



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS**

**MARINAS**

**HISTORIA TROFICA POR EDAD Y SEXO DEL LOBO  
MARINO DE CALIFORNIA *Zalophus californianus*  
UTILIZANDO LAS RAZONES ISOTÓPICAS  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  Y  
 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  EN COLÁGENO DE DIENTES.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

**PRESENTA:**

**MARISA GONZÁLEZ RODRÍGUEZ**

**LA PAZ, B.C.S., MÉXICO**

**JUNIO 2002**

**Historia trófica por edad y sexo del lobo marino de California**  
***Zalophus californianus* utilizando las razones isotópicas  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  y**  
 **$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  en colágeno de dientes**

**Marisa González Rodríguez**

## RESUMEN

Se evaluaron razones isotópicas  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  (en adelante  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) en colágeno de dientes de machos y hembras de *Zalophus c. californianus* para estimar la posición y amplitud trófica en 45 cráneos: 18 juveniles, 25 subadultos y 18 adultos de Isla Lobos, BC. México. Se plantearon las hipótesis nulas siguientes: a) no existen diferencias significativas en la posición trófica entre los diferentes grupos de edad del lobo marino de California y, b) no existen diferencias en la posición trófica entre hembras y machos adultos.

Se extrajo un canino superior para estimar la edad y cuantificar las razones isotópicas. Posteriormente, a la matriz dentaria se le eliminaron químicamente los carbonatos de la dentina, dejando solo el carbono de origen orgánico. Las mediciones isotópicas se realizaron con un espectrómetro de masas para obtener los valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de cada diente, con una precisión promedio de 0.05‰. Basados en la premisa que en mamíferos marinos se presenta un enriquecimiento aproximado de 1‰ para el  $\delta^{13}\text{C}$  y de 3‰ para el  $\delta^{15}\text{N}$  a lo largo de su ciclo de vida. En este estudio se encontraron variaciones de 1 a 2 ‰ para el  $\delta^{13}\text{C}$  y solo de 1‰ para el  $\delta^{15}\text{N}$ . Los intervalos de valores en la muestra (juveniles, subadultos, adultos) fueron de -18.39 a -10.89‰ para el  $\delta^{13}\text{C}$  y de 18.75 a 24.6 ‰ para el  $\delta^{15}\text{N}$ . La relación  $^{13}\text{C}$  vs.  $^{15}\text{N}$  fue lineal ( $r = 0.6$ ), pero sin señalar grupos discretos asociados a la edad y el sexo. Los juveniles de ambos sexos mostraron mayor dispersión de valores para ambos isótopos, que se explica por el cambio de destete a la alimentación alóctona y a una baja selectividad de presas. Los valores medios entre hembras y machos adultos no fueron significativamente distintos (ANOVA – Tukey). Los valores  $\delta^{15}\text{N}$  de toda la muestra produjeron una distribución normal, con un 65% de la muestra entre 21.5 y 22.0‰, sugiriendo que la mayoría de individuos compartieron un mismo nivel trófico. Los valores  $\delta^{13}\text{C}$ , tuvieron una distribución más amplia, encontrándose el 82% de la muestra que incluyen valores de -16.0 a -11.0‰, sugiriendo una diversidad de presas relativamente amplia aunque con un nivel trófico similar. Los resultados sugieren no rechazar las hipótesis nulas planteadas.

## ABSTRACT

$\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isotopic ratios were evaluated in tooth collagen of *Zalophus c. californianus* males and females of various ages, using a series of 45 skulls: 18 juveniles, 25 subadults and 18 adults from Isla Lobos, B.C. The following null hypothesis were proposed: a) there are no significant differences in the trophic level between the different age groups of the California sea lion and, b) there are no differences in the trophic level between female and male adults. An upper canine was removed to estimate age and obtain a dentine sample. Subsequently, the dentine carbonates were chemically eliminated leaving only the organic carbon. The isotopic measurements were done with a mass spectrometer to obtain the isotopic values of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of each tooth (average precision of 0.05 ‰). Based in the premise that in marine mammals an enrichment of 1‰ is present for the  $\delta^{13}\text{C}$  and of approximately 3‰ for the  $\delta^{15}\text{N}$  throughout their life cycle, we found in this study variations of 1 to 2‰ for  $\delta^{13}\text{C}$  and only 1‰ for  $\delta^{15}\text{N}$ . The value intervals in the whole sample (juveniles, subadults, adults) were of  $-18.39$  to  $-10.89$ ‰ for the  $\delta^{13}\text{C}$  and of 18.75 to 24.6‰ for  $\delta^{15}\text{N}$ . The relation  $^{13}\text{C}$  vs.  $^{15}\text{N}$  was lineal ( $r = 0.6$ ), but without clear discrete groups associated to age and sex. The juveniles of both sexes showed a major dispersion of values for both isotopes, which is explained by the change of weaning to free – ranging feeding and because low selectivity of preys. The mean values among female and male adults were not significantly different (ANOVA – Tukey). The  $\delta^{15}\text{N}$  values of the total sample, produced a normal distribution, with 65% of the cases between 21.5 and 22.0‰, suggesting that most of the individuals shared in the same trophic level. The  $\delta^{13}\text{C}$  values, had a wider distribution, with 82% of the sample between  $-16.0$  to  $-11.0$ ‰, suggesting relative diversity of preys.

# TABLA DE CONTENIDO

<b><u>RESUMEN</u></b> .....	<b>ii</b>
<b><u>ABSTRACT</u></b> .....	<b>iii</b>
<b><u>LISTA DE FIGURAS</u></b> .....	<b>vi</b>
<b><u>LISTA DE TABLAS</u></b> .....	<b>viii</b>
<b><u>GLOSARIO</u></b> .....	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Justificación .....	5
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
2.1 Objetivo general .....	8
2.2 Objetivos particulares .....	8
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>9</b>
3.1 Área de estudio .....	9
3.2 Clasificación por sexo de la muestra .....	10
3.3 Determinación de edad .....	11
3.4 Digestión de la muestra .....	12
3.5 Análisis isotópico .....	14
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>16</b>
4.1 Edad y sexo de los cráneos de lobo marino de California .....	16
4.2 Análisis general de los datos .....	17
4.3 Análisis por edad y sexo .....	21
4.4 Análisis de la submuestra (dientes fraccionados) .....	22
4.5 Análisis de la muestra no seccionada (dientes completos) .....	25
4.6 Análisis de categorías (juveniles y subadultos) por intervalos de edad .....	26
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	<b>31</b>
5.1 Análisis $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la muestra por categorías de edad .....	31
5.2 $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en muestras no seccionadas (dientes completos) vs. muestras seccionadas (dientes divididos por categorías de edad) .....	31
5.3 Hábitos alimentarios y presas principales del lobo marino de California .....	32
5.4 Presas del lobo marino de California (Equivalentes ecológicos) .....	34
5.5 $\delta^{15}\text{N}$ encontrados en este estudio vs otros pinnípedos. ....	35
5.6 Comparación de valores isotópicos con otras especies de pinnípedos .....	39

<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>7. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>43</b>
Literatura Citada .....	44
<b>Anexo 1.....</b>	<b>48</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localización del área de estudio.
- Figura 2.** Diagrama de flujo de la metodología general.
- Figura 3.** Caracterización de la muestra por categorías de edad y sexo.
- Figura 4.** Distribución de la muestra en colágeno de dientes de lobo marino de Isla Lobos, B.C.
- Figura 5a.** Distribución de frecuencias  $\delta^{13}\text{C}$  de la muestra.
- Figura 5b.** Distribución de frecuencias  $\delta^{15}\text{N}$  de la muestra.
- Figura 6.** Valores promedio  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  de dientes de las categorías (juveniles, subadultos y adultos) de ambos sexos.
- Figura 7.** Promedio  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  de dientes de machos (JM machos juveniles, MSA machos subadultos, MA machos adultos).
- Figura 8.** Promedio  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  para las categorías encontradas en hembras.
- Figura 9.** Corte longitudinal de diente canino dividido en categorías de edad.
- Figura 10a.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{13}\text{C}$  de dientes de hembras agrupados por categorías de edad (muestra fraccionada).
- Figura 10b.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{15}\text{N}$  de dientes de hembras agrupados por categorías de edad (muestra fraccionada).
- Figura 11a.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{13}\text{C}$  de dientes seccionados de machos.
- Figura 11b.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{15}\text{N}$  de dientes seccionados de machos.
- Figura 12a.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{15}\text{N}$  de dientes no seccionados para cada categoría de edad.
- Figura 12b.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{13}\text{C}$  de dientes no seccionados para cada categoría de edad.
- Figura 13a.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{13}\text{C}$  de dientes de machos subadultos.
- Figura 13b.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{15}\text{N}$  de dientes de machos subadultos.

**Figura 14a.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{13}\text{C}$  de dientes de juveniles ( y ) agrupados por edades.

**Figura 14b.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{15}\text{N}$  de dientes de juveniles ( y ) agrupados por edades.

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.-** Características distintivas (entre sexos) de la especie *Zalophus californianus*.
- Tabla 2.-** Medidas tomadas al diente canino superior para determinar el sexo de individuos de la especie *Z. californianus*.
- Tabla 3.-** Intervalo de valores  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  encontrados en las categorías de edad de *Z. californianus*.
- Tabla 4.-** Valores promedio  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  reportados en este estudio en machos juveniles y hembras adultas (muestra seccionada y no seccionada) para *Z. californianus*.
- Tabla 5.-** Comparación del espectro y nivel trófico de las presas principales del lobo marino de California en Isla Lobos, Baja California e Isla San Nicolás, California.
- Tabla 6.-** Valores promedio  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  reportados en este estudio para *Zalophus californianus* en California vs. los encontrados por Burton y Koch, 1999 en la costa californiana.
- Tabla 7.-** Valores  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  reportados en músculo de pinnípedos en Alaska (Hobson, *et al*, 1997).
- Tabla 8.-** Valores  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  reportados en un estudio realizado con dientes (Walker y Macko, 1999).
- Tabla 9.-** Valores  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  encontrados en un estudio realizado utilizando colágeno de hueso de pinnípedos en el noreste del Pacífico (Burton y Koch, 1999).

## GLOSARIO

**Canino:** Uno de los cuatro tipos de dientes básicos característicos de los mamíferos. Se encuentra en la parte anterior del maxilar y del dentario. Es de aspecto alargado, unicúspido y con una sola raíz. Solo hay uno por hueso maxilar o dentario.

**Cemento:** Sustancia esponjosa mas o menos blanda de constitución semejante a la del hueso. Se encuentra recubriendo la raíz del diente y su función es fijar las raíces de los dientes en el alvéolo.

**Colágeno:** Escleroproteína que constituye las fibras intercelulares, las fibras blancas del tejido conjuntivo de los vertebrados. Una de las principales sustancias esqueléticas que unen células y tejidos. Identificable por un aminoácido peculiar, la hidroxiprolina, que apenas se encuentra en otras partes de organismos animales.

**Corona:** Región del diente que se encuentra mas alejada de la raíz, que sobresale de la encía y que limita la porción superior del cuello. Entra en contacto con los dientes opuestos en la oclusión.

**Cresta sagital:** Pliegue que se extiende a lo largo de la línea media dorsal de la porción posterior de la caja craneana. Tiene una extensión variable y en un grado mayor o menor se localiza en los huesos occipital, interparietal y parietales. Es prominente en los mamíferos que necesitan de una amplia superficie para la inserción de los músculos temporales fuertes, que se relacionan con el tipo de alimentación, como por ejemplo los carnívoros.

**Dentina:** Principal componente de los dientes de consistencia dura, constituido por hidroxipatita, con un contenido alto de fibra orgánica. La dentina es de estructura similar a la del hueso pero sin células, aunque penetran en ella prolongaciones de las células de la cavidad pulpar del diente. El marfil es dentina.

**Dimorfismo sexual :**Conjunto de caracteres fenotípicos, que presentan varias especies de animales con los cuales se puede distinguir a la hembra del macho.

**Diversidad biológica:** Es la variedad y variabilidad de los organismos vivientes y de los complejos ecológicos en los que existen.

**Diversidad de especies:** Es la variedad de formas de vida reconocibles en una comunidad, también se le conoce como riqueza de especies.

**Esmalte:** Capa más externa de la corona dentaria. Químicamente esta constituida por elementos calcáreos embebidos en una matriz orgánica y se caracteriza por ser de una mayor dureza que la dentina.

**Equivalentes ecológicos:** Especies no relacionadas, que desempeñan papeles ecológicos semejantes en comunidades diferentes.

**Espectrómetro de masas:** Clasifica los iones de acuerdo a sus masas. Determina los tipos de isótopos presentes en un elemento, sus masas atómicas (peso molecular) y la cantidad relativa de cada isótopo.

**Estructuras de grabación:** Partes de organismos en donde de forma natural se producen marcas cada determinado tiempo.

**Grupos de edad:** Organismos considerados dentro de un rango de edad determinada, puede ser absoluta, un año, año y medio, dos años etc. o relativa ya sea designada por números, edad 1, 2, 3, etc., por letras, edad a, b, c etc., o por nombres crías, juveniles, subadultos, adultos, etc.

**Historia de vida:** Características significativas del ciclo de vida de un organismo, con referencia particular a las estrategias que influyen a la supervivencia y reproducción

**Isótopo:** Nombre que se le da a los átomos de un mismo elemento químico que no se distinguen más que por las masas de sus núcleos.

**Líneas de crecimiento dental:** Elementos que conforman los estratos anuales de dentina y cemento en las piezas dentarias.

**Nivel trófico:** Es un nivel de alimentación y se dice que los organismos que comparten los mismos recursos alimenticios y que obtienen su alimento a través del mismo numero de pasos en una cadena alimenticia, se encuentran en el mismo nivel trófico.

**Otolito:** Estructura en forma de placa calcárea que existe en el oído interno de varios vertebrados, constituida por carbonato de calcio y otolina. Estas estructuras están en contacto con prolongaciones de las células sensitivas que comunican con el cerebro por medio de los nervios.

**Variación intrapoblacional:** Es la variación existente entre organismos de una misma población. Dentro de esta quedan incluidas la variación en relación con la edad, dimorfismo sexual, variación individual, variación estacional (pelaje por ejemplo), malformaciones etc.

***Variación Interpoblacional:*** Se llama variación interpoblacional a la ocurrencia de diferencias entre poblaciones de una especie espacialmente separadas. Determina la distribución espacial de la variación.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Generalidades

Los lobos marinos comunes y finos forman la familia de los pinnípedos conocida como Otariidae los cuales tienen una historia de vida semejante y homogénea (Bonner, 1984; Trillmich, 1990). Se encuentran desde áreas subpolares hasta tropicales del Océano Pacífico, aunque en los océanos Atlántico e Indico sólo se encuentran en el hemisferio sur y no llegan a latitudes muy australes (King, 1983; Auriolles-Gamboa, 1982; 1988). Su sistema de apareamiento es poligínico, y como en otras especies, se encuentra asociado a un marcado dimorfismo sexual (Boness, 1991).

Las hembras son más pequeñas que los machos desde el nacimiento y a partir de ese momento el dimorfismo sexual se acentúa hasta que, en general, los machos llegan a ser tres veces más pesados que las hembras. Cada año, pocos días después de haber arribado a la colonia en la época reproductiva, las hembras gestantes dan a luz a una sola cría. Durante la lactancia, las madres se dirigen hacia el mar para alimentarse alternándolos con periodos de amamantamiento a sus críos en tierra (Trillmich, 1990; Bowen, 1991; Costa, 1991; Luque-Flores, 1999). Las crías no pueden alimentarse por si solas durante los primeros meses de vida y toda la energía que utilizan durante este tiempo proviene exclusivamente de la leche de sus madres (Bowen, 1991). Entre el tercero y octavo mes de vida, una vez que han alcanzado un tamaño apropiado y han aprendido a nadar y bucear (Horning y Trillmich, 1997), las crías empiezan a ingerir alimento sólido por ellas mismas pero pueden seguir mamando durante un tiempo más (Costa 1991; Kovacs y Lavigne, 1992).

