



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



AMPLITUD, NIVEL Y SUPERPOSICIÓN TRÓFICA DE  
LOS PINNÍPEDOS DE ISLAS SAN BENITO B.C.  
MÉXICO.

TESIS

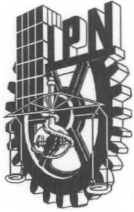
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS  
EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS.

PRESENTA:

NEREYDA PABLO RODRÍGUEZ

La Paz, B.C.S., México.

Diciembre de 2009.



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 10 del mes de Noviembre del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

“AMPLITUD, NIVEL Y SUPERPOSICIÓN TRÓFICA DE LOS PINNÍPEDOS  
DE ISLAS SAN BENITO, B.C., MÉXICO”

Presentada por el alumno:

PABLO  
Apellido paterno

RODRÍGUEZ  
materno

NEREYDA  
nombre(s)

Con registro: 

B	0	7	1	2	0	0
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

### LA COMISION REVISORA

Director de tesis  
PRIMER VOCAL

\_\_\_\_\_  
DR. DAVID AURIOLES GAMBOA

PRESIDENTE

\_\_\_\_\_  
DR. SERGIO AGUÍNIGA GARCÍA

SECRETARIO

\_\_\_\_\_  
DR. VÍCTOR HUGO CRUZ ESCALONA

SEGUNDO VOCAL

\_\_\_\_\_  
DR. JOSÉ DE LA CRUZ AGÜERO

TERCER VOCAL

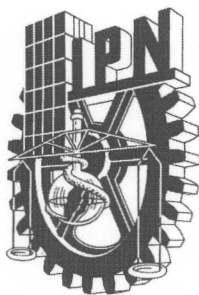
\_\_\_\_\_  
DR. SERGIO FRANCISCO MARTÍNEZ DÍAZ

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

\_\_\_\_\_  
DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN  
CICIMAR  
DIRECCION



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 17 del mes Noviembre del año 2009, el (la) que suscribe BIOL. NEREYDA PABLO RODRÍGUEZ alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B071200 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. DAVID AUIROLES GAMBOA y cede los derechos del trabajo titulado: "AMPLITUD, NIVEL Y SUPERPOSICIÓN TRÓFICA DE LOS PINNÍPEDOS DE ISLAS SAN BENITO, B.C., MÉXICO" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: pr\_syren@yahoo.com dgamboa@ipn.mx

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

BIOL. NEREYDA PABLO RODRÍGUEZ

*nombre y firma*

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	vii
GLOSARIO.....	viii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	4
3. JUSTIFICACIÓN.....	7
4. OBJETIVOS.....	9
4.1 Objetivo general.....	9
4.2 Objetivos particulares.....	9
5. ÁREA DE ESTUDIO.....	10
5.1 Isla San Benito.....	10
5.2 Cabo San Lázaro.....	10
6. METODOLOGÍA.....	14
6.1 Trabajo de campo.....	14
6.1.1 Estructura y tamaño de las colonias.....	14
6.1.2 Recolecta de muestra.....	14
6.2 Trabajo de laboratorio.....	14
6.2.1 Tamizado de excretas.....	14
6.3 Análisis de datos.....	14
6.3.1 Tamaño de muestra.....	15
6.3.2 Composición de la dieta.....	15
6.3.3 Amplitud del espectro trófico.....	16
6.3.4 Nivel trófico.....	17
6.3.5 Omnivoría con base al espectro trófico.....	18
6.3.6 Superposición del espectro trófico.....	18
6.3.7 Análisis multivariado.....	19
6.4 Análisis de isótopos estables.....	19

6.4.1 Colecta de muestras para el análisis en pelo de crías.....	19
6.4.1.1 Procesamiento de muestras para análisis de pelo.....	20
6.4.2 Recolecta de muestras para el análisis de dentina.....	21
6.4.3 Análisis isotópico de muestras.....	23
6.4.4 Análisis de datos.....	23
7 RESULTADOS.....	26
7.1 Estructura y tamaño de las colonias.....	26
7.2 Análisis de excretas de los otáridos.....	28
7.2.1 Estructura de la dieta.....	28
7.2.2 Tamaño de muestra.....	29
7.2.3 Espectro trófico.....	32
7.2.4 Amplitud trófica.....	34
7.2.5 Nivel trófico.....	34
7.2.6 Omnivoría.....	34
7.2.7 Superposición trófica.....	35
7.2.8 Análisis multivariados de los hábitos alimentarios.....	35
7.3 Análisis de isótopos estables.....	37
7.3.1 Análisis isotópico en pelo de cría de los otáridos.....	37
7.3.2 Análisis isotópico en colágeno dental de las cuatro especies de pinnípedos.....	39
7.3.3 Amplitud trófica.....	51
7.3.4 Nivel trófico.....	51
8. DISCUSIÓN.....	53
8.1 Censos poblacionales.....	53
8.1.1 Estructura por edad y sexo.....	54
8.2 Estructura de la dieta de los otáridos.....	55
8.2.1 Grado de Omnivoría.....	57
8.2.2 Superposición trófica.....	57
8.3 Análisis isotópico.....	59
8.3.1 Isótopos de pelo de cría de los otáridos.....	59
8.3.2 Isótopos de colágeno dental de las cuatro especies de pinnípedos.....	61
8.4 Amplitud trófica.....	64

8.5 Nivel trófico.....	66
9. CONCLUSIONES.....	69
10. BIBLIOGRAFÍA .....	71
Anexo 1	

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Crecimiento de las poblaciones de lobo fino de Guadalupe (*A. townsendi*) en la Isla Guadalupe e Islas San Benito, México (Aurioles *et al.*, en prensa).

**Figura 2.** Ubicación geográfica de las Islas de San Benito. B.C. México (Camacho, 2004).

**Figura 3.** Ubicación geográfica de Cabo San Lazaro, B.C.S., México (Mercuri, 2007).

**Figura 4.** Área de corte de pelo para la toma de muestra en las crías de otáridos.

**Figura 5.** Corte longitudinal de diente canino de lobo marino de California muestreada con el taladro “Micro Mill System” para cada año de vida del individuo

**Figura 6.** Gráficas comparativa de estructura por edad y sexo de *A. townsendi*, *Z. californianus* y *M. angustirostris* en islas San Benitos, B.C., México entre verano e invierno del año 2007.

**Figura 7.** Proporción de las presas encontradas en las excretas de *Z. californianus* y de *A. townsendi* durante verano e invierno del año 2007.

**Figura 8.** Curvas de diversidad acumulada de las presas de *A. townsendi* de Islas San Benito en relación al tamaño de muestra (número de copros) para verano e invierno del año 2007.

**Figura 9.** Curvas de diversidad acumulada de las presas de *Z. californianus* de Islas San Benito en relación al tamaño de muestra (número de copros) para verano e invierno del año 2007.

**Figura 10.** Dendrograma de clasificación del espectro trófico de *A. townsendi* (At) y *Z. californianus* (Zc) en verano (ver) e invierno (inv) del año 2007, en Islas San Benito.

**Figura 11.** Análisis de Componentes Principales del espectro trófico de *A. townsendi* (At) y *Z. californianus* (Zc) en verano (ver) e invierno (inv) del año 2007, en Islas San Benito.

**Figura 12.** Comparación en los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de pelo de crías de *A. townsendi* y *Z. californianus*, en el verano del 2007, en Islas San Benito.

**Figura 13.** Comparación en los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de pelo de crías de *A. townsendi* y *Z. californianus*, en el verano del 2007, en Islas San Benito (mismo tamaño de muestra  $n=7$ ).

**Figura 14.** Comparación en los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de pelo de crías de *A. townsendi* de Isla Guadalupe e Islas San Benito.

**Figura 15.** Perfil ontogénico de  $\delta^{15}\text{N}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *A. townsendi* (a), valores promedio y desviación estándar (b).

**Figura 16.** Perfil ontogénico de  $\delta^{13}\text{C}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *A. townsendi* (a), valores promedio y desviación estándar (b).

**Figura 17.** Perfil ontogénico de  $\delta^{15}\text{N}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *Z. californianus* (a), valores promedio y desviación estándar (b).

**Figura 18.** Perfil ontogénico de  $\delta^{13}\text{C}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *Z. californianus* (a), valores promedio y desviación estándar (b).

**Figura 19.** Perfil ontogénico de  $\delta^{15}\text{N}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *P. vitulina*(a), valores promedio y desviación estándar (b).

**Figura 20.** Perfil ontogénico de  $\delta^{13}\text{C}$  de colágeno dental de tres individuos de *P. vitulina*(a), valores promedio y desviación estándar (b).



**Figura 21.** Perfil ontogénico de  $\delta^{15}\text{N}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *M. angustirostris* (a), valores promedio y desviación estándar (b).

**Figura 22.** Perfil ontogénico de  $\delta^{13}\text{C}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *M. angustirostris* (a), valores promedio y desviación estándar (b).

**Figura 23.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (promedio  $\pm$  desviación estándar) de *Mirounga angustirostris*.

**Figura 24.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (promedio  $\pm$  desviación estándar) de los pinnípedos en Islas San Benito.

