

**ESTUDIO DE LA VARIACIÓN ISOTÓPICA DE CARBONO Y NITRÓGENO  
EN VIBRISAS DE ELEFANTE MARINO (*Mirounga angustirostris*) EN  
ISLAS SAN BENITO E ISLA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA SUR,  
MEXICO E ISLA AÑO NUEVO, CALIFORNIA, USA**

**TATIANA ALEXANDRA ACOSTA PACHÓN**

**Trabajo de grado para  
optar al título de Biólogo Marino**

**Director**  
**DAVID AURIOLES GAMBOA**  
Biólogo Marino. Ph. D.

**Asesor**  
**ADOLFO SANJUAN MUÑOZ**  
Biólogo Marino. M. Sc

**UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO  
FACULTAD DE BIOLOGÍA MARINA  
BOGOTA  
2007**

## Nota aceptación

---

---

---

Presidente Jurado \_\_\_\_\_

Jurado \_\_\_\_\_

Jurado \_\_\_\_\_

Bogotá, 2007

Estudio de la variación isotópica de carbono y nitrógeno en vibrisas de elefante marino (*Mirounga angustirostris*) en Islas San Benito e Isla Guadalupe, Baja California Sur, México e Isla Año Nuevo, California, USA



Elefante Marino (*Mirounga angustirostris*)



Elefante Marino (*Mirounga angustirostris*)

Dedicada a DIOS, quien es mi creador y el SER a quien más amo. Por darme todo en la vida y permitirme culminar esta primera etapa.

Y a mis padres Alejandro y Ma. Edilma quienes con su amor, paciencia, enseñanzas y esfuerzo han permitido la realización de este gran sueño. Los amo con todo mi corazón.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. David Auriolles Gambo del laboratorio de Ecología de Mamíferos Marinos del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) por brindarme la oportunidad, confianza, apoyo y enseñanzas necesarias para la realización de esta tesis. Mil y mil gracias.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), La Paz, Baja California, México, por prestarme sus instalaciones y equipos para la realización de la tesis.

Al Dr. Seth Newsome del Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington, D.C., USA, por proporcionar información valiosa para la realización de este trabajo. Además de ser la persona que muy amablemente llevo acabo el proceso de análisis isotópico de las muestras de esta tesis. Y por sus aportes y comentarios a la misma.

Al Biólogo Marino. M. Sc Adolfo Sanjuán M., por sus aportes y criticas constructivas que ayudaron a mejorar y complementar este trabajo.

A mis padres, Alejandro y Ma. Edilma, por todas sus enseñanzas, por siempre estar ahí, por apoyarme siempre en todo y por el gran esfuerzo que hicieron. Gracias por permitirme hacer realidad este gran sueño de trabajar con mamíferos marinos. Los quiero demasiado.

A toda mi familia (materna y paterna), gracias por su apoyo incondicional, por ayudarme siempre en todo lo que necesito, por estar ahí en los buenos y malos momentos. Los quiero muchísimo a todos.

A todos mis amigos, quienes a lo largo de la carrera o en ciertos pedacitos de la misma estuvieron y están a mi lado, tanto en los momentos duros

dándome animo, como en los buenos momentos riéndonos de todo. Los llevo a todos en mi corazón.

En especial quiero agradecer a Nadya C. Ramirez, mi amiga, quien siempre ha estado ahí, no tengo palabras para agradecerte por todo, mil gracias. Por compartir tantas aventuras en todo el tiempo que llevamos de amigas. Por apoyarme y compartir mis locuras. Te extraño y quiero mucho.

A la gente del laboratorio de Ecología de Mamíferos Marinos y de otras áreas del CICIMAR, Fernando, Paola, Diego, Alma, Nereyda, Raul, Mauricio, Ricardo, por su amistad, consejos y apoyo, por hacer agradable mi estadía en México, mil y mil gracias.

Y a todos los que de alguna forma hicieron posible que este gran sueño se hiciera realidad.

## CONTENIDO

Lista de Tablas.....	9
Lista de Figuras.....	11
Resumen.....	15
Abstract.....	17
1. Introducción.....	19
2. Marco teórico y Estado del arte.....	28
2.1 Taxonomía, biología y ecología de <i>Mirounga angustirostris</i> .....	28
2.2 Factores que generan variación en las proporciones isotópicas en el océano.....	32
2.3 Antecedentes.....	34
3. Problema de investigación y objetivos específicos e hipótesis.....	39
3.1 Problema de investigación.....	39
3.2 Objetivos específicos.....	40
3.3 Hipótesis.....	40
4. Metodología.....	42
4.1 Área de estudio.....	42
4.1.1 Isla San Benito.....	43
4.1.2 Isla Guadalupe.....	45
4.1.3 Isla Año Nuevo.....	47
4.2 Fase de campo.....	49
4.3 Fase de laboratorio.....	52
4.3.1 Procesamiento de muestras.....	52
4.3.2 Análisis de muestras.....	55
4.4 Fase de gabinete.....	57
5. Resultados.....	59
5.1 Cuantificación isotópica de carbono y nitrógeno entre las poblaciones de Islas Benito y Año Nuevo.....	59

5.2 Patrones de variación individual en vibrisa y su relación con migración alimentaría, reproducción y ayuno.....	61
5.2.1 Comportamiento del nitrógeno.....	61
5.2.2 Comportamiento del carbono.....	73
5.3 Diferencia machos <i>vs</i> hembras.....	81
5.3.1 Año Nuevo.....	81
5.3.2 San Benito.....	81
6. Discusión de resultados.....	82
6.1 Cuantificación isotópica general de carbono y nitrógeno entre las poblaciones de Islas Benitos y Año Nuevo.....	82
6.2 Patrones de variación individual en vibrisa y su relación con migración alimentaría, reproducción y ayuno.....	87
6.2.1 Comportamiento del nitrógeno.....	87
6.2.2 Comportamiento del carbono.....	98
6.3 Diferencia machos <i>vs</i> hembras.....	100
7. Conclusiones.....	105
8. Recomendaciones.....	107
9. Bibliografía.....	108

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tasa de crecimiento en vibrisas de tres especies de fócidos y una de otárido.....	57
<b>Tabla 2.</b> Resumen de los valores de la prueba <i>t-student</i> , de las variables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ entre las hembras de Isla Año Nuevo e Islas San Benitos.....	59
<b>Tabla 3.</b> Resumen de los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en cada una de las localidades, con su respectiva variación.....	61
<b>Tabla 4.</b> Resumen de los valores promedio, máximos y mínimos de $\delta^{13}\text{C}$ , para cada una de las clases de edades de la localidad de Año Nuevo.....	76
<b>Tabla 5.</b> Resumen de los valores promedio, máximos y mínimos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰), para cada una de las clases de edades de la localidad de Isla Guadalupe.....	80
<b>Tabla 6.</b> Valores máximos, mínimos y promedio de los machos y las hembras de Isla Año Nuevo, California.....	81
<b>Tabla 7.</b> Valores máximos, mínimos y la variación existente entre el macho y el promedio de las hembras de Islas San Benito, México.....	81

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Vibrisas de dos especies de pinnípedos. 1. Vibrisa de elefante marino (fócido) y 2. Vibrisa de lobo marino (otárido)..... 25
- Figura 2.** Representación esquemática de los tiempos dedicados a la alimentación, reproducción y muda de una población típica de elefante marino del norte..... 31
- Figura 3.** Distribución de hembras y machos de *Mirounga angustirostris*. La parte clara indica el rango en cual están en época de reproducción; mientras que la oscura muestra la distribución de sexos en temporada de alimentación..... 31
- Figura 4.** Locaciones de las colonias de elefante marino en aguas de Norte América y México. Se destacan las tres localidades de este estudio, Isla Año Nuevo, U.S.A., Isla Guadalupe e Islas San Benito, México..... 42
- Figura 5.** Mapa de la Península de Baja California, México, entre los 24° y 33° N y entre los 111° y 123° W. Se resaltan las Islas San Benito e Isla Guadalupe..... 43
- Figura 6.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de una vibrisa de macho subadulto (MA #4) de Año Nuevo, California dividida en 64 submuestras..... 53
- Figura 7.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de la vibrisa de macho subadulto (MA#4) de Año Nuevo, California, dividida en 20 submuestras..... 53

**Figura 8.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de la vibrisa del individuo 2 de la localidad de Año Nuevo, California (CAF2); dividida en 20 submuestras.... 54

**Figura 9.** Comparación de las medias de  $\delta^{13}\text{C}$  entre las hembras de las localidades de Año Nuevo, California (1) e Islas San Benito (2)..... 60

**Figura 10.** Comparación de las medias de  $\delta^{15}\text{N}$  entre las hembras de las localidades de Año Nuevo, California (1) e Islas San Benito (2)..... 60

**Figura 11.** Promedios mensuales de  $\delta^{15}\text{N}$  en las hembras de elefante marino de Isla Año Nuevo, California..... 62

**Figura 12.** Patrón de  $\delta^{15}\text{N}$  del grupo de hembras con edades de 4,5 a 5,5 años de Isla Año Nuevo..... 63

**Figura 13.** Patrón de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) del grupo de hembras de edad entre 6,0 a 6,5 años de Isla Año Nuevo..... 64

**Figura 14.** Patrón de  $\delta^{15}\text{N}$  del grupo de hembras de edad entre 8,0 a 9,5 años de Isla Año Nuevo..... 64

**Figura 15.** Patrón de comportamiento de  $\delta^{15}\text{N}$  de un macho adulto de la localidad de Año Nuevo, California..... 66

**Figura 16.** Patrón de comportamiento de  $\delta^{15}\text{N}$  de un macho subadulto de la localidad de Año Nuevo, California..... 67

**Figura 17.** Patrón de comportamiento temporal de  $\delta^{15}\text{N}$  que incluye solamente las hembras de elefante marino de Islas San Benito, México..... 68

<b>Figura 18.</b> Comportamiento de $\delta^{15}\text{N}$ (‰), del Grupo A de la colonia de Islas San Benito.....	69
<b>Figura 19.</b> Comportamiento de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de los dos individuos del Grupo B, de la colonia de Islas San Benito.....	70
<b>Figura 20.</b> Patrón de comportamiento temporal de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en los machos de elefante marino de la colonia de Isla Guadalupe, México.....	71
<b>Figura 21.</b> Comportamiento de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de machos juveniles de la colonia de Isla Guadalupe.....	72
<b>Figura 22.</b> Comportamiento de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) del grupo machos adultos de la colonia de Isla Guadalupe.....	73
<b>Figura 23.</b> Patrón de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) del grupo de hembras de 4,5 a 5,5 años de edad de Isla Año Nuevo.....	74
<b>Figura 24.</b> Patrón de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) del grupo de hembras de edad entre 6,0 a 6,5 años de Isla Año Nuevo.....	75
<b>Figura 25.</b> Patrón de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) del grupo de hembras con edades entre 8,0 a 9,5 años de Isla Año Nuevo.....	76
<b>Figura 26.</b> Patrón de $\delta^{13}\text{C}$ de una vibrisa de macho adulto de Isla Año Nuevo.....	77
<b>Figura 27.</b> Patrón de $\delta^{13}\text{C}$ de macho subadulto de Isla Año Nuevo, California.....	78

**Figura 28.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  del grupo de machos juveniles de Isla Guadalupe..... 79

**Figura 29.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  del grupo de machos adultos de Isla Guadalupe..... 80

## RESUMEN

Se estimaron las razones isotópicas de nitrógeno y carbono ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) en vibrisas de *Mirounga angustirostris* de tres colonias durante la temporada de cría de 1995 a 2001 (n= 10) en Año Nuevo, 2004 (n= 10) en Isla Guadalupe y 2005 (n= 10) en Islas San Benito con el fin de relacionar posibles cambios isotópicos con los eventos que se presentan durante un año típico de la vida de la especie (periodos de reproducción, alimentación y muda), así como las potenciales diferencias entre sexos y poblaciones (Isla Año Nuevo en California, e Islas Guadalupe y San Benito en México).

Los valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  en hembras de Año Nuevo variaron entre 14,0 y 17,2‰ y mostró un patrón con un máximo entre febrero y marzo (periodo de reproducción) y un mínimo en junio y julio (periodo de muda) con una serie de valores intermedios entre estos periodos que coinciden con la fase de alimentación conocida de la especie.

Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en hembras de Islas San Benito variaron entre 16,0 y 18,8‰, pero a diferencia de las hembras de Año Nuevo su máximo estuvo en junio y julio y su mínimo de diciembre a marzo.

Los valores promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  entre Isla Año Nuevo y San Benito también fueron distintos ( $-15,1 \pm 0,66$  ‰ y  $17,4 \pm 1,33$  ‰), y estadísticamente significativos para ambos isótopos ( $\delta^{13}\text{C}$  p= < 0,001;  $\delta^{15}\text{N}$  p= <0,001).

La colonia de Isla Guadalupe donde solo se muestrearon machos tuvo valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  que variaron entre 14,6 y 20,2‰, con un valor máximo en enero y mínimo en julio, sin embargo la variación a lo largo del año fue notablemente menor a la que se presentó en las hembras de Año Nuevo e Islas San Benito. Las posibles causas para explicar las diferencias presentadas entre colonias, incluyen 1) la tasa de crecimiento promedio de la vibrisa que se utilizó, 2) los tiempos en que cada individuo esta en tierra o en el mar, 3) el estado de las hembras (reproducción, lactancia y alimentación post-reproductiva), 4) el lugar de alimentación, 5) la edad y el sexo de los individuos, entre otros.

Se encontraron diferencias significativas entre sexos de los valores promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  (0,4‰) y  $\delta^{15}\text{N}$  (0,6‰) en Isla Año Nuevo ( $F_{\delta^{13}\text{C}}$   $p = <0,001$ ;  $F_{\delta^{15}\text{N}}$   $p = <0,001$ ) así como en  $\delta^{13}\text{C}$  (1‰) y de  $\delta^{15}\text{N}$  (1,6‰) de Islas San Benito ( $F_{\delta^{13}\text{C}}$   $p = 0,043$ ;  $F_{\delta^{15}\text{N}}$   $p = 0,043$ ), pero dado el tamaño de muestra en el caso de los machos, estos resultados deberán ser confirmados con un muestreo mayor. Estas diferencias, sin embargo, parecen asociarse tanto al distinto lugar de alimentación entre ambos sexos y los diferentes requerimientos energéticos debidos a la intensa inversión materna de las hembras.

Palabras claves: Isótopos estables, patrones de alimentación, *Mirounga angustirostris*, Isla Año Nuevo, Isla Guadalupe, Isla San Benito.

## ABSTRACT

We estimate the nitrogen and carbon isotope ratios ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) were measured in *Mirounga angustirostris* whiskers in three rookeries during the breeding season in 1995 to 2001 (n= 10) in Isla Año Nuevo, 2004 (n= 10) in Isla Guadalupe and 2005 (n= 10) in Islas San Benito, in order to relate possible isotopic changes with the events that happens trough the normal year in this specie (reproduction, alimentary and molt periods), and the potentials differences between sex and populations (Isla Año Nuevo in California, e Isla Guadalupe and San Benito in Mexico).

The  $\delta^{15}\text{N}$  mean values in females of Año Nuevo differ between 14.0 and 17.2‰ and demonstrate a patron with a maximum between February and March (reproduction period) and a minimum in June and July (molt period) with a series of intermediate values among these periods that coincide with the alimentary phase that is well known in this specie.

The  $\delta^{15}\text{N}$  values in females of Islas San Benito differ between 16.0 and 18.8‰, but unlike of the Año Nuevo females, their maximum was in June and July and their minimum between December and March.

The  $\delta^{13}\text{C}$  mean values between Isla Año Nuevo and San Benito also were different ( $-15.1 \pm 0.66$  ‰ and  $17.4 \pm 1.33$  ‰) and statistically significant for both isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  p= < 0,001;  $\delta^{15}\text{N}$  p= <0,001).

The Isla Guadalupe rookery where we only sample males, it had  $\delta^{15}\text{N}$  mean values that differ between 14.6 and 20.2‰, with a maximum value in January and the minimum in July, however the variation through the year was great less than the Año Nuevo and Islas San Benito females show. The possible causes for explain the differences between colonies, include 1) the whiskers average growth rate, 2) the period of the time that each animal was in the land and in the sea, 3) in the case of the females, her condition (reproduction, lactation and post-reproduction alimentary), 4) the foraging area, 5) the age and the sex of the animals, as many.

We found differences significant between sex in the mean values of  $\delta^{13}\text{C}$  (0.4‰) and  $\delta^{15}\text{N}$  (0.6‰) in Isla Año Nuevo ( $F_{\delta^{13}\text{C}}$  p= <0,001;  $F_{\delta^{15}\text{N}}$

$p < 0,001$ ) as in  $\delta^{13}\text{C}$  (1‰) and the  $\delta^{15}\text{N}$  (1.6‰) of Islas San Benito ( $F_{\delta^{13}\text{C}} p = 0,043$ ;  $F_{\delta^{15}\text{N}} p = 0,043$ ), but due the sample size of the males, those results must be confirm with a bigger sample size. These differences, however, could be associated with the different foraging area between sex and the different energy requirements due to the maternal intensify inversion in females.

Key words: Stable isotope, alimentary patterns, *Mirounga angustirostris*, Isla Año Nuevo, Isla Guadalupe, Isla San Benito.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para la determinación del tipo de alimento que los organismos de varios *phyla* ingieren y del hábitat que utilizan como zona de alimento, se han implementado diversos métodos de análisis entre los que se destacan, el análisis de contenido estomacal y fecal, y la utilización de los isótopos estables que acumulan a través del paso del tiempo (Hirons *et al.*, 2001a). Los análisis realizados con base en isótopos estables proporcionan información distinta al de métodos convencionales, ya que al medir átomos que permanecen sin ser modificados a través del tiempo, proporcionan información del alimento asimilado, al mismo tiempo que permiten la exploración de tejidos con distinta velocidad de recambio. Además, hay que tener en cuenta, que métodos como el análisis de contenido estomacal y fecal, están limitados en cuanto a su temporalidad, ya que representan la alimentación que el animal ha ingerido recientemente (Kurle, 2002), a diferencia del análisis isotópico que puede cubrir periodos de tiempo desde horas o días (tejido sanguíneo) hasta meses y años (tejido óseo) (Zhao y Schell, 2004).

El análisis de isótopos estables se basa en el principio de que la proporción de nitrógeno (N14:N15) y de carbono (C12:C13) en el tejido de los animales, es directamente proporcional al encontrado en su dieta (Greaves *et al.*, 2003). Los isótopos estables, son átomos de un elemento que tienen las mismas propiedades físicas pero diferentes masas (Santiago *et al.*, 2005), además son radiomarcadores bioquímicos que permiten a los investigadores seguir químicos específicos o transformaciones bioquímicas en presencia de un enorme exceso de material no radiactivo (Mathews *et al.*, 1999).

De los distintos usos de los isótopos estables en investigación bioquímica, tres de las aplicaciones más importantes son: (a) la incorporación de isótopos estables que incrementa la densidad de un material, porque los isótopos raros usualmente tienen mayor peso atómico que sus más

abundantes contrapartes; esta diferencia evita tener que marcar los compuestos físicamente, (b) los compuestos marcados con isótopos estables, particularmente  $\delta^{13}\text{C}$ , son ampliamente usados en resonancia magnética nuclear estudios de estructura molecular y mecanismos reactivos y (c) los isótopos estables pueden ser usados como trazadores en la ausencia de radioisótopos apropiados. Los isótopos estables son detectados y cuantificados en la masa de espectrometría, una metodología laboriosa comparada a la continua radioactividad (Mathews *et al.*, 1999).

Debido a que muchos procesos difieren en el contenido de  $^{14}\text{N}$  y  $^{15}\text{N}$ , esta diferencia natural de  $\delta^{15}\text{N}$  resultante, que es la proporción ( $\delta$ ) de isótopos pesados (ej.  $^{15}\text{N}$ ) a livianos (ej.  $^{14}\text{N}$ ), puede ser utilizada para obtener información sobre las fuentes de nitrógeno utilizadas por los organismos (Santiago *et al.*, 2005). Sin embargo, el ciclo de nitrógeno es complejo y las interpretaciones de  $\delta^{15}\text{N}$  provenientes de diferentes fuentes pueden resultar erróneas; pero a pesar de las limitaciones que el uso de  $\delta^{15}\text{N}$  en ecología implica, cuando cada fuente dentro de un sistema tiene un  $\delta^{15}\text{N}$  distintivo y detectable, es posible determinar las fuentes de nitrógeno de animales; (Herrera *et al.*, 2002 En: Santiago *et al.*, 2005; DeNiro y Epstein, 1981; Hobson, 1999).

Muchos procesos naturales causan una distribución desigual de isótopos livianos y pesados entre compuestos, y esta distribución puede suministrar información acerca de la física, la química y los procesos metabólicos que ocurren en las transformaciones isotópicas. Estas transformaciones, generan cambios en la abundancia relativa tanto de isótopos pesados, como de livianos, entre el sustrato de la fuente y sus productos, este cambio se denomina fraccionamiento isotópico (Santiago *et al.*, 2005). El fraccionamiento se genera, ya que los isótopos más livianos forman enlaces químicos que requieren menos energía para romperse. En las reacciones químicas, los isótopos más livianos generalmente reaccionan más rápido y los isótopos pesados por tanto, tienden a quedar más

concentrados en los productos (Dawson y Brooks, 2001 En: Santiago *et al.*, 2005).

Asimismo, estas razones isotópicas pueden ser usadas en tejidos de animales para hacer inferencias sobre las relaciones tróficas y los lugares de alimentación en ecosistemas terrestres y marinos (Burton y Koch 1999; Kurle y Worthy, 2002). Se conoce que la proporción isotópica de tejidos de animales particularmente marinos, es un poco más enriquecida en  $^{13}\text{C}$  (0,5–1‰) y  $^{15}\text{N}$  (3–5‰), que las encontradas en sus dietas (France y Peters 1997).

La proporción de isótopos de carbono en los sistemas marinos está directamente influenciada por factores que actúan en el nivel primario de la producción, como el tamaño, geometría, y tasa de crecimiento del fitoplancton (DeNiro y Epstein, 1981; Rau *et al.*, 1983; France y Peters, 1997; Kurle, 2002), la ocurrencia de los afloramientos fitoplanctónicos (Nakatsuka *et al.*, 1992 En: Kurle, 2002), la cantidad de productividad primaria (Descolas-Gros y Fontugne, 1990; Cullen *et al.*, 2001; Kurle, 2002), la disolución del carbono inorgánico y el fraccionamiento que ocurre durante el crecimiento de las células de las plantas (Hirons *et al.*, 2001b), entre otros. Estas diferencias isotópicas son incorporadas dentro de todos los consumidores de la red trófica, y conducen a diferencias en los valores de  $^{13}\text{C}$  que pueden ser usados para indicar lugares de forrajeo en el ambiente marino (Kurle, 2002; Kurle y Worthy, 2002).

Los isótopos estables de nitrógeno, al fraccionarse entre la presa y el predador, permiten predecir enriquecimientos de  $\delta^{15}\text{N}$  con incremento en el nivel trófico (Vander Zanden *et al.*, 1999; Yoshii *et al.*, 1999; Kurle, 2002), de tal modo que denota la posición trófica del animal. Algunos cambios significativos en  $\delta^{15}\text{N}$  en los tejidos de pinnípedos a través del tiempo, pueden implicar cambios marcados en su nivel trófico (Hirons *et al.*, 2001b).

Asimismo, la actividad metabólica de diferentes clases de tejidos puede proveer información en una escala de tiempo que varía desde algunos días (plasma e hígado) a meses (células rojas sanguíneas y piel) y años (huesos y dientes) dependiendo del tejido analizado (Hobson *et al.*, 1993; Darimont y Reimchen, 2002; Hall-Aspland *et al.*, 2005). Las marcas de isótopos estables en tejidos generalmente reflejan la dieta sobre el periodo durante el cual el tejido fue sintetizado (Hobson y Clark, 1992), así que, los diferentes tejidos con distintas tasas de crecimiento pueden integrar la información de la dieta en diferentes periodos temporales. Por ejemplo, la sangre es un integrador de término corto, mientras que el nitrógeno se integra a los huesos sobre una escala mucho más larga a través del tiempo (Hobson y Clark, 1992; Bearhop *et al.*, 2004). Finalmente, los tejidos que son metabolitamente inherentes después de su formación, como el pelo y las plumas, entre otros, presentan estas grabaciones indefinidamente (Hobson, 1999; Bearhop *et al.*, 2004).

La proporción de los isótopos en el tejido de un depredador, refleja la integración de isótopos contenidos en todas las presas que ha ingerido sobre un periodo de tiempo (Burton y Koch 1999; Kurle y Worthy 2002). La información de isótopos estables de carbono y nitrógeno obtenidos de recursos alimenticios, toma de dos a tres periodos hasta que estos son incorporados completamente en el tejido del depredador (Hildebrand *et al.*, 1996 En: Kurle, 2002; Hobson *et al.*, 1993), estos periodos de incorporación, se refieren al tiempo que toman estos, para cambiar de ser una partícula de la dieta a ser derivados de un tejido específico (Tieszen *et al.*, 1983 En: Kurle, 2002). La composición isotópica de carbono y nitrógeno en los tejidos de los consumidores se mide en función de las razones isotópicas ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) de todas sus presas (la relativa proporción asimilada de cada especie presa); el fraccionamiento isotópico asociado con la conversión del tejido de cada presa en tejido del consumidor; y en ciertas instancias, del área de alimentación (Bearhop *et al.*, 2004).

Las características generales que definen a los pinnípedos hacen que la mayoría de las especies sean marinas, aunque algunos habitan lagos, pero todos están marcadamente adaptados a la vida acuática, además, todos retornan a tierra (o hielo) para dar a luz y/o mudar. Algunos como la foca de puerto (*Phoca vitulina*), se quedan mucho más tiempo en la tierra que otras especies (*Mirounga angustirostris*) que pueden invertir seis a ocho meses del año en el mar alimentándose sin tocar tierra. El cuerpo de los pinnípedos es aerodinámico –en forma de torpedo- aunque mucho menos que el cuerpo de los cetáceos (Scheffer, 1958).

Las crías de los pinnípedos presentan un pelaje lanoso (lanugo), que recubre todo su cuerpo por algunas semanas o meses y al ser mudado va adquiriendo las características del pelaje del adulto. En algunas especies de otáridos se presentan dos tipos de pelaje; uno que se encuentra debajo (pelo esparcido como pelo "cobertor") y otro que cubre a este pelo fino y se llama pelaje guardián. Ambos pelajes mudan cada cierto tiempo dependiendo de la especie y su cambio es disparado por actividad de la pituitaria (Scheffer, 1958).

La mayoría de los pinnípedos tienen ojos grandes que les permiten captar una mayor cantidad de luz necesaria para su depredación en ambientes de penumbra o mínima presencia de luz, ya que es común que su actividad alimenticia se lleve al cabo en la noche (King, 1983). Además de su buena visión, los pinnípedos al igual que los carnívoros terrestres, cuentan con vibrisas, las cuales están bien desarrolladas -más de 400 en número en las morsas (género *Odobenus*), midiendo hasta 46 cm (18") en el león marino de Steller (*Eumetopias jubatus*)-. Las vibrisas están, ricamente abastecidas por vasos sanguíneos y nervios. Dado que estas, tienen una innervación nerviosa muy profusa y son abundantes, se asume que tienen una función táctil muy relevante, principalmente durante la alimentación nocturna (King, 1983). Además, se encuentran otros dos

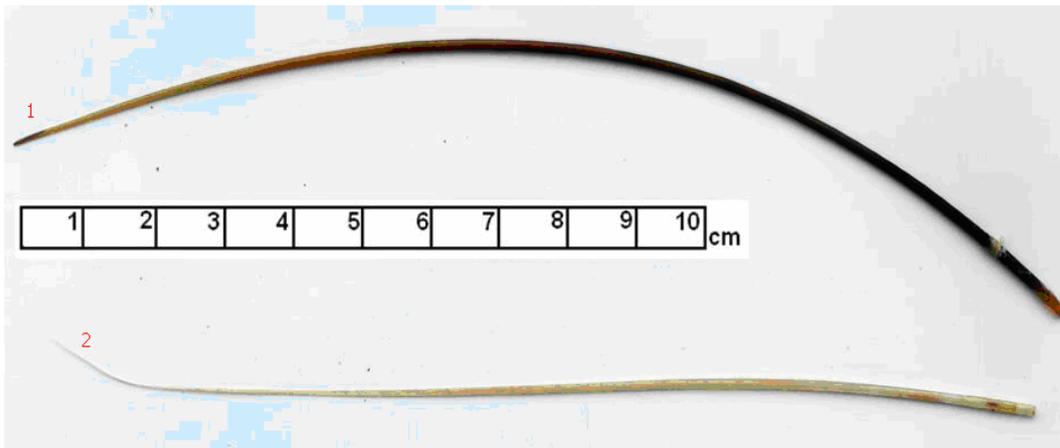
órganos que aunque son reducidos también están presentes. Los lóbulos olfatorios, los cuales presentan poca inervación de nervios, y los pequeños oídos externos cartilagosos que son muy reducidos (Scheffer, 1958).