Determinar los hábitos alimentarios y la posición trófica de una especie relevante desde el punto de vista económico y ecológico como el lobo marino de California *Zalophus californianus* (Aurioles-Gamboa, *et al.*, en elaboración), es importante realizar estos estudios ya que en función de este conocimiento biológico es posible tomar decisiones de manejo adecuadas.

Estas decisiones varían desde el lugar y número de animales a capturar para su venta al extranjero (Aurioles-Gamboa com. personal), hasta definir estrategias de manejo cuando pescadores y lobos marinos entran en conflicto o cuando el turismo llega a ser una amenaza para algunas poblaciones (Aurioles-Gamboa y Zavala-González, 1994).

La dieta de los pinnípedos ha sido descrita basada en las presas encontradas dentro del contenido del estómago o colon, materia fecal o vómito (Imter y Sorber 1947; Spalding 1964; Fiscus y Baines 1966; Pitcher 1980; Brown y Mate 1983; Aguilar-Rodríguez, 1998).

El número e identificación de las presas se realiza a través de la cuantificación e identificación de partes duras como picos de cefalópodos y otolitos. Los otolitos son estructuras que forman parte del oído interno de los peces, y están constituidas por carbonato de calcio y una proteína llamada otolina. Este método trae consigo algunas desventajas ya que en ocasiones los ácidos gástricos provocan un desgaste a las estructuras (otolitos) evitando que sean de fácil identificación.

Otra desventaja es que durante la colecta de excretas no es posible definir ni el sexo ni la edad del organismo que la depositó.

## **1.2 Antecedentes**

Los estudios de los hábitos alimentarios del lobo marino de California a lo largo de su distribución geográfica, han mostrado que a pesar de que su alimento está constituido por

una gran diversidad de especies, pocas son las que representan, al menos numéricamente, la mayor importancia relativa del espectro alimentario (Aurioles-Gamboa, 1988; Aurioles-Gamboa *et al.*, 1984; García-Rodríguez, 1995; 1999; Durán-Lizárraga, 1998).

Los estudios sobre hábitos alimentarios también han mostrado que éstos varían espacial y temporalmente, lo que hace muy costosa y a largo plazo la definición de la posición trófica de la especie bajo estudio (Pauly, *et al.*, 1998). Durante la última década, el análisis de isótopos estables ha surgido como una herramienta de gran resolución para estudios de relaciones tróficas en ambientes oceánicos.

Los isótopos estables de nitrógeno y carbono, así como las razones C/N, han sido utilizados en la investigación ecológica para inferir la fuente, composición y flujos de la materia orgánica (Cranwell, *et al.*, 1982; Wilson, *et al.*, 1985; Hedges, *et al.*, 1984;1986; Wolaver, *et al.*, 1986; Fry y Sherr, 1988; Gearing, 1988; Le Blanc, 1989; Coleman y Fry, 1991; De Niro y Epstein, 1978; 1981; Avenid y Smith, 1997), así como la abundancia y contribución relativa de las fracciones de pesos moleculares orgánicos dentro de un gradiente ambiental (Benner *et al.*, 1997) por lo que es posible evaluar las implicaciones ecológicas de la transferencia energética en términos de carbono y nitrógeno (Gearing, 1988; Fry y Wainright, 1991).

Los isótopos de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  no proporcionan información detallada sobre la identidad del alimento consumido por el animal, pero permiten el examen a mediano plazo de sus patrones alimentarios (Walker *et al.*, 1999).

El uso de isótopos estables de carbono y nitrógeno se ha incrementado notablemente para delinear tramas tróficas en ecosistemas terrestres y marinos considerando que la composición de estos isótopos ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) en los tejidos de los consumidores puede

relacionarse con la dieta (De Niro y Epstein, 1978; Douglas, *et al.*, 1991). En estudios de aves los isótopos estables de carbono han sido utilizados para determinar las contribuciones relativas de alimento marino y terrestre que efectivamente es consumido (Hobson, 1993; Hobson y Clark 1992a; 1992b; Hobson *et al.*, 1996; 1997; Rau *et al.*, 1992; Mizutani *et al.*, 1990; Hobson y Sease, 1998). Esto es importante ya que los tejidos blandos consumidos (por ejemplo gusanos poliquetos) no pueden ser identificados en un análisis de contenido estomacal.

El análisis de isótopos de nitrógeno puede ser utilizado para establecer las relaciones tróficas entre las aves marinas (Hobson y Clark, 1992b).

Algunas ventajas que se pueden mencionar acerca del uso de isótopos estables como indicadores de posición trófica con respecto a otras técnicas convencionales son:

- i) La estimación isotópica del espectro alimentario está basada en el alimento asimilado y no en el ingerido.
- ii) Se obtiene información producto de una asimilación a largo plazo y por tanto es posible interpretar patrones alimentarios históricos

El período en el cual los cambios de razones  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  o  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  reflejarán la fuente de carbono y nitrógeno que define una dieta en particular, dependerá en gran parte del tiempo de la tasa de recambio del tejido. La elección del tipo de tejido para realizar el análisis isotópico dependerá de la pregunta ecológica de nuestro interés y su marco temporal de referencia.

De Niro y Epstein (1978) y Monteiro *et al.*, (1991) establecieron experimentalmente que los consumidores registran un  $\delta^{13}\text{C}$  más positivo que el de sus dietas naturales, estimando que si se mantiene un fraccionamiento metabólico sucesivo a lo largo de la cadena trófica,

el  $\delta^{13}\text{C}$  de los consumidores de cada nivel trófico aumenta en 1‰. En el caso del  $\delta^{15}\text{N}$  es aproximadamente en 3‰ (De Niro y Epstein, 1981; Das, *et al.*, 2000).

### 1.3 Justificación

Los estudios sobre alimentación son centrales para tomar decisiones en el manejo del hábitat de especies amenazadas o factibles de ser explotadas dentro del concepto de desarrollo sustentable. Tener datos acerca del espectro trófico de un organismo provee información adicional que facilita un mejor entendimiento del funcionamiento y desarrollo del ecosistema en su conjunto, donde cada individuo se desarrolla de una manera en particular. La comprensión de la procedencia de la energía necesaria para el crecimiento, la reproducción y el mantenimiento de la especie, son conocimientos básicos para el monitoreo de aspectos poblacionales y ecológicos tales como densidad, crecimiento y alimentación para apoyar y/o promover políticas de manejo, especialmente cuando se ha planteado la existencia de competencia entre el lobo marino de California y algunas pesquerías de importancia comercial (Fraker y Mate, 1999).

El uso de isótopos estables ofrece algunas ventajas sobre los métodos tradicionales de estudio de las dietas de mamíferos marinos. Éste registra efectivamente el origen del C y N que son asimilados, además se requiere una pequeña cantidad de muestra que puede provenir de especímenes de museos e incluso de material fosilizado (Koch *et al.*, 1994; Lee-Throp *et al.*, 1989). Este método permite el estudio de dietas a través del tiempo.

Dado que los tejidos tienen diferente composición bioquímica, son sintetizados y catabolizados con diferentes tasas de recambio, las razones isotópicas pueden diferir, sin embargo; los dientes son tejidos excelentes que se pueden utilizar para este fin debido a que preservan bien la materia orgánica y ésta es suficiente para realizar los análisis

isotópicos (Tieszen *et al.*, 1983; Tuross *et al.*, 1988; Walker y Macko, 1999 y Das, *et al.*, 2000).

Tal tipo de análisis permite responder a la interrogante hasta ahora no resuelta, de si ambos sexos de lobo marino tienen hábitos alimentarios distintos.

Orr y Helm (1989) intentaron demostrar la diferencia de dieta entre lobos marinos adultos de ambos sexos mediante la colecta de excretas en zonas donde predominaba uno u otro sexo, sin embargo y aunque detectó diferencias en cuanto al posible tamaño de las presas, no logró definir diferencias con respecto al tipo de ellas.

Considerando el marcado dimorfismo sexual del lobo marino de California (Tabla 1) se pretende probar la hipótesis de una posible variación en la posición y amplitud del espectro isotópico entre hembras y machos adultos, así como a lo largo de la vida de los individuos durante los diferentes estadios de edad.

La hipótesis se basa en el hecho de que la capacidad de buceo está en función del tamaño del animal debido al almacenamiento diferencial de las reservas de oxígeno y a la velocidad de buceo (Costa, 1991). Es decir que los machos adultos y subadultos podrían alimentarse de presas que habiten a mayores profundidades y/o en áreas visitadas durante su migración que podrían ser distintas a las de las hembras. Una diferencia de hábitos alimentarios sería predecible también entre juveniles y adultos, debido a que en las primeras etapas de su vida, los individuos podrían tener un espectro trófico más amplio por la falta de experiencia o el desarrollo incipiente en la selectividad de sus presas.

**Tabla 1.** Características distintivas (entre sexos) de la especie *Z.californianus* Boness (1991), King (1983)

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>MACHOS</b>	<b>HEMRAS</b>
Peso (Kg)	300	100
Longitud (m)	2 – 2.5	1.5
Edad de madurez sexual	5 años	5 años
Edad de actividad sexual	9 años	5 años
Mortalidad	Alta	Baja
Capacidad de buceo	Mayor	Menor
Migración	SI	NO

---

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Determinar  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en dientes de *Zalophus californianus* procedente de Isla Lobos (Golfo de California) para probar la existencia de diferencias tróficas entre sexos y edades.

### 2.2 Objetivos particulares

Determinar  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre *Z. californianus* adultos de distinto sexo.

Determinar la variación de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en *Z. californianus* a diferentes intervalos de edad.

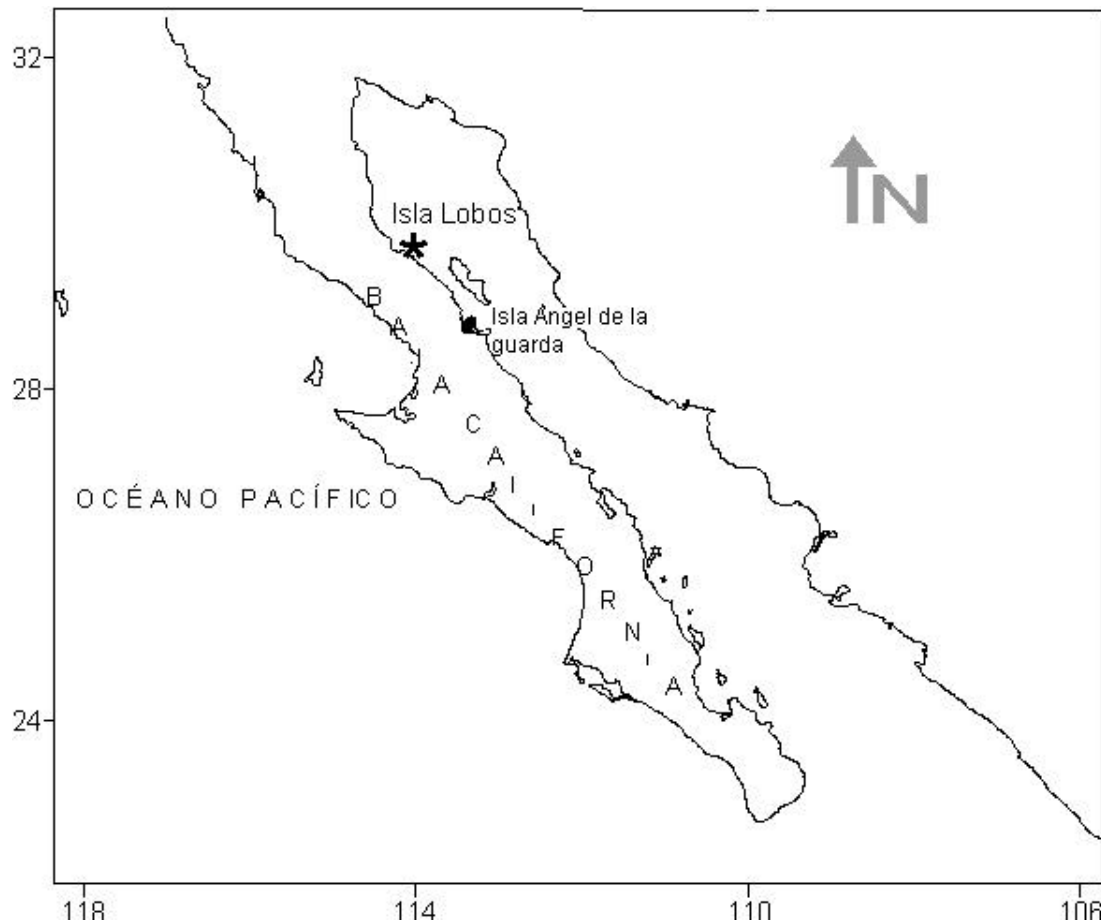
---

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Área de estudio

La colecta de muestras se realizó durante los años 1995-1997, en la lobera denominada Isla Lobos, ubicada entre los 30° 02' y 30° 04' latitud norte y entre los 114° 28' y 114° 29' longitud oeste (Fig.1).

Se eligieron los cráneos de Isla Lobos por dos razones, la primera era evitar incluir cráneos de otras colonias que pudieran complicar la interpretación de resultados, ya que los hábitos alimentarios varían entre localidades (García-Rodríguez, 1999). La otra razón fue el número de muestra ya que generalmente se utilizan entre 5 y 10 individuos para este tipo de análisis (Hobson *et al.*, 1997; Lowry *et al.*, 1990a; 1990b). Se propuso ampliar el número de individuos con el fin de mejorar la resolución del análisis. La lobera Isla Lobos era aquella donde existían tanto mayor número de cráneos como las distintas categorías de edad de la especie (crías, juveniles, subadultos y adultos).



**Figura 1.** Localización geográfica de la lobera donde se realizó la coleta de cráneos de *Zalophus californianus*.

### 3.2 Clasificación por sexo de la muestra

Utilizando como criterio el dimorfismo sexual acentuado en la forma del cráneo a partir de la madurez sexual la cual se alcanza alrededor de los cinco años (Orr *et al.*, 1970), los cráneos fueron identificados pertenecientes a hembras o machos observando las diferencias sexuales secundarias basadas en: 1) el tamaño del cráneo (significativamente mayor en los machos), 2) la presencia de una cresta sagital que en los machos puede alcanzar hasta los 8 centímetros de alto, mientras que en las hembras no sobrepasa los

0.5 cm (Peterson y Bartholomew, 1967; Orr *et al.*, 1970) y 3) el tamaño y grosor de los caninos mayores en los machos aun cuando sean inmaduros Lowry y Folk (1990). En la Tabla 2, se muestran las medidas utilizadas para determinar el sexo de los individuos pertenecientes al lobo marino de California.

**Tabla 2.** Medidas tomadas al canino superior para determinar el sexo de individuos de la especie *Zalophus californianus*.