**Figura 25.** Valores isotópicos (promedio  $\pm$  desviación estándar) de  $\delta^{15}\text{N}$  (a) y  $\delta^{13}\text{C}$  (b) en colágeno dental de los pinnípedos de Islas San Benito, B.C.

**Figura 26.** Valores isotópicos (promedio  $\pm$  desviación estándar) de  $\delta^{15}\text{N}$  (a) y  $\delta^{13}\text{C}$  (b) en colágeno dental de *A townsendi*, *Z. californianus* y *P. vitulina*.

**Figura 27.** Análisis de similitud para las dietas de los otáridos en verano e invierno de los años 2001, 2002 y 2007.

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Claves de cráneos de las cuatro especies de pinnípedos que fueron utilizados para la extracción de dentina. Se muestra su edad, categoría y el sitio de colecta.

**Tabla 2.** Poblaciones totales en tierra de los pinnípedos de Islas San Benitos en verano e invierno del año 2007.

**Tabla 3.** Variación temporal en la importancia de presas identificada para *A. townsendi* y de *Z. californianus*.

**Tabla 4.** Amplitud trófica de las especies de otáridos en verano e invierno de 2007, comparado con un estudio anterior de 2001-2002 (Aurioles y Camacho, 2007).

**Tabla 5.** Comparación del nivel trófico de *Z. californianus* y *A. townsendi* de Islas San Benitos obtenido en verano e invierno del 2007 con otros estudios.

**Tabla 6.** Valor de omnivoría asignado a cada una de las especies de otárido en verano e invierno de 2007, comparación con un estudio anterior de 2001-2002 (Aurioles y Camacho, 2007).

**Tabla 7.** Grado de superposición trófica entre los otáridos en verano e invierno de 2007, comparado con un estudio anterior de 2001-2002 (Aurioles y Camacho, 2007).

**Tabla 8.** Amplitud trófica asignado a las especies de pinnípedos por medio de isótopos estables.

**Tabla 9.** Nivel trófico asignado a las especies de pinnípedos de Isla San Benito.

## GLOSARIO

**Amplitud trófica.** Variedad de presas que conforman la dieta de una especie, relacionando la proporción de las mismas para ubicarlo como un depredador especialista o generalista.

**Competencia.** Interacción que se establece entre dos o más individuos (competencia intraespecífica) o especies (competencia interespecífica) cuando un recurso es limitado. La explotación del recurso por parte de un individuo afecta negativamente al otro individuo y viceversa.

**( $\delta$ ) Delta.** Notación adoptada para expresar las diferencias relativas en las razones de isótopos estables de una muestra con respecto a un estándar. Se expresa en unidades de partes por mil (‰).

**$\delta^{13}\text{C}$ .** Diferencia expresada en partes por mil entre el contenido de  $^{12}\text{C}$  y  $^{13}\text{C}$  de una muestra con respecto al del estándar Pee Dee Belemnite. En estudios de alimentación se usa mayormente para definir el tipo de ambiente que utilizan los consumidores (p. e. costero/oceánico).

**$\delta^{15}\text{N}$ .** Diferencia expresada en partes por mil entre el contenido de  $^{14}\text{N}$  y  $^{15}\text{N}$  de una muestra con respecto al del estándar de nitrógeno atmosférico. En estudios de alimentación se usa para definir la posición trófica relativa de los consumidores y diferencias latitudinales en áreas de alimentación.

**Enriquecimiento isotópico.** Término utilizado para describir la cantidad de  $^{15}\text{N}$  o  $^{13}\text{C}$  con respecto a una cantidad previa. Una sustancia enriquecida en  $^{15}\text{N}$  o  $^{13}\text{C}$  estará disminuida isotópicamente en  $^{14}\text{N}$  o  $^{12}\text{C}$  respectivamente.

**Especialista.** Organismo que se alimenta de un número reducido de presas.

**Especialista plástico.** Especie que consume pocos recursos en gran cantidad y tiene un número considerable de especies presa en bajas frecuencias (Lowry *et al.*, 1991).

**Espectro trófico.** Lista de especies presa que conforman la dieta de una especie consumidora a lo largo de un periodo (Day *et al.*, 1989).

**Fócido.** Pinnípedo perteneciente a la familia Phocidae.

**Fraccionamiento isotópico.** Diferencia en la razón isotópica entre un consumidor y su presa como resultado de una discriminación metabólica, donde el isótopo pesado es almacenado.

**Generalista.** Organismo que se alimenta de una amplia variedad de presas, sin preferencia por alguna de ellas.

**Grado de omnivoría.** Describe el comportamiento alimentario de un consumidor estableciendo si se alimenta de presas ubicadas en uno o varios niveles tróficos.

**Índice de importancia ponderado.** Representación de la importancia de una presa en la probabilidad de hallarlo en un conjunto de muestras (García, 1999).

**Inter-específico.** Entre especies, interacción entre especies o condiciones descritas para dos o más especies.

**Intra-específico.** Dentro de una especie, interacción entre individuos con-específicos o condiciones descritas para una sola especie.

**Isótopos.** Átomos de un mismo elemento con igual número de protones ( $Z^+$ ) y electrones ( $e^-$ ) pero diferente número de neutrones ( $N$ ).

**Isótopo estable o pesado.** Isótopo sin tendencia a la desintegración espontánea. Cualquier isótopo natural no radiogénico de un elemento químico.

**Material orgánico particulado.** Materia orgánica de diámetro mayor a  $0.2\mu\text{m}$  y menor a 1 cm, en la que se incluyen principalmente secreciones, exudados celulares, material fecal de organismos vivos, restos de fitoplancton, zooplancton, y materia detrítica parcialmente o totalmente degradado.

**Nicho ecológico.** Posición de un organismo dentro de un ecosistema, incluyendo su posición trófica, hábitat y su relación con el medio ambiente físico y biótico circundante.

**Nivel trófico.** Posición o categoría en la que se clasifica un determinado organismo dentro de la cadena trófica. Es un valor que refleja el número promedio (intercambio físico) existente entre los nutrientes en la base de la red trófica y el consumidor, teniendo en cuenta la importancia relativa del aporte de energía a cada nivel.

**Otárido.** Pinnípedos que pertenecen a la familia Otariidae, que incluyen a lobos marinos y lobos finos también llamados osos marinos.

**Pinnípedo.** Grupo de mamíferos que pertenecen al orden Carnívora, incluye focas, lobos marinos, lobos finos y morsas.

**Red trófica.** Flujo de energía transferida sucesivamente de productores primarios a consumidores primarios, secundarios y así sucesivamente dentro de una comunidad.

**Simpatría.** Son especies cuya distribución poblacional se superpone, coexistiendo en una misma área geográfica.

**Superposición del nicho.** Grado del uso compartido de recursos por dos especies. La superposición no implica competencia, pero no existe competencia si no hay superposición.

## RESUMEN

El archipiélago San Benito B.C. es el único sitio en México donde cuatro especies de pinnípedos, dos otáridos (*Arctocephalus townsendi* y *Zalophus californianus*) y dos fócidos (*Mirounga angustirostris* y *Phoca vitulina richardsii*) habitan en simpatria; situación que lleva a pensar en una repartición del nicho trófico. El objetivo de este estudio fue determinar el nivel, amplitud y superposición tróficos de los pinnípedos de Islas San Benito, mediante el análisis de excretas e isótopos estables en pelo de crías de los otáridos y colágeno dental de las cuatro especies. Se colectaron excretas para los otáridos en verano (n=54 para cada especie) e invierno (n=60 para cada especie) de 2007, se separaron las partes duras y se identificaron las presas. Se aplicaron diversos índices ecológicos como el de importancia de presa, el grado de omnivoría, nivel trófico, amplitud trófica y superposición trófica durante verano e invierno de 2007. Se determinaron las razones isotópicas de carbono y nitrógeno en muestras de pelo y colágeno dental. Las especies presa más importantes para los otáridos durante el verano fueron calamares (*Loligo opalescens* y *Gonatus* sp.) con 74% para *A. townsendi* y 45% para *Z. californianus*. En invierno los calamares (*L. opalescens*, *Gonatus* sp y *Dosidicus gigas*) volvieron a ser importantes (87%) para *A. townsendi* y mientras que para *Z. californianus* los peces (*Sebastes* spp. y *Argentina sialis*) fueron las presas más importantes (76%). Las presas consumidas por estas dos especies consumieron fueron ubicadas en el mismo nivel trófico para ambas temporadas. El análisis isotópico en pelo de los otáridos indicó diferencias significativas en el  $\delta^{15}\text{N}$ , donde *A. townsendi* tuvo un valor promedio de  $18.34 \pm 0.44\text{‰}$  y *Z. californianus* de  $19.52 \pm 0.82\text{‰}$  (T-test:  $p=0.001$ ), lo cual coincide con un mayor consumo de calamares por *A. townsendi*. El valor promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  fue menor en *A. townsendi* ( $-16.32 \pm 0.23\text{‰}$ ) que en *Z. californianus* ( $-15.9 \pm 0.36\text{‰}$ ), cuyo análisis estadístico mostró diferencias significativas (T-test,  $p=0.03$ ) dadas por el hábitat pelágico de los calamares para el primero y de peces costeros para el segundo durante el verano. Las señales isotópicas en colágeno dental mostraron diferencias significativa en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para *M. angustirostris* (ANOVA;  $F=29.26$ ,  $p \leq 0.001$ ), sugiriendo que no se alimenta en la región. *A. townsendi* mostró valores isotópicos en colágeno que confirman su alimentación en el ambiente oceánico, mientras que las señales de  $\delta^{13}\text{C}$  en *P. vitulina* y *Z. californianus* en ambiente costero. Tanto el análisis de excretas para los otáridos como el análisis isotópico en todas las especies, posicionaron a las

cuatro especies como especialistas y en un nivel trófico cercano (consumidores carnívoros secundarios-terciarios). El análisis de excretas mostró superposición trófica para los otáridos sólo durante verano ( $C_H=0.88$ ), mientras que los isótopos estables en colágeno sugirieron superposición trófica entre *P. vitulina* y *Z. californianus*. Los resultados definen que las cuatro especies de pinnípedos tienen diferentes estrategias alimentarias que les permiten coexistir en las islas.