En cuanto a la nutrición de los pinnípedos, estos se alimentan exclusivamente de carne: peces, cefalópodos, mariscos, macroplancton, otras focas, raramente pequeños cetáceos, y carroña. Ocasionalmente se han encontrado fragmentos de algas marinas en el estómago, aunque probablemente han sido ingeridos por accidente (Scheffer, 1958).

La boca de los pinnípedos es simple y elongada; la lengua ayuda en la succión de los pezones pequeños; poseen estómago simple, en forma de J, que se alinea con el eje longitudinal del cuerpo, para acomodar las cabezas, vértebras y pedazos cortos y gruesos de peces que ha ingerido (Scheffer, 1958); además, se ha determinado que la longitud de los intestinos de las crías destetadas varía desde 2 a 5 m, dependiendo de la longitud del animal (Helm, 1983 En: Stewart y Huber, 1993), mientras que intestinos entre 7,5 a 18,4 m se han observado en individuos adultos; el colon y recto son relativamente cortos (Scheffer, 1958).

Este estudio está dirigido a medir y entender la variación de los isótopos estables de carbono y nitrógeno en vibrisas (bigotes) de pinnípedos que integran información de meses a años en la vida del animal. Las vibrisas o barbas que posee en su hocico un pinnípedo, son estructuras queratinosas semejantes al pelo pero que son consideradas diferentes del pelaje. La estructura del folículo de la vibrisa es mucho más larga y mayormente inervada, tiene un largo seno sanguíneo, y está controlada por músculos voluntarios, a diferencia de los otros tipos de pelaje. Las vibrisas de los pinnípedos se presentan en la musculatura del hocico y por encima de los ojos, la mayoría de estos músculos controlan el posicionamiento de las mismas (Ling, 1977 En: Hirons *et al.*, 2001a). Hay que tener en cuenta que las vibrisas de los pinnípedos, que incluyen otáridos (lobos marinos y

morsas) son diferentes a la de los fócidos en varios aspectos. En el caso de los otáridos, las vibrisas que están en una posición anterior tienden a ser cortas y las ubicadas posteriormente tienden a ser largas, mientras que las vibrisas de los fócidos, sin importar la ubicación son de longitud uniforme (Figura 1), pero teniendo ambas una proporción de isótopos estables que dependen del tipo de presa ingerida (Hirons *et al.*, 2001a).



**Figura 9.** Vibrisas de dos especies de pinnípedos. 1. Vibrisa de elefante marino (fócido) y 2. Vibrisa de lobo marino (otárido).

Las vibrisas difieren de la sangre y de otros órganos, porque los nuevos isótopos se adhieren secuencial y permanentemente dependiendo del crecimiento de la misma (Greaves *et al.*, 2003). Además, estas tienen funciones sensoriales, y se denota que un reemplazo periódico o una renovación por daños físicos, pueden ser selectivamente mucho más ventajosas que un reemplazo total estacional. Sin embargo, existe evidencia en algunos fócidos de que las vibrisas crecen por un periodo de uno o dos años y luego mudan (Le Boeuf *et al.*, 2000). Basados en esta información se plantea la hipótesis que los elefantes marinos del norte (*Mirounga angustirostris*) desarrollan vibrisas por más de un año y que un muestreo isotópico a lo largo de la vibrisa presentará variaciones significativas asociadas a los periodos de alimentación, ayuno y reproducción característicos de la especie.

Los elefantes marinos adquieren grandes cantidades de energía durante sus viajes de forrajeo (alimentación) bianual y las almacenan principalmente en forma de grasa (Fedak *et al.*, 1994 En: Bradshaw *et al.*, 2004). Entendiendo la relación entre crecimiento y promedios de los isótopos en las vibrisas se facilita la interpretación de los datos isotópicos como una grabación temporal del consumo de alimento de estos animales (Zhao y Schell, 2004). Los cambios en la actividad alimenticia donde los elefantes pasan varios meses alimentándose y luego pasan por periodos de abstinencia de dos a tres meses por reproducción y muda, hace suponer que deberán representarse en variaciones isotópicas de las vibrisas que correspondan al cambio de ritmo alimentario.

Las variaciones en la abundancia natural de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en el tejido de los consumidores pueden proveer información de la dieta integrada a lo largo del tiempo. Sin embargo, el uso potencial de segmentos de la vibrisa para análisis isotópico como indicador de dieta, requiere conocimiento acerca de los patrones y tasa de crecimiento de las mismas. Aunque la tasa de crecimiento no se ha determinado aún para *M. angustirostris*, si se ha determinado en algunas especies de fócidos, denotándose una tasa de renovación mucho más rápida que en otáridos (lobo marino de Steller, *Eumetopias jubatus*). Por ejemplo, para el caso de la foca de puerto (*Phoca vitulina*), al cabo de 20 meses ya habían perdido y renovado todas sus vibrisas, coincidiendo con el patrón observado en la foca gris (*Halichoerus grypus*); mientras que el lobo marino de Steller las conservó por años (Hirons *et al.*, 2001a; Greaves *et al.*, 2003).

El presente estudio se enmarcó dentro del proyecto "Relaciones tróficas del ecosistema de la zona de transición templado-tropical (ZTTT): Calibración entre análisis estomacal, isótopos estables de carbono y nitrógeno y perfiles de ácidos grasos (SEP-CONACyT-46806)" financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México y llevado a

cabo en el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas en La Paz Baja California Sur. El objetivo principal de este proyecto fue determinar la estructura trófica de la plataforma continental de la ZTTT, su variación estacional y relación con variables ambientales y analizar la variación isotópica de carbono y nitrógeno estables en tejidos duros de pinnípedos como colágeno, pelo y vibrisas. Esta investigación se realiza como requisito para optar al título de Biólogo Marino otorgado por la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

## 2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Taxonomía, biología y ecología de *Mirounga angustirostris*

La especie objeto de estudio es el elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*) que presenta la siguiente clasificación taxonómica, según Scheffer (1958):

- Orden Pinnipedia (Illiger, 1811)
- Superfamilia Monachinae (Smirnov, 1908)
- Familia Phocidae (Brookes, 1828)
- Subfamilia Lobodontini (Gill, 1866)
- Especie *Mirounga angustirostris* (Gill, 1866)

Ocho géneros de la familia están al hemisferio norte, mientras que solamente cinco pertenecen al sur (dentro de los cuales se encuentra *Mirounga*). Los fócidos del norte son más diversos –taxonómicamente más complejos- que los del sur. Ciertos fócidos viven en altas latitudes y en los límites del hielo permanente, otros habitan aguas subtropicales, y algunas pocas habitan lagos. Como todos los demás pinnípedos, los individuos pertenecientes a la familia Phocidae han proliferado también en las aguas templadas (Scheffer, 1958).

Las focas pertenecientes a la subfamilia Lobodontini son principalmente marcadas por un carácter sexual secundario: una gran trompa inflable en los adultos machos, ausente en las hembras y machos jóvenes.

El elefante marino (*Mirounga angustirostris*) es gregario y residente, y tiene un rango de distribución que va desde Point Reyes, California (38° N), a Cabo San Lázaro (cerca de Bahía Magdalena), Baja California (24° 48' N), una distancia aproximada de 1.700 km y se reproduce desde Isla Natividad, México, hasta el norte de las Islas Farallon, California. Las colonias de reproducción están localizadas en Isla Natividad, Isla Cedros, Islas San Benito, Isla Guadalupe, Isla San Martín, e Islas Los Coronados

en México, y en Isla San Miguel, Isla Año Nuevo, Point Año Nuevo, y el Sureste de las Islas Farallón en California (National Marine Fisheries Service, 1978; Le Boeuf y Panken, 1977; Le Boeuf y Mate, 1978 En: Antonelis y Fiscus, 1980).

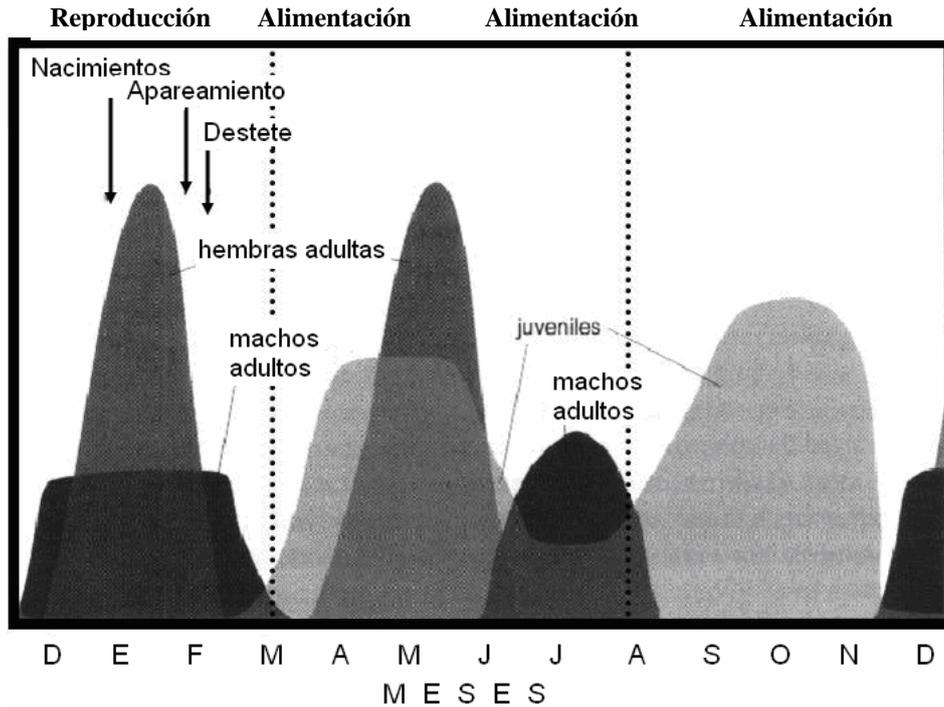
Se estima una población de 127.000 elefantes marinos (Stewart *et al.*, 1994) distribuidos de la siguiente forma:

- En California (USA): Isla San Miguel (34° 04´ N, con ocurrencia regular) e Isla San Nicolás (33° 15´ N).
- En Baja California (México): Islas los Coronados (alimentándose en la parte sur de la isla); Isla San Jerónimo (ocurrencia regular); Isla de Guadalupe (250 km lejos de la tierra, varias colonias de alimentación, 4.548 elefantes marinos estimados en enero - febrero (1950)); Islas San Benito (28° 18´ N, por lo menos se han observado 11.500 en época reproductiva de diciembre a febrero de 2002 - 2003 en las Islas del Este, Medio y Oeste, alimentándose en primavera), siendo este último, uno de los lugares en el cual se encuentra una de las mayores poblaciones de la especie (García-Aguilar *et al.*, sometido; García-Aguilar y Morales-Bojórquez, 2005).

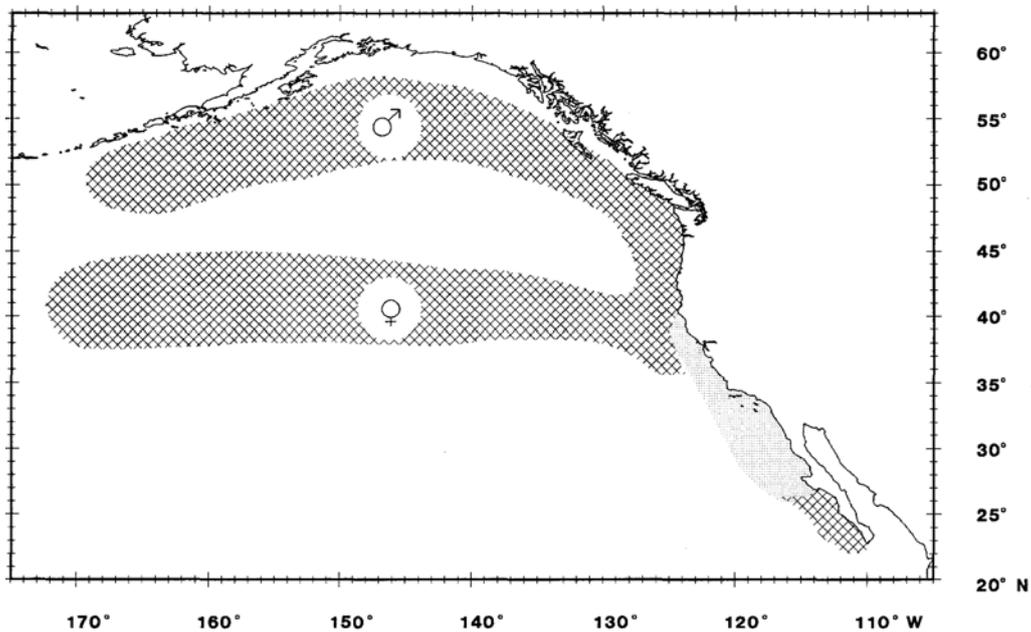
El calendario anual de actividad del elefante marino se basa en periodos de alimentación en el mar y periodos en tierra para la reproducción y la muda en los cuales los organismos pasan por periodos de ayuno (Le Boeuf *et al.*, 2000) que se resumen en la figura 2. Estos periodos de ayuno generalmente son cortos (un mes) en las hembras y largos (3 meses) en los machos adultos. El periodo de ayuno más relevante es durante la temporada reproductiva que va de diciembre a marzo, cuando se presentan las hembras y machos en edad reproductiva y cuando nacen las crías. Un segundo periodo de estancia en tierra o de ayuno forzado ocurre en junio cuando los machos subadultos y adultos mudan, mientras que las

hembras y juveniles lo hacen entre marzo y junio. Durante estos periodos de ayuno el agua utilizada metabólicamente (ya que no beben agua dulce) es menor o igual a la que se obtiene por la oxidación de su grasa acumulada (Stewart y Huber, 1993; Antonelis y Fiscus, 1980).

Dada esta serie de estancias en tierra en las que animales de ambos sexos y edades ocupan las islas para la reproducción y la muda, la población entera no está en el mar todo el tiempo (Antonelis y Fiscus, 1980). Las dos migraciones anuales de tipo alimentario de las hembras y machos adultos, los llevan a distintos destinos migratorios. Estas diferencias involucran hábitat marino de distintas características oceanográficas, ya que en el caso de las hembras se trata de mar abierto a más de 150 millas fuera de la costa, mientras que en los machos adultos es principalmente la plataforma continental de las Islas Aleutianas y el sur de la Península de Alaska (Figura 3). Esta diferencia en los destinos migratorios deberá tener influencia en el tipo y calidad del alimento consumido debido a lo siguiente; 1) Las hembras deberán consumir principalmente especies pelágicas, mientras que los machos consumirán principalmente especies bénticas. 2) La zona de alimentación de las hembras en mar abierto deberá tener menor productividad primaria que la de los machos que se encuentra cerca de la zona costera y 3) el nivel de enriquecimiento isotópico de las presas que viven en cada zona será también distinto en función de la latitud (Burton y Koch, 1999; Kurle y Worthy, 2002).



**Figura 10.** Representación esquemática de los tiempos dedicados a la alimentación, reproducción y muda de una población típica de elefante marino del norte (tomado de Le Boeuf, 1994).



**Figura 11.** Distribución de hembras y machos de *Mirounga angustirostris*. La parte clara indica el rango en cual están en época de reproducción; mientras que la oscura muestra la distribución de sexos en temporada de alimentación (Stewart y Huber, 1993).

## 2.2 Factores que generan variación en las proporciones isotópicas en el océano

Algunas de las diferencias que se presentan en la composición isotópica, se deben a procesos bioquímicos, siendo los más destacados, la diferencia entre ambientes de alta y baja productividad, al igual que la diferencia latitudinal de los mismos, y, el nivel trófico, el cual, juega un papel muy importante en este proceso.

La variabilidad espacial puede generar cambios en la composición isotópica entre redes alimenticias; esta variabilidad, puede darse (i) a escalas grandes, por ejemplo la diferencia de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de los recursos, de la base de las redes alimenticias marinas a las redes alimenticias terrestres, reflejándose a lo largo de todas las especies dentro de cada red (Hobson, 1999; Bearhop *et al.*, 2004) y (ii) a escalas pequeñas, ya que, se pueden generar diferencias geográficas en la base, generando varias marcas de  $\delta^{15}\text{N}$  dentro de la misma categoría del ecosistema (Vander Zanden y Rasmussen 2001 En: Bearhop *et al.*, 2004).

Otro tipo de variación de escala espacial, es el generado por el lugar de alimentación ya sea cercano o lejano de la costa, o en mar abierto (Hobson *et al.*, 1994 En: Bearhop *et al.*, 2004). El hábitat ocupado por los individuos, también es una variable que afecta la proporción isotópica, puesto que, por ejemplo, aguas cercanas a la costa o en el margen continental del Golfo de Alaska, contienen zooplancton enriquecido con mayores cantidades de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , que el presente en áreas más lejanas de la costa. Así, las variaciones en los patrones de movimiento de los pinnípedos y de las presas de las cuales se alimentan año tras año, y las diferencias en la disponibilidad de las mismas, pueden causar fluctuaciones en las proporciones de los isótopos entre los individuos. Este movimiento generado por las presas, puede cambiar la locación de forrajeo, influenciando tanto su movimiento en la colonia, como el que

realizan estacionalmente fuera de ella, para alimentarse, siguiendo a las presas potenciales (Hirons *et al.*, 2001b).

En cuanto al nivel trófico, las interacciones alimenticias que se dan en las comunidades sugieren que; si existen varias especies y su único recurso fuera una especie, o presa, para una segunda especie, y esta segunda especie fuera la única presa para una tercera especie, y así sucesivamente, un progresivo incremento en  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  en el animal, podría ser esperado conforme va ascendiendo a niveles tróficos más elevados.

Los mecanismos que generan incrementos en  $\delta^{13}\text{C}$  en animales, al incrementar su nivel trófico, son relativos a la abundancia de los isótopos presentes en el alimento que ingieren. Para algunos consumidores debe ser una asimilación preferencial de  $^{13}\text{C}$  en sus tejidos, una pérdida preferencial de  $^{12}\text{C}$  de sus tejidos, o alguna combinación de las anteriores (Rau *et al.*, 1983). La proporción de  $^{13}\text{C}$  a  $^{12}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ) genera un incremento de ‰, conforme aumenta el nivel trófico, este incremento es de menor grado que el que genera  $\delta^{15}\text{N}$  (DeNiro y Epstein, 1981).

Convencionalmente se expresa como  $\delta^{15}\text{N}$  (‰), a la proporción de  $^{15}\text{N}$  a  $^{14}\text{N}$  que exhibe un enriquecimiento (incremento en el valor de  $\delta^{15}\text{N}$ ) en cada nivel trófico. Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en los consumidores tienden a tener valores que oscilan entre 2,5‰ a 5‰ mayores que las de sus presas dieta (DeNiro y Epstein, 1981; Hobson y Clark 1992; Bearhop *et al.*, 2004). La variabilidad de las relaciones entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de animales y sus dietas, es mayor para las diferentes especies con la misma dieta, que para la misma especie con diferentes dietas. La dependencia de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de todo el animal, sus tejidos y componentes bioquímicos de la dieta, indican que la composición de los isótopos de nitrógeno del animal pueden ser usados para obtener información acerca de la dieta del mismo y su potencial recurso alimenticio, si este, presenta valores diferentes de  $\delta^{15}\text{N}$  (Deniro y Epstein, 1981).

Este flujo trófico, muchas veces es difícil de evaluar, ya que, hay consumidores que están unidos a individuos en la base alimenticia de las comunidades y que juegan un papel en la dieta de animales que son consumidores tope (ápice en el estatus trófico de la red), generando una secuencia de cambios, desde el consumidor inicial hasta el final. Al querer tener un mayor discernimiento del estatus trófico, se han generado varias vías alternas, entre las que se destacan el medir la abundancia natural de isótopos estables; este tipo de análisis abarca no solo el estatus trófico, sino que también puede abarcar rangos conocidos de comportamientos alimenticios dentro de ciertas regiones geográficas (Rau *et al.*, 1983).

### 2.3 Antecedentes

Rau *et al.* (1983), estimaron mediante la técnica de análisis isotópico, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para la macrofauna pelágica (biomasa zooplanctónica, algunas especies de cefalópodos, peces óseos y elasmobranquios) que habitan la costa de California y el este del Pacífico tropical. El estudio reveló que, el rango de  $\delta^{13}\text{C}$  de los tejidos de los animales analizados varió entre -20,6 a -15,8‰. Cuando se realizaron comparaciones inter-específicas se encontró que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en músculo para cada consumidor se correlacionaron con el nivel trófico estimado dentro de cada área geográfica. Esto indica que el incremento de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  en animales, ocurre desde la base de la red alimenticia de la comunidad y continua hasta sus consumidores tope. El promedio de incremento en  $\delta^{13}\text{C}$  por nivel trófico fue de 0,73 y 1,38‰ para la costa de California y para el este del Pacífico tropical, respectivamente. Este incremento isotópico es aproximadamente cercano a los previamente reportados que ocurren de un nivel trófico a otro (DeNiro y Epstein, 1981; Rau *et al.*, 1983). Los resultados obtenidos sustentan la existencia de pequeños, pero progresivos incrementos de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  en los tejidos de animales, con un respectivo incremento del nivel trófico. Así, esta relación tiene implicaciones significativas para el uso de isótopos estables de carbono, de abundancia natural o que permanecen en tejidos de animales, para

interpretar la estructura trófica de comunidades tanto del pasado como del presente.

Los estudios realizados en pinnípedos para determinar el tipo de alimentación y el lugar de forrajeo (alimentación), comenzaron principalmente para identificar las áreas de alimentación tanto con referencia a su latitud como en relación a la distancia de la costa. Teniendo en cuenta la composición de los isótopos de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) en colágeno de hueso del lobo fino del norte (*Callorhinus ursinus*), foca de puerto (*Phoca vitulina*), lobo marino de California (*Zalophus californianus*), y elefante marino (*Mirounga angustirostris*) Burton y Koch (1999), encontraron una relativa uniformidad de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre los pinnípedos, pero notablemente sensibles a los niveles tróficos. Esto sugiere que los patrones isotópicos de carbono resultan de la diferencia en el carbono orgánico ( $\delta^{13}\text{C}$ ), ya que es la base de las redes tróficas, más que a diferencias en la estructura trófica, entre las diferentes regiones. Además, la magnitud y dirección de las observaciones cerca y lejos de la costa y las diferencias en las latitudes altas y medias en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  sugieren, que estos gradientes pueden reflejar diferencias en la tasa y magnitud de la producción de fitoplancton como en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  carbono inorgánico disponible para la fotosíntesis, más que el utilizado en el enriquecimiento de carbono macroalgal de las redes tróficas cerca de la costa. Por último concluyen que los valores "intermedios" reflejan migración entre alta y baja productividad, en ecosistemas cerca de la costa del Pacífico de California y México.

Hirons *et al.* (2001a), estimaron la tasa de crecimiento de las vibrisas, de la foca de puerto (*Phoca vitulina*) y el león marino (*Eumetopias jubatus*), utilizando marcadores de glicina de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  para el análisis de isótopos estables. Su estudio encontró que las señales de isótopos enriquecidas permanecen por más de dos años después de suministrar la dosis inicial; estos marcadores son incorporados dentro de la queratina de la vibrisa y

sirven como detectores de cambios temporales de la tasa de crecimiento. La información de muchos años, sugiere que el lobo marino retiene sus vibrisas; mientras que las vibrisas de la foca de puerto en contraste, tienen periodos de crecimiento rápido y pierde aparentemente, una parte de ella anualmente.

Se ha observado que variaciones estacionales en la tasa metabólica pueden tener alguna conexión con el periodo de crecimiento rápido en las vibrisas de la foca, ya que los cambios en la alimentación concordaron con variaciones isotópicas presentes en las mismas. Con este estudio se confirma que los isótopos estables, no solamente pueden ser usados para la ubicación de las áreas de forrajeo, pero también, permiten evaluar el nivel trófico y sus variaciones en el tiempo.

Basados en ese principio, Kurle y Worthy (2002) investigaron los cambios en los niveles tróficos y localidad de áreas de alimentación en los juveniles del lobo fino del norte, *Callorhinus ursinus* de las Islas Pribilof (Alaska), usando análisis de isótopos estables de nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) y carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) en tejidos de pelo, grasa, músculo, cerebro, hígado y riñón. Los valores arrojados en este estudio, no fueron uniformes entre los tejidos, ya que los rangos variaron de 14,9‰ (pelo) a 17,1‰ (grasa, con extracción previa de lípidos). Además, los valores principales de  $\delta^{15}\text{N}$  en riñón e hígado ( $\sim 16,3\text{‰}$ ) sugieren que juveniles y machos adultos de las Islas St. Paul y St. George se alimentaron de especies del mismo nivel trófico durante el verano de 1997, mientras que valores principales de  $^{13}\text{C}$  sugieren que los machos juveniles de la Isla St. George ( $\delta^{13}\text{C} = -18,2\text{‰}$ ) se alimentaron en la costa del Mar de Bering. En contraste los machos juveniles de la Isla St. Paul ( $\delta^{13}\text{C} = -18,5\text{‰}$ ) se alimentaron más cerca del continente.

Comparando las proporciones de  $\delta^{15}\text{N}$  en pelo con valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de los otros tejidos fue posible determinar que los machos juveniles se alimentan de presas de nivel trófico más bajo cuando tienen alrededor de dos años de edad. Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  colectados de dos hembras sin cría (no

parturientas), arrojaron valores de  $\delta^{15}\text{N}$  con rangos de 16,1‰ de músculo a 18,0‰ de grasa, mientras que dos hembras en post-parto, tuvieron valores de  $\delta^{15}\text{N}$  con rangos de 16,1‰ de músculo a 18,9‰ de grasa sugiriendo que, las hembras se alimentan en niveles tróficos mayores que los machos juveniles. Mediante esta aproximación, fue posible inferir el lugar aproximado de forrajeo o alimentación de las poblaciones de lobo fino del norte de las Islas St. George y St. Paul.

Los estudios de las vibrisas como tejido que determina cambio isotópico a lo largo del tiempo (Hirons *et al.*, 2001a), también fue estudiado por Greaves *et al.* (2003) quienes reportaron que la vibrisa de la foca gris (*Halichoerus grypus*) no crece a una tasa constante, sino que refleja cambios de crecimiento rápido y lento. También fueron observadas variaciones significativas en la tasa de crecimiento de vibrisas localizadas en distintas partes del hocico, donde, aquellas localizadas sobre el margen posterior bajo del hocico mostraron crecimiento más rápido. Con todo ello se puede concluir que se requieren más datos específicos para poder asociar la variación isotópica en las vibrisas y el crecimiento de las mismas.

Por su parte, Zhao y Schell (2004), también utilizaron el mismo tejido, encontrando que el reemplazo de nuevas vibrisas en las focas de puerto (*Phoca vitulina*) de Alaska, ocurre entre mayo y junio, dependiendo de cada individuo. La tasa de crecimiento de cada nueva vibrisa se ha determinado alrededor de 0,79 mm/día durante el verano y el otoño, y luego se ve un crecimiento mucho más lento en el invierno y principios de la primavera. Un promedio de la tasa de crecimiento de 0,0075 mm/día fue obtenida de una vibrisa desde diciembre a mayo. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en vibrisas reflejaron una variación en la dieta y el cambio de hábitat de las focas, particularmente sobre un periodo de crecimiento desde el final de la primavera al otoño.

Por último, Aurióles *et al.* (2006) exploraron el uso de pelo para medir diferencias y estimar el área de forrajeo entre dos colonias de hembras de elefante marino, *Mirounga angustirostris*, de la Isla Año Nuevo (AN) en California y de Islas San Benito (SB), México. Las hembras que habitan AN se alimentan en aguas lejanas de la costa en latitudes medias (40° - 55° N), mientras que la migración de los machos los lleva a la zona costera del sur de Alaska y las Islas Aleutianas. Por su parte, aún se desconoce hacia donde migran las hembras y machos de la población de San Benito. Las Islas San Benito (SB) en Baja California, México, se encuentran alrededor de 1.170 km al sur de AN. Aunque las colonias son similares en tamaño, los elefantes marinos de SB comienzan a dar a luz y tienen un pico de alumbramiento mucho más temprano que los elefantes marinos de AN. Para determinar si la locación de forrajeo de los elefantes marinos de México es similar a los de California, midieron valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en el pelo de 48 crías lactantes de SB y 37 de AN, asumiendo que las señales isotópicas reflejan la dieta exclusiva de leche materna. El principal valor de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las crías de SB ( $-16,1 \pm 0,9\text{‰}$  y  $17,7 \pm 0,9\text{‰}$ , respectivamente) fueron significativamente más elevadas que las de las crías de AN ( $-17,6 \pm 0,4\text{‰}$  y  $15,6 \pm 1,0\text{‰}$ , respectivamente). Por tanto proponen la hipótesis de que la diferencia refleja áreas de forrajeo distintas, donde las hembras de la colonia SB se alimentan alrededor de 8° latitud, al sur de los elefantes de AN. Esta hipótesis podrá ser puesta a prueba con marcadores satelitales en las hembras adultas de la colonia SB que se encuentra en proceso.