<b>Posición del canino</b>	<b>Medida (mm)</b>	<b>Hembras</b> (min – max)	<b>Machos</b> (min – max)
Superior	Longitud de la corona	12.44 – 16.44	19.24 –24.71
Superior	Ancho de la corona	6.36 –9.75	11.09 –15.89

### 3.3 Determinación de edad

La edad en el lobo marino se determinó de manera indirecta en función del número de bandas de crecimiento o estrías dentarias. Este método ha sido validado para otras especies del orden Pinnipedia, entre ellas la foca común (*Phoca vitulina*), (Dietz y Jorgensen, 1991) el elefante marino (*Mirounga leonina*), el lobo fino del ártico (*Arctocephalus gazella*), el oso marino del norte (*Callorhinus ursinus*), entre otras. Estas bandas se forman anualmente (Scheffer, 1958; Lluch, 1969; Aurióles-Gamboa, 1988) y son distinguibles mediante el tratamiento descrito a continuación.

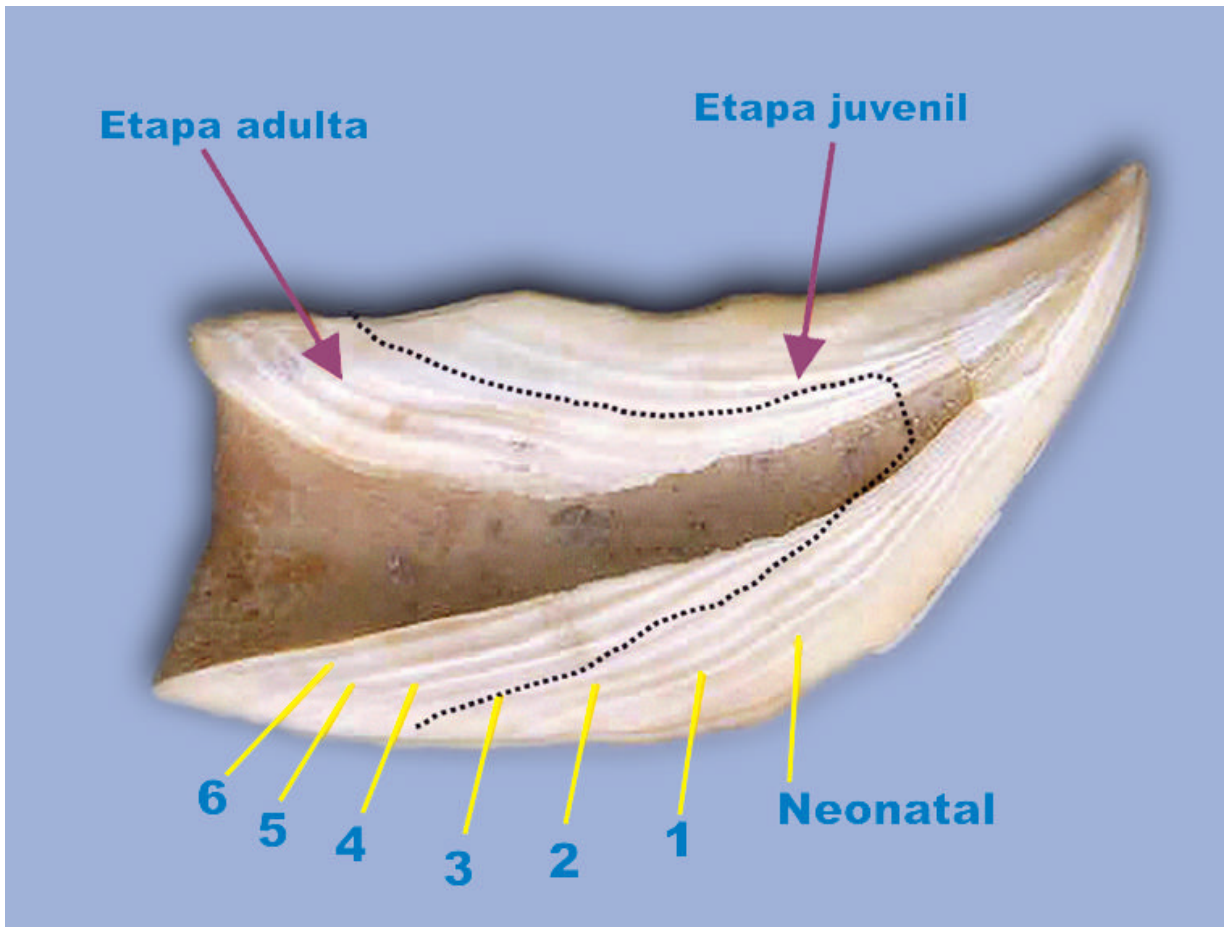
Cada diente es cortado o rebajado con esmeril a la mitad en un corte longitudinal y sagital al diente. Una mitad es pulida consecutivamente con lijas para metal o de agua, desde el grano 200, al 600 (incluido el 400). Una vez conseguida una superficie tersa son lavados en agua corriente y se introducen en una solución de ácido fórmico al 10%, por un

periodo variable de 4 a 8 horas, de acuerdo al tamaño del diente. Las partículas de polvo que se acomodan entre las estrías dentarias son digeridas por el ácido, al mismo tiempo que se revelan diferencias en el relieve y color de las bandas ya que están formadas por cantidades variables de dentina. Cada pieza dentaria se enjuagó en agua corriente y se secó al sol (Auriolles-Gamboa, 1988). Con el uso de un microscopio estereoscópico se observó la superficie del diente para contar el número de bandas, ya sea dentina o cementum. El número total de bandas de cada tipo, es igual al número de años transcurridos, descontando la primera que se desarrolla en la fase fetal (Klevezal, 1996).

### 3.4 Digestión de la muestra

De los 45 dientes analizados, 17 fueron de un tamaño suficiente que permitieron hacer cortes para separar estadios de crecimiento (juveniles, subadultos y adultos) según el sexo. Estos cortes fueron realizados con el objeto de lograr un análisis mas detallado e incrementar así el número de muestra para cada estadio de edad ampliando la resolución de la estimación trófica de *Z. californianus*. (Fig. 2)

La preparación de la muestra se realizó de acuerdo a Chisholm *et al.*, (1983), Shoeninger y De Niro (1984); Tuross *et al.*, (1988). Fundamentalmente involucró una descalcificación con ácido fórmico (10%), lavado y obtención de colágeno insoluble en ácido clorhídrico. Esta matriz orgánica se utilizó para determinaciones  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (Fig.3).

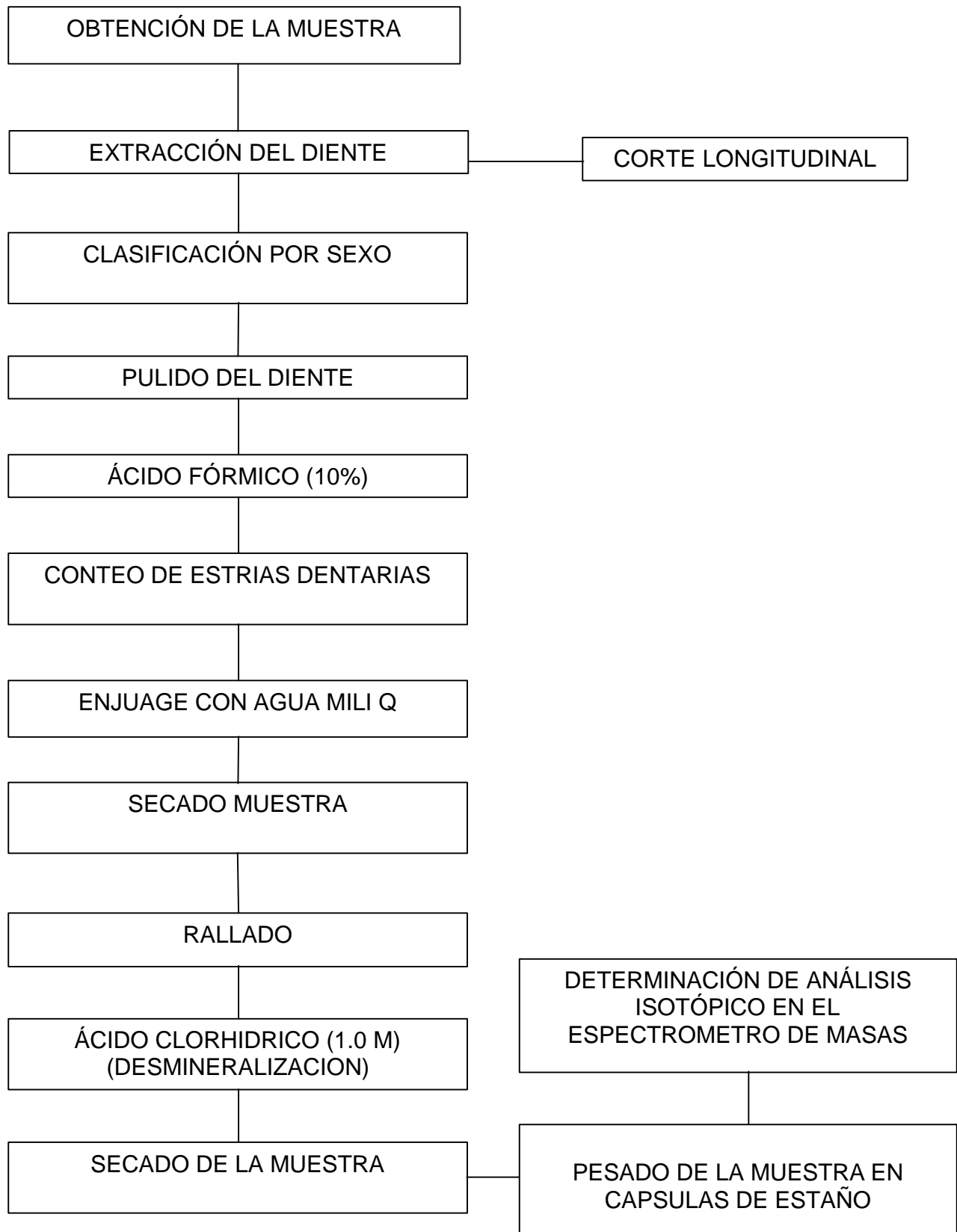


**Figura 2.** Corte longitudinal de un diente canino, dividido en categorías de edad.

### 3.5 Análisis isotópico

Una vez obtenido el colágeno insoluble en HCl, se determinó su  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Los instrumentos analíticos utilizados en este análisis incluyeron un analizador elemental (C, N, S), acoplado en flujo continuo a un espectrómetro de masas de razones isotópicas. El funcionamiento de éste sistema involucra una columna de combustión, donde se oxida completamente toda la materia orgánica. Los productos de combustión procedentes de la muestra son acarreados por un flujo constante de helio que pasa a través de un catalizador que inhibe la formación de óxidos de nitrógeno y retiene sustancias que se generan durante la combustión de compuestos halogenados. La mezcla de los productos de combustión pasa a través de una segunda columna de reducción. En ésta, los óxidos de nitrógeno son reducidos a nitrógeno elemental el cual, junto con el  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  pasan a través de una columna que absorbe el agua. La muestra gaseosa compuesta por nitrógeno elemental y dióxido de carbono es transportada por el helio y entra en una columna cromatográfica empacada. Al final de la columna, este gas pasa a través de un detector de termoconductividad que tiene una precisión de 0.1%. Así, la muestra gaseosa pasa, a través de una interfase al espectrómetro de masas de razones isotópicas, donde las moléculas son ionizadas, formadas en un haz aceleradas por un campo eléctrico y desviadas a un campo magnético y finalmente son detectadas. Se utilizó el detector de razones isotópicas para evaluar la composición elemental, este detector tiene una precisión de 0.05%.

## METODOLOGÍA

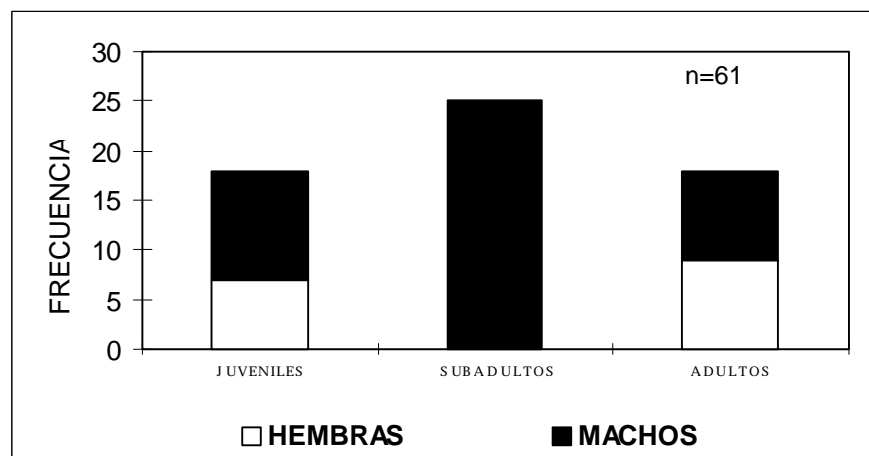


**Figura 3.** Diagrama de flujo de la metodología general.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Edad y sexo de los cráneos de lobo marino de California.

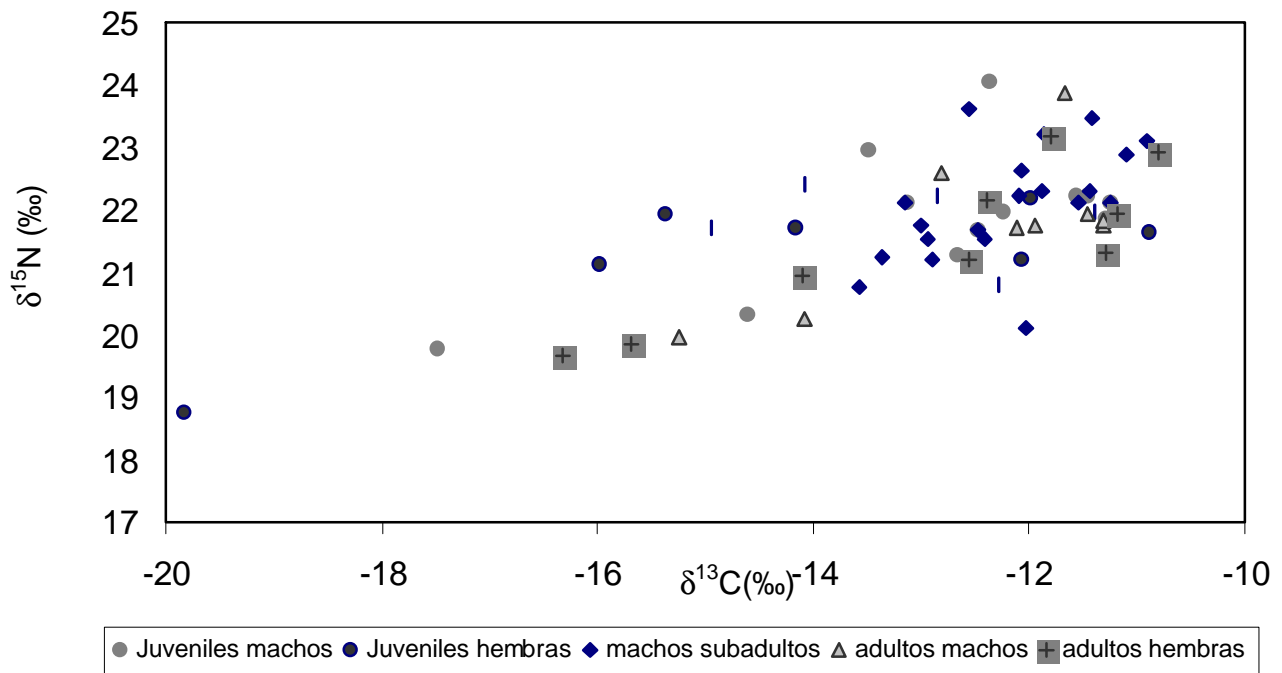
En la figura 4, se observan los resultados obtenidos al determinar el sexo y la edad de cada individuo. Cabe hacer notar que el número de muestras para cada categoría está por encima del promedio que se han utilizado en la mayor parte de los estudios tróficos ( $n= 4$ ) lo que permite suponer que podrían representarse las distintas categorías o estadios de edad así como el sexo de manera más eficiente. La cuantificación de las bandas dentarias que sirvieron de base para estimar la edad mostraron que las edades fluctuaron de 2 a 5 años para machos juveniles; de 5 a 8 años para machos subadultos y de 9 a 12 para los machos adultos. Para el caso de las hembras juveniles fue de los 2 a 5 años y de 5 a 8 años para las hembras adultas. La mayor parte de la muestra estuvo representada por machos entre 5 y 8 años (25 machos subadultos). El número de juveniles fue de 11 machos y 7 hembras y en la categoría de adultos se utilizó un número similar para cada sexo (9 machos y 9 hembras) (Fig.4).