## ABSTRACT

The archipelago San Benito B.C is the unique site in Mexico where four species of pinnipeds, two otariids (*Arctocephalus townsendi* and *Zalophus californianus*) and two phocids (*Mirounga angustirostris* and *Phoca vitulina richardsii*) live sympatry; situation that takes to think about a distribution of the trophic niche. The objective of this study was to determine the, trophic breadth, level and overlap of the pinnipeds of San Benito Islands, by means of scats analysis and stable isotopes analysis (SIA) in pup's hair of otariids and tooth collagen of the four species. The scats of the otariids were collected in summer (n=54 for each species) and winter (n=60 for each species) during 2007, we separated the hard parts and we identified the prey. The ecological indices of importance of prey, degree of omnivory, trophic level, breadth and overlap were applied, as much for summer as winter. The isotopic reasons of carbon and nitrogen in hair and dental collagen were determined. The more important species for the otariids during summer were squids (*Loligo opalescens* and *Gonatus* sp.) with 74% for *A. townsendi* and 45% for *Z. californianus*, whereas in winter the squids (includes *Dosidicus gigas*) returned to be important (87%) for *A. townsendi* but they diminished for *Z. californianus* being the fish (*Sebastes* spp. and *Argentina sialis*) more important (76%). Both species consumed prey located in the same trophic level in both seasons. The stable isotope analysis in pup's hair of the otariids indicated significant differences in  $\delta^{15}\text{N}$ , where *A. townsendi* had a value average of  $18.34 \pm 0.44$  ‰ and *Z. californianus* of  $19.52 \pm 0.82$  ‰ (T-test:  $p=0.001$ ), which agrees with a greater consumption of squids by *A. townsendi*. The value average of  $\delta^{13}\text{C}$  was smaller in *A. townsendi* ( $-16.32 \pm 0.23$  ‰) than in *Z. californianus* ( $-15.9 \pm 0.36$  ‰), whose statistical analysis showed significant differences (T-test,  $p=0.03$ ), it is for the isotopic signal in the pelagic habitat of the squids in first and coastal fish for the second during the summer. The value smaller average of  $\delta^{13}\text{C}$  in *A. townsendi* ( $-16.32 \pm 0.23$  ‰) than in *Z. californianus* ( $-16.11 \pm 0.31$  ‰), whose statistical analysis showed significant differences (T-test,  $p=0.03$ ) this given by tendency of the pelagic habitat of the squids for first and of coastal fish for the second during the summer, although by the biology of *L. opalescens* in this season, both predators could be feeding in the same zones. The stable isotope analysis in tooth collagen showed to significant difference in the values of  $\delta^{13}\text{C}$  for *M. angustirostris* with respect to the other species (ANOVA;  $F=29.263$ ,  $p \leq 0.001$ ), suggesting it is not fed in the region. *A. townsendi* showed isotopic values in collagen that confirm their offshore feeding,



whereas the signals of  $\delta^{13}\text{C}$  in *P. vitulina* and *Z. californianus* near shore feeding. As much the scats analysis in the otarids and the SIA located to the four species like specialists and in a near trophic level (carnivorous secondary-tertiary). The scats analysis showed trophic overlap for the otariids only in summer (CH=0.88), and the stable isotopes in collagen suggested trophic superposition between *P. vitulina* and *Z. californianus*. The results define that the four species of pinnipeds have different feeding strategies for to coexist in the islands.

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuatro especies de pinnípedos se distribuyen en el Pacífico mexicano, dos especies de la familia Otariidae, el lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus townsendi*) y el lobo marino de California (*Zalophus californianus*), y dos especies de la familia Phocidae, el elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*) y la foca de puerto (*Phoca vitulina richardsii*) (Aurioles, 1993; Ceballos y Oliva, 2005). Estas especies tienen una distribución simpátrica en Islas San Benito, utilizándola como sitio de descanso y de reproducción.

La distribución del lobo fino de Guadalupe estaba restringida a Isla Guadalupe, pero desde 1997 se ha observado un aumento en el número de individuos en Islas San Benito (Maravilla y Lowry, 1999), sugiriendo la inmigración proveniente de Isla Guadalupe. En el año 2002 el número de individuos fue de 600 individuos aproximadamente (Aurioles-Gamboa y Camacho-Ríos, 2007), siendo actualmente superior a los 2,500 (Aurioles *et al.*, en prensa). Además, existen varios registros aislados de individuos en Baja California Sur y dentro del Golfo de California (Aguayo, 1989; Aurioles *et al.*, 1993; Aurioles *et al.*, 1998). Actualmente las únicas colonias de lobo fino de Guadalupe están en Isla Guadalupe e Islas San Benito (Gallo, 1994; Maravilla y Lowry, 1999; Aurioles *et al.*, en prensa).

En México, el lobo marino de California es el pinnípedo más abundante y con distribución más amplia. Se encuentra en las islas e islotes desde la frontera de Estados Unidos en la costa del Pacífico hasta la Bahía de Banderas en Jalisco, incluyendo el Golfo de California (Le Boeuf *et al.*, 1983; Aurioles, 1988; Zavala, 1990). Sus principales áreas de concentración son las islas Cedros, Natividad, Asunción y Santa Margarita (Aurioles, 1988), y en el Golfo de California abunda en la Región de las Grandes Islas (Le Boeuf *et al.*, 1983; Aurioles, 1988; Zavala, 1990; Zavala, 1993; Aurioles y Zavala, 1994).

El elefante marino del norte tiene su distribución en México desde las Islas Coronados hasta la Isla Natividad y se han reportado individuos en las islas Asunción y San Roque (Le Boeuf *et al.*, 1975). También existen registros de individuos avistados en el Golfo de California (Aurioles, 1993; Mesnick *et al.*, 1998). Esta especie migra después de las temporadas de reproducción y de muda, desde las islas hacia aguas oceánicas del Pacífico noroccidental y al Golfo de Alaska (Jefferson *et al.*, 1993).

En nuestro país, la foca de puerto se encuentra distribuida en pequeñas poblaciones en las Islas Coronados, Todos Santos, San Martín, San Jerónimo, San Benito y Cedros en Baja California, y su distribución más sureña es la Isla Natividad en Baja California Sur (Padilla, 1990; Aurióles 1993).

De acuerdo a la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), el lobo fino de Guadalupe está considerado como una especie vulnerable y el elefante marino del norte, el lobo marino de California y la foca de puerto como especies en categoría de menor riesgo (IUCN, 2008). De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana-059-ECO-1994, el lobo marino de California y la foca de puerto son especies sujetas a protección especial, mientras que el elefante marino del norte se considera como especie amenazada y el lobo fino de Guadalupe es una especie en peligro de extinción, por lo que las cuatro especies de estudio se encuentran protegidas por la legislación mexicana.

Los pinnípedos generalmente son considerados depredadores tope que tienen influencia sobre la fauna bentónica y la estructura de sus comunidades, por lo que las fluctuaciones drásticas en su abundancia poblacional pueden generar cambios en el ecosistema (Trillmich y Ono, 1991). También son susceptibles a variaciones en la abundancia de sus presas, las cuales se relacionan a su vez, con los cambios ambientales (Trillmich y Ono, 1991). Se ha documentado que los recursos alimentarios son uno de los principales factores que determinan el estado de salud de las poblaciones de pinnípedos, ya que su disponibilidad determina en gran medida la viabilidad de los tamaños de las poblaciones de forma estacional e interanual (Merrick *et al.*, 1997, Trites 1998; Salazar, 1999; Salazar y Bustamante, 2003; Salazar-Pico, 2005; Winship y Trites, 2003).