### 3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS

#### 2.2 Problema de investigación

La población del elefante marino *Mirounga angustirostris*, que habita tanto las Islas San Benito como Isla Guadalupe, Baja California, México, constituye una parte significativa de la especie, y son las poblaciones que dieron origen a la actual distribución después de una intensa cacería que puso a la especie al borde de la extinción (Le Boeuf, 1994). A pesar de ello se desconocen tanto los patrones de migración como las áreas de alimentación de estas poblaciones.

Con base en resultados que indican que el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno puede ayudar a resolver preguntas relacionadas con patrones migratorios y definición de áreas de alimentación, en este estudio se abordó el análisis de los patrones isotópicos en vibrisas de machos y hembras de distintas edades provenientes de las Islas San Benito y Guadalupe, México y Año Nuevo, California, tomadas en periodos constituidos de la siguiente manera, en 2005, en 2004 y de 1995 a 2001, respectivamente. Para este estudio se aprovechó la enorme cantidad de información acerca de los patrones de migración de *Mirounga angustirostris* existente, obtenida con transmisores satelitales para las poblaciones de California y que pueden resumirse en los trabajos de Le Boeuf (1994) y Le Boeuf *et al.* (2000).

Asumiendo que estos patrones isotópicos (carbono y nitrógeno), pueden estar afectados por el cambio estacional, periodos de migración alimentaria, reproducción y ayuno que se presenta en esta especie, se pretenden explorar los patrones de variación isotópica de carbono y nitrógeno en las vibrisas de hembras y machos adultos (individuos migrantes), las cuales guardan la información de aproximadamente un año, con el fin de determinar si estas estructuras pueden suministrar

información de variaciones isotópicas consistentes con los periodos de alimentación intensa en el mar y ayunos prolongados en tierra.

### 3.2 Objetivos específicos

- ✎ Evaluar si existen diferencias en las proporciones de isótopos estables de carbono y nitrógeno entre las poblaciones de hembras de elefante marino de Isla Año Nuevo (California – USA) e Islas San Benito (Baja California Sur – México).
- ✎ Explorar los patrones de variación isotópica y su posible asociación con el cambio estacional, periodos de migración alimentaria, reproducción y ayuno en tres poblaciones de elefante marino, Isla Año Nuevo (California – USA), Isla Guadalupe e Islas San Benito (Baja California Sur – México).
- ✎ Comparar los patrones de variación isotópica de carbono y nitrógeno en las vibrisas del elefante marino, de ambos sexos y distintas edades, en las poblaciones que habitan Isla Año Nuevo e Islas San Benito.

### 3.3 Hipótesis

- Teniendo en cuenta las diferencias latitudinales en las cuales se encuentran las dos localidades a evaluar, Isla Año Nuevo (California) e Islas San Benito (Baja California), se espera encontrar proporciones isotópicas de carbono y nitrógeno significativamente distintas entre los elefantes marinos que habitan cada localidad.
- Dada la alternancia entre periodos de alimentación y abstinencia de la especie en un mismo año, se espera encontrar patrones de

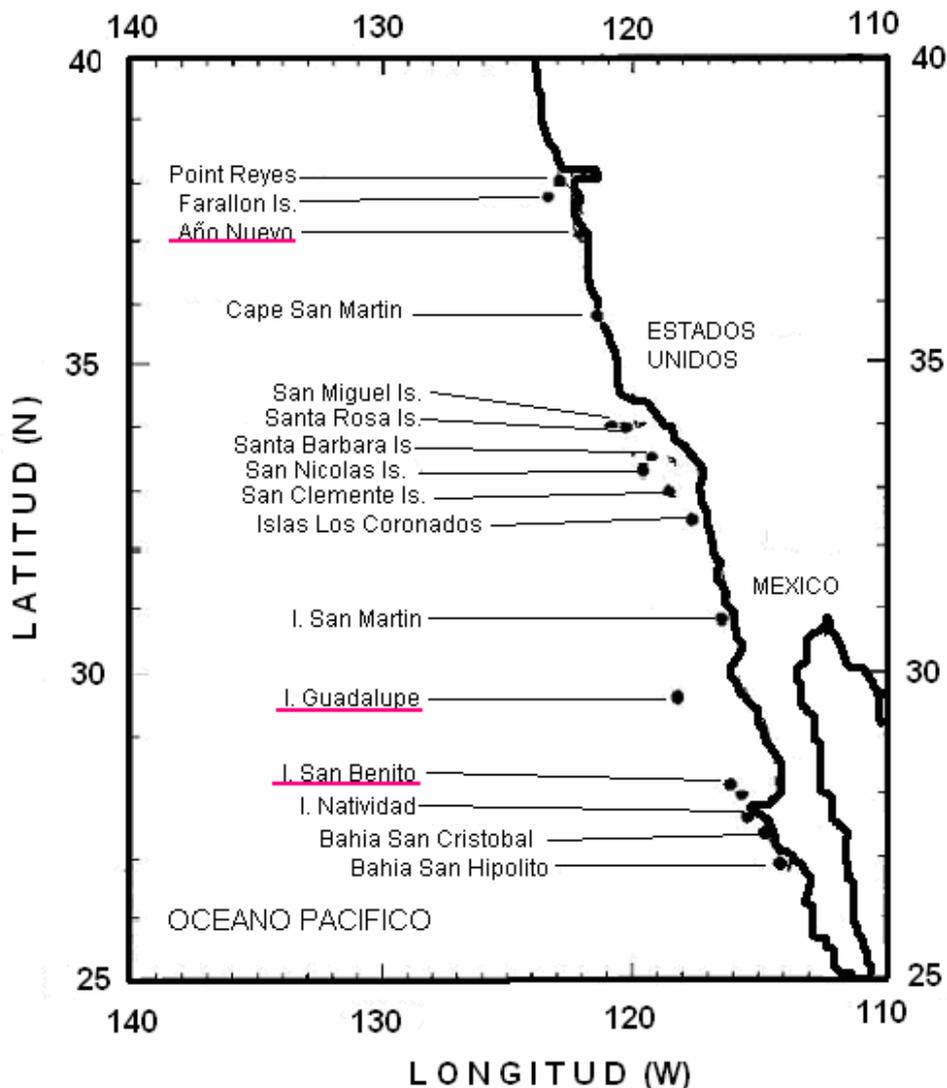
variación isotópica a lo largo de la vibrisa asociados a estos eventos para todas las poblaciones (Año Nuevo, Guadalupe y San Benito).

- Dadas las diferentes áreas de alimentación entre ambos sexos, se espera encontrar señales isotópicas de carbono y nitrógeno significativamente distintas entre los adultos de cada sexo de las poblaciones de Isla Año Nuevo e Islas San Benito.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Área de estudio

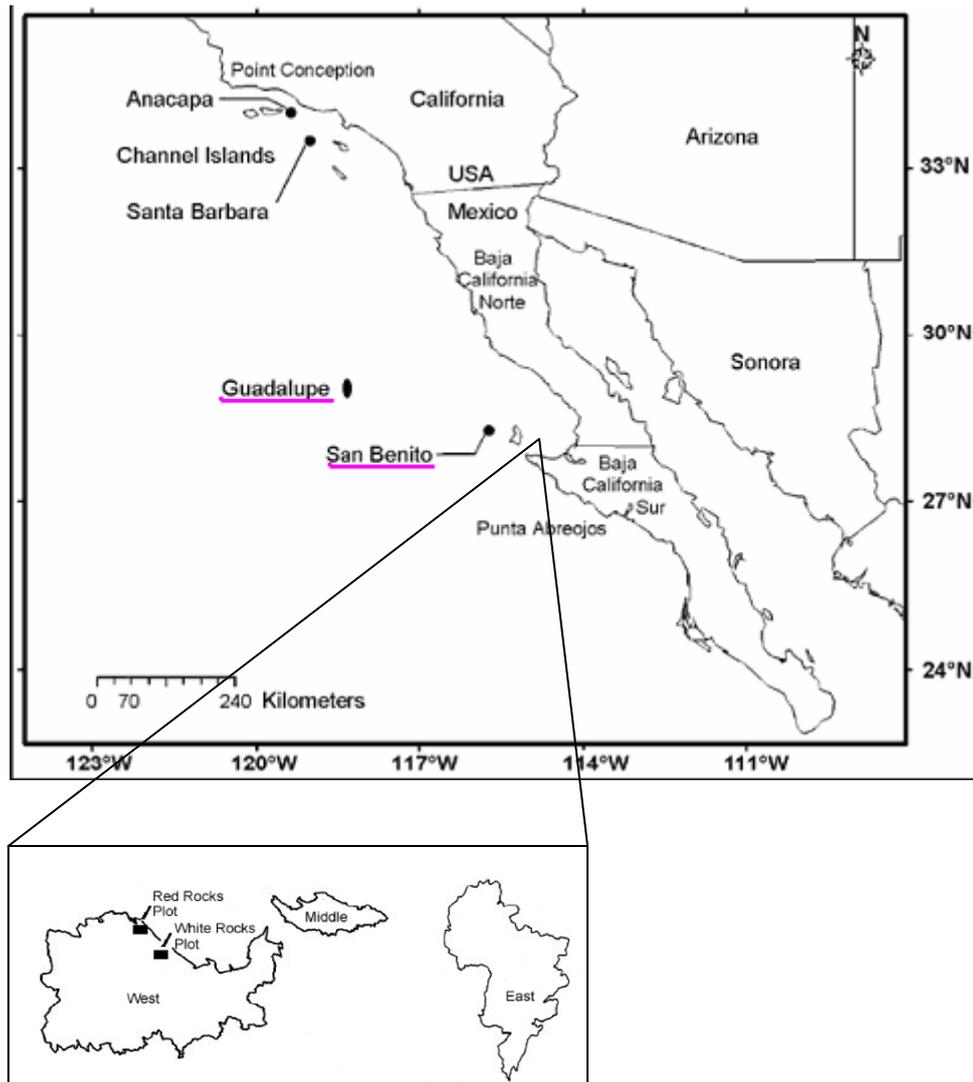
El área de estudio de este trabajo incluye tres islas que son Islas San Benito, Isla Guadalupe e Isla Año Nuevo, de las cuales, las dos primeras están ubicadas en Baja California (México) y la última en California (USA) (Figura 4), siendo todas diferentes latitudinalmente.



**Figura 12.** Locaciones de las colonias de elefante marino en aguas de Norte América y México. Se destacan las tres localidades de este estudio, Isla Año Nuevo, U.S.A., Isla Guadalupe e Islas San Benito, México (tomado de Stewart *et al.*, 1994).

#### 4.1.1 Islas San Benito

Las Islas San Benito son un grupo de tres pequeñas islas volcánicas que se encuentran a una corta distancia (2 millas) una de la otra y se localizan a 30 km al noroeste de Isla Cedros en el Estado de Baja California – México- (28° 18' N y 115° 32' W) (Figura 5). Las islas llevan los nombres de Isla San Benito del Este, Isla San Benito de en Medio e Isla San Benito del Oeste (Boswall, 1978 En: Camacho, 2004).



**Figura 13.** Mapa de la Península de Baja California, México, entre los 24° y 33° N y entre los 111° y 123° W. Se resaltan las Islas San Benito e Isla Guadalupe (modificado de Wolf *et al.*, 2005).

Las tres islas, totalizan un área de 6,4 km<sup>2</sup>. La Isla Occidental (28° 18' N, 115° 34' W), es la más grande y la más elevada de las tres islas (con una

elevación máxima de 216 m) con riscos empinados bordeando las costas sur y occidental. Estas islas son áridas con poca vegetación y con desiertos marítimos (Junak y Philbrick, 2000 En: Wolf *et al.*, 2005).

Según, el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (1990), la región natural a la cual pertenecen las Islas San Benito es extratropical seco, con un paisaje natural de relieve mixto de montañas complejas en bloques tectónicos – erosivos, mesetas denudatorio – erosivas y planicies acumulativas, cálidas y semicálidas áridas con matorral xerófilo. Además su geomorfología esta compuesta por cañones y valles en márgenes continentales y planicies abisales de lomeríos.

Entre las propiedades físicas del suelo se encuentra que constituye un lecho rocoso y continuo que limita el crecimiento de las plantas. La vegetación potencial, que es aquella comunidad vegetal que se esperaría encontrar como resultado de la interacción entre las especies y el medio en su lugar determinado, y que se encuentra específicamente en las Islas San Benito es matorral xerófilo: jojoba (*Simmondsia chinensis*) y uña de gato (*Pithecellobium acatlense*), además de una pequeña porción de bosque de coníferas, que son árboles o arbustos caracterizados por portar estructuras reproductivas llamadas conos, y encino, entre los cuales están, el pino chino o amarillo (*Pinus oocarpa*) y el encino o roble (*Quercus spp.*) (UNAM, 1990).

Las Islas San Benito presentan su máxima radiación en mayo y su mínima en enero, con un valor promedio anual de 2.200 a 2.600 langleys. El promedio de temperatura anual es de 18° a 22° C, la cual se podría clasificar en semi-cálida. Posee un porcentaje de vientos de calma de 0 a 5 nudos y una altitud promedio entre 200 a 1.000 m. Su precipitación anual se encuentra entre 0 a 125 mm, con un número promedio de días de ocurrencia de lluvia de 20 a 40, determinándose este como un régimen

pluvial intermedio, la humedad relativa es mayor de 75% y el total de evaporación anual esta entre 1.800 a 2.000 mm. Por todas las características anteriormente mencionadas se denota que presenta un clima muy árido (UNAM, 1990).

La temperatura superficial del mar en verano es de 22 °C, mientras que en invierno es de 18 °C, presenta un tipo de marea predominantemente mixta, y en la mayoría de los casos semi-diurna (UNAM, 1990).

En cuanto a las especies que habitan las Islas, se encuentran entre 295 a 351 especies de aves, y para el caso de mamíferos marinos en promedio habitan cinco especies, entre las que se encuentran *Phoca vitulina*, *Mirounga angustirostris*, *Zalophus californianus*, *Arctocephalus townsendi* (UNAM, 1990).

#### **4.1.2 Isla Guadalupe**

Isla Guadalupe es la última frontera de México en su extremo más occidental y septentrional, su origen volcánico y su lejanía del continente le confieren una biodiversidad única y una topografía abrupta y agreste. Tiene una edad de siete millones de años, y esta a 250 km de distancia de la Península de Baja California. La posición geográfica de la isla es 29° 03' N y 118° 17' W (Figura 5). La extensión de Isla Guadalupe es de 36 km aprox. de extensión en su eje N-S y 12 km en su eje E-W, con una superficie aproximada de 250 km<sup>2</sup>. La isla es la cima de una montaña submarina, que podría haberse originado a partir de varios episodios de erupciones volcánicas, en donde las rocas expuestas más antiguas datan de hace siete millones de años (García-Gutiérrez *et al.*, 2005).

El clima de la isla es marítimo y está intensamente influenciado por la fría Corriente de California, con sus atributos característicos de viento, niebla y precipitación pluvial en invierno (Castro *et al.*, 2005). Una estación meteorológica en la punta sur de Guadalupe (la parte más árida de la isla)

señala casi 120 mm de precipitación anual y una temperatura mensual media de 17 – 19 °C, relativamente estable a lo largo del año. La temperatura del aire y la presión atmosférica presentan un tipo de patrón estacional, los valores más elevados de temperatura se presentan en el verano ( $21,0 \pm 1,2$  °C) y los más bajos en invierno ( $15,0 \pm 1,7$  °C), la presión atmosférica tiene un comportamiento inverso, en verano (septiembre)  $1.009,0 \pm 2,2$  mb, mientras que en invierno (diciembre-enero)  $1.017,0 \pm 2,5$  mb. La temperatura superficial del mar en la costa, fluctúa entre 17° y 20° C, bajando a 15° C en febrero– marzo durante el invierno y aumentando a 21° - 22° C en septiembre –octubre durante el verano. La temperatura promedio superficial del mar es de 18° C con un rango entre 16° C en primavera y 20° C en verano. Las mareas son semidiurnas y presentan una amplitud de casi 3 m durante los meses de invierno (Stewart y Stewart, 1984 En: Castro *et al.*, 2005).

La humedad relativa presenta los valores máximos en el periodo de 8:00 a 9:00 horas con ~78 – 85% y el mínimo de 14:00 a 15:00 horas con ~68% (~17 – 21°C), dependiendo de la estación. La presión atmosférica exhibe fluctuaciones durante el día de tipo semi-diurnas (12 h), decreciendo desde invierno-primavera-otoño-verano. Dos máximos ocurren alrededor de las 10:00 - 11:00 y las 22:00 - 23:00 h y dos mínimos entre las 16:00 y las 4:00 - 5:00 h, esta variación es resultado posiblemente del calentamiento solar durante el día, así como las horas de oscuridad durante la noche (falta de radiación) y los consecuentes efectos sobre la temperatura y densidad del aire (Castro *et al.*, 2005).

La radiación solar neta, tiene los máximos alrededor de las 12:00 - 13:00 h en primavera-verano con  $\sim 800$  W/m<sup>2</sup> y disminuye en otoño-invierno hasta 600 W/m<sup>2</sup>, horario en que la radiación solar de onda corta, es el principal término del balance radiactivo. Los valores mínimos, ocurren durante la noche, entre las 18:00 y 6:00 h, y sus valores son negativos debido a una pérdida de energía por radiación del suelo. Para todas las

estaciones, el máximo de la magnitud del viento es entre las 17:00 - 18:00 h con valores de 7 m/s en primavera, 6,5 m/s en verano y 5,3 m/s en otoño e invierno (Castro *et al.*, 2005).

En el archipiélago de Guadalupe se han documentado 221 plantas. De ellas, 22 taxa se consideran semi-endémicos (endémicos insulares) puesto que se comparten con otras islas relativamente cercanas en California (Islas del Canal) y México (Cedros), y 35 taxa son estrictamente endémicos de Guadalupe y sus islotes adyacentes. En la actualidad, la vegetación de la Isla se compone principalmente de especies de malezas; la flora prístina y las comunidades naturales de plantas prácticamente han desaparecido (Oberbauer, 2005). Los pinos nativos (*Pinus radiata*), cipreses (*Cupressus guadalupensis*) y palmas (*Brahea edulis*) todavía existen en la isla con una pequeña producción, al igual que menta endémica (*Satureja palmeri*) y tabaco nativo (*Nicotiana attenuata*). Además, varias nuevas plantas reportadas para la isla (p. ej. *Simmondsia chinensis*) fueron documentadas, plantas endémicas (p. ej. *Solanum clokeyi*) fueron encontradas en áreas que no habían sido previamente observadas (Rebman *et al.*, 2005).

#### **4.1.3 Isla Año Nuevo**

Hace 200 años, la Isla Año Nuevo estaba conectada al continente por una península angosta, actualmente esta separada del mismo por un canal que crece ampliamente con cada tormenta de viento, siendo esta distancia de 35,41 km de la costa del puerto de Santa Cruz, California. Su posición geográfica es 37° 7' 59" N (37.133°) y 122° 19' 59" W y su extensión es de 16 km<sup>2</sup> (Orr y Poulter, 1965).

En cuanto a las condiciones climáticas de la Isla se encuentra que, la temperatura ambiental promedio está entre 16 – 18 °C durante el verano/principios de otoño, hasta 10 – 13 °C durante el invierno/principios de primavera, con considerables variaciones de la misma entre días. La

temperatura promedio máxima es de 24 °C registrándose en el mes de septiembre, mientras que la mínima es de 4 °C y se registra en enero, el promedio anual es de 13 °C. La temperatura superficial del agua cerca de la costa varía de 8 °C durante el invierno y principios de la primavera, hasta 17 °C durante el otoño. La salinidad superficial del agua cerca de la costa varía de 34,0 UPS cuando es el tiempo de surgencia, hasta 33,2 UPS cuando no lo es. La temperatura y la salinidad máxima se encuentran típicamente en septiembre – octubre, mientras que la temperatura mínima ocurre en febrero – marzo y la salinidad mínima en diciembre – enero (NOAA, 2000).

La principal dirección del viento va desde el nororiente/noroccidente durante los meses de temporada seca (mayo – octubre) cuando el sistema de elevadas presiones está localizado en la parte más norte, mientras que en la temporada de lluvia (noviembre – abril), esta región de elevada presión cambia hacia el sur, tendiendo a que la principal dirección del viento sea más occidental. La velocidad del viento es de 3,5 a 4 m/s en promedio de abril – junio, y de 2 – 3 m/s en promedio en enero debido a los grandes cambios estacionales en la intensidad del sistema de alta presión del Pacífico Norte. Las precipitaciones son limitadas casi enteramente a la temporada de invierno (noviembre – abril) cuando las tormentas de las latitudes medias son prevalentes. La cantidad de las mismas varía ampliamente sobre la región, debido a las influencias topográficas, pero en promedio la precipitación anual es de 50 cm (NOAA, 2000).

En cuanto a su geología, en la parte occidental esta cubierta por dunas de arena que migran desde el norte hacia el sur, llevadas por la prevalencia de los vientos del noreste. Esta área cubre aproximadamente 1`315.500 m<sup>2</sup> de campos de dunas, son uno de los pocos que permanecen activos en la costa de California, ya que la mayoría han sido destruidos por actividad humana. Su elevación es de 0 a 13 m (Orr y Poulter, 1965).

La Isla contiene colonias de anidación de aves marinas, incluyendo *Cerorhinca monocerata*, *Ptychoramphus aleuticus*, *Phalacrocorax penicillatus* y *Larus occidentales*. La Isla, también provee lugares de reproducción para especies de mamíferos marinos como *Mirounga angustirostris*, *Phoca vitulina*, *Zalophus californianus*, y *Eumetopias jubatus*. La población de elefante marino (*M. angustirostris*) – exterminada del área 100 años atrás– se ha recuperado y se ha extendido al continente (Orr y Poulter, 1965).

Irrigaciones de campos cercanos han incrementado el agua dentro de la reserva y permitido un establecimiento de varias clases de plantas. Entre las cuales se encuentran *Grindelia arenicola*, *Ericameria ericoides*, *Saururus cernuus* y *Baccharis pilularis*. Además de estar presentes, *Abronia villosa*, *Carpobrotus chilensis* y *Primula vulgaris* entre otras, las cuales se encuentran en la superficie de la arena proveyendo cobertura y alimento para ratones, conejos y otros pequeños animales. Grandes mamíferos son comunes en Año Nuevo, como los Osos del *silvertip* (*Ursus arctos*) y son un factor dominante en la vida animal de esta región. La mayoría de los animales con residencia regular en la reserva son nocturnos. Pumas (*Puma concolor*), coyotes (*Canis latrans*), *racons* (*Procyon insularis*), conejos (*Sylvilagus bachmani*) y ciervos negros (*Odocoileus hemionus columbianus*), son todos residentes regulares (Le Boeuf y Bonnell, 1980).

#### **4.2 Fase de campo**

Se colectaron muestras de vibrisas de individuos de diferentes edades. La edad es aproximada, y se basa en características observables a simple vista, que incluyen la talla del animal y la longitud de la proboscis. Las categorías generales en que se dividen a los animales son: (i) Machos Adultos, que son machos sexual y socialmente maduros, mayores de 9 años de edad, su tamaño va de 4 a 5 m con pesos de entre 2 y 2,5 t. La proboscis está completamente desarrollada y su pelo es de color café

oscuro. (ii) Machos Subadultos, son machos sexualmente maduros entre 5 y 9 años de edad. Su tamaño varía de 2 a 4 m con peso de 1 y 2 t. La proboscis no está completamente desarrollada y su pelo es de color café oscuro. (iii) Hembras, se denominan a las hembras sexualmente maduras, por lo general mayores de 4 años. Su tamaño va de 2,0 a 2,5 m con peso entre 400 y 700 k. Su pelo es de color café claro. (iv) Juveniles, son animales de ambos sexos sexualmente inmaduros, de entre 1 a 4 años de edad en hembras y de 1 a 5 años en machos. Su tamaño y peso varían ampliamente en función de su edad. Su pelo es de color amarillo. (v) Crías, se consideran los animales de ambos sexos nacidos en el transcurso de la temporada. Al nacimiento miden 1 m y pesan alrededor de 40 k y al destete 150 k. Cuando nacen su pelo es negro y al destete han mudado a un pelaje plateado (García-Aguilar, 2004). Para este estudio, no se incluyeron vibrisas de crías, ni de destetados, pero si de las otras categorías. En este estudio se analizaron 30 vibrisas, las cuales están divididas de la siguiente forma, 10 por cada localidad, Isla Año Nuevo, Isla Guadalupe e Islas San Benito, la selección de los individuos de cada localidad fue aleatorio, y en cuanto a proporción de sexos, 17 vibrisas fueron de hembras y 13 de machos.

Para el caso de la Isla Año Nuevo, la muestra incluyó solamente hembras que variaron entre 4,5 y 9,5 años. Además, las muestras se obtuvieron en diferentes años, desde 1995 hasta 2001. Aunque todas las vibrisas pertenecían solo a hembras, las longitudes de las mismas también variaron, desde 12,6 hasta 15,0 cm, con la excepción de un individuo que presentó una vibrisa de 20 cm.

La muestra de Isla Guadalupe, a diferencia de las de Año Nuevo, incluyó solamente machos subadultos y adultos. Los subadultos tuvieron edades entre 2 y 4 años y adultos (edad no conocida). En esta isla, todas las muestras fueron colectadas en la misma fecha, diciembre de 2004. Hay que resaltar que la mitad de las muestras de vibrisas de esta población, no

estaban completas, ya que no presentaban la base. Por esta razón, la longitud de las mismas, varió entre 5,8 y 14,4 cm, una variación mayor que en las otras poblaciones.

Finalmente, la muestra de Islas San Benito, estuvo compuesta por nueve hembras y un macho. No se tiene registro de la edad de las hembras, ni del macho. Las muestras de vibrisas fueron recolectadas en la misma fecha, mayo de 2005. Al igual que las vibrisas de la población de Guadalupe, estas no presentan la base de las mismas, pero su longitud no varió tanto como las anteriores (10,0 a 15,7 cm).

Aunque el tamaño de la muestra se presume es bajo, los estudios isotópicos, generalmente se realizan con pocos individuos, por razones económicas y logísticas, principalmente en mamíferos marinos de gran talla. Si bien es cierto que en general para muchos estudios biológicos un tamaño de muestra pequeño puede incluir un riesgo en cuanto encontrar una variabilidad tan alta que no pueda representar adecuadamente la población, la realidad es que por lo menos en estudios isotópicos los tamaños de muestra relativamente pequeños han mostrado una baja variabilidad cuando se trata de poblaciones de pinnípedos y permiten la comparación entre poblaciones, siendo esto corroborado por varios estudios, entre los que cabe destacar los realizados por Burton y Koch (1999), Hiron *et al.* (2001) y Porras *et al.* (aceptado), entre otros.

Para la toma de muestra de las vibrisas, se realizó a individuos anestesiados, o que en su defecto estuvieran durmiendo, ya que para la extracción de la vibrisa se necesita que el individuo se encuentre en total quietud, la vibrisa se colectó utilizando pinzas y tijeras. Las muestras se colocaron en pequeñas bolsas *ziploc* de plástico, etiquetadas con la fecha, el lugar, el sexo y la categoría del animal.

### **4.3 Fase de laboratorio**

#### **4.3.1 *Procesamiento de muestras***

Las muestras de vibrisa se prepararon en el Laboratorio de Química del Instituto Politécnico Nacional del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR).

Las muestras se colocaron en viales de vidrio a los cuales se les realizaron un protocolo de limpieza. El tratamiento consistió de las siguientes fases; 1) lavado con Extrán -jabón libre de fosfatos, 2) inmersión en mezcla crómica -mezcla de ácido sulfúrico y bicromato de potasio- por un periodo de 24 h, 3) enjuague de los viales con agua corriente, 4) segundo lavado con Extrán 5) reposo de los viales por 24 h. 6) enjuagado de 3-4 veces con agua destilada y finalmente 7) secado de los viales en un desecador a temperatura de 60°C durante 12 h para eliminar toda la humedad.

