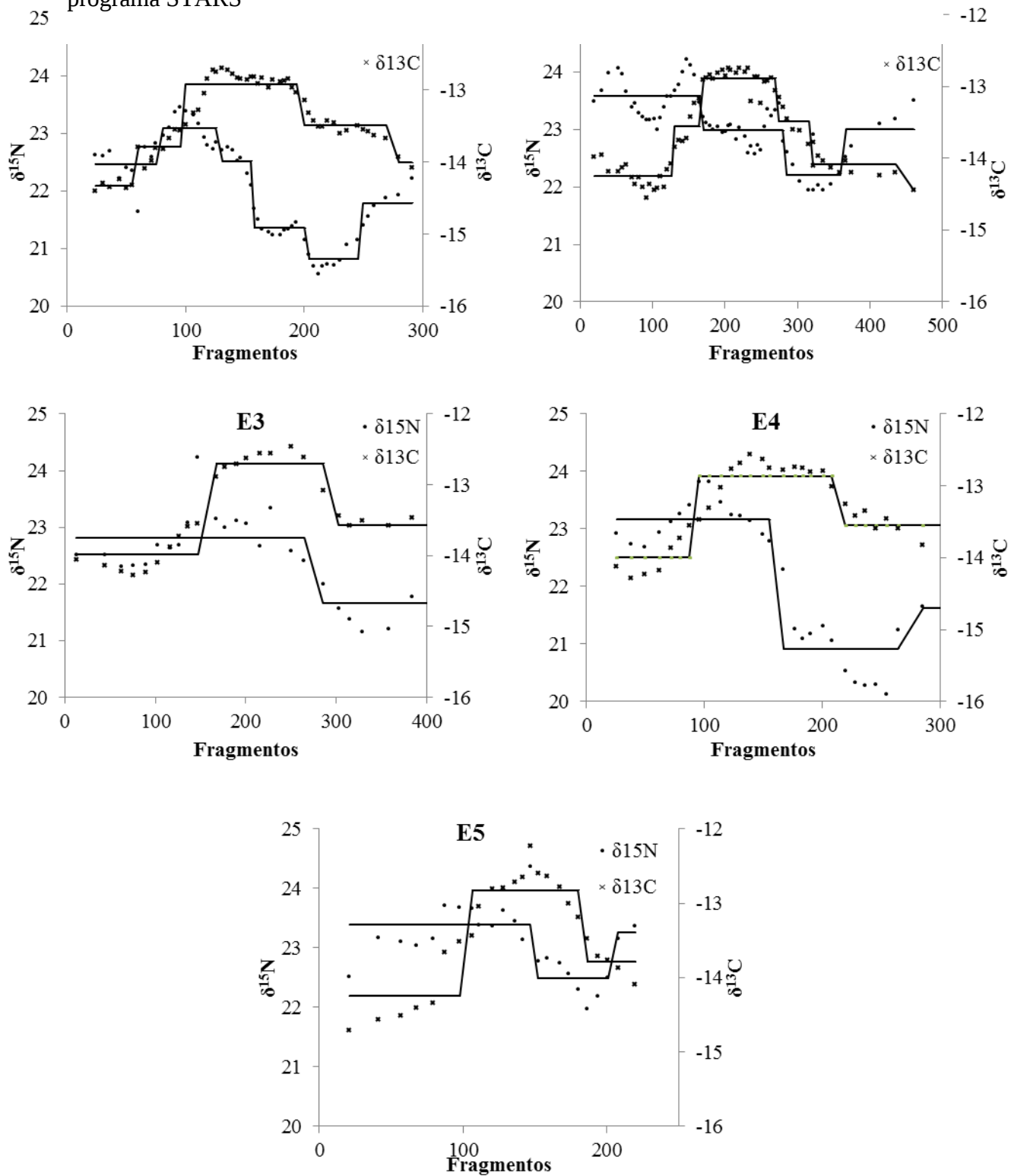
Se reportan a continuación los cambios de regímenes encontrados en los perfiles isotópicos de vibrisas en las cuales el cambio ontogénico fue evidente, las muestreadas en Isla Santa Margarita e Isla San Esteban. Las pruebas se realizaron con una L=10 y una p de 0.05.

Tabla 5. Regímenes encontrados en las vibrisas analizadas con el complemento de Excel STARS (Rodionov, 2005). Las valores isotópicos de las vibrisas H. Adulta 1 y H. Adulta 2 fueron obtenidas del trabajo de Rosas-Hernández (2013).

Clave	Fragmentos	Regímenes para $\delta^{13}\text{C}$	Regímenes para $\delta^{13}\text{N}$
Isla San Esteban			
E1	55	5	6
E2	63	6	4
E3	26	3	2
E4	29	3	3
E5	24	3	3
H. Adulta 1	70	7	8
H. Adulta 2	71	6	5
Los Islotes			
I1	50	5	5
I2	48	4	3
I3	25	2	2
I4	17	2	2
I5	26	3	1
Isla Santa Margarita			
M1	74	7	6
M2	46	5	4
M3	31	4	2
M4	21	1	3
M5	25	2	2



Anexo 2. (Continuación): Perfiles isotópicos de Isla San Esteban analizados con el programa STARS



Anexo 2: Perfiles isotópicos de Isla Santa Margarita analizados con el programa STARS

¿Qué me cuentan tus bigotes?