Dada la importancia que representa el alimento en la dinámica de las poblaciones de los pinnípedos, es de gran relevancia conocer la dieta de estos mamíferos marinos para determinar y evaluar la relación depredador-presa dentro de los ecosistemas marinos (Iverson *et al.*, 1997), además de que nos proporcionan información adecuada para el manejo de los recursos y nos permiten conocer y comprender las relaciones tróficas entre las poblaciones (García-Rodríguez, 1995)

Actualmente existen técnicas no invasivas para realizar estudios de estructura alimentaria en estos depredadores, como la identificación de partes duras de peces y cefalópodos en muestras fecales (Antonelis *et al.*, 1984; Aurióles-Gamboa *et al.*, 1984; Lowry

*et al.*, 1991; García-Rodríguez 1995; Orr, 1998; García-Rodríguez y Auriol-Gamboa, 2004). Adicionalmente se ha utilizado el análisis de isótopos estables (AIE) de carbono y nitrógeno como técnica complementaria, en la que se genera información sobre el nivel y amplitud tróficos y con la que es posible inferir el efecto del alimento asimilado en distintos periodos (de días a años), dependiendo del tejido que se analice (Tieszen *et al.*, 1983; Hobson y Clark, 1992; Hobson *et al.*, 1996). Con esta técnica también es posible hacer comparaciones de estos parámetros entre individuos, poblaciones y especies si se utiliza el mismo tejido (Koch *et al.*, 1994; Auriol *et al.*, 2006).

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  pueden mostrar las preferencias alimenticias de una población, que se puede estar alimentando en ambientes marinos o dulceacuícolas, en zonas costeras u oceánicas, pelágicas o bentónicas (Hobson, 1990; Hobson *et al.*, 1994; France, 1995). Por otra parte, los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  aportan información del nivel trófico relativo de los organismos dentro de una trama trófica debido a la relación que existe entre el contenido de  $^{15}\text{N}$  del consumidor con el de su dieta (Owens, 1987).

Debido a que Isla San Benito es único sitio en México donde encontramos distribuidas a las cuatro especies de pinnípedos, en este estudio se pretendió entender como utilizan los recursos alimentarios de la región por medio del análisis de excretas y el AIE en pelo de crías de los otáridos y el colágeno dental de las cuatro especies.

## 2. ANTECEDENTES

Existen varios estudios que muestran que los otáridos consumen peces pequeños que forman grandes agrupaciones y calamares de la zona epipelágica, los cuales cambian su distribución y abundancia a través del tiempo (Aurioles *et al.*, 1984; De Anda, 1985; Salazar, 1989; Lowry *et al.*, 1991; García, 1995; Aurioles, 1995; Durán, 1998; Aurioles y Camacho, 2007). En el caso de los fócidos, el elefante marino se alimenta en aguas más profundas sobre especies demersales y bentónicas, mientras que la foca de puerto depreda especies demersales costeras y neríticas, incluyendo organismos de estuarios y ríos (Antonelis y Fiscus, 1980).

Para el lobo fino de Guadalupe la información existente sobre las zonas de alimentación se han obtenido a partir de estudios de telemetría (Gallo, 1994; Gallo *et al.*, 2008), cuyos resultados indicaron que esta especie se alimentó entre los 23°00' y 31°00' N y entre los 114° y 122° W. De acuerdo con la ubicación de la lobera de Isla Guadalupe, los sitios de alimentación pueden estar a una distancia de hasta 589 km (Gallo, 1994; Gallo *et al.*, 2008). En Isla Guadalupe, los peces como la anchoveta (*Engraulis mordax*), la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*), la caballa (*Scomber japonicus*), así como calamares y crustáceos forman parte de la dieta del lobo fino (Antonelis y Fiscus, 1980; Seagars, 1984).

En cuanto al lobo marino de California, diversos estudios indican que su dieta fluctúa estacionalmente y se basa en 4 o 5 especies principales. Por esa razón se le considera un especialista plástico, ya que aunque explota pocos recursos en un momento dado, la composición de su dieta varía a través del tiempo (Aurioles *et al.*, 1984; Lowry *et al.*, 1991; Durán, 1998; García-Rodríguez y Aurioles, 2004). Algunas presas registradas en Islas Coronado fueron la anchoveta del norte (*E. mordax*), la merluza del Pacífico (*M. productus*), el pulpo (*Octopus* spp.), el rocote (*Sebastes* spp.), el charrito (*Porichthys notatus*) y castañeta herrera (*Chromis punctipinnis*; De Anda, 1985). En la Isla Cedros se han identificado 36 especies de peces y cuatro cefalópodos, destacando especies de la costa occidental de Baja California como la langostilla (*Pleuroncodes planipes*) y el pulpo (*Octopus* spp.; De Anda, 1985; Salazar, 1989; Aurioles, 1995).

Aurioles-Gamboa y Camacho-Ríos (2007) realizaron un estudio relacionado con la estructura alimentaria y posición trófica del lobo marino de California y lobo fino de Guadalupe en las Islas de San Benito, se mostró que la población de lobo marino fue más

abundante que la del lobo fino. En este estudio el lobo marino de California resultó ser depredador generalista de especies como *Argentina sialis*, *M. angustimanus* y *Sebastes* spp., y el clamar *L. opalescens*, mientras que el lobo fino fue un depredador considerado especialista de calamares, particularmente de *L. opalescens*. Ambas especies tuvieron el mismo nivel trófico considerándolos carnívoros secundario-terciario y tuvieron baja superposición trófica.

En el caso del elefante marino durante el verano se alimenta al norte de sus áreas de reproducción (Le Boeuf *et al.*, 2000; Aurióles *et al.*, 2006), y el área de alimentación depende del lugar de nacimiento (Aurióles *et al.*, 2006). Las presas más importantes conocidas para esta especie son los cefalópodos. En California las especies de cefalópodos más frecuentes son *Octopoteuthis deletron*, *Onycoteuthis borealjaponicus*, *Histioteuthis heteropsis*, *Gonatopsis borealis*, *Histioteuthis dofleini* y *Gonatus* spp., mientras que el pez más consumido es la merluza (*M. productus*) y de los crustáceos, lo es la langostilla (*P. planipes*; Condit y Le Boeuf, 1984; Antonelis *et al.*, 1987; Antonelis *et al.*, 1994; Sinclair, 1994). Por medio de un estudio con isótopos estables se demostró que las hembras de la población de Islas San Benito se alimentan alrededor de los 35° N, aproximadamente a 8° al sur de los nacidos en Año Nuevo (Aurióles *et al.*, 2006).

Para la foca de puerto en México se desconocen las zonas de alimentación y patrones alimentarios. En Alaska sus presas principales son peces de la familia Gadidae, principalmente *Theragra chalcogramma*; además de pulpos y cefalópodos (*L. opalescens* y *Gonatus* spp.; Pitcher, 1980a; Olesiuk, 1993). En la Columbia Británica sus presas son peces gádidos y clupéidos. El consumo de las presas varía en relación con su disponibilidad, por ejemplo; en el Golfo de Alaska, la importancia del salmón en la dieta coincidió con el incremento de su abundancia en la región (Pitcher, 1980b). Se cree que este pinnípedo puede ser un consumidor oportunista incidiendo sobre especies abundantes de forma estacional (Scheffer y Sperry, 1931; Scheffer y Slipp, 1944; Spalding, 1964; Calambokidis *et al.*, 1978).

En los últimos años, los estudios sobre los hábitos alimentarios utilizan de manera combinada el AIE o el análisis de ácidos grasos con el análisis de excretas, debido a que el análisis de excretas está basado sólo en lo ingerido y no en el alimento que se asimila (Hobson *et al.*, 1994; Hobson *et al.*, 1997). Por otro lado el AIE no nos da información de las presas consumidas por el depredador, pero incluye los beneficios de determinar los niveles tróficos

en la red alimenticia y facilita la estimación de flujo de energía a través de los ecosistemas (Post, 2002).

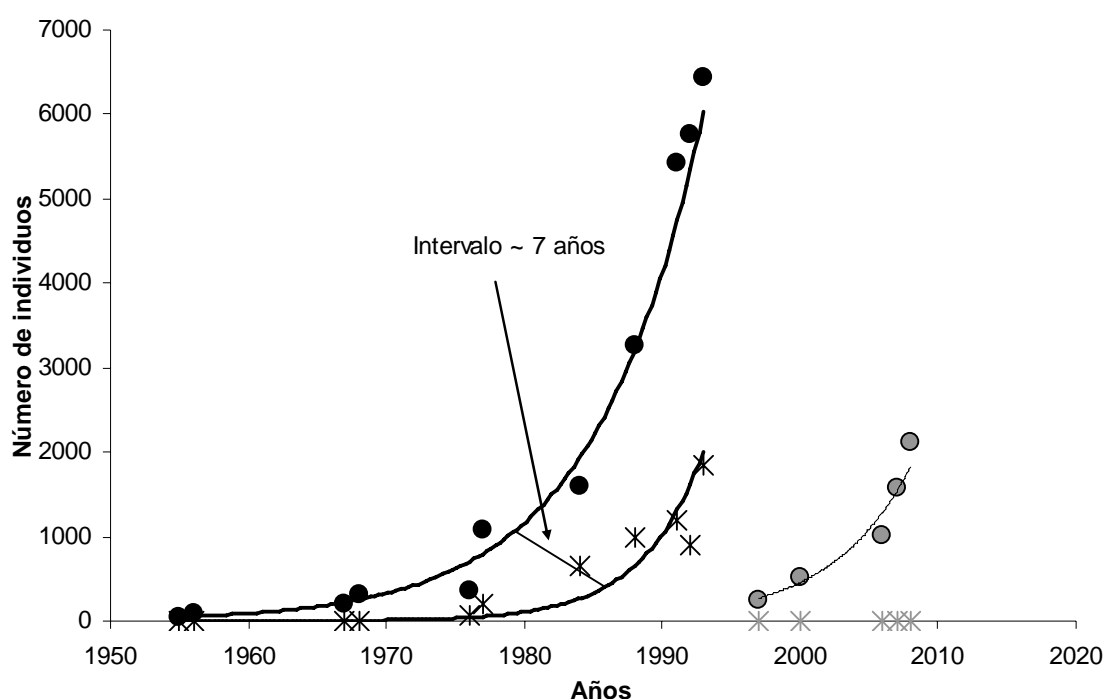
Con la implementación de estas nuevas aproximaciones ha sido posible no solo describir la dieta sino también medir parámetros ecológicos como amplitud y nivel trófico, o sitios de alimentación de las especies, que permiten hacer interpretaciones sobre las adaptaciones de las especies en sus estrategias alimentarias. Recientemente el nivel trófico y su amplitud han sido estudiados con más detalle (Porrás-Peters *et al.*, 2008), combinando técnicas como el análisis de excretas y el AIE de carbono y nitrógeno para comparar el nivel y superposición tróficos entre distintas colonias.