Se tuvo acceso a un análisis isotópico exploratorio realizado por el Dr. Seth Newsome (no publicado) quien subdividió tres vibrisas de elefante marino en 28, 52 y 64 partes, respectivamente. Esta subdivisión minuciosa (Figura 6), permite observar que es posible subdividir la vibrisa en un número menor de fragmentos y aún detectar cambios representativos del patrón de variación isotópica. Con base en ello, se realizó un ensayo con los datos obtenidos por el Dr. Newsome en el cual gradualmente se iba reduciendo el número de fragmentos a intervalos regulares de 64, 31 y 16 submuestras. El resultado se puede observar en la figura 7, donde con un número de 20 submuestras es posible obtener un patrón de variación isotópica significativo. Con base en este ejercicio todas las muestras obtenidas en las distintas islas se submuestrearon a 20 fragmentos que se pueden observar en la figura 8.

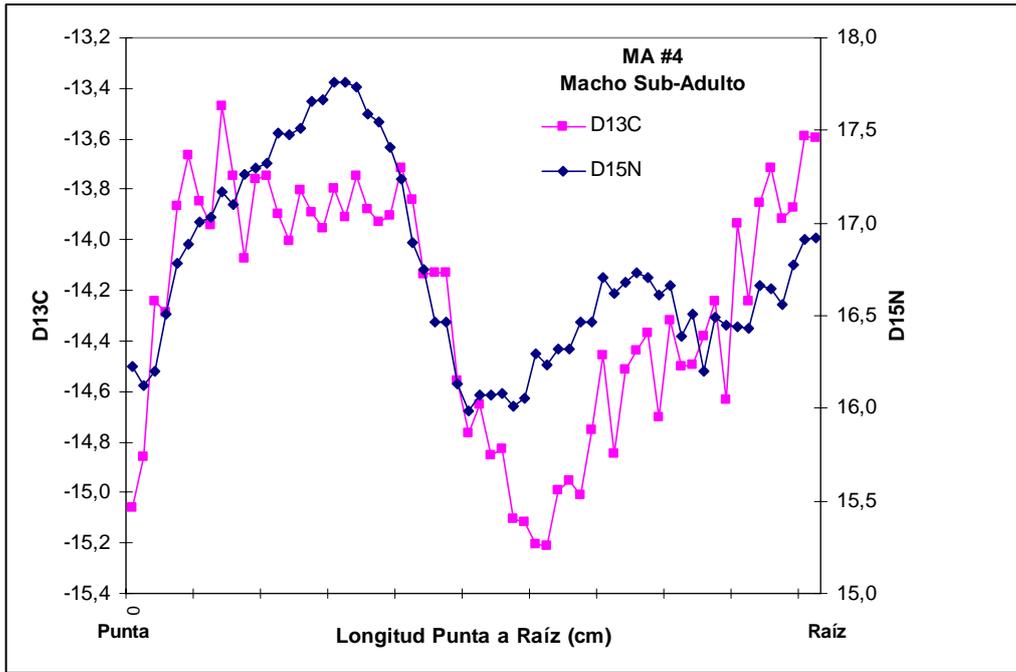


Figura 14. Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de una vibrisa de macho subadulto (MA #4) de Año Nuevo, California dividida en 64 submuestras.

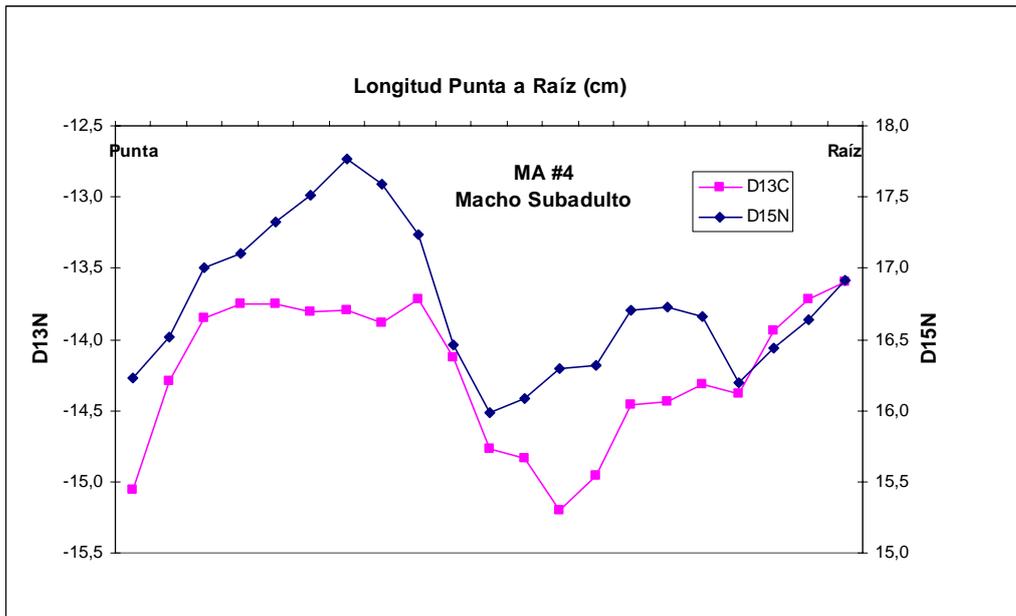
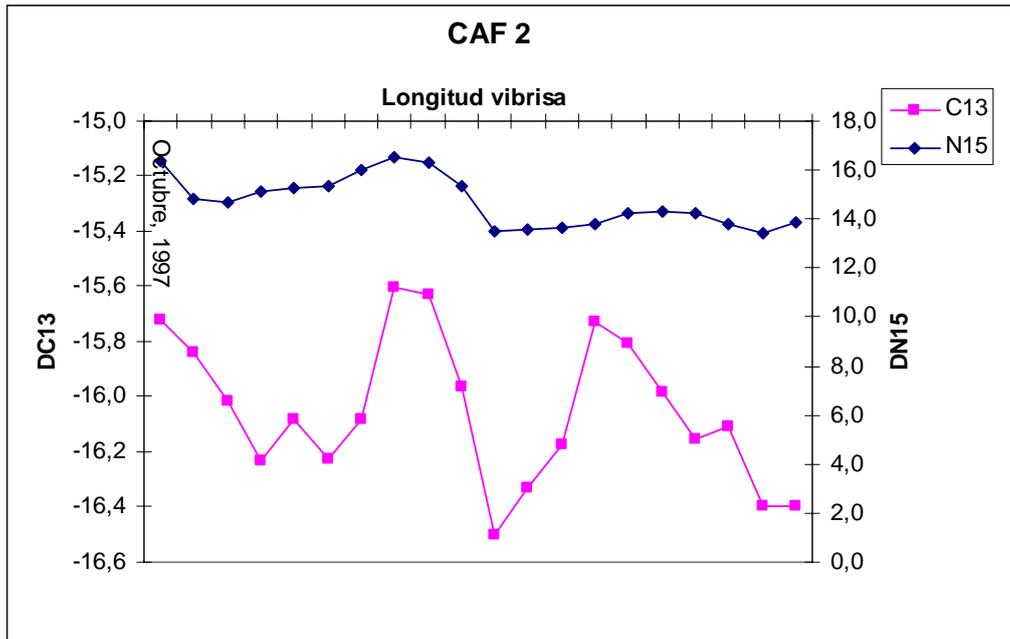


Figura 15. Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de la vibrisa de macho subadulto (MA#4) de Año Nuevo, California, dividida en 20 submuestras.



**Figura 16.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de la vibrisa del individuo 2 de la localidad de Año Nuevo, California (CAF2); dividida en 20 submuestras.

Cada vibrisa fue dividida en 20 partes iguales, ajustándose a la longitud total de la misma. Para la realización de los cortes, las vibrisas fueron introducidas en una funda de papel con una métrica (reglilla métrica) por dos razones, la primera porque debido a que las vibrisas están compuesta por tejido queratinizado y son relativamente flexibles, se pensó que al ser cortadas, los pedazos resultantes podrían saltar y perderse; y segundo porque de ese modo era posible determinar la distancia de corte de cada pedazo en la vibrisa. Cada uno de estos 20 fragmentos fue pesado en una balanza analítica (model AP250D -0, Analital Plus. OHAUS) con una precisión de 0,1 mg para obtener un peso lo más cercano a 0,5 mg.

Los lípidos de las muestras fueron eliminados debido a que se ha demostrado que éstos tienen carbono enriquecido en  $\delta^{12}\text{C}$  y pueden sesgar los resultados isotópicos hacia valores negativos y afectar la interpretación ecológica (Tieszen *et al.*, 1983 En: Porras-Peters, 2004). Se aplicó el protocolo de Extracción Asistida por Microondas (MAE) (aplicación E015 -Industrias Falcón) en un microondas MARS-5 x CEM (model 1000 MARS-5, CEM Microwave Technology Ltd., Matthews, NC), mediante el

cual se extrajeron los lípidos en 25 ml de una solución acetona/hexano (1:1) en vasos de extracción (previamente tratados con Extrán y agua destilada y la solución antes de cada corrida). El tiempo de la extracción fue de 30 min, el cual consistió: en 10 min para elevar la temperatura a 100 °C, 10 min más para que se mantuviera a temperatura constante (100 °C) y los últimos 10 min para enfriar; la presión utilizada durante la extracción fue de 75 - 90 psi. Al finalizar la extracción, las muestras se colocaron en un desecador a temperatura ambiente por 12 h para permitir la volatilización de residuos del solvente.

Posteriormente, cada uno de los 20 segmentos de las vibrisas se cortaron finamente, con ayuda de pinzas y bisturí; lo anterior se realizó bajo una campana de extracción para evitar cualquier contaminación. Después en micro-cápsulas de estaño de 3,3 x 5 mm (CE Elantech, Inc) se pesó 0,5 y 0,7 ± 0,05 mg de muestra en microbalanza analítica (model MX 5, Mettler Toledo) con una precisión de 0,001 mg. Cada micro-cápsula fue introducida en un contenedor de celdas con tapa, donde cada celda tiene una marca distintiva al igual que cada contenedor. Por último, cada contenedor se selló y se envió al Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington, D.C., USA.

#### **4.3.2 Análisis de muestras**

Para medir isótopos estables, generalmente se toman muestras de material conocido, en este caso, tejido animal, estas muestras son convertidas a forma gaseosa por combustión, luego son introducidas al espectrómetro de masas, son ionizadas, y sus moléculas se separan de acuerdo a su masa. La proporción de masa/carga es medida de acuerdo a la proporción ( $\delta$ ) de isótopos pesados (p. ej.  $^{15}\text{N}$ ) a liviano (p. ej.  $^{14}\text{N}$ ) de la muestra (Dawson y Brooks, 2001 En: Santiago *et al.*, 2005).

Las razones de isótopos estables de nitrógeno y carbono se midieron por flujo continuo en el espectrómetro de masas de razones isotópicas (20-20 PDZ Europa) después de la combustión de las muestras a  $\text{CO}_2$  y a  $\text{N}_2$  a

1.000 °C en el analizador elemental (PDZ Europa ANCA-GSL). Los gases se separaron en una columna cromatográfica antes de su introducción en el espectrómetro de masas. Estas razones isotópicas generadas por las muestras, se compararon con las razones de los gases estándares de trabajo inyectados directamente al espectrómetro de masas; el sulfato de amonio fue utilizado como estándar para la calibración de la señal isotópica de nitrógeno y la sacarosa para el carbono. Los estándares de trabajo son calibrados periódicamente contra los estándares internacionales los cuales son el N<sub>2</sub> atmosférico ( $\delta^{15}\text{N} = 0,004\text{‰}$ ) para el nitrógeno y el carbonato de calcio conocido como Pee Dee Belemnita (PDB) ( $\delta^{13}\text{C} = 0,011\text{‰}$ ) para el carbono.

Las proporciones isotópicas resultantes de cada muestra se convirtieron y se reportaron en valores convencionales delta ( $\delta$ ), en partes por mil, mediante la siguiente fórmula:

$$\delta (^{15}\text{N} \text{ o } ^{13}\text{C}) = [(R_{\text{muestra}} / R_{\text{estándar}}) - 1] \times 1000$$

Donde  $\delta^{15}\text{N}$  o  $\delta^{13}\text{C}$  es la proporción expresada en partes por mil (‰) entre el contenido de  $^{15}\text{N}$  o  $^{13}\text{C}$  de la muestra y la del estándar.  $R_{\text{muestra}}$  a la proporción de átomos pesados y livianos que la muestra contenga, mientras que  $R_{\text{estándar}}$  se refiere a una proporción estándar de material, aceptada internacionalmente, la cual es específica y diferente para cada isótopo analizado. De esta manera se asegura que todos los datos entre los diferentes estudios y laboratorios sean comparables (Werner y Brand, 2001 En: Santiago *et al.*, 2005).

Ya que la tasa de crecimiento de las vibrisas de elefante marino, no se ha determinado aún, se implementó una aproximación para explorar en escala de tiempo, los patrones de carbono y nitrógeno de cada uno de los individuos. Las tasas de crecimiento y el tipo de renovación de dos especies de focidos y otáridos, se resumen en la Tabla 1. Esta indica, que la tasa de crecimiento es distinta entre cada familia; por esta razón, para

la determinación de la tasa de crecimiento aproximada de la vibrisa de *M. angustirostris*, se promediaron las dos tasas de las especies que pertenecen a la misma familia, es decir, *Phoca vitulina* y *Halichoerus grypus*. El valor promedio de crecimiento fue de 0,285 mm/día, cuyo valor se usó para graficar los patrones de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ . Hay que tener en cuenta que tanto la tasa de crecimiento como el tipo de renovación (muda o crecimiento continuo), es afectado tanto por los factores ambientales, como por las condiciones fisiológicas individuales (Zhao y Schell, 2004).

**Tabla 3.** Tasa de crecimiento en vibrisas de tres especies de fócidos y una de otárido (Hirons *et al.* 2001a; Greaves *et al.*, 2003; Zhao y Schell, 2004).

Especie	Tasa de Crecimiento en vibrisas (mm/día)	Renovación frecuente de las vibrisas
Foca de puerto (n=5)	0,33	Alta
Foca gris (n=4)	0,24	Alta
Foca leopardo (n=5)	0,1 – 0,17	Baja
Lobo marino de Steller (n=32)	0,08	Baja

#### 4.4 Fase de gabinete

En primera instancia se hizo un análisis exploratorio de los datos, utilizando medidas de tendencia central (media aritmética) y medidas de variabilidad (error estándar y coeficiente de variación). Asimismo, se realizaron gráficas por individuo de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , para explorar sus patrones de comportamiento, utilizando el programa STATISTICA 6.0.

Para probar la significancia de la diferencia isotópica encontrada en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  entre las localidades de Isla Año Nuevo e Isla San Benito, se llevó a cabo una prueba *t-student*.

Mientras que para determinar si había diferencia entre los individuos de cada población para los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , al igual, que para la determinación de grupos dentro de cada población, se realizó la prueba

de normalidad Shapiro-Wilks y homogeneidad de varianzas, dependiendo del resultado de las mismas, en los casos de datos que se ajusten a los modelos paramétricos se realizó una prueba ANOVA o en su defecto la prueba de Kruskal-Wallis.

Para el análisis entre sexos tanto en Isla Año Nuevo, como en Islas San Benito, se realizó una prueba ANOVA multifactorial, para poder establecer si había diferencias isotópicas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  entre machos y hembras de cada Isla.

El nivel de significancia con que se trabajaron los datos fue de 0,05.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Cuantificación isotópica de carbono y nitrógeno entre las poblaciones de Islas San Benito y Año Nuevo

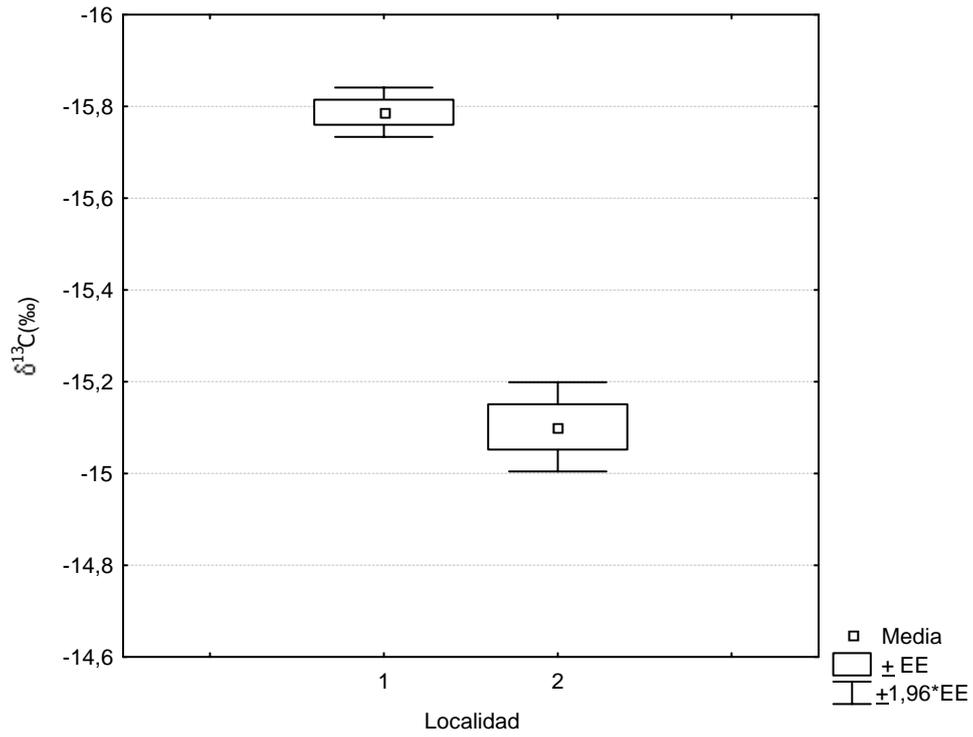
En las gráficas mostradas a continuación (Figuras 9 y 10), se observan los valores isotópicos promedio de carbono y nitrógeno en vibrisas de hembras de elefante marino de Islas San Benito, México e Isla Año Nuevo, California, USA.

El promedio de isótopos de carbono en las vibrisas de hembras del elefante marino en Islas San Benito fue de  $-15,8 \pm 0,38$  ‰ y en Año Nuevo de  $-15,1 \pm 0,66$  ‰. Las diferencias son notables entre las localidades. Estas diferencias aunque aparentemente pequeñas fueron, sin embargo, significativas. Se aplicó a los datos una prueba *t-student* (Tabla 2), la que arrojó como resultado una diferencia significativa en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $t= -12,4128$ ;  $n= 19$ ;  $p= < 0,001$ ) entre ambas localidades.

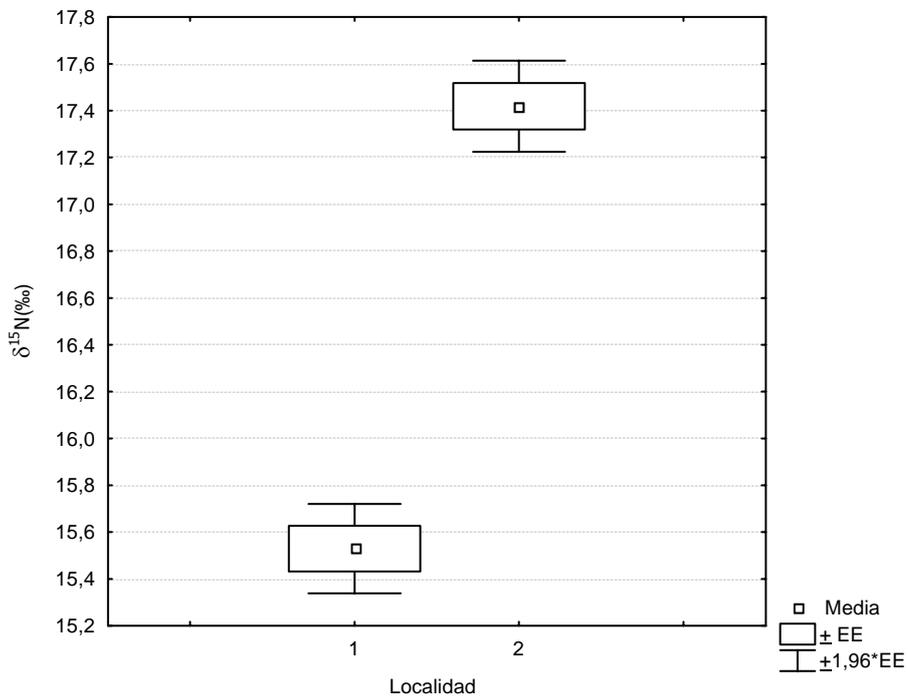
El nitrógeno tiene un patrón similar, donde el promedio de las hembras de Islas San Benito estuvo alrededor de  $15,5 \pm 1,38$  ‰ mientras que el de las hembras de Año Nuevo fue de  $17,4 \pm 1,33$  ‰. Estas diferencias fueron más evidentes que en el carbono y la prueba *t-student* (Tabla 2), comprobó diferencias significativas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $t= -13,5410$ ;  $n= 19$ ;  $p= < 0,001$ ) entre ambas localidades.

**Tabla 4.** Resumen de los valores de la prueba *t-student*, de las variables  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre las hembras de Isla Año Nuevo e Islas San Benito.

	Media Año Nuevo	Media San Benito	T	GI	P
$\delta^{13}\text{C}$	-15,7874	-15,1016	-12,4128	377	< 0,001
$\delta^{15}\text{N}$	15,5295	17,4184	-13,5410	377	< 0,001



**Figura 9.** Comparación de las medias de  $\delta^{13}\text{C}$  entre las hembras de las localidades de Año Nuevo, California (1) e Islas San Benito (2).



**Figura 10.** Comparación de las medias de  $\delta^{15}\text{N}$  entre las hembras de las localidades de Año Nuevo, California (1) e Islas San Benito (2).

En la Tabla 3, se presentan los valores promedio de máximos y mínimos, así como el rango tanto para  $\delta^{13}\text{C}$  como para  $\delta^{15}\text{N}$  entre Año Nuevo y San Benito. Denotándose que el rango de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para ambas Islas esta entre -15,1‰ y -16,3‰ para el caso de Año Nuevo, mientras que en el caso de San Benito, el rango es de -14,1 y -15,6‰, encontrándose la mayor variación en esta ultima (-1,5‰), aunque no difiere mucho de la encontrada en Año Nuevo (-1,2‰).

Para el caso de  $\delta^{15}\text{N}$  el rango de las Islas se mantuvo entre 14,0 y 17,2‰ en Año Nuevo, y de 16,0 a 18,8‰ en San Benito. La mayor variación para esta variable se presentó en Año Nuevo, siendo esta de 3,3‰; mientras que para el caso de San Benito, fue de 2,8‰.

**Tabla 3.** Resumen de los valores promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en cada una de las localidades, con su respectiva variación (rango) (ES: Error estándar).

Localidad	Valores Promedio $\delta^{13}\text{C}$ (‰)			Valores Promedio $\delta^{15}\text{N}$ (‰)		
	Máximo	Mínimo	Variación (+ ES)	Máximo	Mínimo	Variación (+ ES)
Isla Año Nuevo	-15,1	-16,3	-1,2 ± 0,38	17,2	14,0	3,3 ± 1,37
Islas San Benito	-14,1	-15,6	-1,5 ± 0,66	18,8	16,0	2,8 ± 1,33

## 5.2 Patrones de variación individual en vibrisa y su relación con migración alimentaria, reproducción y ayuno

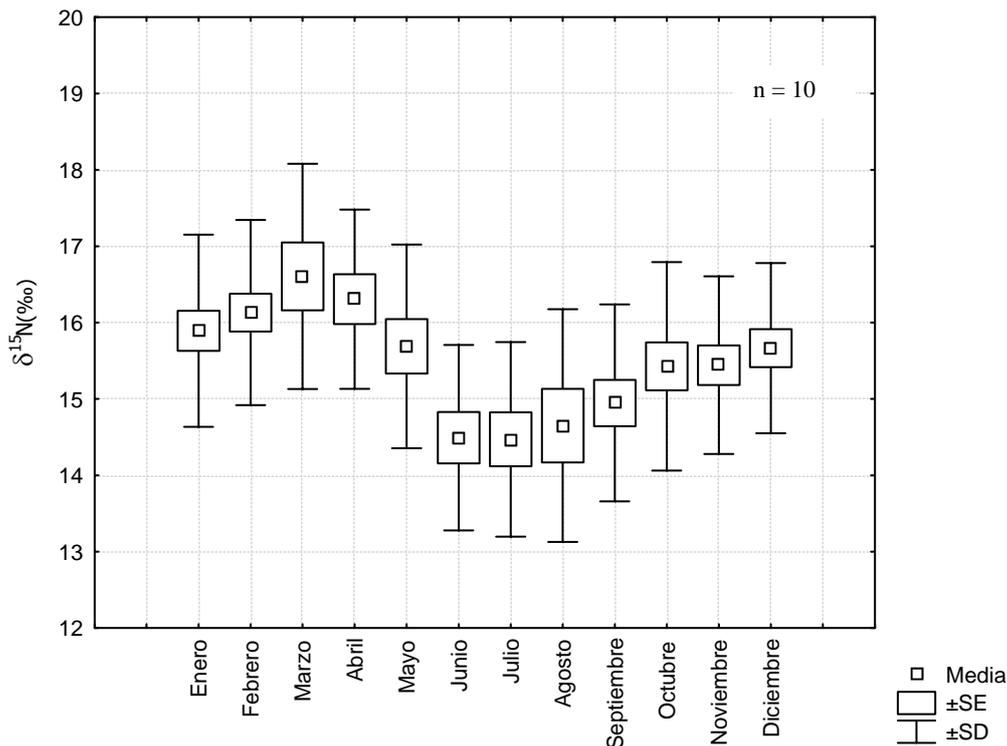
### 5.2.1 COMPORTAMIENTO DEL NITRÓGENO

Cada vibrisa analizada en 20 fragmentos originó un gráfico de variación isotópica de carbono y nitrógeno que varió tanto entre individuos como entre poblaciones en mayor o menor grado. Se realizó primero un análisis gráfico exploratorio de las variaciones de los valores  $\delta^{15}\text{N}$  dentro de cada población para determinar la presencia de patrones semejantes entre las mismas.

## - Isla Año Nuevo

### Hembras

En la figura 11, se pueden observar los valores medios y la desviación estándar de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) de las vibrisas de hembras de Isla Año Nuevo. Además, se puede observar la variación de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , de los 20 fragmentos de vibrisa ajustados a la tasa de crecimiento estimada. Se hace evidente que en los meses de febrero a abril se presenta un incremento de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , mientras que de junio a agosto decrece visiblemente. Este incremento y reducción en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , es seguido por un incremento incipiente que parece completar el ciclo con el mes de enero. El rango de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  graficados, se encuentra entre 16,6 y 14,5‰.