**Figura 4.** Caracterización de la muestra por categorías de edad y sexo

## 4.2. Análisis general de los datos

En la figura 5 se muestran los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  versus  $\delta^{15}\text{N}$  de acuerdo a las distintas categorías por sexo y edad de lobo marino. En general se aprecia una tendencia lineal en la relación  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  con un grado de correlación de  $r = 0.6$ ; sin embargo también se distingue una alta varianza de los datos dentro de una misma categoría de edad y sexo. El amplio intervalo de valores  $\delta^{13}\text{C}$  (10‰) que resultó independiente de las categorías de edad y sexo sugiere una alta diversidad de fuentes alimentarias. Mientras que la mayor parte de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  varió sólo 5 ‰ entre todas las categorías, en las cuales se encontró que las hembras juveniles presentaron el intervalo de valores más amplio para el caso del  $\delta^{13}\text{C}$ , ver Tabla 3.

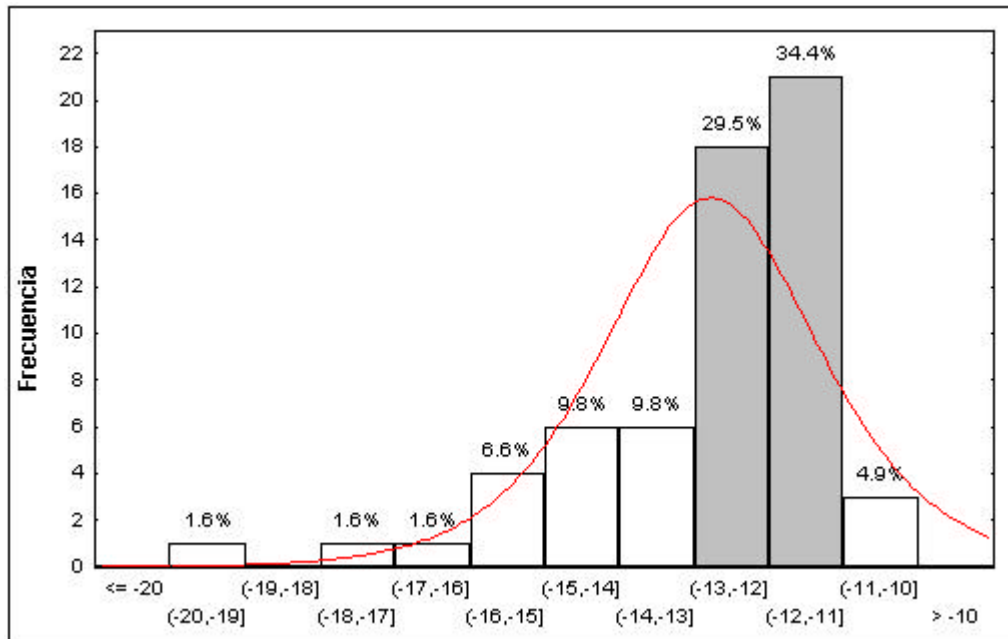


**Figura 5.** Distribución  $\delta^{13}\text{C}$  vs.  $\delta^{15}\text{N}$  de la muestra en colágeno de dientes de lobo marino de Isla Lobos, B.C.

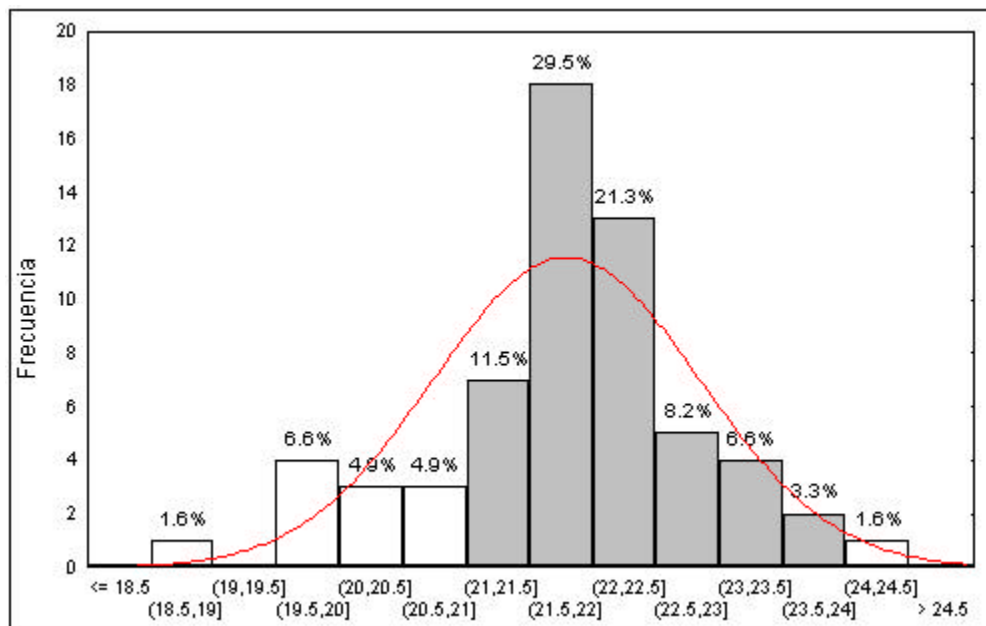
**Tabla 3.** Intervalo de valores  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  encontrados en las categorías de edad de la muestra de *Zalophus californianus*.

Categoría	N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Hembras juveniles	7	-14.33±3.0	21.22±1.15
Machos juveniles	11	-12.86±1.85	21.88±1.15
Machos subadultos	25	-12.38±0.98	22.04±0.85
Hembras adultas	9	-12.90±2.01	21.45±1.22
Machos adultos	9	-12.43±1.37	21.73±1.15

En la Figura 6a y 6b la distribución de los valores  $\delta^{13}\text{C}$  muestra que el 63.9% de la muestra de los dientes analizada tuvieron valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -11.0‰ y -13.00‰, un porcentaje bajo (5%) mostró valores más negativos (de -16.0‰ o más). El hecho de que la mayoría de las muestras tengan un intervalo estrecho  $\delta^{13}\text{C}$ , sugiere la existencia de una variedad de especies presa con niveles tróficos similares y que son consumidas por las distintas categorías de sexo y edad. Esto es consistente con la distribución  $\delta^{15}\text{N}$  donde el 80.4% de la muestra (juveniles, subadultos y adultos) se encontró en un mismo nivel trófico definido entre 21.0‰ a 24.0‰ (Fig. 6b).

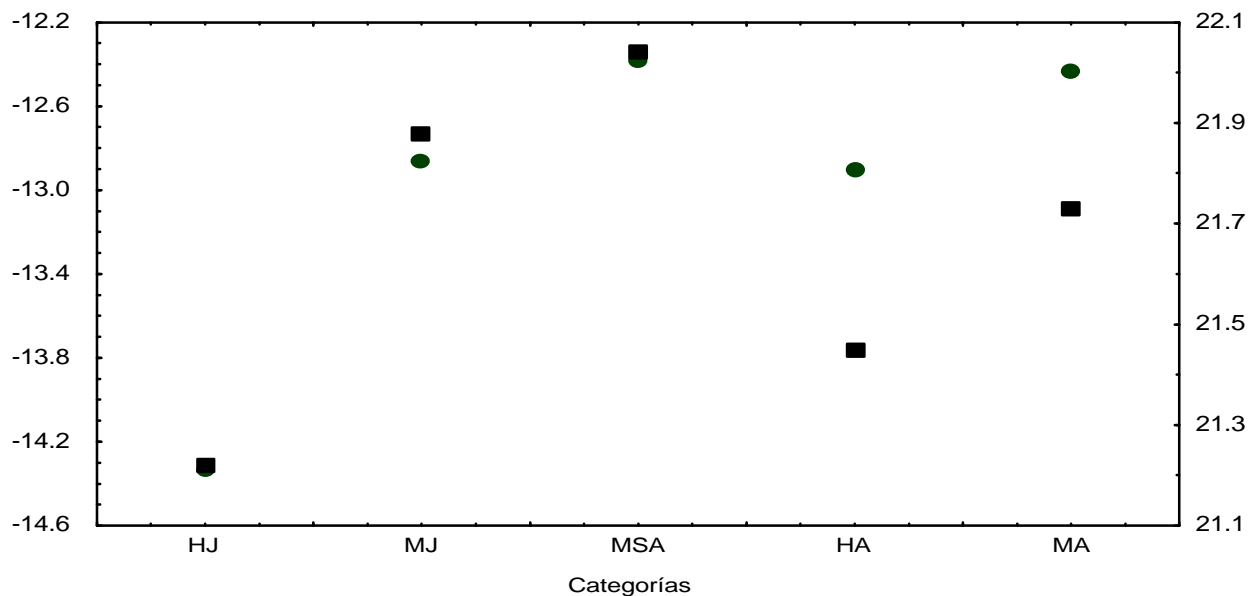


**Figura 6a.** Distribución de frecuencias  $\delta^{13}\text{C}$  de la muestra.



**Figura 6b.** Distribución de frecuencias  $\delta^{15}\text{N}$  de la muestra.

Al agrupar cada muestra dentro de la categoría que le corresponde de acuerdo a su edad y sexo (Fig. 7), se observó poca variación de la distribución de los valores promedio de ambas variables. Los machos subadultos (MSA) mostraron los valores promedio mas altos  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (-12.36‰, 22.04‰), y las hembras juveniles (HJ) los mas bajos (-14.66‰, 21.12‰), las otras categorías correspondientes a los machos juveniles (MJ), hembras adultas (HA) y machos adultos (MA), mostraron valores promedio que se encontraron dentro del intervalo antes mencionado.

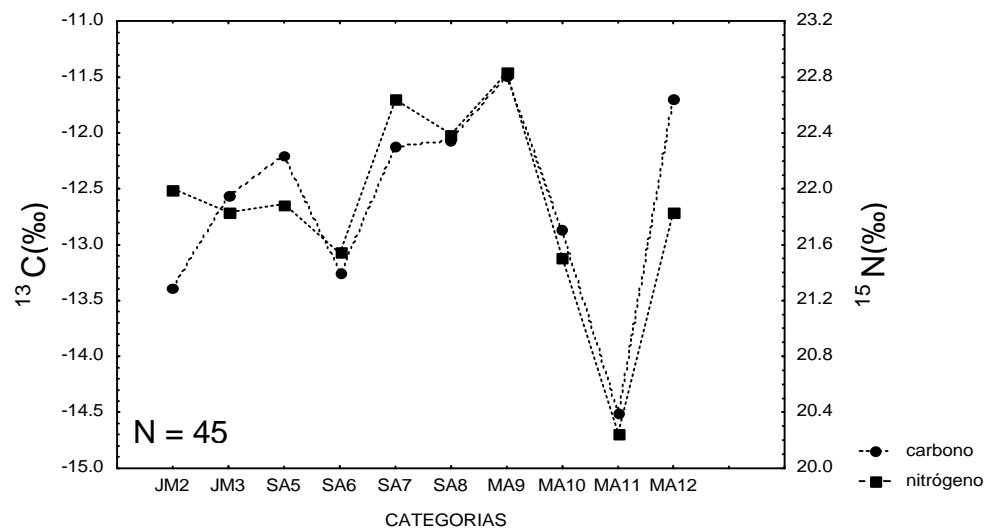


**Figura 7.** Valores promedio  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las categorías (juveniles, subadultos y adultos) de ambos sexos, los círculos corresponden a la variable  $\delta^{13}\text{C}$  y los cuadrados a  $\delta^{15}\text{N}$ .

Para probar si las categorías (juveniles, subadultos y adultos) en ambos sexos eran estadísticamente diferentes, se aplicó la prueba de Tukey (para muestras de tamaño desigual), con un  $\alpha=0.05$ , encontrándose que los valores entre las categorías no son significativamente diferentes entre si.

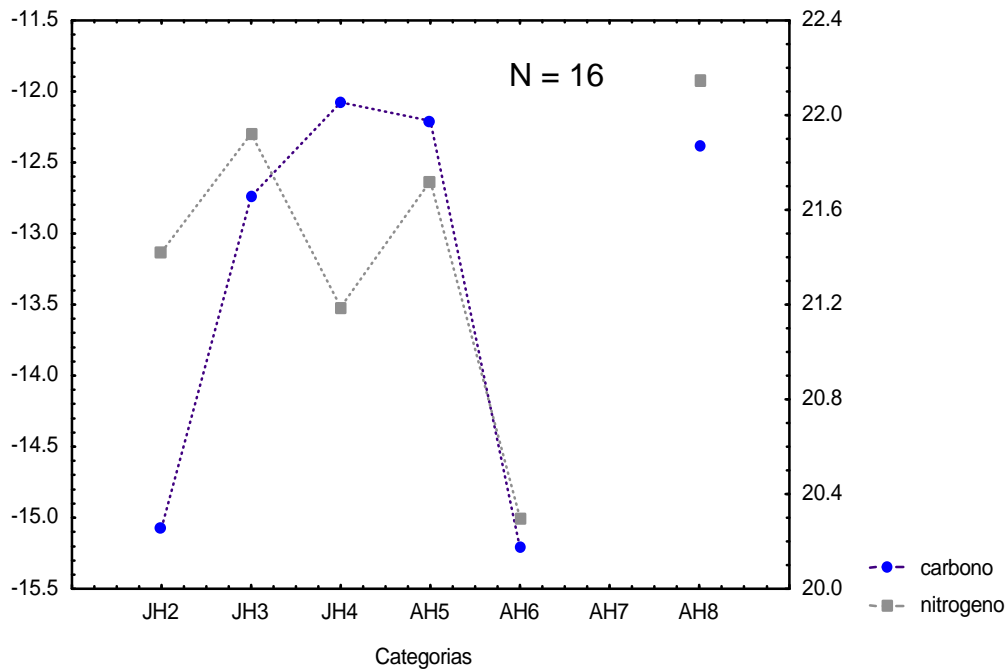
### 4.3 Análisis por edad y sexo.

Debido a que no existieron diferencias significativas entre las categorías, se procedió a realizar un análisis dentro de cada una de ellas separando a los individuos por grupos de edad y sexo. Se obtuvieron una serie de valores que se presentan en la Figura 8, donde se observó que los machos presentaron una distribución de valores isotópicos casi constante con una ligera tendencia a aumentar durante los primeros años de vida ( $\delta^{15}\text{N} = 22\text{‰}$  y  $\delta^{13}\text{C} = 12\text{‰}$ ). Sin embargo a partir del noveno año (categoría de adultos) se observó una disminución a valores isotópicamente menos positivos, típicos de un aumento trófico sin embargo en el último año de edad (12) se observó un repunte hacia valores más positivos en ambos isótopos.