El AIE de carbono y nitrógeno se ha utilizado en diferentes especies de pinnípedos, sobre diferentes tejidos para estudios de patrones alimentarios, migratorios y ontogénicos, intrapecíficos e interespecíficos (Burton y Koch, 1999; Aurióles *et al.*, 2006; Lewis *et al.*, 2006; Newsome *et al.*, 2006; Porrás *et al.*, 2008; Elorriaga, 2009), Así mismo, Bearhop *et al.* (2004) mencionan que la composición de isótopos de carbono y nitrógeno de los tejidos de los consumidores está en función de la proporción relativa de las presas en la dieta y que su reflejo en el tejido del depredador dependerá de la tasa de renovación de este tejido.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Las Islas San Benito es el único sitio en México donde las cuatro especies de pinnípedos (*Z. californianus*, *A. townsendi*, *M. aungustirostris* y *P. vitulina richardsii*) cohabitan y se reproducen. *A. townsendi* ha recolonizado recientemente el archipiélago, después de una ausencia de más de 100 años (Maravilla y Lowry, 1997). El crecimiento de esta especie dependerá de que asegure tanto territorios en tierra como alimento suficiente en el mar. Dado que el lobo fino se reproduce en la misma época que el lobo marino y ambas tienen periodos de lactancia mayores a seis meses, la competencia por alimento y por espacio es probable.

Las dos especies de otáridos tienen adaptaciones fisiológicas similares, por lo que contienden con el uso de los recursos alimentarios y existe superposición en sus dietas. Esta potencial interacción es de gran interés científico ya que ocurre en un momento de su historia reciente, en la que *A. townsendi* se encuentra en una fase de recolonización y recuperación poblacional de su antigua distribución geográfica (Aurioles *et al.*, en prensa; Figura 1).



**Figura 1.** Crecimiento de las poblaciones de lobo fino de Guadalupe (*A. townsendi*) en la Isla Guadalupe e Islas San Benito, México; ● Población total en I. Guadalupe, ⌘ crías; ● Población total en I. San Benito, ⌘ crías (tomado y modificado de Aurioles *et al.*, en prensa).



También resulta interesante determinar en que grado las dos especies de focas utilizan recursos de la región. Dado que la foca de puerto permanece todo el año, es probable que sus presas sean locales y sea más versátil en sus hábitos alimentarios. En el caso del elefante marino, se sabe que sus áreas de alimentación generalmente se encuentran muy lejos de sus sitios reproductivos, sin embargo hay evidencias de que no todos los elefantes marinos de México viajan hacia el norte (Aurioles *et al.*, 1989; Mesnick *et al.*, 1998).

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Determinar la amplitud, nivel y superposición trófica de los pinnípedos de Islas San Benito B. C. México: *Zalophus californianus*, *Arctocephalus townsendi*, *Mirounga angustirostris* y *Phoca vitulina richardsii*.

### **4.2 Objetivos particulares**

- Conocer el espectro trófico del lobo marino de California y lobo fino de Guadalupe y su variación en dos estaciones del año con base al análisis de excretas.
- Estimar la amplitud, nivel y superposición trófica, así como el grado de omnivoría entre las dos especies de otáridos con base al análisis de excretas.
- Estimar la amplitud y el nivel trófico de los otáridos de Islas San Benito con base en análisis de isótopos estables en pelo de crías.
- Determinar la amplitud y nivel trófico en las cuatro especies de pinnípedos de Islas San Benito con base en el análisis isotópico de colágeno dental.

## 5. ÁREA DE ESTUDIO

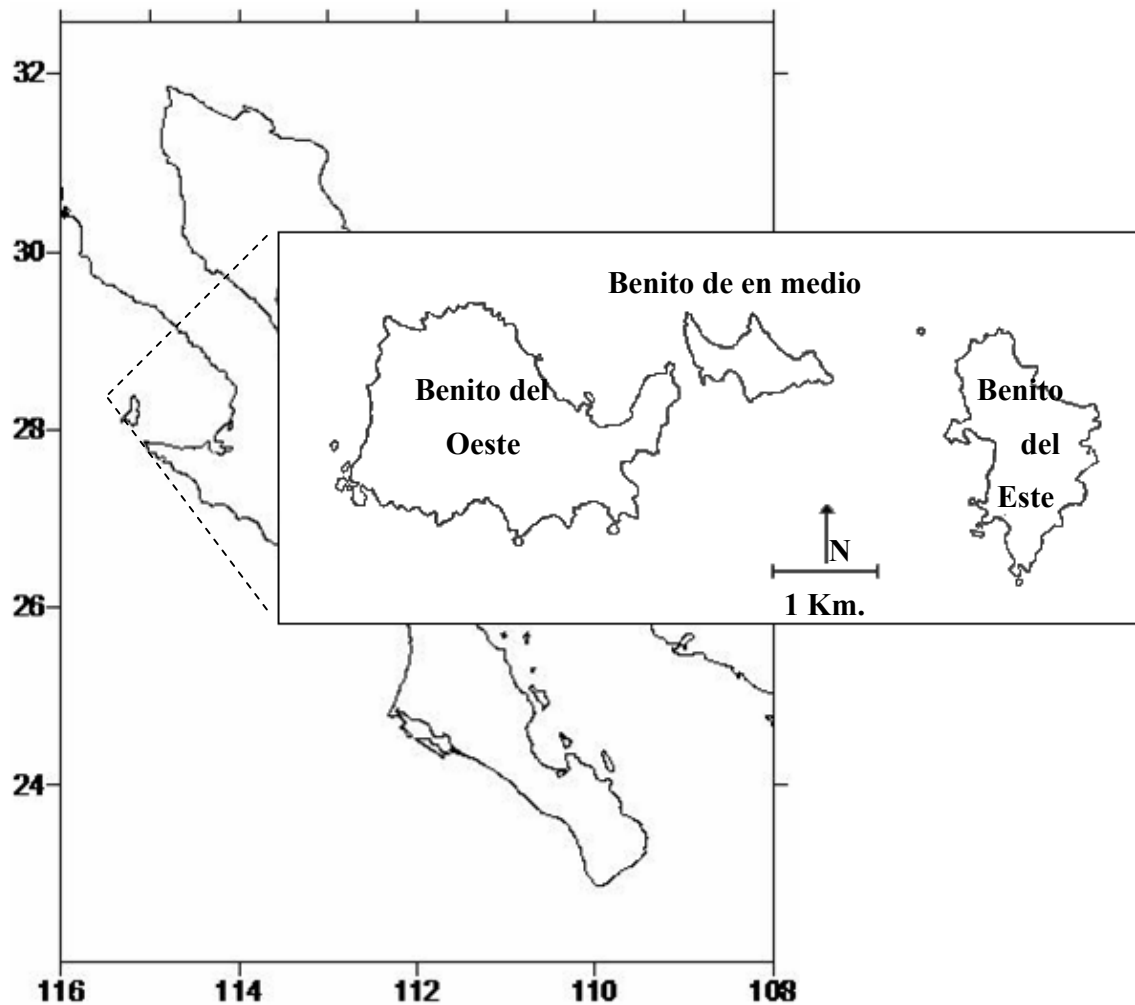
### 5.1 Isla San Benito.

El estudio se realizó en las Islas San Benito, conformada por un conjunto de tres pequeñas islas de origen volcánico, a una corta distancia una de otra, localizadas a 30 km al noroeste de la Isla Cedros en el estado de Baja California, México (28° 18' N y 115° 32' O) y a 140 km de la costa peninsular. Las islas se ubican en la parte sur del Sistema de la Corriente de California y llevan los nombres de Isla San Benito del Este, Isla San Benito de Enmedio e Isla San Benito del Oeste (Figura 2; Boswall, 1978).