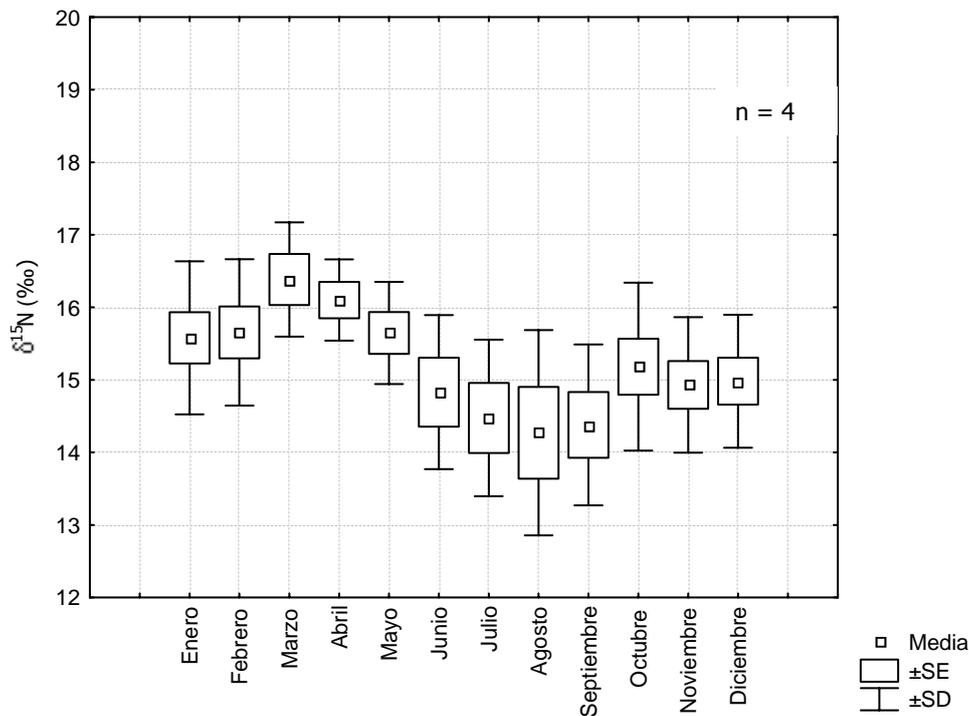


**Figura 11.** Promedios mensuales de  $\delta^{15}\text{N}$  en las hembras de elefante marino de Isla Año Nuevo, California (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

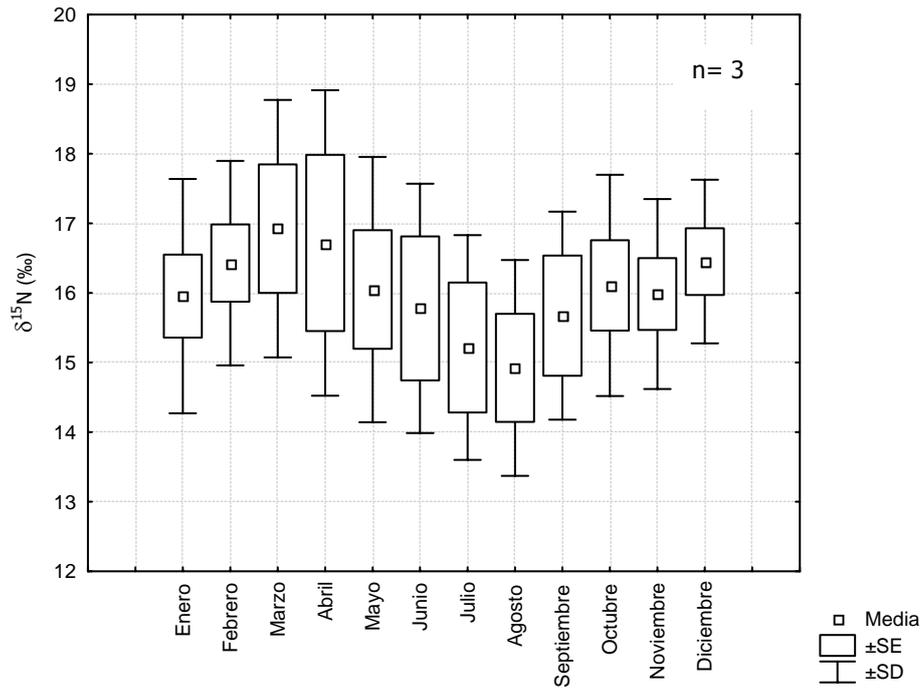
Se realizó un análisis estadístico, para determinar si las diferencias entre los individuos de cada localidad eran significativas. En el caso de Isla Año

Nuevo, los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  no se ajustaron a una distribución normal ( $\chi^2 = 29,19$ ;  $n = 10$ ;  $p = <0,001$ ) y sus varianzas no fueron homogéneas ( $F = 2,50$ ;  $n = 10$ ;  $p = < 0,05$ ) por lo cual se les aplicó la prueba de Kruskal Wallis ( $H = 79,48092$ ;  $n = 10$ ;  $p = <0,001$ ). Ambas pruebas sugieren que hay diferencias significativas entre los individuos de Año Nuevo para los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ .

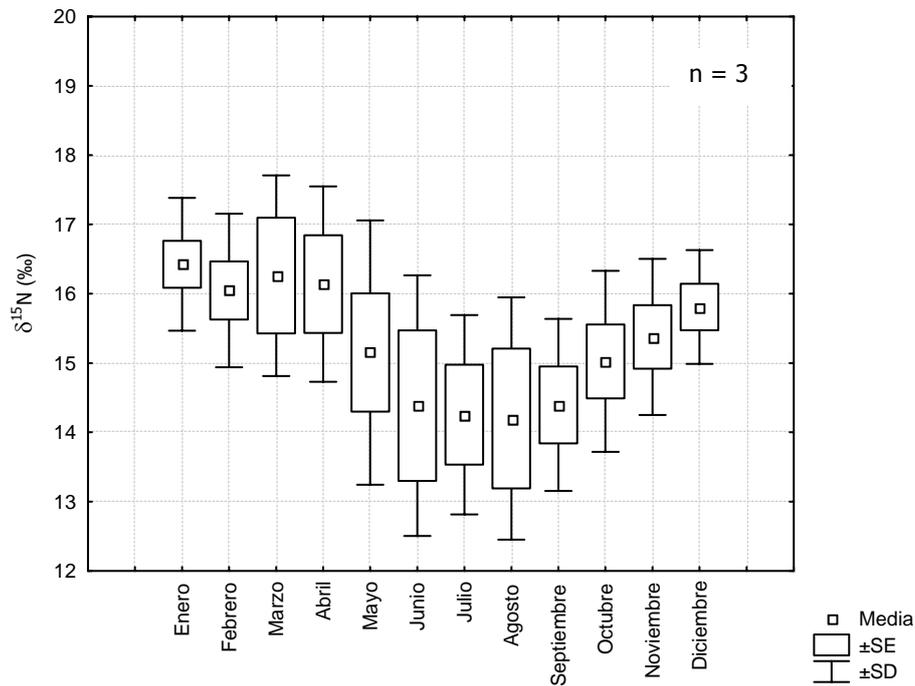
Con el fin de determinar si la variación interindividual podría estar influenciada por la edad de las hembras, la muestra de vibrisas se dividieron por grupos de edad de la siguiente manera; hembras de 4,5 a 5,5 años de edad (Figura 12), hembras de 6,0 a 6,5 años de edad (Figura 13) y hembras adultas de 8,0 a 9,5 años de edad (Figura 14).



**Figura 12.** Patrón de  $\delta^{15}\text{N}$  del grupo de hembras con edades de 4,5 a 5,5 años de Isla Año Nuevo (SE: error estándar; SD: desviación estándar).



**Figura 13.** Patrón de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) del grupo de hembras de edad entre 6,0 a 6,5 años de Isla Año Nuevo (SE: error estándar; SD: desviación estándar).



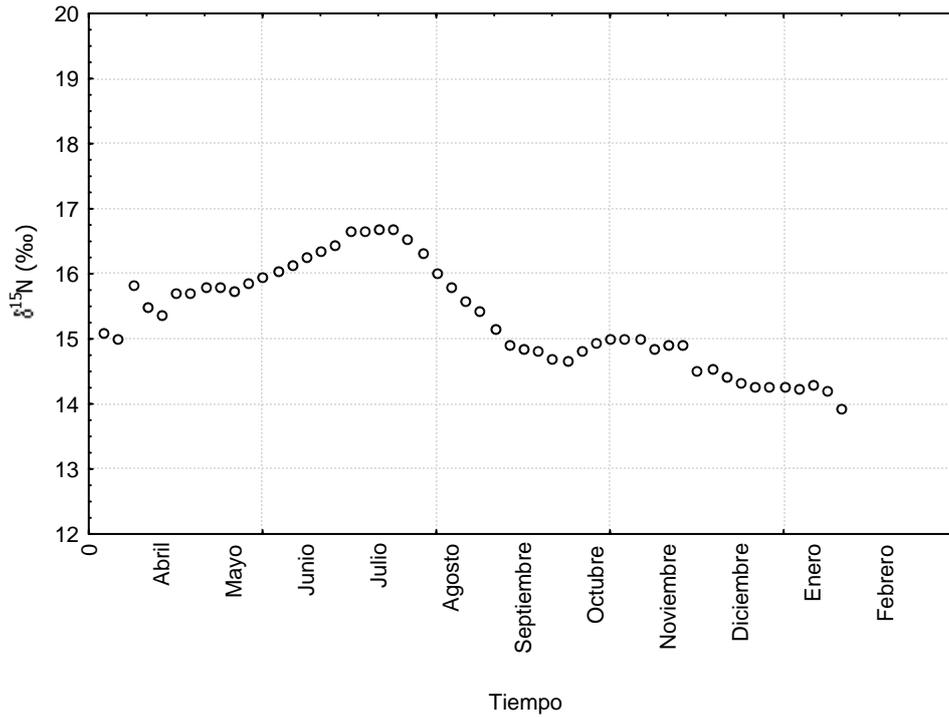
**Figura 14.** Patrón de  $\delta^{15}\text{N}$  del grupo de hembras de edad entre 8,0 a 9,5 años de Isla Año Nuevo (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

En general el comportamiento del  $\delta^{15}\text{N}$  en los tres grupos de edad de hembras de Isla Año Nuevo, fue similar donde se observa una tendencia al aumento de los valores en los meses de enero a abril y una disminución en los meses de mayo a septiembre. Al realizar un análisis de varianza, de cada grupo de edad, se encontró que tanto el grupo de hembras de 6,0 a 6,5 como 8,0 a 9,5 años de edad no presentaron variación significativa entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de los individuos que los conforman ( $F_{6 \text{ a } 6,5} = 1,887$ ;  $n = 3$ ;  $p = 0,065$ ;  $F_{8 \text{ a } 9,5} = 0,504$ ;  $n = 3$ ;  $p = 0,89$ ). Mientras que para los valores del grupo de hembras de 4,5 a 5,5 años, estos presentaron diferencias significativas ( $F_{4,5 \text{ a } 5,5} = 2,48$ ;  $n = 4$ ;  $p = 0,011$ ).

### Machos

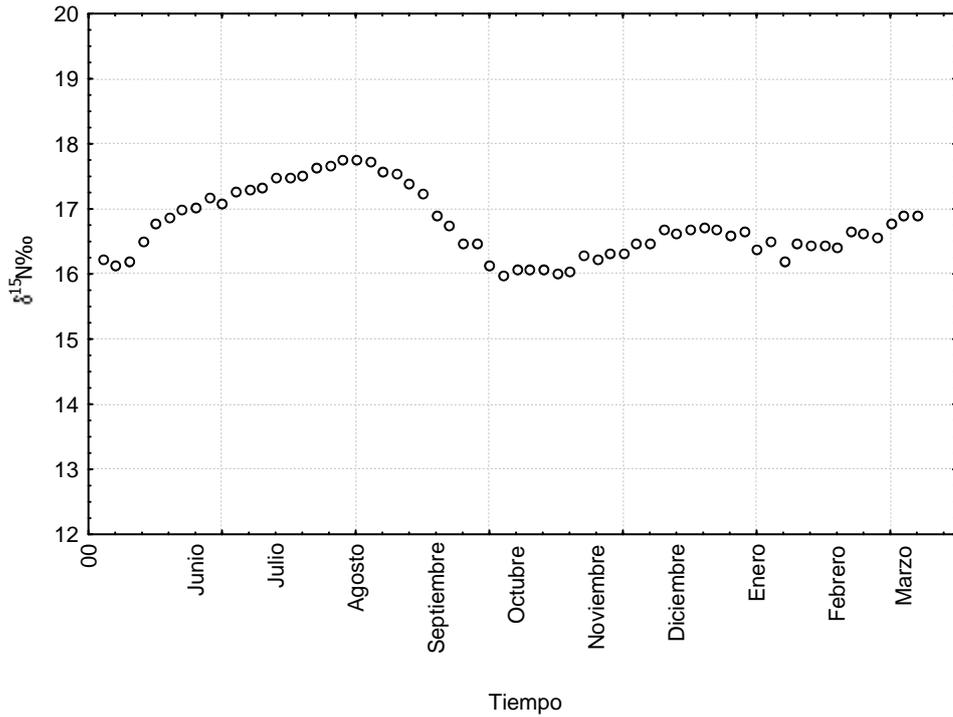
Adicionalmente a las muestras presentadas en la figura 11, se obtuvieron datos de dos individuos machos de Isla Año Nuevo proporcionados amablemente por el Dr. Seth Newsome.

La ubicación de la vibrisa en las figuras 15 y 16, va de la raíz a la punta. En la figura 15, se puede observar el patrón de variación de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de un macho adulto, en este caso la división de la vibrisa se realizó en 53 fragmentos. El patrón sugiere dos picos; uno entre junio y agosto y otro entre septiembre y octubre, pero en general se nota una disminución gradual desde julio hasta enero.



**Figura 15.** Patrón de comportamiento de  $\delta^{15}\text{N}$  de un macho adulto de la localidad de Año Nuevo, California.

La figura 16, muestra el patrón de  $\delta^{15}\text{N}$  de un macho subadulto de la misma población de Año Nuevo, California. En este caso la vibrisa fue dividida en 62 partes y se puede observar la presencia de un pico para los meses de junio a septiembre y una reducción entre octubre y noviembre.



**Figura 16.** Patrón de comportamiento de  $\delta^{15}\text{N}$  de un macho subadulto de la localidad de Año Nuevo, California.

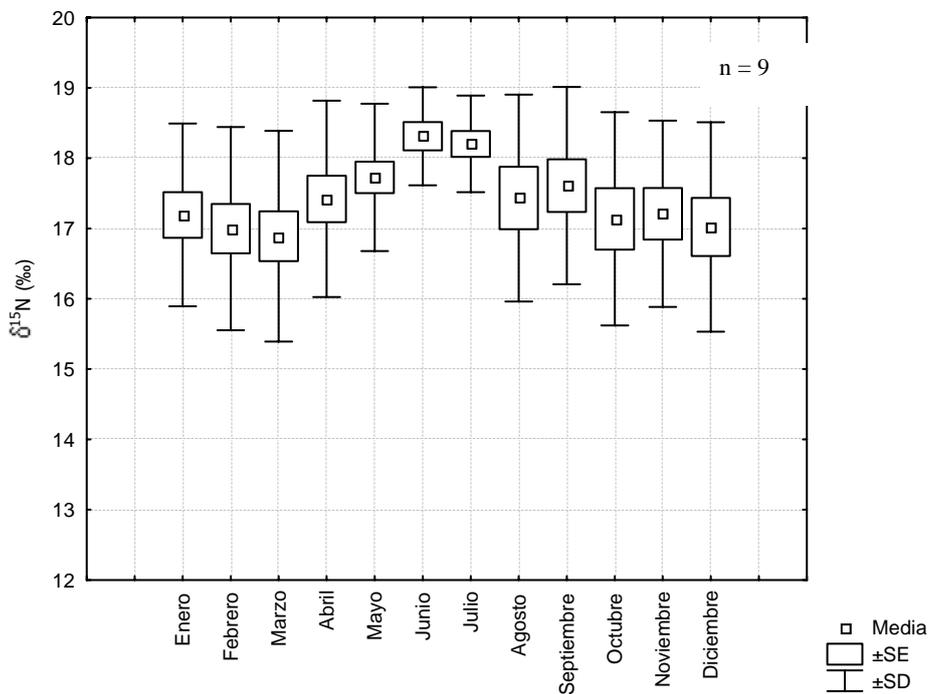
### - Islas San Benito

En la figura 17, se pueden observar los valores medios y la desviación estándar de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) en vibrisas de hembras de Islas San Benito (Figura 4). El patrón general difiere de la anterior población (Año Nuevo), ya que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  que esta población presenta, indican una disminución en los meses de enero a marzo, y de octubre a diciembre, mientras que en los meses de abril a agosto se denota un aumento en los mismos. Se podría decir que es un patrón inverso al observado en la población de Año Nuevo.

Para el caso de esta población, la subdivisión de sus grupos, se realizó mediante la agrupación de individuos, por el tipo de patrón en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  a través del tiempo, con énfasis en los meses que se generan aumentos y disminuciones en los valores; y no por edades, ya que no se tenía conocimiento de las mismas. Esta subdivisión generó dos grupos. Además, hay que tener en cuenta, que como cada individuo se comporta

de manera diferente, hubo cinco individuos, que no se lograron ubicar en ninguno de los grupos.

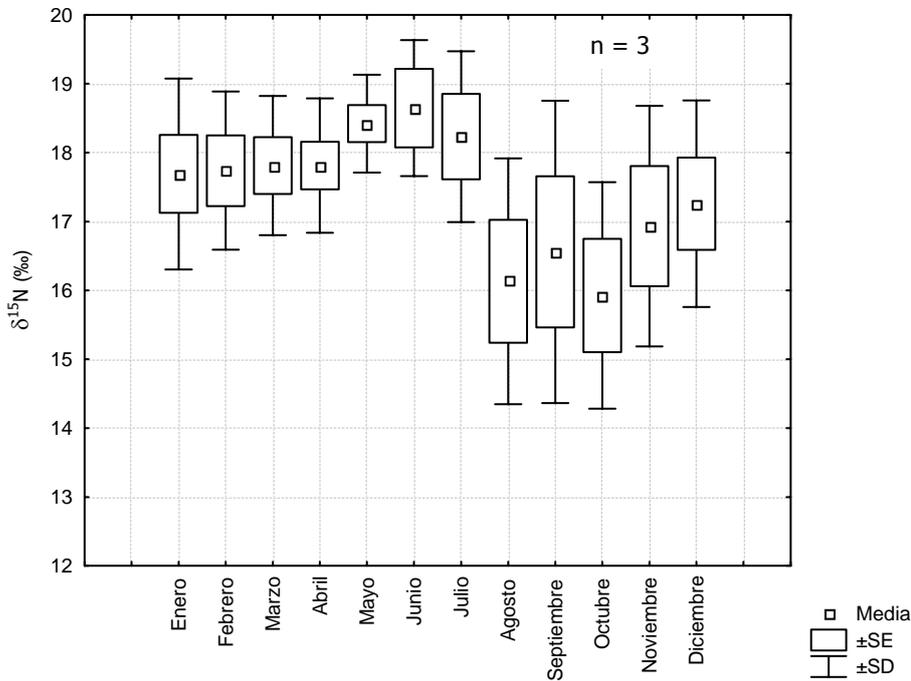
Asimismo, se realizó un análisis estadístico para determinar la variación entre los individuos de la población, indicando que hay diferencias significativas en sus valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (Kruskal - Wallis ( $H= 74,44730$ ;  $n= 9$ ;  $p= <0,001$ )). Es importante aclarar que la mayoría de los especímenes corresponden a hembras excepto por un macho.



**Figura 17.** Patrón de comportamiento temporal de  $\delta^{15}\text{N}$  que incluye solamente las hembras de elefante marino de Islas San Benito, México (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

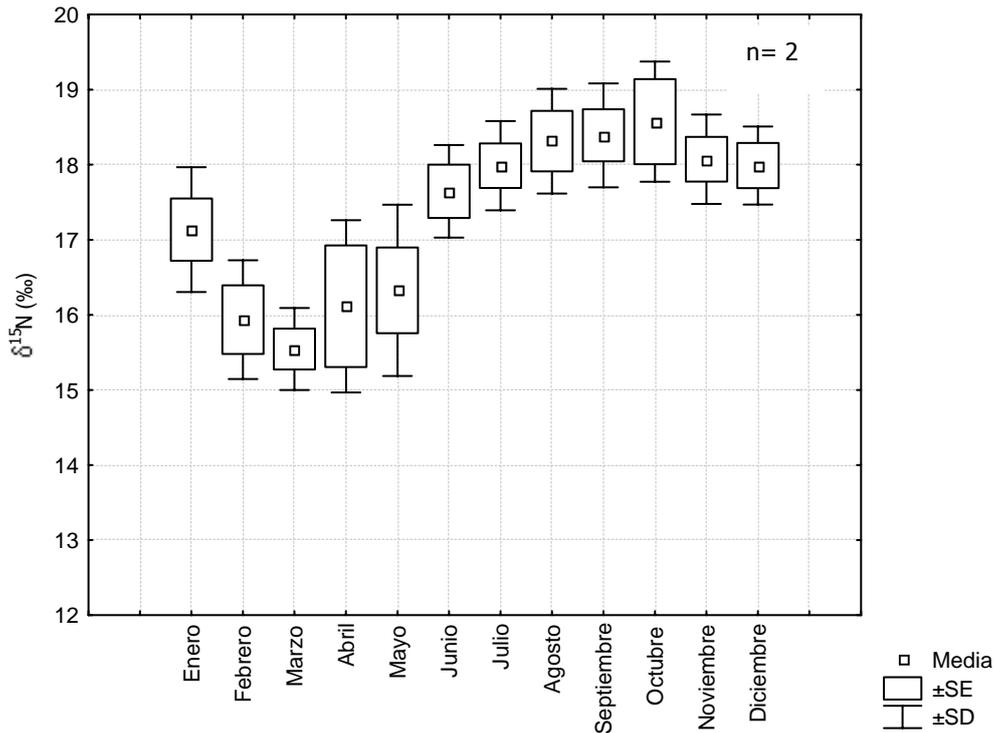
El primer grupo, denominado grupo A de Islas San Benito (figura 18), presenta un patrón particular, el cual está definido por las siguientes características, al inicio del año, entre febrero y abril, los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  tienden a mantenerse más o menos elevados, pero luego se genera un aumento no tan pronunciado de los mismos, en los meses de mayo y junio. Mientras que en el mes de julio se denota una disminución considerable en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , lo que genera un valle relativamente pronunciado en los meses de agosto a noviembre. Además de la similitud gráfica entre

los patrones, se determinó estadísticamente que no presentan diferencias significativas entre ellos ( $H_{\text{grupo A}} = 13,15$ ;  $n = 3$ ;  $p = 0,2834$ ).



**Figura 18.** Comportamiento de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰), del Grupo A de la colonia de Islas San Benito (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

A diferencia del anterior grupo, el grupo B tiene un patrón (figura 19) que ninguno de los anteriores grupos ha presentado. En los meses de febrero a mayo se denota una disminución en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , lo que genera un valle relativamente pronunciado. Mientras que de junio a diciembre se observa un aumento en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , lo que conlleva a la formación de un pico predominante. En la primera parte del año (de enero a mayo, aproximadamente), los valores tienden a disminuir, pero luego en julio empiezan a tener un aumento, hasta llegar a generar el pico que se presenta al final del año (de junio a diciembre, aproximadamente). Aunque se pudo establecer este grupo gráficamente, se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de  $\delta^{15}\text{N}$  de los individuos ( $H_{\text{grupo B}} = 27,47073$ ;  $n = 9$ ;  $p = 0,0039$ ).

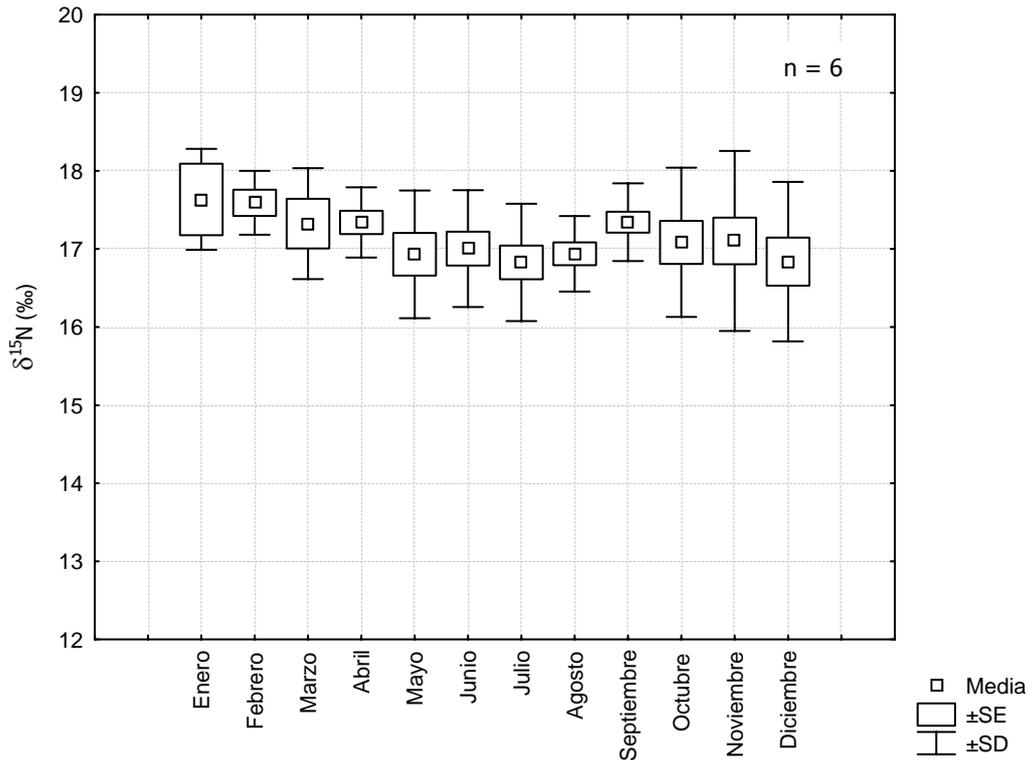


**Figura 19.** Comportamiento de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) de los dos individuos del Grupo B, de la colonia de Islas San Benito (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

### - Isla Guadalupe

En la figura 20, se pueden observar la media y desviación estándar de los valores  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) de las vibrisas de machos de Isla Guadalupe (Figura 4), asimismo, hay que resaltar que la muestra de vibrisas estuvo compuesta por machos.

El patrón presente en los machos de esta población, tiende a reflejar el mismo patrón observado para los dos machos de Isla Año Nuevo (Figura 15 y 16), aunque no tan acentuado. Se observan valores de  $\delta^{15}\text{N}$  relativamente altos para los meses de enero a abril y un descenso continuo hasta el mes de agosto, con un ligero repunte entre septiembre y noviembre.

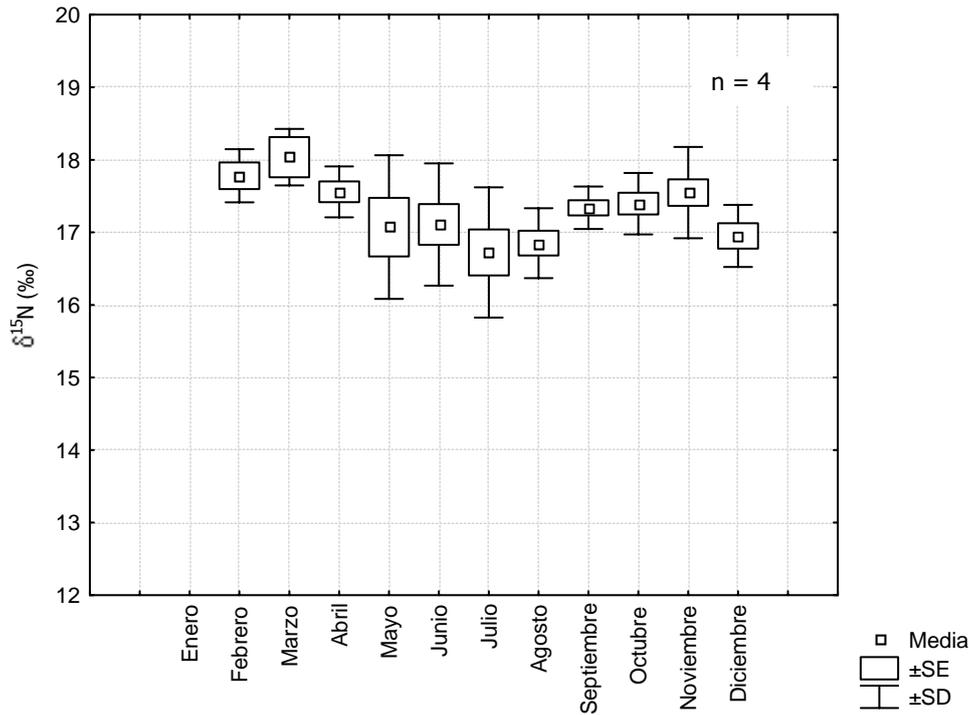


**Figura 20.** Patrón de comportamiento temporal de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) en los machos de elefante marino de la colonia de Isla Guadalupe, México (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $H_{\delta^{15}\text{N}} = 35,74933$ ;  $n = 6$ ;  $p = <0,001$ ), indican que hay diferencias significativas entre los individuos de Isla Guadalupe.

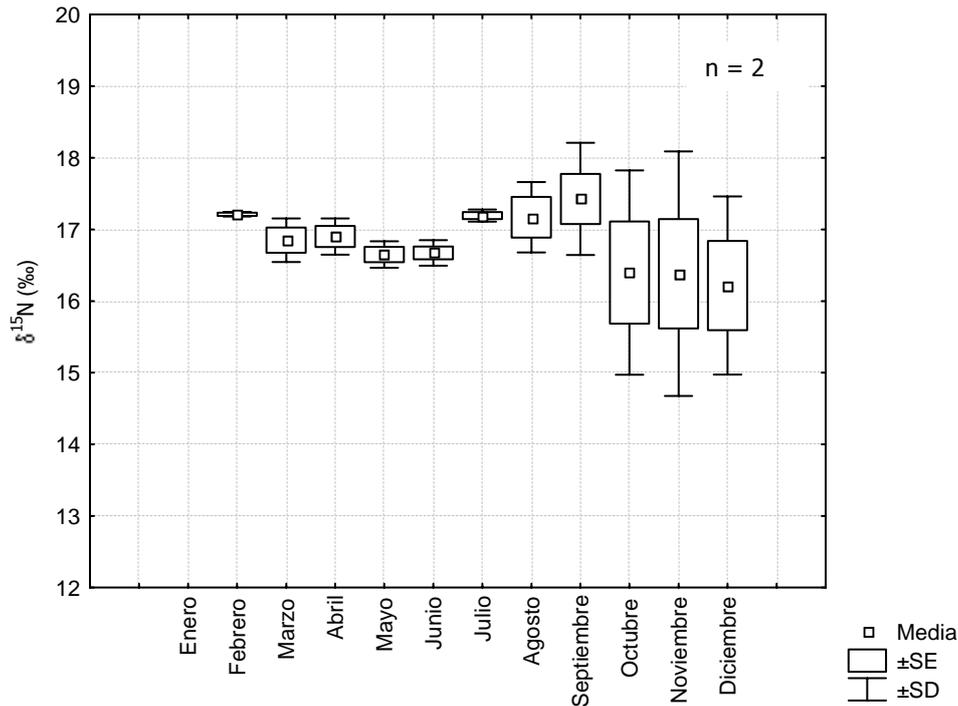
Para la exploración de posibles patrones internos en la variación de valores  $\delta^{15}\text{N}$  entre los individuos de Isla Guadalupe, se subdividió la muestra en estadios de desarrollo que fueron juveniles y adultos.