**Figura 8.** Promedio  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  para las categorías encontradas en los individuos machos, (JM machos juveniles, SA machos subadultos, MA machos adultos), el número corresponde a la edad.

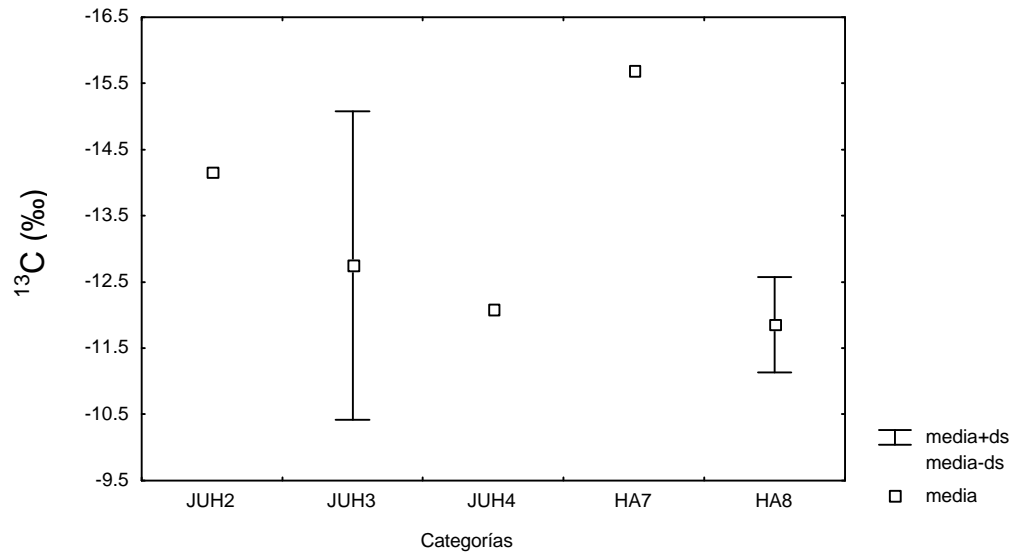
Para el caso de las hembras (Fig. 9), se encontró un patrón poco menos definido con mayores fluctuaciones en ambos valores isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) a lo largo de su vida, observándose una tendencia similar a la encontrada para el caso de los machos.



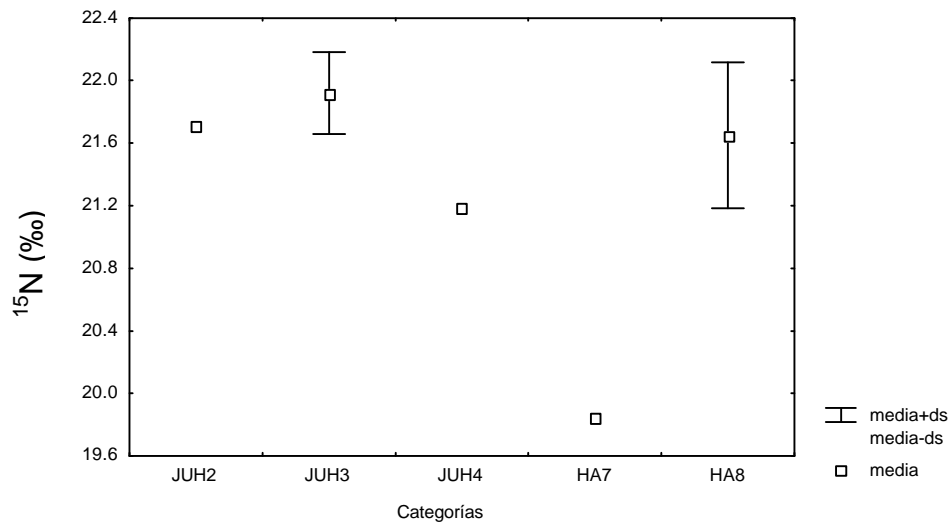
**Figura 9.** Promedio  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  para las categorías encontradas en las hembras, (JH hembras juveniles, AH hembras adultas), el número corresponde a la edad (en años).

#### 4.4 Análisis de la submuestra (dientes fraccionados)

Se realizaron cortes longitudinalmente y de acuerdo al número de bandas dentarias que presentó cada diente se fraccionaron, separando cada categoría de edad representada en el mismo, (Fig. 2). Dentro de los 17 dientes seccionados por categorías de edad y sexo, sólo en el caso de las hembras fue posible evaluar diferencias entre la categoría de juveniles de 3 años ( $n=3$ ) y adultos de 8 años ( $n=4$ ) consideradas como submuestras representativas de los estadios de crecimiento en este sexo (Fig. 10a y 10b). En los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , no se encontraron diferencias significativas entre juveniles y adultos hembras; sin embargo la desviación estándar del  $\delta^{13}\text{C}$  en las hembras juveniles fue mayor ( $-12.8 \pm 1.81$ ) que en las hembras adultos ( $-12.6 \pm 1.82$ ), lo cual fue consistente con los niveles tróficos identificados para  $\delta^{15}\text{N}$  ( $21.7 \pm 0.36$  y  $21.2 \pm 0.9$ ) respectivamente.

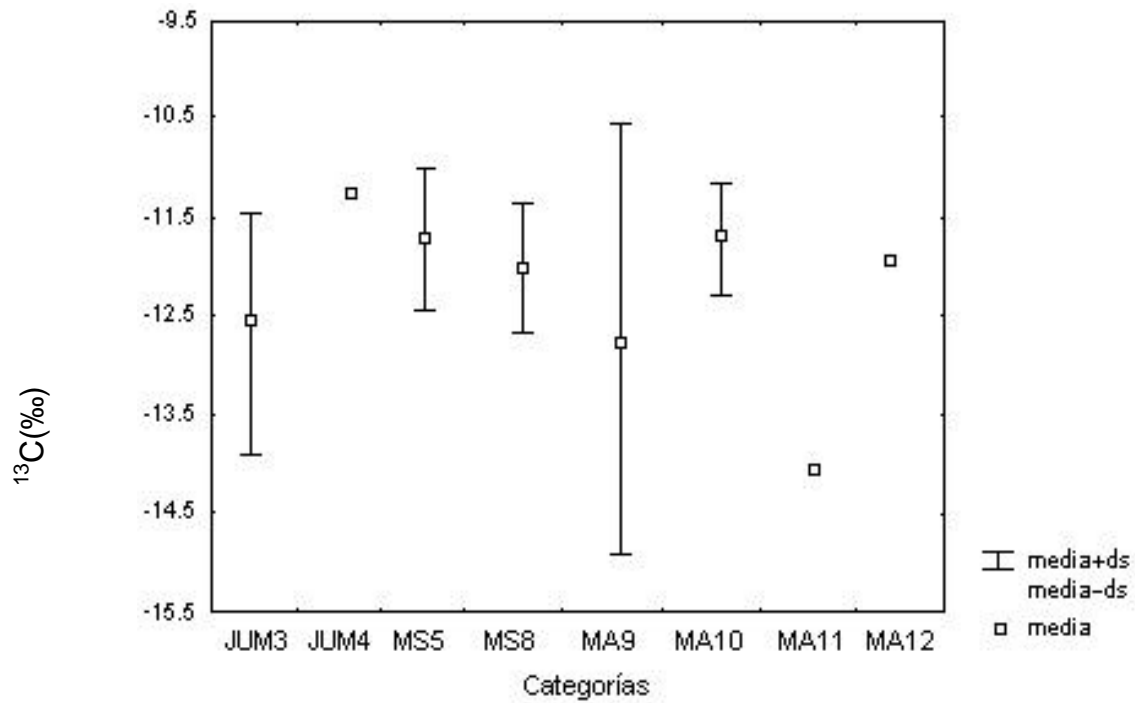


**Figura 10a.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{13}\text{C}$  encontrados en hembras agrupadas por categorías de edad (JUH hembras juveniles, HA hembras adultas)

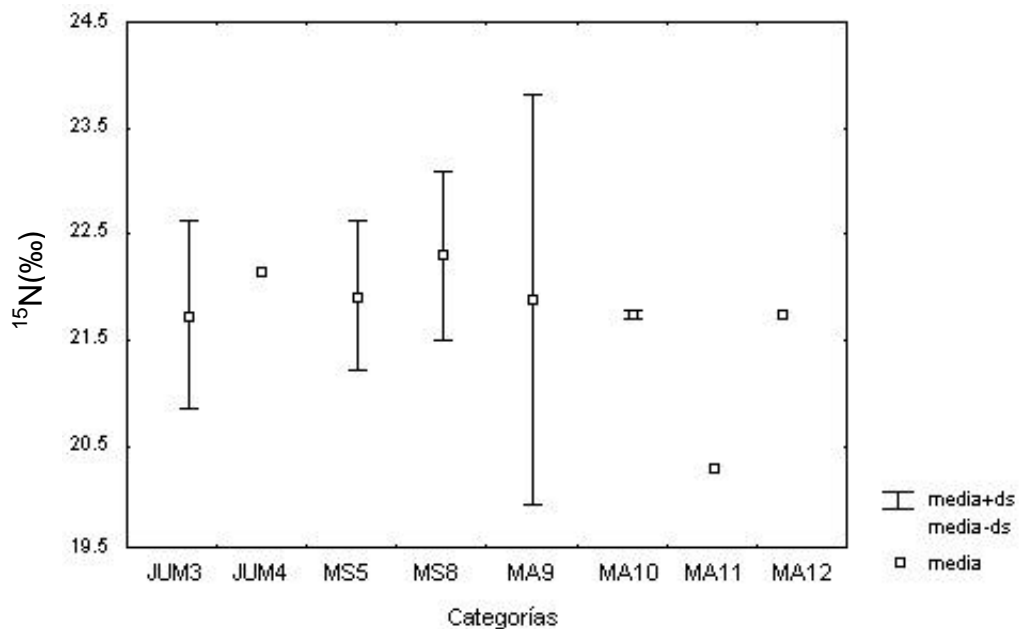


**Figura 10b.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{15}\text{N}$  encontrados en hembras agrupadas por categorías de edad (hembras juveniles JUH, hembras adultas HA)

En el caso de los individuos machos, el grupo de adultos de 9 años, presentó el intervalo de valores más amplio ( $-12.74 \pm 2.17$ ,  $21.87 \pm 1.95$ ) de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  respectivamente, (Fig. 11a y 11b).



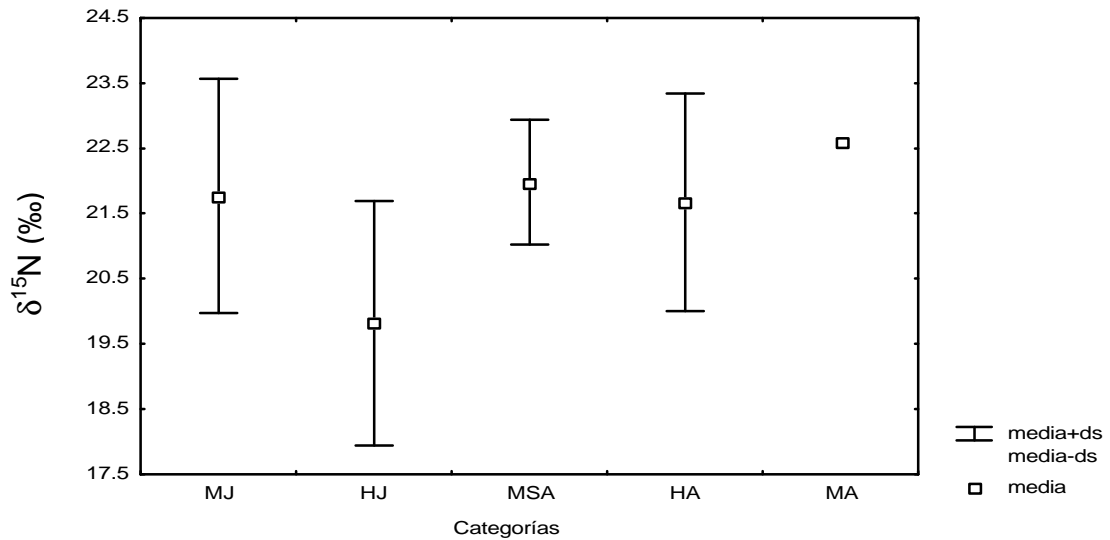
**Figura 11a.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{13}\text{C}$  en dientes seccionados de machos JUM machos juveniles, machos subadultos MS, machos adultos MA, el número corresponde a la edad.



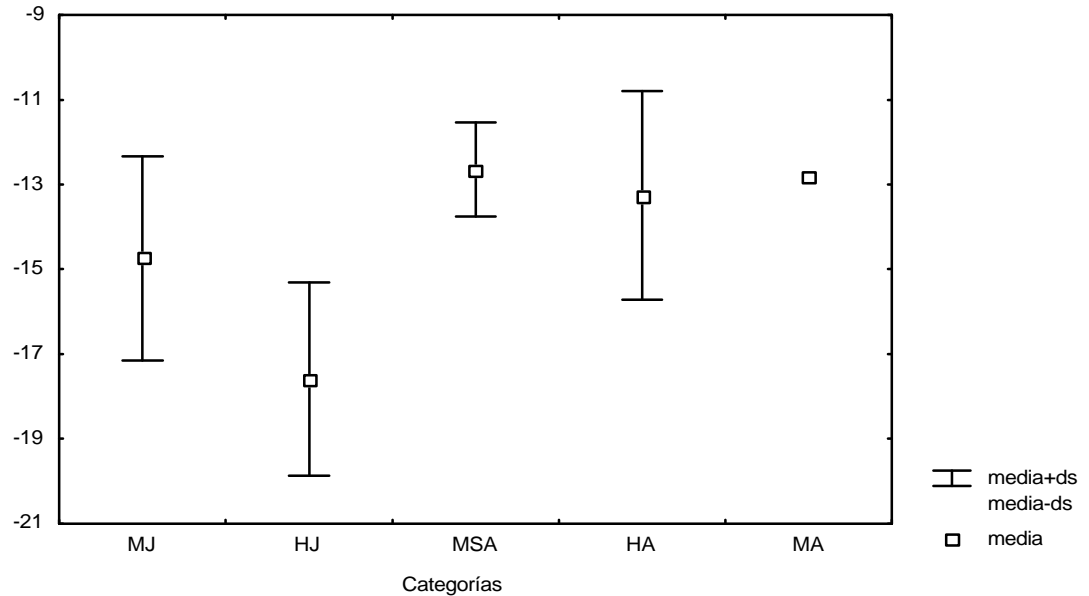
**Figura 11b.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{15}\text{N}$  en dientes seccionados de machos JUM machos juveniles, machos subadultos MS, machos adultos MA, el número corresponde a la edad.

#### 4.5 Análisis de la muestra no seccionada (dientes completos)

Un total de 25 dientes no pudieron ser seccionados debido a que eran pequeños o su tamaño no permitía la separación en estadios de edad (juvenil o adulto) (ver Fig. 2), por lo cual fueron analizados por completo. Los  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de estos dientes mostraron un intervalo amplio de valores isotópicos. En la figura 12a y 12b, se observa que para la categoría de individuos juveniles de ambos sexos los intervalos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  son más amplios ( $-14.74 \pm 2.40$ ,  $21.77 \pm 1.79$ ) con respecto a los machos subadultos ( $-12.64 \pm 1.11$ ,  $21.97 \pm 9.55$ ) y hembras adultas ( $-13.25 \pm 2.46$ ,  $21.67 \pm 1.67$ ).