Las tres islas presentan un área combinada de 6.4 km<sup>2</sup>, siendo la de mayor tamaño la Isla San Benito del Oeste (3.46 km<sup>2</sup>; Donlan *et al.*, 1999) que es también la única habitada por un grupo de pescadores pertenecientes al grupo de Pescadores Nacionales de Abulón (PNA-Campo Benitos). La Isla San Benito de Enmedio es la más pequeña (0.53 km<sup>2</sup>), separada de la Isla San Benito del Oeste un canal de 2.74-8.23 m de profundidad y es la que alberga la menor complejidad topográfica. La Isla San Benito del Este (1.04 km<sup>2</sup>) se separa de la central por el Canal de Peck, de profundidades entre 21.94-36.57 m (Junak y Philbrick, 1999). Las Islas en general presentan playas de canto rodado, pisos de basalto y rocas pertenecientes al Jurásico (Junak y Philbrick, 1999).

Islas San Benito tiene especies endémicas y aves que anidan ahí durante todo el año. Las cuatro especies de pinnípedos se encuentran distribuidas a lo largo de las tres islas, a excepción de la foca de puerto que se encuentra únicamente en San Benito del Oeste y del Este.

Las islas se ubican cerca de la interfase entre la placa continental y la oceánica (Cohen *et al.*, 1963) y presentan una importante influencia de la Corriente de California, generando valores de clorofila que fluctúan poco a lo largo del año, alrededor de 0.5 gC/m<sup>2</sup> al día (Beier, datos no publicados).



**Figura 2.** Ubicación geográfica de las Islas de San Benito. B.C. México (Camacho, 2004).

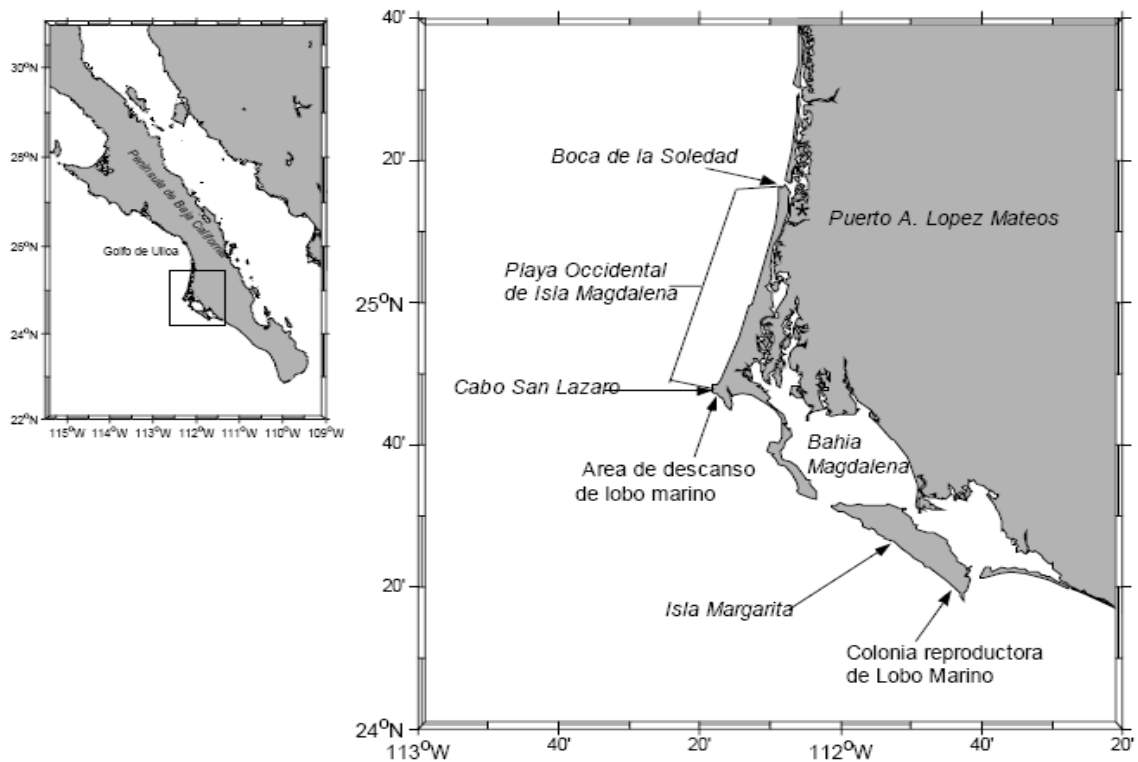
Las variaciones estacionales de la Corriente de California están controladas fuertemente por las variaciones en los vientos. Durante la primavera y verano se intensifican los vientos del noroeste debido a que la baja térmica continental se acentúa (Hickey, 1979). Los vientos son predominantemente paralelos a la costa y del noroeste a todas latitudes. Esta es una condición que favorece la generación de surgencias costeras. En el otoño se desarrolla la contracorriente costera en superficie, mientras que en el invierno la baja térmica se debilita y el gradiente de presión se reduce, debilitando los vientos del noroeste (Parés *et al.*, 1997). Lynn y Simpson (1987) describen que en esta época se desarrollan remolinos ciclónicos cerca de la costa. En el régimen otoño-invierno el nivel del mar es alto en la costa y la temperatura

es relativamente más caliente. Para el régimen de primavera verano, el nivel del mar es bajo y la temperatura del agua es relativamente más fría (Strub *et al.*, 1987).

Estas características oceanográficas alrededor de las Islas San Benito producen un ambiente de alta productividad a lo largo del año, lo cual en parte explica porque se encuentran las especies de pinnípedos.

## 5.2 Cabo San Lázaro.

Algunos cráneos de *A. townsendi*, *M. angustirostris* y *P. vitulina* utilizados en este estudio fueron recolectados de animales varados en Cabo San Lázaro, este sitio se encuentra al sur de las Islas San Benito, sin embargo para este estudio se asume que los animales varados provienen de este archipiélago.



**Figura 3.** Ubicación geográfica de Cabo San Lázaro, B.C.S., México (Tomado de Mercuri, 2007).

Cabo San Lázaro se localiza en la playa occidental de Isla Magdalena. Esta isla forma parte del complejo lagunar Magdalena-Almejas en el Golfo de Ulloa, costa occidental de la

Península de Baja California Sur, México, está ubicado entre los 24° y los 26°30' N (Figura 3), tiene la máxima extensión de la plataforma continental en la parte central, con una pendiente suave, siendo más abrupta hacia el norte y el sur donde la plataforma se reduce (Chávez-López, 1995).

Mercuri (2007) menciona que la configuración de la costa en el Golfo de Ulloa y principalmente en Isla Magdalena generan una especie de trampa donde el flujo de la Corriente de California al desviarse hacia el oeste y las pequeñas corrientes costeras locales podrían favorecer que los cadáveres de animales muertos en el mar deriven hacia la playa occidental de la Isla.

## **6. METODOLOGÍA**

### **6.1 Trabajo de campo.**

#### **6.1.1 Estructura y tamaño de las colonias.**

Durante junio de 2007 (verano) y enero de 2008 (invierno) se realizaron censos de las colonias para las diferentes especies, por categoría de edad y sexo de acuerdo a la clasificación para cada una, esto con ayuda de binoculares desde tierra o bote según lo permitieron las condiciones topográficas.

#### **6.1.2 Recolecta de muestras**

Para cada especie de otárido se recolectaron 54 muestras fecales frescas en verano de 2007 y 60 muestras fecales frescas para invierno de 2008 (debido a que la estación de invierno abarca transición entre el año 2007 y 2008 en el texto se manejará como invierno de 2007).

La recolecta se realizó en las zonas de reproducción donde se agrupan principalmente las hembras, crías y los machos adultos reproductores, ya que en estas zonas hay mayor probabilidad de encontrar excretas de hembras que son generalmente la mayor parte de la población en especies poligínicas (Auriolles-Gamboa y Zavala, 1994). Las excretas se guardaron en bolsas de plástico etiquetadas con la fecha, lugar, especie e isla de muestreo correspondientes.

### **6.2 Trabajo de laboratorio**

#### **6.2.1 Tamizado de excretas**

Se colocaron las muestras dentro de frascos de plástico con agua y detergente por un periodo de 12 a 48 hrs, para facilitar el tamizado. Posteriormente se filtraron las muestras en un juego de tamices para sedimentología con diferente luz de malla (2.0, 1.19 y 0.71 micras) en una campana de extracción. Este procedimiento permitió separar las partes duras identificables como son otolitos de peces y picos de cefalópodos. Para el tamizado, se utilizó agua y un pincel para disolver las excretas. Una vez obtenidos los otolitos y los picos de cefalópodos, se separaron en pequeños frascos con clave de identificación particular que incluyó: el nombre de la especie, el nombre de la isla de muestreo y el número de excreta.

Para la identificación de los otolitos se utilizó un microscopio estereoscópico y se tomó como referencia la base de datos fotográficos de la colección de otolitos del Laboratorio de Ecología de Pinnípedos de CICIMAR así como claves de identificación para los picos de cefalópodos (Iverson y Pinkas 1971; Wolff, 1982; 1984).