El primer grupo, denominado Machos Juveniles Isla Guadalupe (Figura 21), presentando un patrón similar y perteneciendo al mismo estadio. Este grupo presenta un patrón característico, definido por valores altos de  $\delta^{15}\text{N}$  en febrero y marzo, seguidos de un decremento hacia valores más bajos con un mínimo entre julio y agosto. Una prueba ANOVA ( $F = 2,14$ ;  $n = 4$ ;  $p = 0,028$ ), indicó diferencias significativas entre los individuos que conforman este grupo.



**Figura 21.** Comportamiento de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) de machos juveniles de la colonia de Isla Guadalupe (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

El grupo de los machos adultos, no se agrupó por características visuales que permitieran detectar patrones evidentes y tampoco tuvieron edades muy distintas de manera que se pudieran separar en relación a esa variable. El patrón general sugiere valores relativamente consistentes alrededor de 17‰ de enero a julio, seguidos de una mayor variabilidad a partir de agosto hasta diciembre (Figura 22). No se encontró variación significativa en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre los individuos de este grupo ( $H=8,749268$ ;  $n=2$ ;  $p=0,6450$ ).



**Figura 22.** Comportamiento de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) del grupo machos adultos de la colonia de Isla Guadalupe (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

## 5.2.2 COMPORTAMIENTO DEL CARBONO

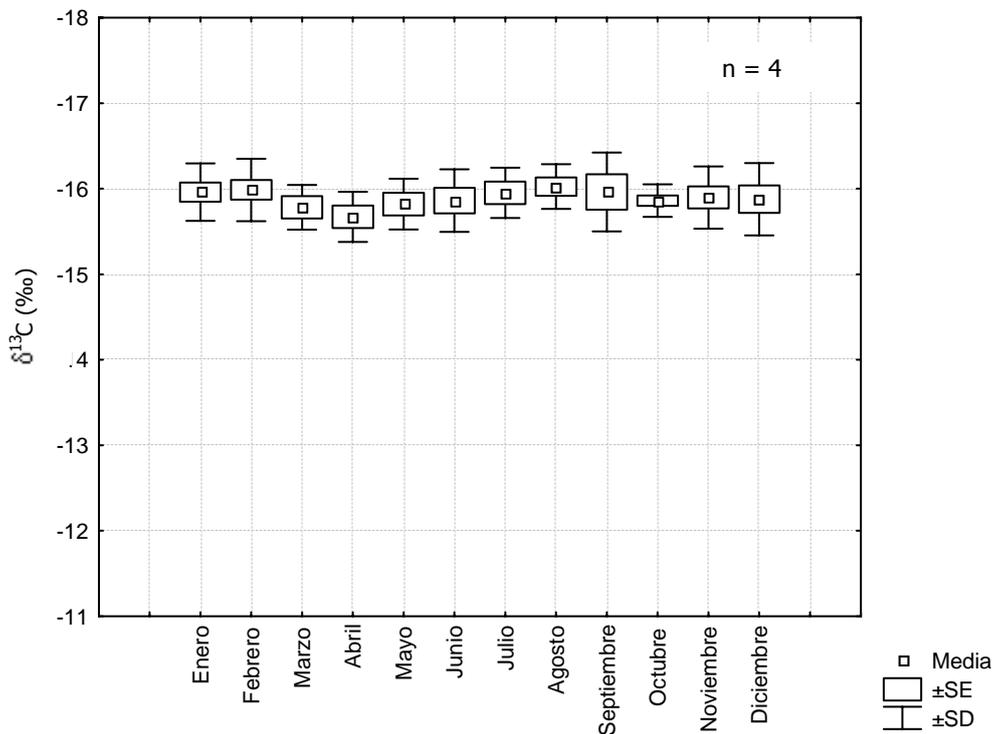
### Hembras

#### **- Isla Año Nuevo**

Solamente se generaron gráficas de  $\delta^{13}\text{C}$  para los grupos de hembras de Año Nuevo y machos de Isla Guadalupe. No se generó ninguna figura para la población de Islas San Benito, ya que sus patrones mostraron alta variabilidad como los que se observaron en el caso del  $\delta^{15}\text{N}$ .

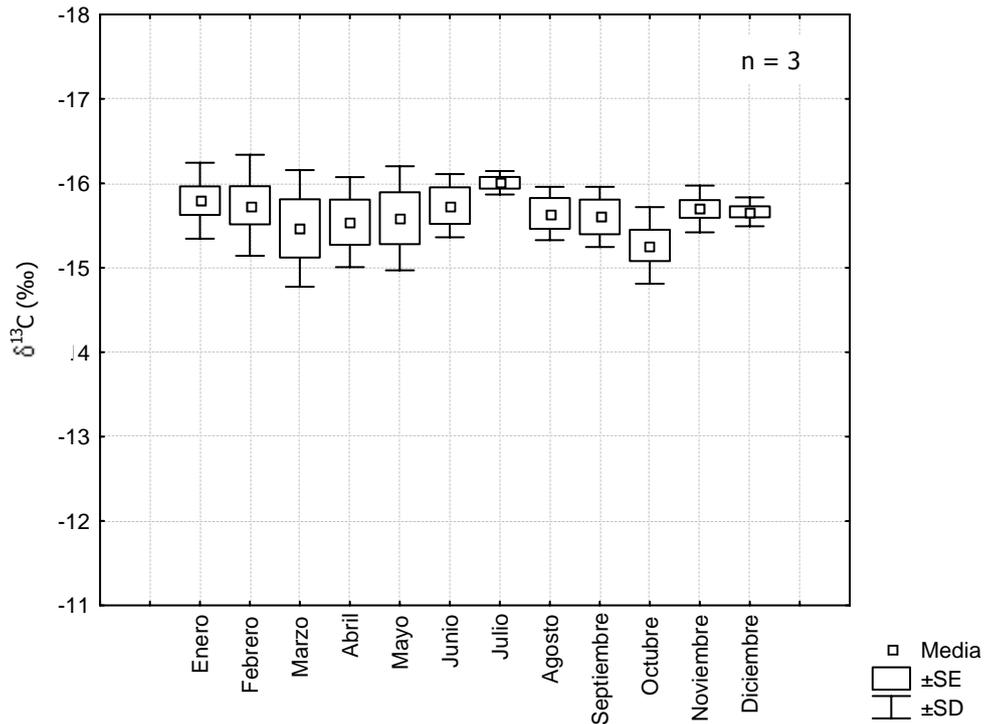
Para el caso de las hembras de Año Nuevo, se mantuvo la división por clases de edad tal y como se hizo para el nitrógeno. Además se determinó que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de toda la población tuvieron una distribución normal ( $\chi^2 = 3,43$ ;  $n=10$ ;  $p= 0,63$ ) y sus varianzas fueron homogéneas ( $F= 0,893$ ;  $n= 10$ ;  $p= 0,414$ ) por lo cual se aplicó un *test* ANOVA ( $F= 13,734$ ;  $n= 9$ ;  $p= <0,001$ ), indicando que hay diferencias significativas.

El grupo de las hembras con edades de 4,5 a 5,5 años (figura 23), mostró un comportamiento estable para los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , ya que no se presentaron variaciones importantes (valores entre -15,7 y -16‰). Asimismo los valores presentaron una distribución normal ( $\chi^2 = 5,30$ ;  $n = 4$ ;  $p = 0,62$ ) y homogeneidad en sus varianzas ( $F = 0,827$ ;  $n = 4$ ;  $p = 0,48$ ) y no existieron diferencias significativas entre los individuos ( $F = 0,5$ ;  $n = 4$ ;  $p = 0,89$ ).



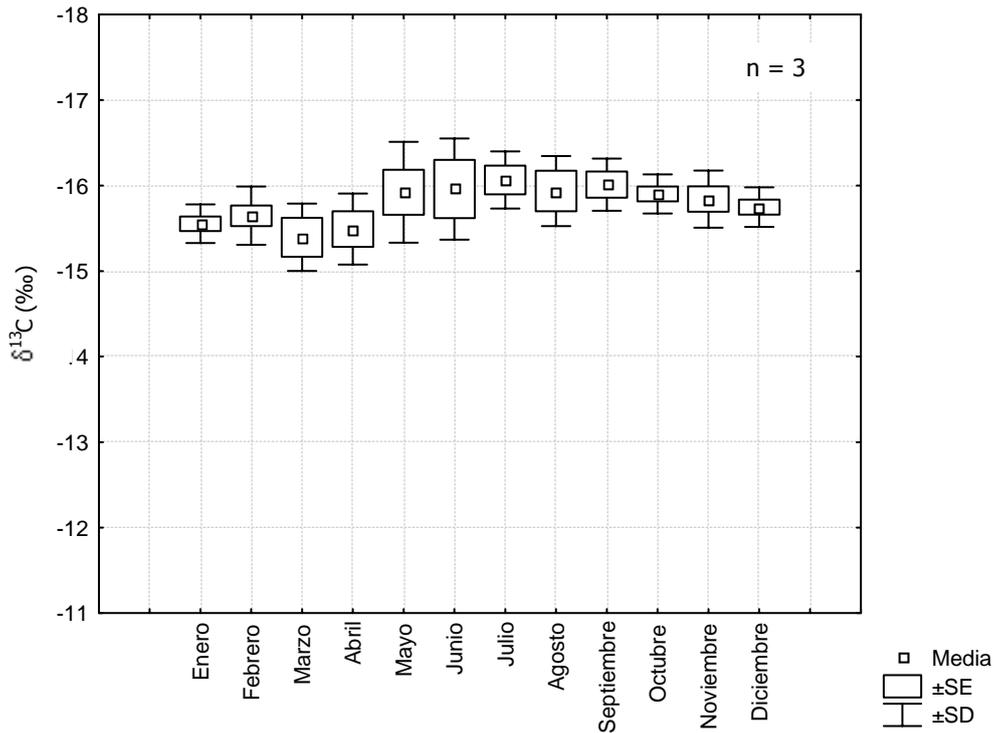
**Figura 23.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) del grupo de hembras de 4,5 a 5,5 años de edad de Isla Año Nuevo (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

Las hembras entre 6,0 a 6,5 años presentaron un patrón difuso de  $\delta^{13}\text{C}$  distinto al anterior, cuyos valores variaron entre -15,6 a -16‰ (Figura 24), con un rango de 0,4‰, no presentaron diferencias significativas entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de los individuos ( $F = 0,85$ ;  $n = 3$ ;  $p = 0,5885$ ).



**Figura 24.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) del grupo de hembras de edad entre 6,0 a 6,5 años de Isla Año Nuevo (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

Las hembras entre 8,0 y 9,5 años (Figura 25), presentaron un patrón más claro, donde se observaron valores bajos de  $\delta^{13}\text{C}$  en los primeros meses del año (enero a abril) y luego un aumento con una gradual disminución hacia el final del año (octubre a diciembre). Sus valores varían entre -15,4 y -16,1‰, con un rango de 0,7‰, siendo el más amplio de los tres grupos antes mencionados. Además, no presentaron diferencias significativas entre los individuos ( $F= 1,6$ ;  $n= 3$ ;  $p= 0,1311$ ).



**Figura 25.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) del grupo de hembras con edades entre 8,0 a 9,5 años de Isla Año Nuevo (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

En la Tabla 4, se denotan los valores promedio, máximos y mínimos de cada una de las clases de edades encontradas en la población de Año Nuevo. La variación existente entre los mismos, es mínima. Ya que, si se comparan tanto los valores promedio, como los máximos y los mínimos, entre ellos, el mayor rango es de 0,6‰ (juveniles y adultos *vs* edad media) en los valores máximos.

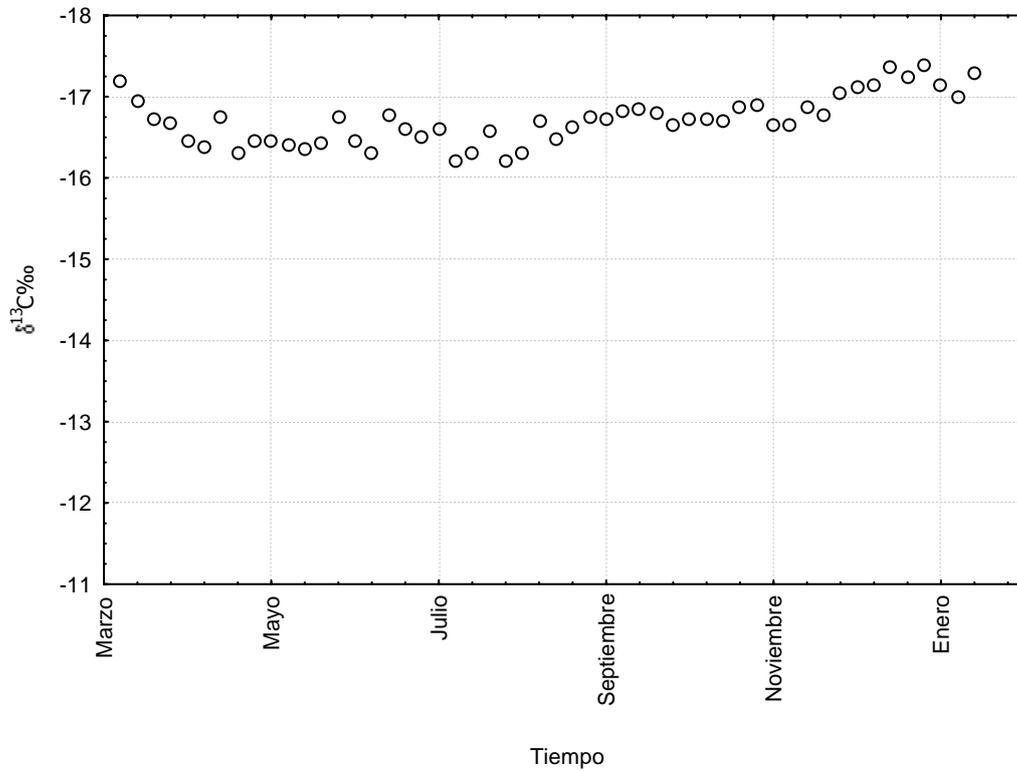
**Tabla 4.** Resumen de los valores promedio, máximos y mínimos de  $\delta^{13}\text{C}$ , para cada una de las clases de edades de la localidad de Año Nuevo.

Clase de edad (años)	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰)		
	4,0 a 5,5 (juveniles)	6,0 a 6,5 (edad media)	8,0 a 9,5 (adultos)
Promedio	-15,9	-15,6	-15,8
Máximos	-15,0	-14,4	-15,0
Mínimos	-16,5	-16,6	-16,6

De manera similar al caso del nitrógeno, se graficaron los valores de carbono de un macho adulto de la Isla Año Nuevo, California, donde no se

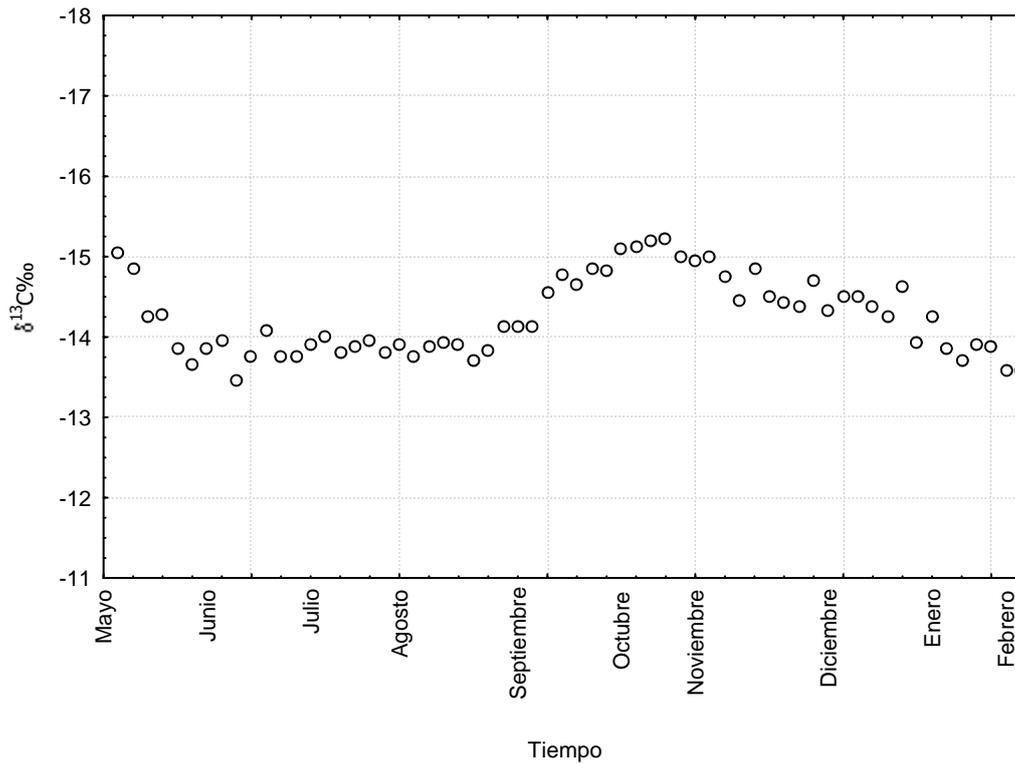
observa un patrón claro (Figura 26) con pequeñas fluctuaciones que variaron entre valores de  $\delta^{13}\text{C}$  -16,1 y -18,4‰.

En las figuras 26 y 27 la ubicación de la vibrisa va de la raíz a la punta.



**Figura 26.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  de una vibrisa de macho adulto de Isla Año Nuevo.

También se presenta el patrón generado por un macho subadulto de la misma localidad de Año Nuevo (Figura 27). En esta figura, se ve un patrón definido, el cual está caracterizado por una disminución en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  al inicio del año (enero-febrero), mientras que entre septiembre y diciembre, se genera un aumento en los valores, el cual se ve reflejado visualmente en un pico. En los meses de mayo a agosto, se generan fluctuaciones leves.



**Figura 27.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  de macho subadulto de Isla Año Nuevo, California.

En las figuras en las cuales no se menciona la ubicación de la vibrisa, es debido a que estas se generaron agrupando muchas vibrisas que en algunas ocasiones no se obtuvieron en la misma fecha, por tal razón no siguen un patrón de ubicación de la vibrisa, si no como mencionan las figuras, están ubicadas temporalmente (orden de los meses del año).

### - Islas San Benito

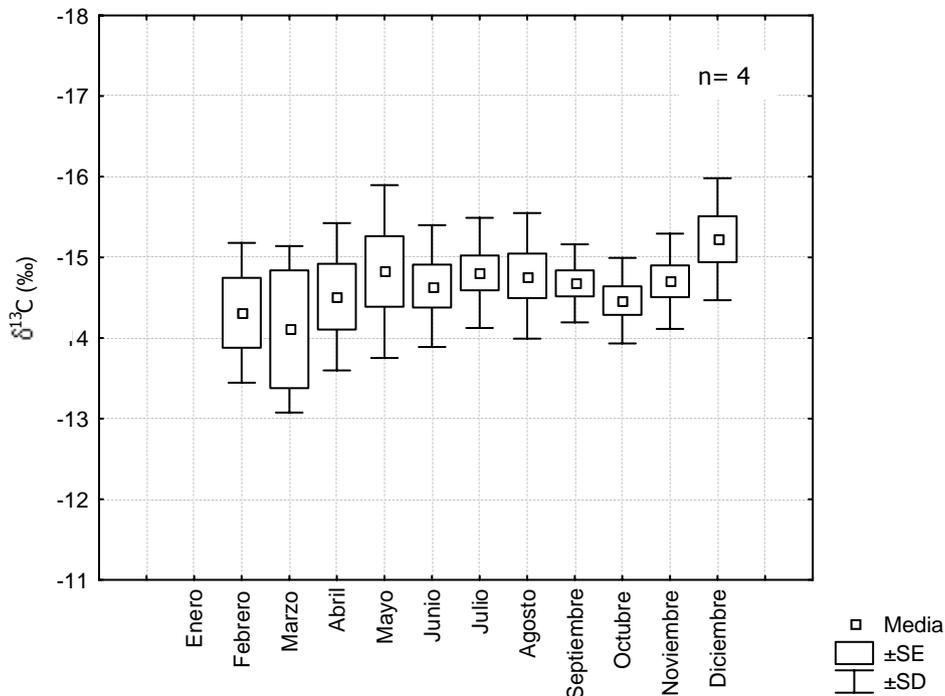
Para el caso de las hembras de Islas San Benito, como no se pudieron establecer grupos solamente se realizó un análisis estadístico de  $\delta^{13}\text{C}$  para determinar la variación entre los individuos de la población, indicando que hay diferencias significativas en sus valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $F_{\delta^{13}\text{C}} = 16,130$ ;  $n = 9$ ;  $p = <0,001$ ).

### - Isla Guadalupe

Al igual que para la población de Año Nuevo, se generaron gráficas del comportamiento de  $\delta^{13}\text{C}$  para la población de Isla Guadalupe y se probó si presentaban diferencias significativas entre los individuos que conforman la población y los diferentes grupos.

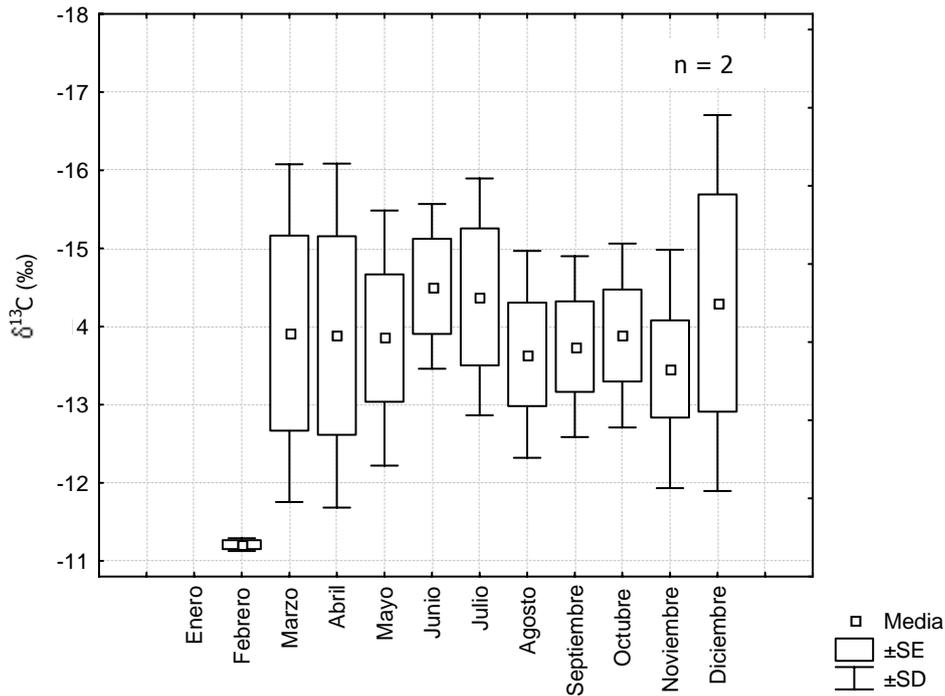
Al realizar el análisis estadístico se determinó que hay diferencias significativas entre los individuos de Isla Guadalupe ( $H_{\delta^{13}\text{C}} = 85,52943$ ;  $n = 6$ ;  $p = <0,001$ ).

Para el caso de los machos juveniles (Figura 28), el patrón que se generó, fue relativamente estable, ya que no se denotan valores muy elevados ni muy bajos de  $\delta^{13}\text{C}$ , lo cual genera que no haya algún cambio drástico en el tiempo. La variación de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  fue de  $-14,3$  a  $-15,2\text{‰}$ . Asimismo, no presentaron diferencias significativas entre los individuos ( $H = 9,602777$ ;  $n = 4$ ;  $p = 0,5664$ ).



**Figura 28.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  del grupo de machos juveniles de Isla Guadalupe (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

Para el caso de los machos adultos (Figura 29), el patrón que se generó, tampoco tiende a cambiar mucho a lo largo del tiempo, ya que los picos y valles no son muy pronunciados. La variación de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  se encuentra entre -15,2 a -14,1‰, y un rango de 1,1‰. Los valores no presentaron diferencias significativas entre los individuos ( $H= 10,85610$ ;  $n= 2$ ;  $p= 0,4554$ ).



**Figura 29.** Patrón de  $\delta^{13}\text{C}$  del grupo de machos adultos de Isla Guadalupe (SE: error estándar; SD: desviación estándar).

A diferencia de la población de Año Nuevo, la variación existente entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de los dos grupos de edades (machos adultos y juveniles) (Tabla 5), fue mayor, con los promedios mostrando una diferencia de 1‰, mientras que la diferencia entre los valores máximos fue de 2,2‰.

**Tabla 5.** Resumen de los valores promedio, máximos y mínimos de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰), para cada una de las clases de edades de la localidad de Isla Guadalupe.

Clase de edad	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰)		
	Juveniles	Adultos	Variación
Máximos	-13,4	-11,2	-2,2
Mínimos	-16,3	-15,7	-0,6
Promedio	-14,7	-13,7	-1,0

### 5.3 DIFERENCIA MACHOS VS HEMBRAS

#### 5.3.1 AÑO NUEVO

La Tabla 6 muestra los valores máximos, mínimos y promedios de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , de dos machos y de 10 hembras de la población de Isla Año Nuevo, California. Los cuales tuvieron diferencias en promedio de 0,4‰ en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , y de 0,6‰ para el  $\delta^{15}\text{N}$ , entre las hembras y los machos, siendo significativas ( $F_{\delta^{13}\text{C}}= 267,20$ ;  $n= 12$ ;  $p= <0,001$ ;  $F_{\delta^{15}\text{N}}= 4,22$ ;  $n= 12$ ;  $p= <0,001$ ).

**Tabla 6.** Valores máximos, mínimos y promedio de los machos y las hembras de Isla Año Nuevo, California (DE: Desviación Estándar).

Sexo	Valores $\delta^{13}\text{C}$ (‰)			Valores $\delta^{15}\text{N}$ (‰)		
	Máximo	Mínimo	Promedio (ED)	Máximo	Mínimo	Promedio (DE)
Machos	-13,5	-17,4	-15,4 $\pm$ 1,29	17,8	13,9	16,1 $\pm$ 0,97
Hembras	-14,4	-16,6	-15,8 $\pm$ 0,38	19,0	12,4	15,5 $\pm$ 1,38
Diferencia	-0,9	-0,8	-0,4	1,2	1,5	0,6

#### 5.3.2 SAN BENITO

La Tabla 7 muestra los valores máximos y mínimos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , del macho y el promedio de las hembras de la población de las Islas San Benito, México, y que tuvieron diferencias de 1‰ en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre hembras y macho, y de 1,6‰ para el  $\delta^{15}\text{N}$ , siendo significativas ( $F_{\delta^{13}\text{C}}= 4,13$ ;  $n= 10$ ;  $p= 0,043462$ ;  $F_{\delta^{15}\text{N}}= 4,12$ ;  $n= 10$ ;  $p= 0,043769$ ).

**Tabla 7.** Valores máximos, mínimos y la variación existente entre el macho y el promedio de las hembras de Islas San Benito, México (DE: Desviación Estándar).

Sexo	Valores $\delta^{13}\text{C}$ (‰)			Valores $\delta^{15}\text{N}$ (‰)		
	Máximo	Mínimo	Variación (DE)	Máximo	Mínimo	Variación (DE)
Macho	-13,0	-13,6	-0,6	19,4	18,0	1,4
Hembras (promedio)	-14,2	-15,8	-1,6 $\pm$ 0,83	18,8	15,8	3 $\pm$ 1,32
Diferencia	-1,2	-2,2	-1	0,6	2,2	1,6

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Cuantificación isotópica general de carbono y nitrógeno entre las poblaciones de Islas Benitos y Año Nuevo

Las diferencias en las proporciones de isótopos estables en las poblaciones de elefante marino de Isla Año Nuevo e Islas San Benito, pueden estar siendo influenciadas por varios factores, entre los que se incluyen, cambios temporales en la dieta/posición trófica de cada población, hábitos/locación de forrajeo de cada población y la composición isotópica de la base de la red trófica (Hirons *et al.*, 2001a). Para el caso del carbono, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en el tope del nivel trófico de los organismos marinos puede ser distinto sin modificar la posición trófica del animal, por lo que este valor representa más bien el conjunto de la composición del fitoplancton en la red trófica (Hirons *et al.*, 2001a).