**Figura 12a.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{15}\text{N}$  de la muestra no seccionada para cada categoría de edad (MJ machos juveniles, HJ hembras juveniles, MSA machos subadultos, HA hembras adultas, MA machos adultos).



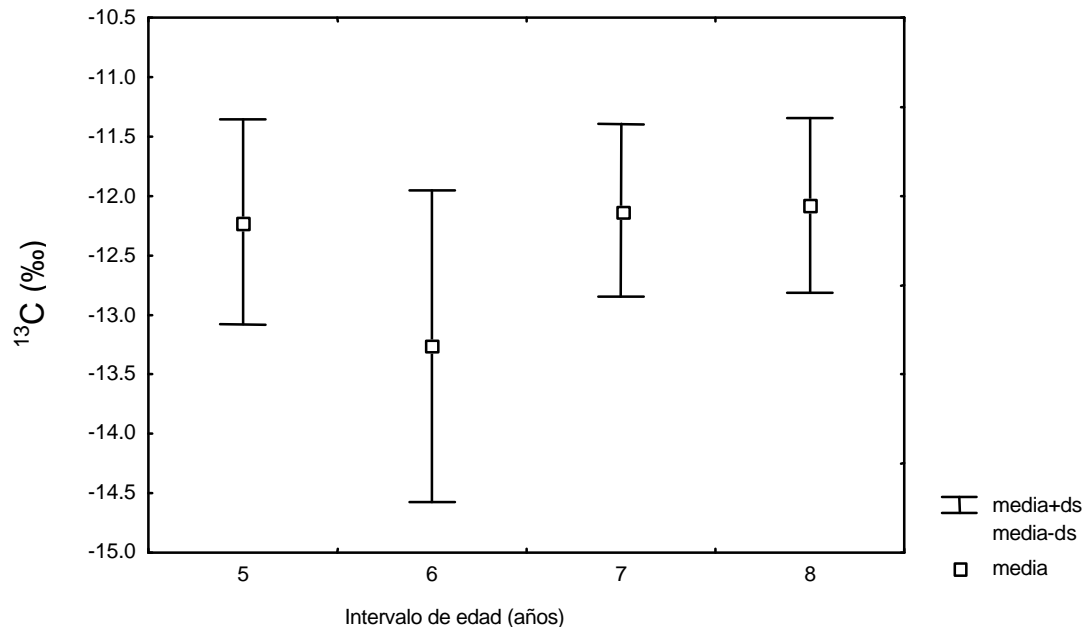
**Figura 12b.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{13}\text{C}$  de la muestra no seccionada para cada categoría de edad. (MJ machos juveniles, HJ hembras juveniles, MSA machos subadultos, HA hembras adultas, MA machos adultos)

En este análisis al realizar la prueba de Tukey (para muestras de tamaño desigual) se reportó una diferencia (estadística) significativa, con una  $P < .05$  para el caso del  $\delta^{13}\text{C}$  entre las categorías de edad pertenecientes a machos subadultos ( $-12.64 \pm 1.11$ ) y hembras juveniles ( $-17.59 \pm 2.28$ ).

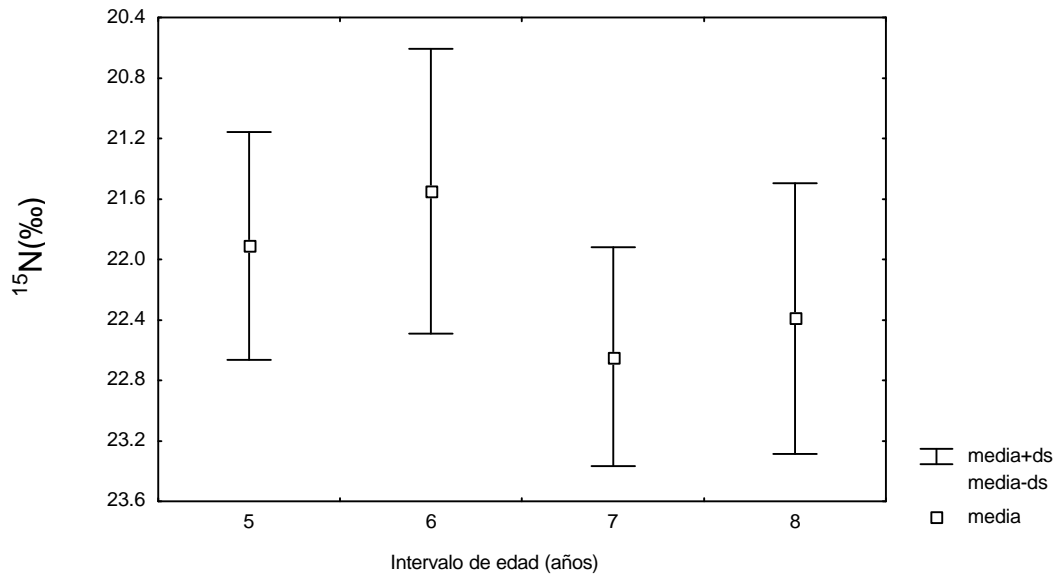
#### 4.6 Análisis de categorías (juveniles y subadultos) por intervalos de edad.

Considerando la muestra completa ( $n=61$ ) las categorías que permitieron hacer un análisis estadístico por edades (dado el número de muestra) fueron las categorías de juveniles (machos y hembras) y la de machos subadultos.

En el caso de machos subadultos (Fig. 13a y 13b), se pudieron analizar el mayor número de muestras (25), observándose que a la edad de 6 años, se presentó una disminución de valores isotópicos  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ .

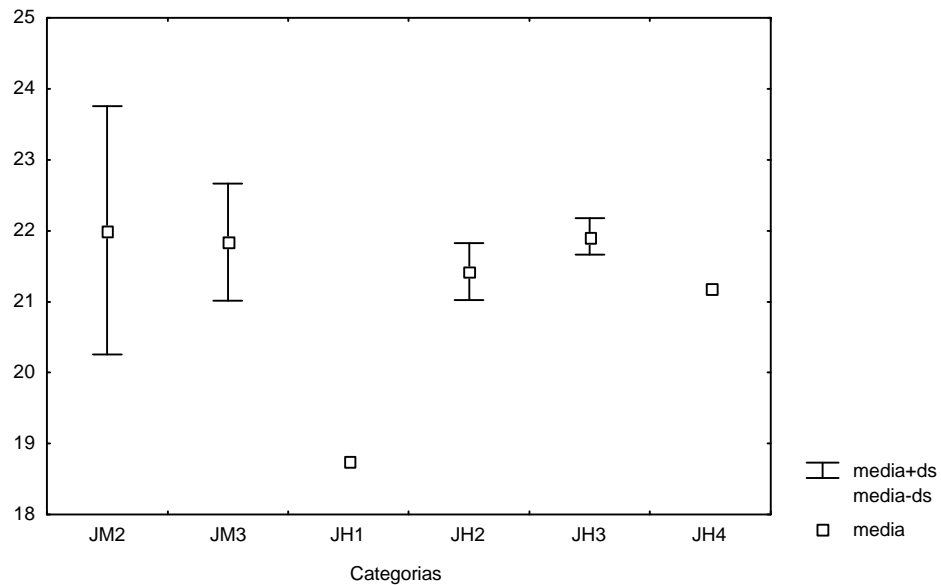


**Figura 13a.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{13}\text{C}$  de la categoría de machos subadultos.

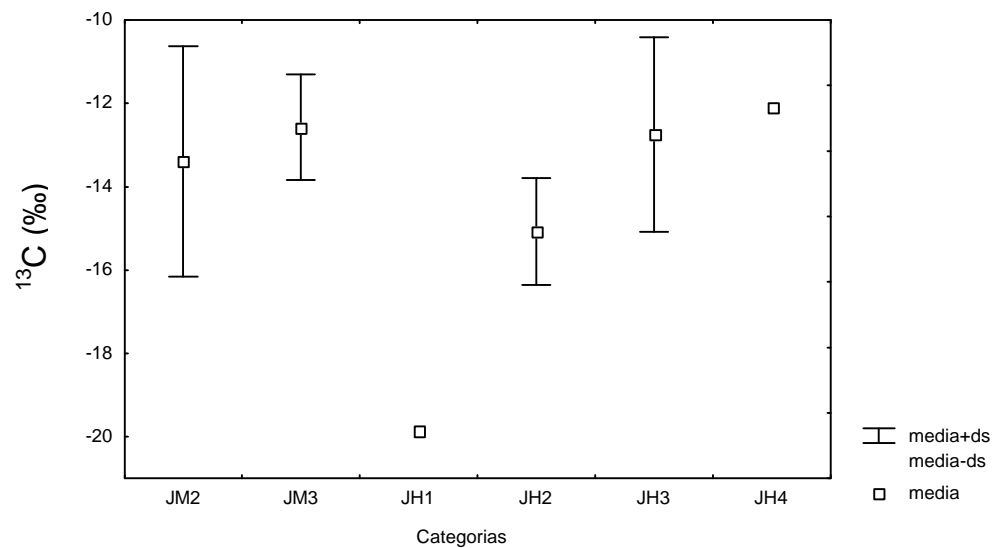


**Figura 13b.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{15}\text{N}$  de la categoría de machos subadultos

La categoría de individuos juveniles, estuvo integrada por pocos individuos de cada edad y la amplitud del intervalo de valores se mantuvo constante para ambas variables ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ). No se encontraron diferencias significativas entre las edades que integran cada categoría (Fig. 14a y 14b).



**Figura 14a.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{15}\text{N}$  para la categoría de juveniles agrupados por edades (JM machos juveniles, JH hembras juveniles, el número corresponde a la edad del individuo)



**Figura 14b.** Promedio y desviación estándar  $\delta^{13}\text{C}$  para la categoría de juveniles agrupados por edades (JM machos juveniles, JH hembras juveniles, el número corresponde a la edad del individuo).

En el subgrupo de machos juveniles de 2 años (N = 4) se registró la mayor amplitud para el intervalo  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  ( $22.0 \pm 1.74$  y  $-13.39 \pm 2.76$ ) respectivamente sugiriendo ser la etapa en que los machos muestran un espectro alimentario compuesto por una mayor diversidad de especies y las hembras de 3 años mostraron el menor intervalo en el caso del  $\delta^{15}\text{N}$ .

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Análisis $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la muestra por categorías de edad.

El análisis comparativo de razones isotópicas  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  por categorías (juveniles, subadultos y adultos), mostró que correspondiente a individuos juveniles tuvo la mayor amplitud en el intervalo de valores para ambos isótopos, sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre sexos dentro de las categorías mencionadas.

En ambos casos ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) los intervalos amplios de valores (Tabla 3) no estuvieron restringidos para alguna categoría o sexo específico, lo que podría sugerir una amplia gama de posibles fuentes alimentarias y un nivel trófico estable que la especie podría ocupar a lo largo de su vida. Estos dos supuestos podrían resumirse al hecho de que esta especie tendría una estrategia alimentaria que le permite conseguir su energía a partir de un número de presas disponibles a lo largo del tiempo.

### 5.2 $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en muestras no seccionadas (dientes completos) vs. muestras seccionadas (dientes divididos por categorías de edad).

En las muestras que fueron analizadas completas, (sin seccionar), el intervalo de  $\delta^{13}\text{C}$  más amplio se presentó en las categorías perteneciente a machos juveniles ( $-14.74 \pm 2.40$ ) y hembras adultas ( $-13.25 \pm 2.46$ ). Esta mayor amplitud también se observó en las mismas categorías de la submuestra integrada por los dientes que fueron seccionados por categorías (Tabla 4).

Para el caso del  $\delta^{15}\text{N}$ , en la muestra no seccionada las categorías con mayor amplitud tienen correspondencia con las que presentan mayor amplitud para el caso del  $\delta^{13}\text{C}$ ; sin embargo en la muestra seccionada, las categorías que presentan la mayor amplitud fue la

de adultos (machos y hembras) donde los valores fueron de  $21.62 \pm 1.18$  y  $21.28 \pm 0.90$  respectivamente. Se puede inferir que en el caso de la muestra completa, si bien se realizó una estimación isotópica promedio de todas las categorías involucradas en la muestra, el sesgo de error fue bajo, ya que sus intervalos isotópicos fueron similares a los de la muestra seccionada.

La diferencia estadística ( $P < .05$ ) encontrada (0.379) en la submuestra (dientes no seccionados) para el caso de la variable  $\delta^{13}\text{C}$  entre las categorías de machos subadultos ( $-12.64 \pm 1.11$ ) y hembras juveniles ( $-17.59 \pm 2.28$ ) fue significativa y podría deberse a que las hembras son más sedentarias que los machos subadultos.

**Tabla 4.** Valores  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  encontrados en machos juveniles y hembras adultas (muestra seccionada y completa).

	Muestra completa		Muestra seccionada	
	Machos juveniles	Hembras adultas	Machos juveniles	Hembras adultas
$\delta^{13}\text{C}$	$-14.74 \pm 2.40$	$-13.25 \pm 2.46$	$-12.47 \pm 1.24$	$12.64 \pm 1.82$
$\delta^{15}\text{N}$	$21.77 \pm 1.79$	$21.67 \pm 1.67$	$21.78 \pm 0.82$	$21.28 \pm 0.90$

### 5.3 Hábitos alimentarios y presas principales del lobo marino de California

De acuerdo a algunos estudios de alimentación como el realizado en Isla San Nicolás, los lobos marinos de California son considerados como organismos especialistas

(Morse,1980), los cuales explotan poca variedad de recursos en un tiempo determinado pero la composición de sus presas que integran su dieta es dinámica.

Esta flexibilidad trófica y conductual de los lobos marinos se da como respuesta a las migraciones o desplazamientos locales y la disponibilidad de las presas así como variaciones del medio por ejemplo el fenómeno de " El Niño".

Se sabe que la composición alimentaria del lobo marino de California varía entre localidades (García-Rodríguez, 1999). En Isla Lobos, B.C. el lobo marino se alimenta de peces y pequeños crustáceos que ocupan distintos niveles tróficos observados por categorías de ambos sexos (Anexo 1) por lo que podría concluirse que cada categoría de edad sigue una estrategia alimenticia distinta y que en conjunto contribuyen a la amplitud total observada. Sin embargo de acuerdo al análisis de excretas (García-Rodríguez, 1999), el lobo marino se alimenta de especies que ocupan tres niveles tróficos diferentes (Anexo 1a) y algunas de sus presas comparten el mismo nivel trófico. En el presente trabajo se observa que la población de lobo marino estudiada ocupa dos niveles tróficos diferentes en el ecosistema (Anexo1b), los cuales fueron encontrados mediante la estimación de los valores  $\delta^{15}\text{N}$ . En los juveniles (Fig. 14a) se observó la mayor amplitud de valores, sugiriendo la idea de que además de las tres especies reportadas como principales, existen otras que aunque en menor proporción, también forman parte de su dieta al menos en esta etapa.

De manera general, a medida que el organismo alcanza la madurez física, los intervalos  $\delta^{13}\text{C}$  disminuyeron, lo cual podría indicar una reducción en la diversidad de presas consumidas, o una mayor selectividad de presas.

#### 5.4 Presas del lobo marino de California (Equivalentes ecológicos)

Las especies presa más frecuentes encontradas tanto en Isla Lobos Baja California (García-Rodríguez, 1999) como en Isla San Nicolás California (Lowry, *et al.*, 1990b) se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Comparación del espectro y nivel trófico de las presas principales de lobo marino de California en Isla Lobos, Baja California e Isla San Nicolás, California.