## 6.3 Análisis de datos

### 6.3.1 *Tamaño de muestra*

Se construyeron curvas de acumulación de presas teniendo en cuenta los criterios establecidos por Ferry y Cailliet (1996), quienes modificaron una técnica para determinar si el número de unidades analizadas representan adecuadamente la dieta de una especie antes de hacer comparaciones. Esta técnica grafica el número acumulado de tipos nuevos de presa, contra el número acumulado de excretas analizados; estando descrita por la siguiente función matemática:

$$S_n f(n)$$

donde:

S = Número de tipos de presa encontrados en la excreta analizada

n= Es el número de muestras analizadas

La curva de acumulación de presas se basa en el criterio de que al incrementar el tamaño de la muestra, la variación (riqueza de especies presa) tiende a disminuir, por lo que la curva va alcanzando una asíntota y las únicas presas que se introducen posteriormente serán las consideradas raras; de modo que cuando la curva alcanzó la asíntota fue señal de que el tamaño de muestra fue el adecuado para describir la dieta. Sin embargo la técnica puede tener sesgo implícito y los autores proponen los procesos de aleatorización como una herramienta para reducir error (Ferry y Cailliet, 1996).

Con el fin de minimizar la subestimación y dar robustez estadística a este trabajo, se desarrolló el procedimiento para obtener una curva promedio de la diversidad acumulada. Esto de acuerdo al índice de Shannon-Wiener con la rutina de permutación incorporada en el programa Matlab (MathWorks, 2008; Porras *et al.*, 2008), obteniendo valores promedio de diversidad acumulada con sus respectivas desviaciones estándar y coeficiente de variación. Debido a que este método suaviza la curva y dificulta la identificación del número de excretas al cual se alcanzó la asíntota; se determinó que el número de excretas necesarias para



caracterizar de manera suficiente al 95% de la dieta de cada depredador, fue cuando se alcanzó un coeficiente de variación de 0.05.

Índice de diversidad de Shannon-Wiener (Krebs, 1999):

$$H' = -\sum (p_i * \text{Log}_2 p_i)$$

donde:

$H'$  = La diversidad definida por Shannon-Wiener

$p_i$  = La proporción de la presa  $i$  sobre el total de las presas en cada copro.

### 6.3.2 Composición de la dieta

Se organizaron matrices de datos por cada muestra para estimar el porcentaje de aparición y abundancia relativa de cada presa mediante el Índice de Importancia Ponderado (IIMPi) de acuerdo a García (1999):

$$IIMP_i = \frac{1}{U} \sum_{j=1}^u \frac{x_{ij}}{X_j}$$

donde:

$x_{ij}$  = Número de observaciones del taxón  $i$  en el copro  $j$

$X_j$  = Número de estructuras totales identificables en el copro  $j$

$u$  = Número de apariciones o copros en donde el taxón  $i$  se encontró

$U$  = Número de unidades de muestreo o copros sobre los cuales se contabilizaron las apariciones.

Este índice representa la importancia de un taxón presa ( $i$ ) en la probabilidad de hallarlo en un conjunto de copros, ya que considera a cada una de manera independiente y se basa en la sumatoria de la importancia ponderada de cada presa presente en el total de copros.

### 6.3.3 Amplitud del espectro trófico

La amplitud trófica permite determinar si los organismos presentan una especialización sobre los recursos alimenticios existentes y con ello conocer su condición de especialista o generalista utilizando el Índice de Levins (Krebs, 1999) mediante la fórmula estandarizada de Levins:

$$B_j = \frac{1}{n-1} \left\{ \left[ \frac{1}{\sum P_{ij}^2} \right] - 1 \right\}$$

donde:

$B_j$  = Amplitud trófica

$P_{ij}$  = Proporción de la presa  $j$  en la dieta del depredador  $i$

$n$  = Número de presas en la dieta

Valores de  $B_j$  varían de cero a uno; cuando los valores son menores de 0.6 el depredador se considera especialista, mientras que los valores cercanos a uno (mayores a 0.6) indican una dieta generalista (Krebs, 1999).

A partir del índice estandarizado se obtuvo la varianza para determinar que tanta dispersión existe dentro de la dieta de cada especie, por medio de la siguiente expresión:

$$\sigma^2_B = \frac{4B^4 \left[ \sum_{i=1}^n \left( P_i / (1/n)^3 \right) - (1/B)^2 \right]}{N}$$

donde:

$\sigma^2_B$  = Varianza del índice estandarizado de Levins.

$B$  = Índice de Levins.

$N$  = Número de excretas o muestras.

$n$  = Número de presas en la dieta

### 6.3.4 Nivel trófico

El nivel trófico ( $NT$ ) permite obtener información sobre la posición de los organismos en la cadena alimentaria. Para determinar el nivel trófico a partir del tipo de presas encontradas en las muestras fecales se utilizó la ecuación propuesta por Christensen y Pauly (1992):

$$TL = 1 + \sum_{j=1}^n D_{cij} * TL_j$$

donde:

$TL (NT)$  = Nivel trófico de la especie

$DC_{ij}$  = Composición de la dieta, es la proporción de presas ( $j$ ) en la dieta del depredador ( $i$ )

$TL_j$  = Nivel trófico de la especie ( $j$ )

$n$  = Número de grupos en el sistema

El detritus y los productores primarios presentan un  $NT$  igual a 1, mientras que para el resto de los grupos, el  $NT$  del depredador o grupo ( $i$ ) se define como 1 más la suma de los

niveles tróficos de las presas, multiplicado por la proporción de la presa en la dieta del depredador.

El valor del *NT* de los peces se obtuvo de la base de datos electrónica FISHBASE (<http://www.fishbase.org>; Froese y Pauly, 2009) y el de los cefalópodos a partir de literatura especializada. Las presas a las que no se les pudo determinar dicho valor, se les asignó un *NT* de otra presa con espectro alimentario semejante y una distribución geográfica similar.

### 6.3.5 Omnivoría con base al espectro trófico

El Índice de Omnivoría propuesto por Christensen y Pauly (1992), describe el comportamiento alimentario de un consumidor estableciendo si se alimenta de presas ubicadas en uno o varios niveles tróficos, esto depende de la varianza de los niveles tróficos de las presas que consume. Su cálculo se realizó con base al siguiente algoritmo:

$$OI = \sum_{j=1}^n (TL_j - TL)^2 * D_{cij}$$

donde:

$n$  = Número de grupos en el sistema

$TL_j$  = Nivel trófico de la presa

$TL$  = Nivel trófico promedio de las presas

$D_{cij}$  = Fracción de la presa ( $j$ ) en la dieta promedio del depredador ( $i$ ).

Si el depredador se alimenta de presas de un solo *NT* el resultado final de este Índice sería igual a cero.

### 6.3.6 Superposición del espectro trófico

La superposición trófica es una medida del uso compartido de recursos alimentarios por dos o más especies (Horn, 1966). Para determinarla se utilizó el índice simplificado de Morisita-Horn (Krebs, 1999) mediante la siguiente fórmula:

$$C_H = \frac{2 \sum_i^n p_{ij} p_{ik}}{\sum_i^n p_{ij}^2 + \sum_i^n p_{ik}^2}$$

donde:

$C_H$  = Índice de superposición entre la especie  $j$  y la especie  $k$

$p_{ij}$  = Proporción del recurso  $i$  que es utilizado por la especie  $j$

$p_{ik}$  = Proporción del recurso  $i$  que es utilizado por la especie  $k$

$n$  = Número total de los diferentes recursos

Los valores que toma este índice varían de 0 a 1. La superposición trófica es clasificada de acuerdo a la escala propuesta por Langton (1982), donde valores entre 0 y 0.29 indican una superposición baja, entre 0.30 y 0.65 una superposición media y entre 0.66 y 1 una superposición alta.

### **6.3.7 Análisis multivariados**

Para el análisis temporal de la dieta, se realizaron ensayos de clasificación o agrupación (cluster) y ordenación (análisis de componentes principales (ACP)) con el fin de observar similitudes o diferencias en las dietas de las dos especies de otáridos en las dos estaciones del año. Para el agrupamiento se utilizó el índice de Similitud de Bray-Curtis. Este método se eligió debido a que ha demostrado ser una medida robusta para las aplicaciones ecológicas (Anderson y Clemets, 2000).

Estos análisis se realizaron con base en la composición de la dieta, a través del Índice de importancia ponderado ( $IIMP_i$ ) calculado para cada una de las presas presentes en cada depredador. Para los análisis de clasificación y ordenación de datos se utilizaron los paquetes de software: Microsoft Office Excel (2003), Statistica versión 7.0 (Copyright StatSoft, 2004) y el programa PAST versión Past184\_20081010 (Hammer *et al.*, 2001).

## **6.4 Análisis de isótopos estables**

### **6.4.1 Recolecta de muestras para el análisis de pelo de cría**

Se recolectaron muestras de pelo de siete crías de *A. townsendi* y 26 crías de *Z. californianus*. Para obtener muestras de crías de la misma edad (dos meses aproximadamente) se capturaron animales con longitud estándar similar, alrededor de 75 cm (medida que va de la punta de la cabeza a la punta de la cola). Cada muestra se tomó a partir de un área determinada de 5 cm x 5 cm de la región dorsal de los organismos utilizando tijeras (Figura 4).