Existe mucha información acerca del lugar de forrajeo y las migraciones de elefante marino de Isla Año Nuevo, aunque el tipo de alimento que consume no está bien conocido. Esto se debe a que cuando llegan a las islas el alimento ha sido ya digerido y los análisis de excretas o estomacales no producen mucha información (Le Boeuf *et al.*, 2000).

De las hembras de la población de Año Nuevo, se conoce que su rango de forrajeo, está dentro de una extensa área en el Pacífico noreste, desde 38° a 60° N y desde la costa a 172,5° E. Las áreas específicas de forrajeo, están determinadas por la velocidad de nado que normalmente es < 0,4 m/s, y donde las hembras permanecen en estas áreas alrededor de 3,5 días antes de moverse a otro. El rango de buceo de las hembras es muy amplio en aguas profundas, migrando verticalmente por presas pelágicas, mientras que los machos forrajean a través del margen continental distal al final de su migración en una manera consistente, alimentándose de presas bentónicas (Le Boeuf *et al.*, 2000). Asimismo, hay que tener en cuenta que, las hembras a diferencia de los machos, no llegan

directamente a un sitio a alimentarse, ni permanecen allí por largos periodos de tiempo (Le Boeuf, 1994). Cada hembra tiene numerosas áreas focales de forrajeo (áreas en la cual se cree, obtienen la mayor cantidad de alimento, ya que tienen una mayor permanencia en este lugar) todas de corta duración (Le Boeuf *et al.*, 2000). Las hembras permanecen alrededor de 66 días en el mar antes de retornar a la colonia a mudar, realizando migraciones entre las colonias del sur de California, cubriendo cerca de 5.500 km durante estos viajes a sus áreas de forrajeo del norte con latitud entre 40° y 48° N y el Golfo de Alaska (Stewart y DeLong, 1994).

Le Boeuf, (1994) sugiere que los elefantes marinos de colonias en México y California forrajean en el mismo lugar, lo cual debería observarse en los valores isotópicos de tejidos de animales de ambas localidades, donde no debería haber diferencias entre ellos. Sin embargo, se determinó que isotopicamente si existen diferencias significativas. Además considerando que la distancia entre las colonias de Año Nuevo y San Benito es equivalente a 1.170 km en línea recta, las hembras de San Benito deberían viajar a una tasa más rápida o gastar menos tiempo en la crianza para cumplir con el horario anual de crianza, alimentación y muda establecido (Le Boeuf, 1994) si se alimentaran en la misma zona. Si la premisa de que los individuos de ambas localidades se alimentan en la misma zona, fuera cierta, las hembras de San Benito se verían afectadas tanto por estrés fisiológico, como por los efectos de un mayor gasto energético en la dinámica poblacional (Aurioles *et al.*, 2006).

Dada la existencia de variación en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre ambas poblaciones, Aurioles *et al.* (2006) propusieron dos hipótesis para explicarla: (1) las hembras de las dos regiones se alimentan de presas ecológicamente equivalentes pero en diferentes áreas, o (2) las hembras de las dos regiones se alimentan de diferentes tipos de presas en diferentes regiones.

Basándose en la variación isotópica hallada entre las dos poblaciones, y teniendo el conocimiento de la latitud a la cual las hembras de Año Nuevo forrajean (45° N), se ha estimado que las hembras de San Benito forrajean 8° mas al sur que las hembras de Año Nuevo, proporcionando un promedio latitudinal de forrajeo para San Benito, que se estableció alrededor de 37° N (Aurioles *et al.*, 2006). Esto es concordante con los valores de variación de  $\delta^{15}\text{N}$  obtenidos en este estudio (14,0 y 17,2‰  $^{15}\text{N}$ ) (Tabla 3; Figura 11). Para determinar la distancia latitudinal, ellos usaron una aproximación metodológica basada en un patrón latitudinal observado en el sedimento, donde se presenta una variación de  $\sim 5^\circ$  de latitud por cada 1‰ de incremento en  $\delta^{13}\text{C}$  del sedimento. Esto se traduce en una diferencia de forrajeo latitudinal de  $\sim 8^\circ$ . En general se puede decir que las hembras de Año Nuevo, se alimentan por encima de los 53° N. En el caso de las hembras de San Benito, la mayoría de los valores estuvieron entre 16,0 y 18,8‰  $\delta^{15}\text{N}$  (Tabla 3; Figura 10), similares a los valores de  $^{15}\text{N}$  obtenidos por Aurioles *et al.* (2006) (16 y 19‰) confirmando la posibilidad de que su área de alimentación pueda encontrarse entre los 43° y 31° N. Los resultados de esta tesis apoyan la hipótesis de que las hembras de las dos regiones se alimentan en lugares latitudinalmente diferentes, pero también sugiere que la estimación de fraccionamiento isotópico de 2,5‰ entre madres y crías de elefante marino con base en pelo (Aurioles *et al.*, 2006) fue bastante acertada ya que no se presentaron diferencias en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de las vibrisas de las madres y el fraccionamiento estimado a partir de pelo de crías.

Para el caso de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , estos, en animales que se alimentan cerca de las costas (p. ej. foca de puerto) es  $\sim 2\text{‰}$  mayor que los que alimentan lejos de la costa (p. ej. elefante marino). Ambos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  fueron 1 – 2‰ más bajos en animales que se alimentan en latitudes altas *vs* los que se alimentan en latitudes medias. Asimismo, datos isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en pinnípedos del Pacífico Nororiental que forrajean a diferentes latitudes sugieren que valores  $\delta^{13}\text{C}$  incrementan de

norte a sur (Aurioles *et al.*, 2006). Aunque, en este estudio no fue muy evidente la diferencia de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre las dos poblaciones, si se notó que las hembras de San Benito tuvieron valores de  $\delta^{13}\text{C}$  más elevados que las hembras de la población de Año Nuevo.

Datos disponibles de  $\delta^{13}\text{C}$  en materia orgánica particulada de distintas localidades del Océano Pacífico Nororiental, indican un incremento de 1‰ en el  $\delta^{13}\text{C}$  por cada  $\sim 5^\circ$  de latitud (Aurioles *et al.*, 2006). Aunque, según lo encontrado por Aurioles *et al.* (2006), las hembras de San Benito presentaban  $\sim 1,5\text{‰}$  más enriquecimiento en  $\delta^{13}\text{C}$  que las hembras de Año Nuevo, sugiriendo que estas se alimentan  $\sim 7,8^\circ$  más hacia el sur, los datos obtenidos en este estudio no sugieren una diferencia en el enriquecimiento  $\delta^{13}\text{C}$  entre San Benito y Año Nuevo, ya que la variación observada fue de  $0,3\text{‰}$  (Tabla 3; Figura 9).

Las diferencias significativas ( $1 - 2\text{‰}$ ) en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , han determinado para varias especies de pinnípedos alimentación cerca de la costa vs hábitat pelágicos lejanos de la costa (Burton y Koch, 1999), de esta forma, si se hubiera generado una gran diferencia en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre ambas poblaciones, se hubiera podido establecer si el hábitat de forrajeo es cercano o lejano de la costa. Probablemente la causa de no compatibilidad con los datos obtenidos por Aurioles *et al.* (2006), para el caso de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , se deba a que este átomo es más sensible y si podría estar generando algún cambio entre las madres y las crías, ya que el pelo es biosintetizado durante el periodo de crianza, y las proporciones isotópicas pueden ser sutilmente cambiadas de la madre a la cría por los procesos isotópicos discriminatorios (Aurioles *et al.*, 2006). Mientras que para el caso de las vibrisas, estas fueron obtenidas directamente de individuos adultos o juveniles, por ende están más bien sujetos a las diferencias de alimentación de las madres.

Otro componente que muchas veces no se tiene en cuenta, probablemente por la poca información que se tiene al respecto, es la

variabilidad isotópica que puede generarse cuando una población está consumiendo un amplio rango de especies de presas, lo que podría producir una mayor variación en las marcas isotópicas de los tejidos de los consumidores de una población comparados con otra cuyo menú de presas ítem está más reducido. Como se mencionó, la dieta exacta y estricta de cada población no se conoce, por lo que existe la posibilidad de que la diversidad de la dieta entre poblaciones genere también diferencias en la variabilidad isotópica entre las mismas (Bearhop *et al.*, 2004).

Factores como las temporadas de llegada y salida de la colonia de cada población, probablemente también puedan estar influenciando los valores isotópicos, ya que, aunque los intervalos de alumbramiento, duración de lactancia, duración en tierra, e intervalo entre alumbramiento y apareamiento, de las hembras de San Benito son similares a las de Año Nuevo con respecto a la llegada, los picos de la época de crianza son más tempranos en San Benito (San Benito: 19 enero; Año Nuevo: 26 enero a 2 febrero), al igual que el pico de nacimientos (San Benito: 47% de los nacimientos en las primeras dos semanas de enero; Año Nuevo: 50% en las dos últimas semanas de enero) (Le Boeuf *et al.*, 1972, Le Boeuf y Panken, 1977, Le Boeuf y Reiter, 1988, En: Aurióles *et al.*, 2006; García-Aguilar, 2004).

Por todo lo anteriormente mencionado se corrobora la hipótesis que las hembras de la población de Año Nuevo, California e Islas San Benito, México, forrajean en lugares distintos. Considerándose que el lugar de forrajeo de las hembras de San Benito esta localizado, en promedio, 8° sur del lugar que se conoce para las hembras de Año Nuevo (Aurióles *et al.*, 2006).

## 6.2 Patrones de variación individual en vibrisa y su relación con migración alimentaría, reproducción y ayuno

### 6.2.1 COMPORTAMIENTO DEL NITRÓGENO

Si la estimación de crecimiento de la vibrisa de elefante marino obtenida de otras dos especies es aproximada a la tasa de crecimiento real de la especie bajo estudio, entonces los aumentos y descensos en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  obtenidos, parecen sugerir que reflejan periodos a lo largo del año que coinciden con los meses en que los individuos se alimentan en el mar o ayunan en tierra.

El hecho de que se pueda evidenciar por medio de  $\delta^{15}\text{N}$  procesos de ayuno y alimentación, se debe a que, bajo condiciones de ayuno o estrés nutricional, el metabolismo de los individuos empieza a trabajar de forma diferente que cuando se están alimentando. En el momento de ayuno, una gran proporción de componentes nitrogenados disponibles para la síntesis de proteínas se derivan al catabolismo y si el recurso de  $\delta^{15}\text{N}$  es enriquecido con relación a la dieta, enriquecimientos adicionales generados por el metabolismo de todo el nitrógeno deben ocurrir. Una consecuencia de este proceso pueden ser eventuales enriquecimientos de  $\delta^{15}\text{N}$  en todos los tejidos del cuerpo relativo a periodos de estrés (Swick y Benevenga, 1977 En: Hobson *et al.*, 1993).

Este enriquecimiento de  $\delta^{15}\text{N}$  que se da en los tejidos debe ser influenciado por la tasa de incorporación de los isótopos a esos tejidos. En tejidos metabólicamente activos (p. ej. hígado) se espera que muestren mayores efectos de enriquecimiento debido a estrés, que los tejidos con baja tasa de incorporación (p. ej. colágeno en hueso de adulto) (Tieszen *et al.*, 1983 En: Hobson *et al.*, 1993). Los efectos del enriquecimiento de  $\delta^{15}\text{N}$  asociados a cambios en la composición del cuerpo son particularmente relevantes, especialmente en algunas especies que

pierden masa durante el nacimiento de las crías o la crianza (Hobson *et al.*, 1993).

Para esta determinación, no se utiliza el  $\delta^{13}\text{C}$ , ya que no se encuentran evidencias de cambios en el fraccionamiento de carbono en el tejido como resultado de ayuno o estrés nutricional (Hobson y Clark, 1992). En animales, el fraccionamiento en isótopos de carbono ocurre primariamente en la respiración con pérdida preferencial de  $^{12}\text{C}$ , como  $^{12}\text{CO}_2$  durante la oxidación de grupos acetil derivados del catabolismo de lípidos, proteínas y carbohidratos (Galimov, 1985 En: Hobson *et al.*, 1993). Sin embargo, los efectos de este fraccionamiento son generalmente menos pronunciados de los que se describen para el nitrógeno (DeNiro y Epstein, 1981), ya que varios estudios no han detectado efectos de enriquecimiento para el carbono (Macko *et al.*, 1982, Stephenson *et al.*, 1984 En: Hobson *et al.*, 1993).

Las tres colonias deberían cumplir con el mismo patrón general que rige a la especie, el cual se divide básicamente en dos periodos de alimentación en el mar (hembras, uno más corto que el otro) y dos de reposo en tierra por reproducción y muda (Le Boeuf *et al.*, 2000); comportándose de la siguiente forma, los machos adultos migran hacia el norte durante la primavera y el otoño, están en tierra en julio y agosto para mudar y desde diciembre hasta marzo para reproducción. Las hembras adultas están en mar por 10 semanas durante la primavera, periodo que coincide con la gestación, antes de retornar a la colonia a dar a luz y otra vez por cerca de siete meses durante el verano y el otoño. Están en tierra en abril y mayo para mudar y en enero y febrero para reproducirse (Condit y Le Boeuf, 1984), este patrón no siempre se reflejó en las variaciones isotópicas de las vibrisas, ya que aunque son actividades generales que la especie cumple, no toda la población está en el mar o ayunando al mismo tiempo, esto depende mucho de la edad y el sexo de los individuos (Le Boeuf, 1994).

El patrón hipotético para la población de la colonia de Año Nuevo, que en el caso de este estudio estuvo representado por vibrisas de hembras, únicamente presentó un descenso en los valores de  $^{15}\text{N}$ , que ocurrió entre junio y noviembre. Si la longitud de la vibrisa representa un año o más en la vida del animal, teóricamente habría que esperar dos momentos de elevación, que coincidirían con los periodos de muda y reproducción en que los animales no se alimentan. En el caso de las hembras, estos dos procesos se sobreponen, ya que desde diciembre hasta mediados de marzo se presenta el periodo de reproducción y, desde mediados de marzo a mayo se denota el periodo de muda; al unirse ambos periodos, esto hace que solamente se genere un aumento en los valores (pico). El patrón general de  $^{15}\text{N}$  que presenta la población de Año Nuevo (Figura 11), parece mostrar coincidencia con el primer periodo de ayuno el cual representa la época reproductiva para las hembras, ya que se genera un aumento en los valores de  $^{15}\text{N}$  en los meses de febrero a abril. Mientras que en los meses de mayo a agosto, los individuos se están alimentando, lo cual coincide con una disminución en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (Figura 11), y concuerda con el patrón hipotético planteado, ya que para ese momento y hasta septiembre, las hembras adultas están realmente alimentándose en el mar. Así mismo, los individuos de esta población (Año Nuevo), presentan una segunda temporada de ayuno, la cual se ubica más o menos entre los meses de septiembre a diciembre; y de acuerdo al patrón hipotético, la temporada de reproducción de las hembras empieza desde diciembre. Por último, en el mes de enero, los valores deberían presentar un aumento, ya que hacen parte de la temporada de ayuno, pero en este caso, no se presenta tan notoriamente. Aunque el patrón general no es totalmente consistente con el patrón esperado, cabe denotar que presenta una gran similitud con el mismo.

Para el caso de los subgrupos que se formaron (Figuras 12, 13 y 14), como se mencionó anteriormente, coincidieron todos con el patrón general, pero además se denota que solamente un grupo, presentó

variación, mientras que en los demás grupos no existe variación de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre sus individuos. Esto indica, que aunque existen diferencias entre todos los individuos del grupo, al hacer el análisis por edades, no se genera ninguna variación relevante. Esto podría estar indicando que aunque todas las hembras realizan las mismas actividades, puesto que todas tienden a presentar el mismo patrón, dependiendo de su edad sus tiempos tanto de ayuno como de alimentación, pueden variar. Esta variación en clases de edades es plausible debido a que las hembras juveniles viajan más al norte, sobrepasando la distancia viajada por la mayoría de las hembras adultas y post-reproducción (Stewart y Delong, 1994).

El patrón general que presenta la población de Islas San Benito (Figura 17), es el que menos concuerda con el patrón hipotético propuesto, ya que entre los meses de abril a agosto, se genera un aumento en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , siendo este consistente con el periodo de muda. Sin embargo no resulta concordante con el periodo de reproducción (diciembre a mediados de marzo) observado en la población de Año Nuevo, sino que más bien se presenta una leve disminución de los valores, semejantes a los que se observan en el periodo de ayuno en la población del norte. Por otra parte, el periodo de alimentación, que debería verse marcado entre los meses de agosto a noviembre, solo refleja una leve disminución. Hay que tener en cuenta que no se tiene conocimiento de las edades de las hembras de esta población, por esta razón, es más difícil determinar si existen grupos definidos por alguna característica en particular.

De los dos grupos en que se dividió a la población de San Benito (figuras 18 y 19), solamente el grupo A (figura 18) indicó que no hay diferencias entre los valores, aunque es difícil determinar cual es la característica que une a los individuos de este grupo. Además, otro factor para tener en cuenta, es que hay individuos de las tres islas que conforman las Islas San Benito (Figura 4), y esto puede también generar variación extra, ya que

por la ubicación de la isla o por el tamaño poblacional de cada una, pueden igual variar los tiempos de permanencia tanto en el mar como en tierra, tiempo de salida y de llegada. Según García-Aguilar (2004), existen diferencias en la fecha media de llegada de las hembras entre las playas.

Hay que tener en cuenta además, que, en Año Nuevo las primeras hembras llegan a la playa de reproducción a mediados de diciembre (Reiter *et al.*, 1981 En: García-Aguilar, 2004), mientras que en San Benito llegan a principios de diciembre (incluso algunas hembras pueden llegar a finales de noviembre). El pico de temporada en Año Nuevo se ha reportado entre el 26 de enero y el 1 ó 2 de febrero, mientras que en San Benito ocurre el 19 de enero, una diferencia de entre 7 y 13 días (García-Aguilar, 2004).

Para el caso de la población de Isla Guadalupe, el patrón de la variación de  $\delta^{15}\text{N}$ , no concuerda con el patrón general hipotético, lo cual se explica por el hecho de que la muestra de vibrisas estuvo representada por machos. Como se ha mencionado, los machos exhiben dos temporadas de alimentación intensa, de modo que una se presenta entre abril y junio y la otra entre octubre y noviembre. Asimismo los periodos de ayuno, se presentan durante el periodo reproductivo (diciembre-mediados de marzo) y el periodo de muda (junio-septiembre) (Le Boeuf, 1994).

El patrón observado en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en los machos de Isla Guadalupe (Figura 20), inicia con un aumento en los valores en los meses de enero a abril, consistente con el patrón hipotético, ya que en estos meses se debería reflejar la temporada reproductiva en que ayunan y aumenta su metabolismo al defender territorio y realizar cópulas, donde solo habría que considerar que en esta temporada solo participan los machos en edad reproductiva (Le Boeuf *et al.*, 1989; DeLong y Stewart, 1991 En: Stewart y DeLong, 1994). La muestra de vibrisas estuvo representada por machos subadultos (2 y 4 años) y adultos (más de 8

años), lo cual puede estar ayudando a que el patrón de la población concuerde con el patrón hipotético, puesto que, son las clases de edades que están presentes en todas las actividades que refleja el patrón (época reproductiva, muda y alimentación). Aunque los requerimientos energéticos de los machos adultos excedan los de las hembras adultas, ellos gastan menos tiempo en el mar forrajeando que las hembras, 8 meses y 10 meses, respectivamente. Asimismo, la segregación temporal de sexos durante el forrajeo en el mar es mínima (Le Boeuf, 1994).

El descenso en los valores que se presenta en los meses de junio a septiembre, no coincide con la segunda época de ayuno, cuando los machos están mudando. Aunque no es muy evidente, se genera un leve aumento en los meses de noviembre a diciembre, sugiriendo que la temporada de ayuno de esta población iría de noviembre a abril. Además, el patrón de esta población (Figura 20) solo muestra un periodo de disminución de las concentraciones de  $\delta^{15}\text{N}$ , lo cual indicaría que se presenta un solo periodo de alimentación al año y no dos como lo establece el patrón hipotético, es decir se presenta una elevación de larga duración (6 meses), y no dos localizadas en diferentes momentos del año.

Con respecto a los grupos por clases de edades, los machos adultos no presentaron variaciones significativas entre los individuos, mientras que el grupo de juveniles si. Los patrones generados para ambos grupos fueron muy similares.

Para el caso de los machos juveniles (Figura 21), el patrón de variación en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  permite inferir un periodo de ayuno (septiembre a noviembre) y uno de alimentación (mayo a agosto) no tan marcados pero relativamente semejantes a los esperados en el patrón hipotético. Mientras que para el caso de los machos adultos (Figura 22), no se genera un patrón muy establecido, destacándose solamente las concentraciones más bajas (entre octubre y diciembre), concordando con el periodo de alimentación.

Aparte de la diferencia en cuanto a los tiempos de ayuno y alimentación entre hembras y machos, que se evidencia en que los machos tienen dos meses menos que las hembras para recuperar la energía perdida y ganar masa adicional antes de la siguiente temporada reproductiva (Deutsch *et al.*, 1994), hay varios aspectos que también marcan una diferencia entre los patrones de  $\delta^{15}\text{N}$  de machos y hembras.

Por ejemplo, los machos ayunan tres veces más que las hembras, pero pierden menos de un tercio de la masa específica que las hembras (Deutsch *et al.*, 1994). Además, la pérdida de masa específica diaria, es tres veces mayor en las hembras que en los machos. Esto tiene el efecto de reducir el costo metabólico de las hembras relacionado con los machos, ya que cerca del 40% de la energía perdida por las hembras durante la lactancia es utilizada para su mantenimiento y actividad metabólica, el resto es transferida a las crías en la leche (Costa *et al.*, 1986 En: Deutsch *et al.*, 1994). Por otra parte la mayoría de la energía que los machos gastan durante la temporada reproductiva, es probablemente dirigida a mantener el metabolismo, donde entre el 85 y 95% de su tiempo es destinado al descanso (Sandegren, 1976; Deutsch, 1990 En: Deutsch *et al.*, 1994).

Hay que tener en cuenta que, las diferencias en la composición de las presas entre grupos de edades, se puede deber a las diferencias en el rango de forrajeo, regulado en parte, por la variación estacional y los patrones en los lugares de descanso de acuerdo con la edad (Field *et al.*, 2007). Solamente los individuos grandes y viejos tienen la posibilidad de forrajear a mayores profundidades y capturar las presas más grandes, ya que logran bucear a profundidades mayores y por periodos más largos, dándoles acceso a especies en un rango mayor, así como de presas disponibles en su nicho de forrajeo (Jackson *et al.*, 2004; Radloff y Du Toit, 2004 En: Field *et al.*, 2007).

Dadas las evidentes diferencias en tiempos y actividad metabólica de cada sexo, se esperaría encontrar diferencias en los patrones de ayuno y alimentación entre las hembras de Año Nuevo e Islas San Benito, así como con los machos de Isla Guadalupe. De manera general y si las premisas de crecimiento de la vibrisa son ciertas, el patrón general de la variación de  $\delta^{15}\text{N}$  obtenido para la población de Isla Guadalupe, sugiere que al igual que las hembras, los machos presentan un solo periodo de intensa alimentación en los meses de verano, y no dos como se esperaba.

Como se mencionó anteriormente, hay varios factores que pueden ejercer cambios en el patrón general de  $\delta^{15}\text{N}$  a lo largo de las vibrisas de los elefantes marinos en cada una de las poblaciones. Uno de ellos, el cual debe destacarse, es la tasa de crecimiento promedio de la vibrisa que se utilizó para el análisis de esta especie, que se obtuvo del promedio de las tasas de crecimiento de vibrisas de otros dos fócidos (*Phoca vitulina* y *Halichoerus grypus*) y cuyo valor fue de 0,285 mm/día. No se puede afirmar que esta tasa se aproxime a la tasa real de crecimiento de la vibrisa de *M. angustirostris*, pero considerando lo que se sabe de otras especies de pinnípedos, las vibrisas tienden a reemplazarse totalmente en cada proceso de muda (Hobson *et al.*, 1996 En: Lewis *et al.*, 2006; Hirons *et al.*, 2001b). En las Islas San Benito al final de la primavera y principio de verano, la cantidad de vibrisas en el suelo es mucho mayor que en el invierno, lo que podría sugerir que estas mudan junto con el pelo, lo cual ocurre cada año. Otro aspecto a considerar es que la vibrisa puede tener varias tasas de crecimiento según sea la edad, donde en los juveniles crece más rápido que en los adultos, o según sea la época del año, donde por razones de alimentación y ayuno las vibrisas crezcan de distinta forma de acuerdo a este calendario. Se sabe que el mantenimiento de nitrógeno está determinado por las demandas metabólicas individuales intraespecíficas, donde tiene mayor probabilidad de ocurrir diferencias espaciales y temporales asociadas a las distintas clases de edades y sexo, los patrones migratorios, dieta etc. (Condit y Le Boeuf, 1984) o a cambios

estacionales que afectan la disponibilidad de las presas (Antonelis *et al.*, 1987). En esta y otras especies, la demanda diferencial de las actividades relacionadas con la edad y el sexo, varían según los requerimientos energéticos primarios y estructurales (p. ej. transferencia de aminoácidos a las crías o utilización en la estructuración de tejidos), que determina un manejo y balance de nitrógeno y aminoácidos que puede diferir entre categorías de edad y sexo (Houser y Crocker, 2004).

Por ejemplo, las hembras lactantes deben asumir sus propios requerimientos metabólicos y también los de sus crías por la producción de leche (Boness y Bowen, 1996 En: Houser y Crocker, 2004). Las madres de elefante marino pierden la habilidad de reponer las proteínas en ayunos progresivos. El promedio de la concentración total de aminoácidos decrece en el destete y en la lactancia de las hembras según progresa el ayuno (Houser y Crocker, 2004). Algunas de las madres de elefantes marinos, generan alternativas de compensación realizando viajes cortos al mar con cortos periodos de cuidado cerca de la costa; esto permite la compensación rápida de la hembra para incrementar la transferencia de leche a las crías (Le Boeuf *et al.*, 1989). Esta compensación rápida puede ser uno de los factores que influyen en los patrones de variación de  $\delta^{15}\text{N}$  en las hembras, tanto en los generados por clases de edades en Año Nuevo, como en los generales observados en San Benito, donde no se conoce la edad de las hembras, ni su estado o momento del periodo de lactancia, lo cual debería generar valores mas altos de nitrógeno en la sangre y en la formación de nuevas vibrisas del animal en ese momento.

Mientras que en el caso de hembras preñadas, la locación de forrajeo es comúnmente cerca del margen continental, es decir cerca del área de forrajeo de los machos, lo cual podría contribuir a una mayor ganancia de masa, en el caso de las hembras no preñadas, sus áreas de forrajeo se encuentran mas lejos de la costa. De la misma manera, las hembras preñadas migran mas lejos de la colonia que las no preñadas, aunque

siguen la misma ruta de viaje que las hembras no preñadas (Le Boeuf *et al.*, 2000). Finalmente, las hembras preñadas realizan buceos con 39% más duración que las hembras no preñadas y la duración de los intervalos superficiales es más larga en hembras no preñadas. Esto puede deberse probablemente que a las hembras preñadas les toma más tiempo alcanzar la misma profundidad que las de las hembras no preñadas (Hindell, 1990 En: Le Boeuf *et al.*, 2000).

No solo la actividad de lactancia en las hembras, genera cambios en el mantenimiento de nitrógeno, sino que también, la síntesis del pelaje, el desarrollo postnatal y el incremento de gastos energéticos asociados con la combinación de las prácticas de apareamiento, pueden incrementar la demanda de la utilización de nutrientes de reserva. Al realizar estas actividades se pueden tener diferentes demandas de nutrientes, donde existen varios controles metabólicos para balancear los requerimientos de nutrientes de esas actividades y el mantenimiento de los requerimientos energéticos del animal (Houser y Crocker, 2004).

Asimismo, se debe tener en cuenta que el tejido de individuos con una condición nutricional baja, eleva los niveles de  $\delta^{15}\text{N}$  comparado con individuos con buena condición nutricional (Hobson *et al.*, 1993). Una variabilidad en la tasa metabólica también puede conducir a una variación inter-individual en las marcas isotópicas en el tejido (Hobson y Clark, 1992; Bearhop *et al.*, 2004). Igualmente, el fraccionamiento isotópico, puede variar según el tipo de comida que se consume y si hay factores de enriquecimiento por diferencias en la dieta en la misma clase de tejido. Según, Hobson y Clark (1992) los tejidos son afectados por variaciones mayores de 2‰ para  $\delta^{15}\text{N}$  y por justo 1‰ para  $\delta^{13}\text{C}$ , así la variabilidad no solamente se da por una gran variación en la proporción sino también cuando la variación isotópica de la dieta es pequeña (Bearhop *et al.*, 2004).