Isla Lobos, Baja California			San Nicolás, California		
Presa	Importancia relativa %	Nivel trófico	Presa	Importancia relativa %	Nivel trófico
<b>Peces</b>					
<i>Trichiurus lepturus</i>	29.6	4.49	<i>Engraulis mordax</i>	32.5	2.96
<i>Porichthys</i> sp.	27.8	3.71	<i>Merluccius productus</i>	18.8	3.96
<i>Cetengraulis mysticetus</i>	24.07	2.67	<i>Trachurus symmetricus</i>	17.9	3.56
<i>Peprilus snyderi</i>	10.25	3.71	<i>Sebastes</i> sp.	16.6	3.70
<b>Calamares</b>					
<i>Loliolopsis diomedea</i>	7.9	3.70	<i>Loligo opalescens</i>	14.0	3.70
<b>Nivel trófico global</b>		<b>4.66</b>			<b>4.54</b>

En base a Froese y Pauly, 1998 y Pauly, *et al.*, 1998 el nivel trófico calculado de cada una de las especies anteriores de los dos sitios corresponde entre si, así como el nivel trófico global (Christensen y Pauly, 1992). Observándose que las especies presa con mayor índice de importancia para el lobo marino en ambas localidades son equivalentes ecológicos ocupando un nivel trófico similar en ambos ecosistemas.

Con respecto al número de especies en la zona, Walker (1960), en una revisión ictiofaunística del Golfo de California registró 586 especies de peces, de los cuales 562 eran costeros, cerca de 50 especies, o el 10% del total registrado tienen su distribución principalmente al Norte del Golfo. Esta información respalda el espectro alimentario que *Zalophus californianus* puede disponer.

### **5.5 $\delta^{15}\text{N}$ encontrados en este estudio vs otros pinnípedos.**

En los estudios de relaciones tróficas usando isótopos estables, generalmente los  $\delta^{15}\text{N}$  en muchos mamíferos marinos presentan los valores más altos, ya que representan los consumidores tope de la estructura trófica (Hobson y Welch, 1992; Ostrom *et al.*, 1993; Hobson *et al.*, 1996). Sin embargo, Burton y Koch (1999) sugieren que las fluctuaciones isotópicas de las fuentes energéticas que sustentan la trama trófica serán reflejadas en la composición isotópica de los consumidores tope. Los valores  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de este estudio fueron entre 2-2.5‰ más positivos que los reportados por Burton y Koch (1999) en la costa californiana (Tabla 6).

**Tabla 6.** Valores promedio encontrados en este estudio y valores reportados por Burton y Koch, (1999) en la costa californiana.

ALTO GOLFO DE CALIFORNIA		SUR DE CALIFORNIA	
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
Hembras	Machos	Hembras	Machos
-13.5±2.54	-12.5±1.30	-13.9±1.1	-13.7±0.7
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
Hembras	Machos	Hembras	Machos
21.35 ± 1.15	21.9±0.97	18.4±0.9	18.7±1.0

Para el caso de los individuos procedentes de California, aunque las edades no se especifican, se observó que los valores obtenidos para ambas variables isotópicas son muy similares.

Shoeninger y De Niro (1984) encontraron que el colágeno del hueso de organismos marinos y terrestres es enriquecido cerca de 3‰ para el caso del  $^{15}\text{N}$  por cada nivel trófico. En éste estudio se observaron valores promedio  $\delta^{15}\text{N}$  muy similares entre las diferentes categorías de edad y sexo (juveniles, subadultos y adultos de ambos sexos) lo que indica que los individuos de las distintas categorías que constituyeron la muestra se encuentran en un mismo nivel trófico respectivamente. Sin embargo, en este estudio el nivel trófico representado fue mayor al encontrado en California para ambos isótopos.

Estas diferencias podrían ser debido a que en California los lobos marinos tienen una red trófica más extensa o a la existencia de una remineralización del Alto Golfo provocada por bacterias.

La alta diversidad de presas asociada a distintos sistemas oceanográficos o a los diferentes recursos pelágicos que sirven de alimento para diferentes depredadores, genera que la información basada sólo en los valores isotópicos  $\delta^{13}\text{C}$  proporcionen menor resolución de la estructura trófica, esto es especialmente en sistemas marinos localizados

en altas latitudes (Hobson y Welch, 1992). Aunque por el amplio intervalo de valores  $\delta^{13}\text{C}$  (Tabla 3) se podría inferir que los lobos marinos tienen una amplia variedad de especies presa. García-Rodríguez (1999) con base en la abundancia de especies presas, identificados en copros, reportó que en esta área el espectro alimentario de *Z. californianus* se compone de tres especies preferencialmente (*Trichiurus lepturus*, *Porichthys* sp. y *Cetengraulis mysticetus*). Sin embargo estas especies presa, por su biología, mantendrían diferentes niveles tróficos ya que *Cetengraulis mysticetus* es filtradora de fitoplancton; mientras que las otras dos son carnívoras (Froese y Pauly, 1998). Esta amplitud de niveles tróficos de las especies presa, podría explicar la mayor desviación estándar de los  $\delta^{13}\text{C}$ .

Los resultados del presente estudio sugieren que las variables principales que determinan el espectro isotópico son las determinadas por condiciones ambientales que se encuentran presentes en la zona geográfica donde provino la muestra. Isla Lobos, se encuentra a 30° 02' 04" N; la cual está incluida en la parte del Alto Golfo de California, donde existe una actividad microbiana que aporta  $\text{NH}_4$ , que se encuentra disponible para la producción primaria, generándose así materia orgánica con altos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (Aguíñiga-García, 1999). Estos valores influirían a lo largo de la cadena alimenticia con  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  siendo más positivos en mamíferos marinos ictiófagos.

Carriquiry y Sánchez (1999), con base en un modelo de transporte de sedimentos en el Alto Golfo de California, registraron un patrón de circulación de corrientes que aportan aguas oceánicas por la costa de Sonora; mientras que el drenaje de la cuenca estuarina ocurre por la costa de Baja California, influenciando directamente el área de Isla Lobos. El presente análisis, apoya la hipótesis de que el ecosistema de Isla Lobos estaría muy

influenciado por los procesos de remineralización que ocurren en el Delta del Colorado (Aguíñiga-García, 1999) lo que produciría fitoplancton anómalamente enriquecido en  $^{15}\text{N}$ . En el Golfo de California, existe una tendencia general de incremento de concentraciones de nutrientes superficiales desde la boca del Golfo hacia la región de la Isla Angel de la Guarda, los mayores valores se han observado cerca del Canal de Ballenas debido al efecto de la fuerte mezcla de las corrientes marinas, (Sánchez *et al.*, 1978). Aunque los fenómenos de surgencias estarían aportando  $^{14}\text{N}$  al ecosistema, los altos valores  $\delta^{15}\text{N}$  y bajos porcentajes de carbono (<1%) en los sedimentos superficiales del Delta y Alto Golfo de California (Aguíñiga-García, 1999), sugieren que aunque ocurra una alta productividad (Santamaría *et al.*, 1994), la recirculación de la materia orgánica en la columna de agua por heterotrofia, sustenta el reservorio energético en este ecosistema, por lo cual, se sugiere que los valores isotópicos correspondientes a la variable  $\delta^{15}\text{N}$ , están reflejando el incremento de materia orgánica que se lleva al cabo en la zona adyacente a Isla Lobos, además de la estructura trófica asociada a este hábitat.

## 5.6 Comparación de valores isotópicos con otras especies de pinnípedos

En las Tablas 7,8 y 9 se muestran los resultados obtenidos en otros estudios. En el caso de un estudio realizado con pinnípedos de Alaska los valores encontrados analizando músculo se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Valores  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  reportados en músculo de pinnípedos en Alaska (Hobson *et al.*, 1997)

Espece	N	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	Localidad
Lobo marino de Steller ( <i>Eumetopias jubatus</i> )	13	$-18.2 \pm 0.2$	$17.5 \pm 0.2$	Golfo de Alaska
Foca de puerto ( <i>Phoca vitulina richardsi</i> )	9	$-17.6 \pm 0.2$	$18.6 \pm 0.3$	Golfo de Alaska
Foca de puerto ( <i>Phoca vitulina richardsi</i> )	5	$-17.1 \pm 0.3$	$16.4 \pm 0.2$	Costa de Washington
Oso marino ( <i>Callorhinus ursinus</i> )	7	$-18.9 \pm 0.4$	$16.6 \pm 0.5$	Islas Pribilof

**Tabla 8.** Valores  $\delta^{13}\text{C}$  ,  $\delta^{15}\text{N}$  de un estudio realizado con dientes de mamíferos marinos.(Walker y Macko,1999)

Espece	N	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	Localidad
Morsa ( <i>Odobenus rosmarus</i> )	10	$-13.3 \pm 0.4$	$14.6 \pm 0.4$	Lat N Long W 64 170
Foca harpa ( <i>Phoca groenlandica</i> )	11	$-15.1 \pm 0.3$	$15.7 \pm 0.7$	Lat N Long W 54 57

**Tabla 9.** Valores  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  de un estudio realizado utilizando colágeno de hueso procedente de pinnípedos en el noreste del Pacífico (Burton y Koch, 1999)

ESPECIE	N (sexo)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	LOCALIDAD
---------	----------	---------------------------------	---------------------------------	-----------

Lobo marino de california ( <i>Z. californianus</i> )	4	-13.9±1.1	18.4±0.9	California (cerca de la costa)
Lobo marino de california ( <i>Z. californianus</i> )	11	-13.7±0.7	18.7±1.0	California (cerca de la costa)
Foca de puerto ( <i>Phoca vitulina richardsi</i> )	5	-12.4±0.9	18.3±0.6	California (cerca de la costa)
Foca de puerto ( <i>Phoca vitulina richardsi</i> )	13	-12.4 ±0.6	18.9±1.1	California (cerca de la costa)

De estos estudios cabe señalar que han sido realizados con diferentes tejidos, por lo que los resultados obtenidos están en función de la tasa de recambio de cada uno, así mismo las muestras procedentes de zonas geográficas con latitudes altas, tendrán valores más negativos.

## 6. CONCLUSIONES

La distribución espacial de los valores registrados en las variables isotópicas  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en los dientes de los lobos marinos de Isla Lobos, B.C. reflejan que existe una variación amplia; sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre los grupos de edad ni sexo, lo que indica que existe un patrón alimentario en la muestra de la población de *Zalophus californianus* estudiada.

La amplitud en la distribución de  $\delta^{13}\text{C}$  podría reflejar una diversidad de presas de *Zalophus californianus* en Isla Lobos para diferentes grupos de edad, sin embargo se presenta un número reducido de especies preferenciales (*Trichiurus lepturus*, *Porichthys* sp. y *Cetengraulis mysticetus*) con diferentes hábitos alimentarios (especies carnívoras y filtroalimentadoras), que muestran diferentes razones  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ .

Arnould y Boyd (1996) mencionan que al menos en los otáridos, la distribución de la energía consumida en los componentes del cuerpo es distinta para hembras y machos. Sin embargo en este estudio, en la categoría de adultos (para ambos sexos) se encontraron valores isotópicos promedio muy cercanos entre si lo que indica en apariencia que ambos sexos se alimentan de presas del mismo nivel trófico, por lo que tienen espectros alimenticios semejantes y, por lo tanto, un nivel trófico similar, aunque no se debería descartar la idea de que este método no refleje por completo la ruta que la energía asimilada sigue en cada caso, ya que cada individuo dependiendo de su sexo tiene distintos requerimientos fisiológicos (producción de hormonas, lactancia, etc) y su eficiencia se relaciona con el hecho de satisfacerlos adecuadamente.

Para los individuos juveniles de ambos sexos, se encontró una diferencia de 1.47 ‰ para el caso del  $\delta^{13}\text{C}$  entre ambos sexos, lo que en conjunto muestra que en esta fase de su vida se alimenta de varias presas, sin mostrar un patrón definido debido a su comportamiento trófico generalista.

---

## 7. RECOMENDACIONES

Este estudio se realizó con muestras procedentes de una lobera en particular (Isla Lobos, B.C.), por lo que sería importante realizar comparaciones con otras del Golfo de California y con ello contribuir al conocimiento de la variación interpoblacional de *Z. californianus*.

Colateral a estos estudios, se sugiere realizar análisis acerca de la distribución y abundancia de las presas principales del Lobo marino de California para cada lobera a lo largo del Golfo de California.

El método de isótopos estables tiene sus limitaciones debido a que los diferentes ecosistemas son muy complejos y tienen diferentes fuentes orgánicas que los individuos de *Z. californianus* utilizan como recursos, por lo que es necesario complementar estos estudios con conocimientos de su historia de vida (conducta, ecología, reproducción etc).

## Literatura Citada

- Abend, A.G. y T.D. Smith. 1997. Differences in stable isotope ratios of carbon and nitrogen between long-finned pilot whales (*Globicephala melas*) and their primary prey in the western north Atlantic. *Journal of Marine Science*. 54:500-503
- Aguilar-Rodríguez. 1998. Análisis poblacional del lobo marino *Zalophus californianus*, en Isla San Martín, Baja California: Verano 1983-primavera 1984. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias. Ensenada, B.C. 169 pp.
- Aguñiga-García, S. 1999. Geoquímica de la cuenca estuarina del Río Colorado:  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y biomarcadores lipídicos en sedimentos superficiales. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. 155 pp.
- Arnould, J.P.Y. y I.L. Boyd. 1996. The relationship between foraging behavior and energy expenditure in Antarctic fur seals. *Journal of Zoology*, London 239: 769-782.
- Aurioles-Gamboa, D. 1982. Contribución al conocimiento de la conducta migratoria del lobo marino de California *Zalophus californianus*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. 74 pp.
- Aurioles-Gamboa, D. 1988. Behavioral ecology of California sea lion in the Gulf of California. PhD Thesis, University of California, Santa Cruz. 175 pp.
- Aurioles-Gamboa, D., C. Fox, F. Sinsel y G. Tanos. 1984. Prey of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Bay of La Paz, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Mammalogy*. 65(3): 519-521.
- Aurioles-Gamboa, D. y A. Zavala-González. 1994. Algunos factores ecológicos que determinan la distribución y abundancia del lobo marino *Zalophus californianus* en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 20(4): 535-553.
- Aurioles-Gamboa, D., C. J. Hernández-Camacho, J. Forcada y D. Croll. Survival patterns of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California. en elaboración.
- Benner, R., B. Biddanda, B. Black, y M. McCarthy. 1997. Abundance, size distribution and stable carbon and nitrogen isotopic composition of marine organic matter isolated by tangential-flow ultra filtration. *Marine Chemistry* 57: 243-263.
- Boness, D.J. 1991. Determinants of mating systems in the otariidae (Pinnipedia). En: D. Renouf (ed). Pag.1-44. *The behavior of Pinnipeds*. Chapman and Hall.
- Bonner, W.N. 1984. Lactation strategies in pinnipeds: problems for a marine mammalian group. *Symposium of the Zoological Society of London* 51: 253-272.