Es fantástico salir a estudiar lobos marinos; sentir la brisa del mar acariciando tu rostro, contemplar atardeceres en playas vírgenes, percibir el “aroma a mar” penetrando en el cuerpo, descubrir otros seres marinos merodeando las costas: delfines, aves, peces e invertebrados que te hacen pensar: ¡Estudiar lobos marinos es fantástico! Aunque también tiene sus días complicados: cuando los invertebrados que te merodean son avispas, abejas, mosquitos, o cuando la temperatura ambiental es superior a los 40 °C, como en el verano (justo cuando estudiar a los lobos es más interesante). Existen otros “detalles” que complican los viajes como el tiempo para llegar a la isla deseada que puede ser desde un par de horas viajando en panga o hasta 6 horas viajando en panga, todo terreno y hasta en camiones de volteo. Y finalmente lidiar con la observación y conteo de poblaciones de hasta 6000 lobos marinos.

Algo importante que hay que tener en cuenta son los recursos económicos que implica una salida a estas islas, que pueden sumar la escandalosa cantidad de 50 mil pesos por semana de estancia y otros aspectos no tan escandalosos, pero sí preocupantes como no contar con agua corriente, drenaje, luz eléctrica, o médico entre muchas otras cosas en las islas, sin embargo, la diversión y la información obtenida lo amerita y cada verano los investigadores del laboratorio de Ecología de Pinnípedos se arman de valor y se van a las loberas por un par de semanas.

Pero... ¿Qué pasa cuando el fenómeno que queremos estudiar dura un año o más, como el periodo de lactancia de los lobos marinos? La observación y seguimiento de una madre con su cría entre otros 5998 lobos marinos en movimiento durante 12 meses se vuelve imposible.

Los estudiosos de lobos marinos a través del tiempo han ido satisfaciendo su curiosidad analizando todas las partes colectables de lobos marinos: dientes, pelos, uñas, huesos, bigotes... bueno y hasta heces. Los huesos y los dientes se toman de

animales que han muerto y han sido arrastrados hacia la orilla, mientras que el pelo, las uñas, los bigotes y la piel, los obtienen con mucho cuidado y más valentía de animales vivos, aunque solo aquellos que pueden capturar y manejar, por lo regular se olvidan de los machos adultos que pueden llegar a pesar casi 400 kilos y medir unos dos metros.

Haciendo un análisis químico de las partes de lobos colectadas se enteraron de algunas intimidades de los lobos: su edad, sus viajes y hasta que comida prefieren. En el caso de los bigotes, esta información se va guardando y puede permanecer hasta un par de años, dependiendo del desgaste que sufra. Entonces, para analizar fenómenos mayores a un año de duración y que no podemos observar personalmente, los bigotes presentan valiosas evidencias para estudiar de manera indirecta a los lobos marinos. Lo que hice en este trabajo fue medir el periodo de lactancia en estos animales en tres diferentes islas con características particulares... ¡Lo hice usando sus bigotes!

¿Cómo cuidan a su cachorro?

Cuando un lobo marino nace, aún no sabe nadar, no está listo para sumergirse y cazar peces, por ello depende completamente de su madre. Ella, comprometida al cuidado de su cachorro y después de un par de días del nacimiento, necesita escapar, tener un momento para ella e irse a comer (sentimiento que toda madre primeriza hemos tenido alguna vez). Estos viajes pueden ser diferentes dependiendo de la comida encontrada en cada sitio. La comida, a su vez, está en función de la calidad de alimento que se encuentren en cada zona.

Las islas visitamos fueron San Esteban, en la zona de las grandes Islas; los Islotes, en el sur del Golfo de California e Isla Santa Margarita, en el Pacífico. Cada una tiene condiciones ambientales diferentes: En Isla San Esteban hay dos momentos de gran abundancia de alimento en el ambiente, lo que se traduce en bienestar para la manada. Los Islotes tienen dos picos de abundancia, pero más pequeños, Isla Santa Margarita por su parte, tiene un gran pico de abundancia en primavera, mucho mayor que en las otras islas.

Tal como lo esperábamos, los bigotes de lobos juveniles nos confesaron sus secretos y nos enteramos que: las hembras de San Esteban le dan de comer leche a sus cachorros entre año y medio y dos años, en los Islotes los cachorros al cumplir un año siguen tomando solo leche y ni siquiera han probado pescado. En Isla Santa Margarita hay diferentes casos de lactancia, la mayoría de las hembras le dan leche solo un año, pero hay quienes deciden darle hasta dos años. Es posible que en esta isla existan varios lugares donde comer y las mamás lobo buscan donde les agrada más, la decisión depende, entre otras condiciones, de dónde encuentran más comida, que distancia que hay para llegar y la competencia que puede haber para obtenerla. Todas estas opciones derivan en diferencias en el tiempo de lactancia.

Las hembras de lobo marino cuidan solas a su cachorro, en este caso los grandes machos se desentienden del cuidado de los hijos, posiblemente porque deciden viajar. Las mamás por su parte, se quedan en la isla donde nació su cría para cuidar a su pequeño, hasta que éste sea lo suficientemente independiente para cazar por su cuenta. De las mamás depende el éxito de las crías, por eso ellas se esmeran y los cuidan alimentándolos con su nutritiva leche. Para los investigadores las hembras se vuelven muy valiosas pues al pasar tanto tiempo en la isla, se vuelven un reflejo de lo que pasa en las islas.

Los lobos marinos nos permiten conocer más a cerca del mar por eso se les considera centinelas del medio ambiente. El tener acceso a información de ellos es muy valioso y aunque observarlos por largo periodo de tiempo es complicado, es posible tener información analizando estructuras como los bigotes. La información que pueden darnos los bigotes va de semanas, meses y años pues van formándose mientras el animal crece. De ésta manera, estudiar bigotes nos permite entender un poco más acerca de la vida de los lobos marinos y con ello conocer mejor el mar.