Todo lo anterior, conlleva a pensar que, los patrones de nitrógeno de las tres poblaciones, aunque tienden a estar relativamente acorde con el patrón hipotético, sus diferencias dependan de diversas variables que deben ser consideradas. Esto puede ser evidenciado en el hecho, de que cada colonia esta representada por hembras o por machos y cada una de las mismas presenta grupos de edades en los cuales no hay variación, por lo que los individuos de cada grupo parecen seguir un mismo patrón, pero diferente entre grupos.

No solo hay que tener en cuenta que cada población parece alimentarse en hábitats diferentes, que seguramente tendrán influencia sobre el patrón general de cada población. Esto se debe a que, la alimentación y el tipo de presa pueden generar aumentos en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ . El consumo de cada una de las diferentes presas esta condicionado, tanto a la disponibilidad del recurso presa, como a las características isotópicas del hábitat. Además, hay que resaltar que, las locaciones de forrajeo de juveniles de elefante marino son desconocidas. Algunos estudios indican que los juveniles pueden, a diferencia de los adultos, estar alimentándose en la zona nerítica (Antonelis *et al.*, 1994), mientras que las hembras en la zona pelágica y los machos en la zona bentónica (Le Boeuf *et al.*, 2000). Por ultimo, hay que tener en cuenta que, como son organismos que tienen opciones dentro de su hábitat natural, no todos los animales se comportan de igual manera, lo cual se puede reflejar en el hecho de que no todos los elefantes marinos abandonan la colonia al mismo tiempo para alimentarse, lo que influye en la duración del tiempo de alimentación, la distancia a la que pueden llegar y por ende en los patrones de  $\delta^{15}\text{N}$  que se generan.

Resumiendo, para la población de Año Nuevo parece existir un patrón tanto en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  como de  $\delta^{13}\text{C}$  que sugieren la alternancia del ayuno y la alimentación al lo largo del año. Por otra parte se pudieron establecer grupos de edad en los que no hubo ni diferencias entre los

individuos ni entre los tres grupos de la colonia de Año Nuevo, en términos de su patrón de variación de valores  $\delta^{15}\text{N}$ .

Aunque las hembras de elefante marino de Islas San Benito, tienden a presentar el patrón general, no es tan marcado como en el caso de Año Nuevo, sin embargo reflejan de manera global los tiempos de ayuno y alimentación.

En el caso de los machos de Isla Guadalupe, se esperaba encontrar diferencias entre el patrón de variación de  $\delta^{15}\text{N}$ , con el presentado por las hembras de las otras dos localidades, pero no fue así, ya que según los gráficos, muestran la misma tendencia. Probablemente esto indique también un tiempo de alimentación intensa. Para el grupo de los machos juveniles, igual sigue presentando el mismo patrón general, mientras que los machos adultos, su patrón fue mucho más desigual.

### **6.2.2 COMPORTAMIENTO DEL CARBONO**

En el caso del carbono, se analizaron los grupos tanto de la población de Año Nuevo, como los de San Benito, dando como resultado la ausencia de variación entre los individuos de cada uno de los grupos de Año Nuevo. Esto parece indicar que cada clase de edad (juvenil, subadultos y adultos), tienen un patrón de comportamiento más o menos característico en cuanto a los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (Figuras 23, 24, 25). Además, se observa que no hay gran diferencia entre los valores máximos y mínimos, ya que la mayor variación que se genera entre las clases de edades es de 0,6‰, siendo este el resultado de la diferencia encontrada entre el valor promedio de juveniles y adultos (-15,0‰) vs edad media (-14,4‰). Esto podría indicar que, aunque la mayoría de los animales se dirigen hacia la misma área de forrajeo, algunas hembras comienzan a alimentarse más

temprano al llegar a esa área general (Le Boeuf *et al.*, 2000) o que no están compartiendo los mismos tiempos de llegada o salida de la colonia al mar. En el caso de los machos, los grupos de edades de Isla Guadalupe (Figuras 28 y 29), no presentaron variaciones significativas entre ellos, pero muestran una mayor diferencia entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de juveniles y adultos.

La variación encontrada en los valores máximos, mínimos y promedios, de juveniles y adultos de la población de Isla Guadalupe, fue de  $\sim 1,2\text{‰}$  (Tabla 5), probablemente se deba a que las presas de los machos juveniles son más diversas que las presas de los machos adultos (Hacker, 1986 En: Le Boeuf *et al.*, 2000). Esta variación podría deberse a la diferencia específica del hábitat y la migración entre los diferentes grupos, ya que, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en el tope del nivel trófico de los organismos marinos puede ser altamente variable sin que se modifique la posición trófica del animal. De ese modo, el valor isotópico representa la composición del fitoplancton en la red trófica, que es afectada por la composición isotópica de la disolución del carbono inorgánico y el fraccionamiento que ocurre durante el crecimiento de las células de las plantas. Estas diferencias isotópicas son incorporadas dentro de todos los consumidores de la red trófica (Hirons *et al.*, 2001a). Adicionalmente, los cambios simultáneos en las locaciones de forrajeo (p. ej. lejos *versus* cerca de la costa), como dentro del hábitat de forrajeo (p. ej. dieta bentónica *versus* pelágica) puede alterar la composición isotópica (Hirons *et al.*, 2001a). Ya que se conoce que los individuos más viejos y grandes, pueden capturar presas más grandes y de mayor profundidad (Field *et al.*, 2007). La heterogeneidad en la dieta y los lugares de forrajeo de estos pinnípedos, probablemente tampoco pueden preverse por este mecanismo (Hirons *et al.*, 2001a).

Todo esto lleva a pensar que las diferencias entre ambos grupos puede deberse a 1) que los animales se están alimentando en diferentes

locaciones de forrajeo, o 2) que las presas de las cuales se están alimentando son distintas.

### 6.3 DIFERENCIA MACHOS VS HEMBRAS

Solamente se analizaron dos de las tres Islas estudiadas, ya que para la población de Guadalupe, solamente se muestrearon machos y por tal razón no se pudo realizar diferenciación de sexos en esta.

Se analizaran en conjunto ambas Islas, Año Nuevo y San Benito, ya que aunque se quería determinar la variación entre sexos, solamente se contó con dos individuos machos *versus* 10 hembras en la población de Año Nuevo y con un individuo macho *versus* nueve hembras en las Islas San Benito, por tal motivo la discusión en este punto será mucho más limitada, ya que el número de individuos por cada sexo estuvo sesgado por razones logísticas. Debido a que, como este estudio tiene carácter exploratorio, en el sentido de que es la primera vez que se analizan este tipo de datos, este se ha basado en la oportunidad de obtener muestras derivadas de otros estudios, es decir investigaciones que involucraron la anestesia de animales a los cuales se les colectaron vibrisas. Este manejo de animales se ha hecho a lo largo de varios años en Año Nuevo y más recientemente en San Benito.

La tabla 6 muestra las variaciones y diferencias tanto para las concentraciones de carbono como para las de nitrógeno en ambos sexos. En el caso del  $\delta^{13}\text{C}$ , los valores oscilaron entre -13,5 y -17,4‰ en los machos y en las hembras entre -14,4 a -16,6‰, y aunque las diferencias son mínimas, de 0,4‰ se encontró que los valores son significativamente diferentes. Y aunque para el caso de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , su variación también fue muy baja, de 0,6‰, asimismo, presentaron diferencias significativas. El rango de valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en el cual oscilaron los machos estuvo entre 17,8 y 13,9‰, y en las hembras entre 19,0 a 12,4‰.

En la tabla 7, se pueden observar las diferencias entre los valores máximos y mínimos de ambos sexos. Se denota que para el caso del  $\delta^{13}\text{C}$ , si existieron diferencias entre hembras y machos, ya que mientras que los valores de las hembras oscilaron entre -14,2 y -15,8‰, el valor del macho osciló entre -13,0 y -13,6‰, significando una variación de 1‰. En cuanto al  $\delta^{15}\text{N}$ , también se presentó una variación, ya que, el rango de las hembras osciló entre 18,8 y 15,8‰, mientras que el del macho entre 19,4 y 18,0‰, equivalente a 1,6‰. Se debe aclarar que estos valores son el promedio de todas las hembras (nueve) contra un solo individuo macho.

Como se sabe los machos adultos migran más al norte y hacia el occidente en su migración post-reproductiva hasta llegar al margen continental de las islas Aleutianas y el Golfo de Alaska, mientras que las hembras se dispersan mas ampliamente en el océano abierto (Le Boeuf, 1994), las hembras cubren alrededor de 5.500 km en su ruta y los machos cerca de 11.100 km. Machos y hembras difieren en su distribución vertical y geográfica durante estas migraciones, pero la razón para la segregación es aún desconocida. Las hembras pasan en el mar cerca de la mitad del tiempo que los machos, siendo esta probablemente una explicación del porque las hembras no continúan viajando hacia el norte a las áreas donde los machos forrajean (Stewart y DeLong, 1994).

Así mismo, el tipo de presas que tanto hembras como machos capturan es diferente, ya que, las hembras capturan presas en la zona pelágica, mientras que los machos lo hacen en la zona bentónica (Le Boeuf *et al.*, 2000). Estudios de análisis estomacales, los cual solamente reflejan las presas consumidas durante los últimos días de tránsito (Helm, 1984; Harvey *et al.*, 1989 En: Le Boeuf *et al.*, 2000), sugieren que las hembras se alimentan principalmente de presas epi- y mesopelágicas, cefalópodos bioluminiscentes, y merluzas del Pacífico norte (*Merluccius productus*) en el océano abierto, mientras que los machos pueden alimentarse

oportunisticamente de estas presas mientras están en tránsito, pero su principal presa al parecer es un animal bentónico localizado a través del margen continental, posiblemente elasmobranquios y ciclóstomos (Le Boeuf *et al.*, 2000). Siendo este otro factor que puede estar interfiriendo en la variación encontrada entre las proporciones isotópicas que cada género presentó.

El tipo de buceo más común registrado para las hembras es el llamado pelágico (Le Boeuf *et al.*, 2000), que está caracterizado por descenso directo a la profundidad, con varias excursiones verticales al final del buceo y seguido por el ascenso directo a la superficie. Por su parte los machos forrajean sobre el fondo del mar para la captura de presas bentónicas. Estas presas probablemente pueden proveer energía adicional a los requerimientos de los machos, o significar un costo menor de captura (Condit y Le Boeuf, 1984).

Finalmente, otro factor que difiere entre ambos sexos es la manera de migrar y el comportamiento de forrajeo, donde las hembras no se mueven directamente a un sitio de alimentación, ni permanecen allí por largos periodos de tiempo como lo hacen los machos que permanecen cerca del margen continental alimentándose en muchos sitios a lo largo de la ruta migratoria. Asimismo, los machos difieren de las hembras en la permanencia que cada uno realiza en las áreas focales de forrajeo, ya que, las hembras tienen numerosas áreas de corta duración con un amplio rango, ocupando una amplia área geográfica. Además, para algunas hembras, estas áreas de forrajeo se concentraron en uno o dos puntos de áreas generales, pero incluso en estas, las hembras van y vuelven en tránsito de una a otra área forrajeando. Mientras que para el caso de los machos, ellos tienen solamente una área focal de forrajeo, en la cual permanecen la mayor parte del tiempo. Y en el momento de ir a esta área, no forrajean en otros puntos de áreas generales (Le Boeuf *et al.*, 2000).

Los machos tienden a encontrar su destino rápidamente y no se distraen en la búsqueda de presas durante su viaje, no variando la profundidad de sus buceos de tránsito. Una vez el macho ha encontrado su destino final, su comportamiento cambia abruptamente, ya que entonces concentran el 45% de su tiempo en pequeñas áreas geográficas, abandonándolas hasta que llega el momento de volver a la colonia a reproducirse o mudar. Las hembras por su parte, salen de la colonia alimentándose en varias direcciones durante su ruta migratoria, teniendo trayectorias inter-individuales ampliamente variables. Las hembras viajan en el océano abierto sobre el agua profunda, con frecuencia cambiando abrupta e impredeciblemente la dirección de los momentos de buceo en los últimos tres días (Le Boeuf *et al.*, 2000).

Ambos sexos interrumpen su forrajeo en el mar para migrar a la colonia terrestre tradicional para mudar y reproducirse. No se puede especificar directamente lo que la especie captura, la cantidad consumida y la manera en la cual el elefante marino del norte caza a su presa, datos de varias fuentes proveen una fuente lógica para inferir cuando y donde ocurre la acción de forrajeo y la categoría general de la presa consumida. La masa ganada por los machos y las hembras, sugiere que las presas de los machos son más nutritivas o más abundantes que las presas de las hembras. Los grandes requerimientos alimenticios de los machos demandan que en las áreas en las que ellos forrajean, encuentran presas que son densas, grandes, o de elevada calidad (Le Boeuf 1974, Haley *et al.*, 1994 En: Le Boeuf *et al.*, 2000). Machos y hembras están claramente diferenciados por sus estrategias de forrajeo.

Aunque hay evidencia de las diferencias en cuanto a comportamiento de forrajeo, patrones de migración, presas de las cuales se están alimentando cada sexo y requerimientos alimenticios entre hembras y machos del elefante marino, no se puede confirmar, ya que no hay la

suficiente cantidad de muestras de machos para corroborar esta hipótesis, puesto que en la población de Año Nuevo, solamente se muestrearon dos machos contra 10 hembras, y para el segundo caso San Benito, solamente se muestro un machos contra nueve hembras.

## 7. CONCLUSIONES

- ⊙ Existen diferencias en las proporciones isotópicas de carbono y nitrógeno de las vibrisas en hembras de elefante marino que pertenecen a Isla Año Nuevo, California e Islas San Benito, México.
- ⊙ Cada población presentó un patrón de concentraciones de  $\delta^{15}\text{N}$  distintivo, reflejado en la variación estacional donde se pueden intuir los periodos de migración alimentaria y de ayuno.
- ⊙ La población de hembras de Año Nuevo, presentó una variación isotópica de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  proponiendo, un periodo de ayuno de septiembre a noviembre el cual posiblemente representa la época de reproducción, y de febrero a abril representando el periodo de muda, sobreponiéndose ambos periodos. Mientras que de mayo a agosto se presume se están alimentando.
- ⊙ Por otra parte, la variación isotópica de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de la población de hembras de Islas San Benito, presenta un periodo de ayuno entre abril y agosto el cual posiblemente representa el periodo de muda. Sin embargo los periodos de reproducción y alimentación no se distinguieron claramente.
- ⊙ La variación isotópica de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en vibrisas de machos de Isla Guadalupe, sugiere un periodo de ayuno de noviembre a abril consistente con la época reproductiva. Mientras que el periodo de alimentación se presentó entre junio a septiembre, época en la cual se presume deberían estar mudando.

- © Parecen existir diferencias entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en vibrisas de hembras y machos de Año Nuevo, como en la población de Islas San Benito.

## 8. RECOMENDACIONES

- Para tener una mejor representación de la variación isotópica tanto de carbono como de nitrógeno en las vibrisas de elefante marino, es importante tener la vibrisa desde su raíz y no cortarla, para evitar pérdida de información.
- Establecer valores de tasa de crecimiento específicos para *Mirounga angustirostris* con el fin de desarrollar patrones de variación isotópica en el tiempo más precisos.
- Tratar de igualar los tamaños de muestra entre sexos dentro de una misma población para determinar con mayor precisión las diferencias entre ambos sexos.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

ANTONELIS, G. y FISCUS, C. Pinnipeds of the California current. En: CalCOFI Rep., Vol.XXI, (1980); p. 68-78.

ANTONELIS, G., LOWRY, M., DEMASTER, D., y FISCUS, C. Assessing northern elephant seal feeding habits by stomach lavage. En: Marine mammal science, Vol. 3 No. 4 (octubre, 1987), pp. 308 - 322.

ANTONELIS, G., LOWRY, M., FISCUS, C., STEWART, B., y DELONG, R. Diet of the northern elephant seal. En: Le Boeuf, B y Laws, R. Elephant Seals. Population ecology, Behavior, and Physiology. California: University of California Press, 1994. p. 211-223.

AURIOLES, D., KOCH, P., y LE BOEUF, B. Differences in foraging location of Mexican and California elephant seals: evidence from stable isotopes in pups. En: Marine Mammal Science. Vol 22, No. 2 (abril, 2006); p. 326–338.

BEARHOP, S., ADAMS, C., WALDRON, S., FULLER, R., y MACLEOD, H. Determining trophic niche width: A novel approach using stable isotope analysis. En: Journal of Animal Ecology. Vol. 73 (2004); p. 1007–1012.

BRADSHAW, C., HINDELL, M., SUMNER, M., y MICHAEL, K. Loyalty pays: potential life history consequences of fidelity to marine foraging regions by southern elephant seals. En: Animal Behaviour, Vol. 68 (noviembre, 2004), pp. 1349–1360. doi:10.1016/j.anbehav.2003.12.013

BURTON, K., y KOCH, P. Isotopic tracking of foraging and long-distance migration in northeastern Pacific pinnipeds. En: Oecologia. Vol 199, No. 4 (junio, 1999); p. 578-585. 0029-8549 (Print) 1432-1939 (Online).

CAMACHO, F. Estructura alimentaria y posición trófica de dos especies de otáridos *Zalophus californianus* y *Arctocephalus townsendi*, en las Islas San Benito, B. C. México. La Paz, B.C.S., México, 2004, 96p. Tesis de grado para optar por el Título Maestro en Ciencias con especialidad en Manejo de Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

CASTRO, R., MASCARENHAS, A., SÁNCHEZ-BARBA, A., DURAZO, R., y GIL-SILVA, E. Condiciones meteorológicas en el sur de Isla Guadalupe, Baja California. En: SANTOS DEL PRADO, K. y Peters, E. Isla Guadalupe. Restauración y Conservación. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 2005. p.27.

CONDIT, R., y LE BOEUF, B. Feeding Habits and Feeding Grounds of the Northern Elephant Seal. En: Journal of Mammalogy, Vol. 65, No. 2. (mayo, 1984), pp. 281-290.

CULLEN, J., ROSENTHAL, Y. y FALKOWSKI, P. The effect of anthropogenic CO<sub>2</sub> on the carbon isotope composition of marine Phytoplankton. En: Limnol. Oceanogr. Vol. 46(4) (2001); p. 996–998

DARIMONT, C. y REIMCHEN, T. Intra-hair stable isotope analysis implies seasonal shift to salmon in Gray wolf diet. En: Can J Zool. Vol. 80 (2002); p. 1638–1642.

DENIRO, M. y EPSTEIN, S. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. En: Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol 45, No. 3 (marzo,1981);p.341-351.

DESCOLAS-GROS, C. y FONTUGNE, M. Stable carbon isotope fractionation by marine phytoplankton during photosynthesis. En: Plant, Cell Environ. Vol. 13 (1990); p. 207-218.

DEUTSCH, C., CROCKER, D., COSTA, D., y LEBOEUF, B. Sex- and age-related variation in reproductive effort of northern elephant seals. En: Le Boeuf, B y Laws, R. Elephant Seals. Population ecology, Behavior, and Physiology. California: University of California Press, 1994. p. 290-309.

FIELD, I., BRADSHAW, C., VAN DEN HOFF, J., BURTON, H., y HINDELL, M. Age-related shifts in the diet composition of southern elephant seals expand overall foraging niche. En: Mar Biol. Vol. 150 (2007), pp.1441–1452.

FRANCE, R. y PETERS, R. Ecosystem differences in the trophic enrichment of  $^{13}\text{C}$  in aquatic food webs. En: Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol 54 (junio, 1997); p. 1255-1258.

GARCIA-AGUILAR, M. C. Demografía y Ecología de la conducta del elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*) en las Islas San Benito, México, 2004, 139p. Tesis de grado para optar por el Título Doctor en Ciencias con especialidad en Ecología Marina. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

GARCIA-AGUILAR, M. C., y MORALES-BOJÓRQUEZ, E. Estimating the haul-out population size of a colony of northern elephant seals *Mirounga angustirostris* in Mexico, based on mark-recapture data. En: Mar Ecol Prog Ser. Vol. 297 (agosto, 2005); p. 297–302.

GARCÍA-GUTIÉRREZ, C., HINOJOSA-CORONA, A., FRANCO-VIAZCAÍNO E., RIGGAN, P., BOCCO, G., LUNA-MENDOZA, L., AGUIRRE-MUÑOZ, A., MAYTORENA-LÓPEZ, J., KEITT, B., TERSHY, B., RODRÍGUEZ-MALAGÓN, M., y BIAVASCHI, N. Cartografía base para la conservación de Isla Guadalupe, B. C., México. Avances, perspectivas y necesidades. En: SANTOS DEL PRADO, K. y PETERS, E. Isla Guadalupe. Restauración y

Conservación. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 2005. p.19.

GREAVES, D., HAMMILL, K., JIM, E., DARCY P., y JASON, S. Growth rate shedding of vibrissae in the grey seal, *Halichoerus grypus*. A Cautionary Note for Stable Isotope Diet Analysis. En: Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. (15<sup>vo</sup>: 2003: Greensboro, North Carolina, USA). Memories of 15<sup>th</sup> Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Greensboro, North Carolina, USA, 2003. p. 63.

HALL-ASPLAND, A., ROGERS, T., y CANFIELD, R. Stable carbon and nitrogen isotope analysis reveals seasonal variation in the diet of leopard seals. En: Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 305 (diciembre, 2005); p. 249–259.

HIRONS, A., SCHELL, D. y AUBIN, D. Growth rates of vibrissae of harbor seals (*Phoca vitulina*) and Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*). En: Can. J. Zool. Vol. 79 (marzo, 2001a); p. 1053–1061.

HIRONS, A., SCHELL, S. y BRUCE F. Temporal records of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in North Pacific Pinnipeds: Inferences regarding environmental change and diet. En: Oecologia. Vol. 129 (agosto, 2001b); p. 591–601. DOI 10.1007/s004420100756

HOBSON, K., y CLARK, R. Assessing Avian Diets Using Stable Isotopes I: Turnover of  $^{13}\text{C}$  in Tissues. *The Condor*, Vol. 94, No. 1. (febrero, 1992); p. 181-188.

HOBSON, K., ALISAUSKAS, R., y CLARK, R. Stable-Nitrogen Isotope Enrichment in Avian Tissues Due to Fasting and Nutritional Stress: Implications for Isotopic Analyses of Diet. *The Condor*, Vol. 95, No. 2 (mayo, 1993); p. 388-394.

HOBSON, K. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia*, Vol.120, (1999); p. 314–326.

HOUSER, D., y CROCKER, D. Age, Sex, Reproductive State Influence Free Amino Acid concentration in the Fasting Elephant Seal. En: *Physiological and Biochemical Zoology*. Vol. 77 (5) (2004); p. 838–846.

KING, J. E. Seals of the world. Second ed. Ithaca, New York: Comstock Publishing Associates, 1983. 240 pp.

KURLE, C. Stable-isotope ratios of blood components from captive northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) and their diet: applications for studying the foraging ecology of wild otariids. En: *Can. J. Zool.* Vol. 80 (abril, 2002); p. 902–909.

KURLE, C. y WORTHY, G. Stable nitrogen and carbon isotope ratios in multiple tissues of the northern fur seal *Callorhinus ursinus*: implications for dietary and migratory reconstructions. En: *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 236 (julio, 2002); p. 289–300.

LE BOEUF, B., y BONNELL, M. Pinnipeds of the California Channel Islands: abundance and distribution. POWER, D. *The California Islands*. Santa Barbara Museum of Natural History, 1980. p. 475-493.

LE BOEUF, B., CONDIT, R., y REITER, J. Parental investment and the secondary sex ratio in northern elephant seals. En: *Behav Ecol Sociobiol.* Vol. 25 (mayo, 1989); p. 109-117.

LE BOUEF, B. Variation in the diving pattern of northern elephant seals with age, mass, sex and reproductive condition. En: Le Boeuf, B y Laws, R. *Elephant Seals. Population ecology, Behavior, and Physiology*. California: University of California Press, 1994. p. 290-309.

LE BOEUF, B., CROCKER, D., COSTA, D., BLACKWELL, S., WEBB, P. y HOUSER, D. Foraging ecology of Northern Elephant Seals. En: Ecological Monographs. Vol. 70, No. 3 (junio, 2000); p. 353–382.

LEWIS, R., O'CONNELL, T., LEWIS, M., CAMPAGNA, C., y HOELZEL, R. Sex-specific foraging strategies and resource partitioning in the southern elephant seal (*Mirounga leonina*). En: Proc. R. Soc. B. Vol. 273 (agosto, 2006), pp. 2901–2907. doi:10.1098/rspb.2006.3642.

MATHEWS, C., VAN HOLDE, K. y AHERN, K. Biochemistry. San Francisco, Ca.: Addison Wesley Longman, Inc. 1999. 1186pp.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). National Ocean Service. Monterey Bay National Marine Sanctuary Kelp Management Report. Background, Environmental Settings, and Recommendations (Final Release) [en línea].

<http://bonita.mbnms.nos.noaa.gov/research/techreports/kelpreportfinal/ke lp20.html>. [Citado en 14 de agosto de 2000].

OBERBAUER, T. La vegetación de Isla Guadalupe. Entonces y ahora. En: SANTOS DEL PRADO, K. y PETERS, E. Isla Guadalupe. Restauración y Conservación. Mexico: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 2005. p. 39.

ORR, R. y POULTER, T. The pinnipeds population of Año Nuevo Island, California. En: Proceeding of the California Academy of Sciences. Vol. 32 (1965); p.377-404.

PORRAS - PETERS, H. Nivel, amplitud y superposición trófica de las colonias de lobo marino *Zalophus californianus* del Golfo de California, México. La Paz, B.C.S., México, 2004, 60p. Tesis de grado para optar por

el Título Maestro en Ciencias con especialidad en Manejo de Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

RAU G., MEARNs A., YOUNG D., OLSON R., SCHAFER H., y KAPLAN I. Animal  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  correlates with trophic level in pelagic food webs. En: Ecology. Vol. 64 (5) (octubre, 1983); p. 1314-1318.

REBMAN, J., OBERBAUER, T., y LEÓN DE LA LUZ, J. Capítulo 5. La flora de Isla Guadalupe y sus islotes adyacentes, Baja California, México. En: SANTOS DEL PRADO, K. y PETERS, E. Isla Guadalupe. Restauración y Conservación. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 2005. p.67.

SANTIAGO, L., SILVERA, K., ANDRADE, J., y DAWSON, T. El Uso de Isótopos Estables en Biología Tropical. En: Interciencia. Vol. 30, N. 009. (septiembre, 2005); p. 536-542.

SCHEFFER, V. Seals, Sea Lions and Walruses. A review of the Pinnipedia. California: Stanford University Press, 1958. 179 pp.

STEWART, B. y HUBER, H. *Mirounga angustirostris*. Mammalian Species. En: The American Society of Mammalogists N° 449 (noviembre, 1993); p. 1-10.

STEWART, B. y DELONG, R. Postbreeding foraging migrations of northern elephant seals. En: LE BOEUF, B y LAWS, R. Elephant Seals. Population ecology, Behavior, and Physiology. California: University of California Press, 1994. p. 290-309.

STEWART, B., YOCHEM, P., HARRIET, H., DELONG, R., JAMESON, R., SYDEMAN, W., ALLEN, S., y LE BOEUF, B. History and Present Status of

the Northern Elephant Seal Population. En: LE BOEUF B. J. y R. M. LAWS. Elephant seals. Population ecology, behavior and physiology. United State of America: University of California Press, 1994. p.31, 414.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM). Instituto de Geografía. Atlas Nacional de México / Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. 19<sup>va</sup> edición. México: La Universidad, 1990. Volumen 3; 62 cm.

VANDER ZANDEN, M., SHUTER, B., LESTER, N., y RASMUSSEN, J. Patterns of Food Chain Length in Lakes: A Stable Isotope Study. En: The American Naturalist. Vol. 154 (1999); p. 406–416.

WOLF, S., PHILLIPS, C., ZEPEDA-DOMINGUEZ, J.A., ALBORES-BARAJAS, Y. y MARTIN, P. Breeding biology of Xantus's Murrelet at the San Benito Islands, Baja California, Mexico. En: Marine Ornithology. Vol 33 (enero, 2005); p. 123–129.

YOSHII, K., MELNIK, N., TIMOSHKIN O., BONDARENKO, N., ANOSHKO, P., YOSHIOKA, T. y WADA, E. Stable isotope analyses of the pelagic food web in Lake Baikal. En: Limnol. Oceanogr. Vol. 44 (1999); p.502-511.

ZHAO, L., y SCHELL, D. Stable isotope ratios in harbor seal *Phoca vitulina* vibrissae: effects of growth patterns on ecological records. En: Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 281 (noviembre, 2004); p. 267–273.