- Bowen, W.D. 1991. Behavioral ecology of pinniped neonates. En: D. Renouf (ed). Pag.66-127. The behavior of Pinnipeds. Chapman and Hall.
- Brown, R.F. y B.R. Mate. 1983. abundance, movements, and feeding habitats of harbor seals, *Phoca vitulina*, at Netarts and Tillamook Bays, Oregon. Fishery Bulletin, U.S. 81: 291-301.
- Burton, R.K. y P.L. Koch. 1999. Isotopic tracking of foraging and long-distance migration in northeastern Pacific pinnipeds. Oecologia. 119: 578 –585.
- Carriguirry, J.D. y A. Sánchez. 1999. Dispersión and provenance of the recent sediments of the Colorado River Delta and Adjacent Plataform. Marine Geology.
- Chisholm, B.S., D.E. Nelson y K.A. Hobson. 1983. Carbon Isotope Measurement Techniques for Bone Collagen: Notes for the Archaeologist. Journal of Archaeological Science 10: 355-360.
- Christensen V. y D. Pauly. 1992. ECOPATH II. A software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. Ecological modelling. 61:169-185.
- Coleman, D.C. y B. Fry. 1991 Carbon Isotope Techniques. Academic Press, Inc. U.S.A. 274pp.
- Costa, D.P. 1991. Reproductive and foraging energetics of pinnipeds: implications for life history patterns. En: D. Renouf (ed). Pag. 300-344. The behavior of Pinnipeds. Chapman and Hall.
- Cranwell, P.A. 1982. Lipids of aquatic sediments particulates. Progress Lipid Resources 21:271-308.
- Das, K., G. Lepoint, V. Loizeau, V. Debacker, P. Dauby y J.M. Bouquegneau. 2000. Tuna and dolphins associations in the North-east Atlantic: Evidence of different ecological niches from stable isotope and heavy metal measurements. Marine Pollution Bulletin 40, 2: 102-109.
- De Niro, M.J y S. Epstein. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. Geochimica of Cosmochimica Acta: 42: 495-506.
- De Niro, M.J. y S. Epstein. 1981. Influence of diet in the distribution of nitrogen isotopes in animals. Geochimica of Cosmochimica Acta: 45: 341-451.
- Dietz, R.H. y P.H. Jorgensen. 1991. Age determination of European Harbor seal, *Phoca vitulina* L. Sarcia. 76:17-21.

- Douglas, A.D., J.G. Field y A.G. James. 1991.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  isotope ratios in the Southern Benguela Ecosystem: indicators of food web relationships among different size-classes of plankton and pelagic fish: differences between fish muscle and bone collagen tissues. *Marine Ecology. Progress Series*. 78: 23-31
- Durán-Lizárraga, M.E. 1998. Caracterización de los patrones de buceo de alimentación de lobo marino *Zalophus californianus* y su relación con variable ambientales en la Bahía de La Paz, B.C.S. Tesis de Maestría. CICIMAR. La Paz, B.C.S. 82 pp.
- Fiscus, C.H. y G. A. Baines. 1996. Food and feeding behavior of Steller and California sea lions. *Journal of Mammalogy*. 47 (2): 195-200.
- Fraker, M.A., y B.R. Mate. 1999. Seals, sea lions and salmon. 156-158. En. *Conservation and Management of Marine Mammals*. J.R. Twiss Jr y R. R. Reeves (eds) Smithsonian Institution Press, 471 pp.
- Froese, R. y D. Pauly. 1998. Fishbase: concepts, design and data sources. ICLARM. Manila, Filipinas. 293 pp.
- Fry, B. y E.B. Sherr. 1988.  $\delta^{13}\text{C}$  measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. 196-229. En: P.W Rundel, J. R. Ehleringer, y K.A. Nagy (eds). *Stable isotopes in ecological research*. Springer-Verlag, New York.
- Fry, B. y S.C. Wainwright. 1991. Diatom sources of  $^{13}\text{C}$ -rich carbon in marine food webs. *Marine Ecology Progress Series* 76: 149-157.
- García-Rodríguez, F.J. 1995. Ecología alimentaria del lobo marino de California *Zalophus californianus* en Los Islotes, B.C.S., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. 106 pp.
- García-Rodríguez, F.J. 1999. Cambios espaciales y estacionales en la estructura trófica y consumo del lobo marino de California, *Zalophus californianus*, en la región de las grandes islas del Golfo de California. Tesis de Maestría. CICIMAR. La Paz, B.C.S. 73 pp.
- Gearing, J.N. 1988. Stable isotopes as tracers of organic matter near and offshore: Coastal- offshore Ecosystem Interactions. *Lectures Notes of Coastal and Estuarine Studies*, 22: 69-107.
- Hedges, J. I., H. J. Turin y J.R. Ertel. 1984. Sources and distribution of sedimentary organ matter in the Columbia River drainage basin, Washington and Oregon. *Limnology and Oceanography* 29: 35-46.
- Hedges, J. I., W.A. Clark, P.Q. Quay, J.E. Richey, A. H. Devol y U. de M. Santos. 1986. Composition and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. *Limnology and Oceanography* 31: 717-738.

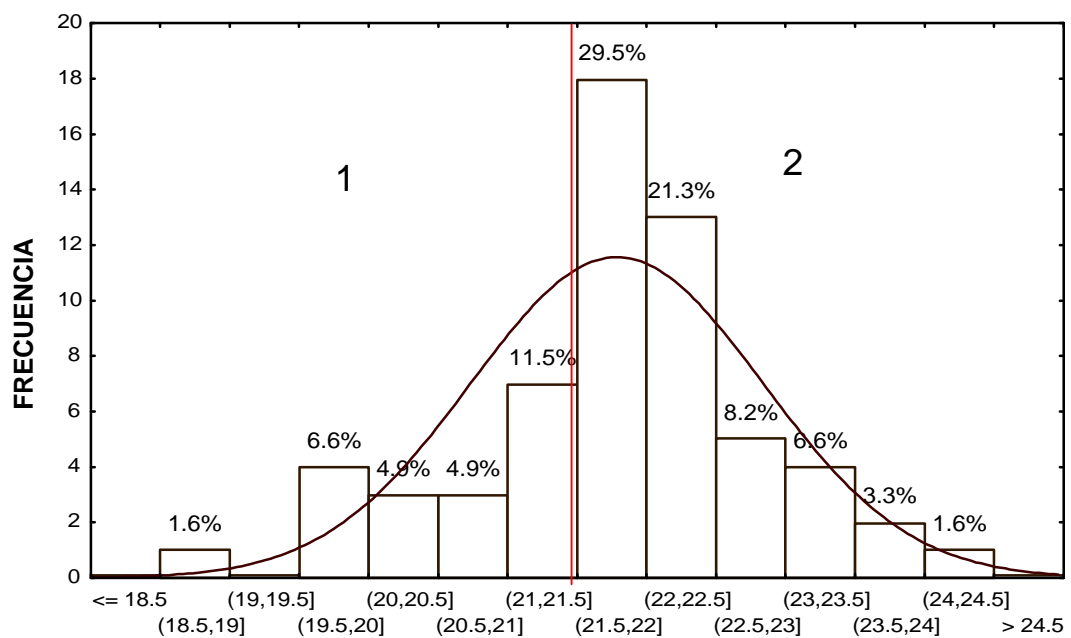
- Hobson, K.A. 1993. Trophic relationships among high Arctic seabirds: insights from tissue dependent stable isotope models. *Marine Ecology Progress Series*. 95: 7-18.
- Hobson, K.A. y R.G. Clark. 1992a. Assessing avian diets using stable isotopes. I: Turnover of  $^{13}\text{C}$  in tissues. *Condor*. 94: 181-188.
- Hobson, K.A. y R.G. Clark. 1992b. Assessing avian diets using stable isotopes. II: Factors influencing diet-tissue fractionation. *Condor* 94: 189-197.
- Hobson, K.A. y H.E. Welch. 1992. Determination of trophic relationships within a high Arctic marine food web using  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  analysis. *Marine Ecology Progress Series*. 84: 8-9.
- Hobson, K.A., D.M. Schell, D. Renouf y E. Noseworthy. 1996. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals : implications for dietary reconstructions involving marine mammals. *Canadian Journal of Fisheries And Aquatic Science*. 53: 528-533.
- Hobson, K.A., J.L. Sease, R.L. Merrick y J.F. Piatt. 1997. Investigating trophic relationships of pinnipeds in Alaska and Washington using stable isotope ratios of nitrogen and carbon. *Marine Mammal Science*. 13: 114-132.
- Hobson, K.A. y J.L. Sease. 1998. Stable isotopes analyses of tooth annuli reveal temporal dietary records : An example using Steller sea lions. *Marine Mammal Science*. 14: 116-129.
- Horning, M. y F. Trillmich. 1997. Ontogeny of diving behavior in the Galapagos fur seal. *Behavior*. 134: 1211-1257.
- Imler, R.H. y H.R. Sarber 1947. Harbor seals and sea lions in Alaska. U.S. Fish and Wildlife Service, Special Science Report Number 28. 23pp.
- Jackson, D. y D. Harkess. 1987. The use and interpretation of  $\delta^{13}\text{C}$  values as a means of establishing dietary composition. *Oikos*. 48: 258-264.
- Klevezal, G.A. 1996. Recording structures of mammals: Determination of age and reconstruction of life history.(eds). A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield. USA. 274 pp.
- King, J.E. 1983. Seals of the world. British Museum (Natural History) London. 154 pp.
- Koch, P.L., M.L. Fogel y N. Tuross. 1994. Tracing the diets of fossil animals using stable isotopes. En: Lajtha, K. y R. H. Michener (eds). *Stable isotopes in ecology and environmental well*. Boston. 63-92.
- Kovacs, K.M. y D.M. Lavigne. 1992. Maternal investment in otariid seals and walruses. *Canadian Journal of Zoology*. 70: 1953-1964.

- Le Blanc, C. 1989. Terrestrial input to estuarine bivalves as measured by multiple stable isotope tracers. Ph. D. Dissertation. McMaster University, Hamilton. Ontario, Canada. 201p.
- Lee-Thorp, J.A., J.C. Sealy y N.J. Merwe van der. 1989. Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet. *Journal of Archaeological Science*. 16: 585–599.
- Lluch, B., D. 1969. El lobo marino de California *Zalophus californianus californianus* (Lesson 1828) Allen 1880. Observaciones sobre su ecología y explotación. 3-69 En: Dos Mamíferos Marinos de Baja California. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables.
- Lowry, M.S., y R.L. Folk. 1990. Sex determination of the California sea lion (*Zalophus californianus californianus*) from canine teeth. *Marine Mammal Science*. 6: 25-31.
- Lowry, M.S., C.W. Oliver, C. Macky, y J.B. Wexler. 1990a. Food habits of California sea lions *Zalophus californianus* at San Clemente Island, California, 1981-86. *Fishery Bulletin*. U.S. 88: 509-521.
- Lowry, M.S., B.C. Stewart y C.B. Heath. 1990b. Seasonal and Annual Variability in the diet of California Sea lions *Zalophus californianus* at San Nicolas Island, California, 1981-86. *Fishery Bulletin*. U.S. 89:331-336.
- Luque-Flores, S.P. 1999. Comparación de la condición corporal de crías de Lobo marino, *Zalophus californianus*, en once colonias reproductivas del Golfo de California. Tesis de Maestría. CICIMAR. La Paz, B.C.S. 109 pp.
- Mizutani, H., M. Fukuda, Y. Kabaya y E. Wada. 1990. Carbon isotope ratio of feathers reveals feeding behavior of cormorans. *Auk* 107: 400-437.
- Monteiro, P.S., A.G. James y J.G. Field. 1991. The  $\delta^{13}\text{C}$  trophic position isotope spectrum a tool to define and quantify carbon pathways in marine food webs. *Marine Ecology Progress Series*. 78: 33-40.
- Morse, D.H. 1980. Behavioral mechanisms in ecology. Harvard University Press, Cambridge.
- Orr, R. T. y R.C. Helm. 1989. Marine Mammals of California. California Natural History Guide: 29, RF Dasman, M.L. Jefferds, MacNeil, y R. Ornduff. (eds) California: University California Press.
- Orr, R. T., J. Schonewald y K.W. Kenyon. 1970. The California sea lion: skull growth and a comparison of two populations. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, XXXVII (11): 381-394.

- Ostrom, P.H., S.A. Macko, M.H. Engel y D.A. Rusell. 1993. Assessment of trophic structure of Cretaceous communities based on stable nitrogen isotope analyses. *Geology* 21: 491-494
- Pauly, D., V., Christensen y E. Capuli. 1998. Diet composition and trophic levels of marine mammals. *Journal of Marine Science*. 55: 467-481.
- Peterson, R. S. y G. A. Bartholomew. 1967. The natural history and behavior of the California sea lion. *American Society Mammal Special Publication* 1: 79 pp.
- Pitcher, K. W. 1980. Stomach contents and feces as indicators of harbor seal, *Phoca vitulina*, foods in the Gulf of Alaska. *Fishery Bulletin*, 78(3):797-798.
- Rau, G.H., J.L. Teyssie, F. Rassoulzadegan y S.W. Fowler. 1990.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  variations among size fractionated marine particles: implications for their origin and trophic relationships. *Marine Ecology Progress Series*. 59: 33-38.
- Rau, G.H., D.G. Ainley, J.L. Bengtson, J.J. Torres y T.L. Hopkins. 1992.  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  in Weddell sea birds, seals, and fish: implications for diet and trophic structure. *Marine Ecology Progress Series* 84: 1-8.
- Sánchez, L.G., M.R. Stevenson y B. Wiatt. 1978. Circulación y masas de agua en la región de la boca del Golfo de California en la Primavera. *Ciencias Marinas*. 5: 57-69.
- Santamaría, E., S.A. Borrego y F.E. Muller-Karger. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research* 99: 7411-7421.
- Sheffer, V. B., 1958. Seals, sea lion and walruses. A review of the Pinnipedia. Stanford University Press., California.
- Schoeninger, M.J. y M.J. De Niro. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from terrestrial and marine mammals. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 48: 625-639
- Spalding, D.J. 1964. Comparative feeding habits of the fur seal, sea lion and harbor seal on the British Columbia coast. *Fisheries Research of Canada Bulletin* 146. 52pp.
- Tieszen, L.L., T.W. Boutton, K.G. Tesdahl y N.A. Slade. 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for  $\delta^{13}\text{C}$  analysis of diet. *Oecologia*. 57: 32-37.
- Trillmich, F. 1990. The behavioral ecology of maternal effort in fur seals and sea lions. *Behavior*. 114: 3-19.

- 
- Tuross, N., M.I. Fogel y P.E. Hare. 1988. Variability in the preservation of the isotopic composition of collagen from fossil bone. *Geochimica. Cosmochimica. Acta.* 52: 929-935.
- Walker, B.W. 1960. The distribution and affinities of the marine fish fauna of the Gulf of California. *Systematic Zoology*, 9 (3): 123-133.
- Walker, J.L y S.A. Macko. 1999. Dietary studies of Marine mammals using stable carbon and nitrogen isotopic ratios of teeth. *Marine Mammal Science.* 15: 314-334.
- Walker, J.L., C.W. Potter y S. A. Macko. 1999. The diets of modern and historic bottlenose dolphin populations reflected through stable isotopes. *Marine Mammal Science.* 15:335-350.
- Wilson, J.O., I. Valiela y T. Swain. 1985. Sources and concentrations of vascular plant material in sediments of Buzzards Bay, Massachusetts, USA. *Marine Biology* 90: 129-137.
- Wolaver, T.G., S. Hutchinson y M. Marozas. 1986. Dissolved and particulate organic carbon in the North Inlet Estuary, South Carolina: what controls their concentrations? *Estuaries* vol. 9, 1: 31-38.

## Anexo 1.



**Anexo 1 a)** Niveles tróficos de las presas de *Zalophus californianus* en Isla Lobos (método de excretas)

**b)** Niveles tróficos encontrados en la población estudiada *Zalophus californianus* obteniendo  $\delta^{15}\text{N}$  en colágeno de dientes.