El pelo de las crías se utiliza por diferentes razones: 1) es un tejido que ha sido previamente utilizado mostrando suficiente resolución para determinar diferencias entre especies y colonias de cada especie (Aurioles *et al.*, 2006; Porras *et al.*, 2008), 2) es un tejido

que en caso de los pinnípedos se encuentra bien establecido en el último mes de la gestación y no es mudado hasta tres o cuatro meses después del parto reflejado por lo tanto los últimos meses de la alimentación de la madre (Bauer *et al.*, 1964) y 3) las crías durante la lactancia se alimentan únicamente de leche de su madre, presentando un nivel trófico mayor, siendo éste constante durante este periodo (Fogel *et al.*, 1989). Esto permite que se puedan registrar de manera indirecta los hábitos alimentarios de las hembras en cada colonia, esto a partir del muestreo de sus crías, que a su vez presentan mayor facilidad de captura y manejo.



**Figura 4.** Área de corte de pelo para la toma de muestra en las crías de otáridos.

#### **6.4.1.1 *Procesamiento de muestras de pelo***

Las muestras de pelo se prepararon en el Laboratorio de Química del CICIMAR. Cada muestra se lavó con agua desionizada para eliminar los residuos de sales; las muestras se colocaron en viales de vidrio previamente tratados con jabón libre de fosfatos –Extrán– y agua destilada así como con mezcla crómica – mezcla de ácido sulfúrico y dicromato de potasio – por un periodo de 24 h y nuevamente agua desionizada. Posteriormente se mantuvieron en un desecador a una temperatura de 60 °C durante 12 h para eliminar toda la humedad y después en un desecador a temperatura ambiente por 12 h para permitir la volatilización de residuos del solvente y tener así las muestras a temperatura ambiente.

Posteriormente las muestras de pelo se cortaron finamente con ayuda de pinzas y tijeras y se homogenizaron con un mortero de ágata; lo anterior se realizó en una campana de flujo laminar para evitar contaminación. En micro-cápsulas de estaño de 8 x 5 mm se pesó

alrededor de 0.5 mg de muestra con una micro balanza analítica (precisión de 0.001 mg). Las micro-cápsulas se sellaron y se enviaron al Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Davis California (UC Davis; <http://stableisotopefacility.ucdavis.edu>).

#### 6.4.2 Recolecta de muestras para el análisis de dentina

De la colección Osteológica del Laboratorio de Ecología de Pinnípedos del CICIMAR se utilizaron cuatro cráneos para los otáridos y el elefante marino, y tres cráneos para la foca de puerto, considerados pertenecientes a la zona de estudio. La muestra estuvo compuesta por cráneos colectados entre los años 2000 a 2007 (Tabla I).

**Tabla 1.** Claves de cráneos de las cuatro especies de pinnípedos que fueron utilizados para la extracción de dentina. Se muestra su edad, categoría y el sitio de colecta.

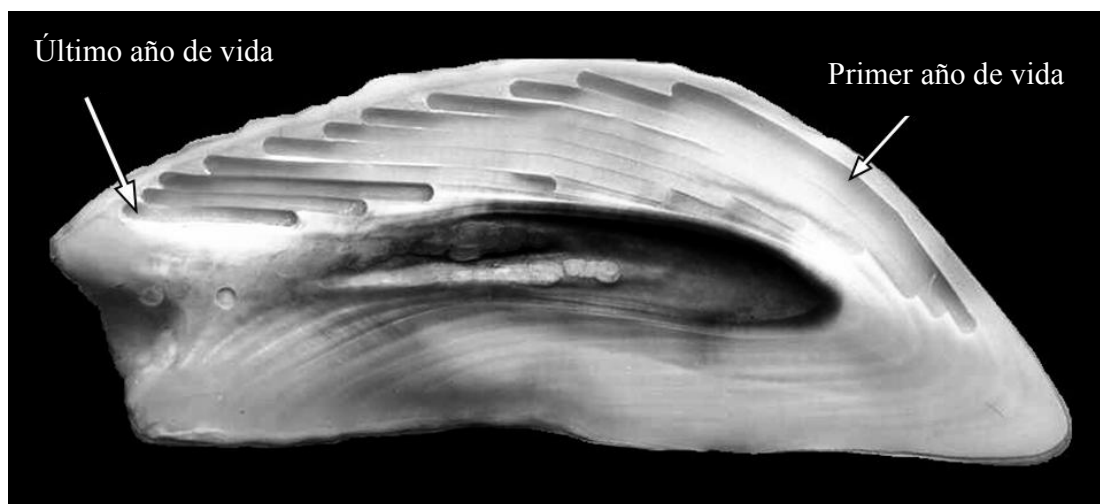
Espece	Clave	Edad (años)	Categoría	Sitio de colecta
<i>A. townsendi</i>	AtA	10	Macho adulto	Islas San Benito
	AtB	4	Juvenil	Cabo San Lázaro
	AtC	2	Juvenil	
	AtD	12	Macho	
<i>Z. californianus</i>	ZcA1	9	Hembra	Islas San Benito
	ZcB383	9	Hembra	
	ZcB365	9	Hembra	
	ZcB363	8	Macho adulto	
<i>P. vitulina</i>	PvA	6	s/c	Cabo San Lázaro
	PvB	7	s/c	
	PvC	8	s/c	
<i>M. angustirostris</i>	Ma1	8	Macho subadulto	Cabo San Lázaro
	Ma3	7	Hembra	Islas San Benito
	Ma5	10	Hembra	
	Ma6	9	Macho subadulto	

s/c: sin categoría.

Para cada cráneo, se tomó un diente canino de la mandíbula superior que se seccionó longitudinalmente, este corte se hizo con una cortadora de baja velocidad Isomet (Modelo 11-1280-160). Posteriormente se pulió la superficie interior de cada diente con una lija de agua de

grano de 800. La superficie interior de cada diente fue inmersa en ácido fórmico al 10% durante dos horas para eliminar residuos de dentina entre capas de crecimiento y comenzar a desmineralizar la dentina. A partir de este tratamiento se observaron los grupos de bandas de crecimiento, como en este caso y para muchas especies de mamíferos se muestra un patrón de pares de bandas clara-oscura que reflejan un año de vida cada una (Klevezal, 1969).

La dentina de cada banda se obtuvo por medio de un taladro de alta precisión “Micro Mill System” (Modelo Micromill, No. de serie MM-000-176) ajustado para producir un minicanal de 100  $\mu\text{m}$  de anchura para los dientes de otáridos y 50  $\mu\text{m}$  para los dientes de fócidos, a una profundidad de  $\square$  500  $\mu\text{m}$  de modo que represente cada año de vida del animal (Figura 5). Posteriormente esta muestra de dentina se colocó en un vial con ácido clorhídrico al 10% para la desmineralización de la dentina y así obtener el colágeno dental. Finalmente el material de colágeno se colocó en micro-cápsulas de estaño de 8 x 5 mm, éstas se pesaron ( $\square$  1.0 mg por muestra) en una micro balanza analítica con precisión de 0.001 mg. Las microcápsulas se sellaron y se enviaron al Laboratorio de Isótopos Estables de La Universidad de Davis California (UC Davis; <http://stableisotopefacility.ucdavis.edu>).



**Figura 5.** Corte longitudinal de diente canino de lobo marino de California muestreada con el taladro “Micro Mill System” para cada año de vida del individuo.

### 6.4.3 *Análisis isotópico de las muestras*

Las razones de los isótopos estables de nitrógeno y carbono se midieron por flujo continuo en el espectro de masas de razones isotópicas (20 – 20 PDZ Europa) después de la combustión de las muestras a CO<sub>2</sub> y a N<sub>2</sub> a 1000 °C en el analizador elemental (PDZ Europa ANCA-GSL). Los gases se separan en una columna cromatográfica antes de la introducción en el espectrómetro de masas. Las razones isotópicas de las muestras se compararon con las razones de los gases estándares de trabajo inyectados directamente al espectrómetro de masas; el sulfato de amonio ( $\delta^{15}\text{N} = 1.33\text{‰}$ ) se utilizó como estándar para la calibración de la señal isotópica de nitrógeno y la sacarosa ( $\delta^{13}\text{C} = -23.83\text{‰}$ ) para el carbono. La precisión analítica de estos estándares durante las corridas de las muestras fueron para pelo de  $\pm 0.17\text{‰}$  en el nitrógeno y  $\pm 0.05\text{‰}$  en el carbono, y para colágeno  $\pm 0.21\text{‰}$  en el nitrógeno y  $\pm 0.04\text{‰}$  en 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 razones isotópicas resultantes de cada muestra se reportaron utilizando los valores convencionales delta ( $\delta$ ) como se muestra a continuación:

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

donde:

$\delta^{15}\text{N}$  o  $\delta^{13}\text{C}$  = La diferencia expresada en partes por mil (‰) entre el contenido de <sup>15</sup>N o <sup>13</sup>C de la muestra y de la del estándar.

$R_{\text{muestra}}$  y  $R_{\text{estándar}}$  son las razones <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N o <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C para la muestra y el estándar, respectivamente.

### 6.4.4 *Análisis de datos*

Se realizaron dispersogramas con las proporciones isotópicas de los  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  encontrados tanto para el pelo de cría de los otáridos, como para el colágeno dental de las cuatro especies.

Se realizó una prueba T-test para determinar diferencias significativas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de pelo de cría de las especies de otáridos. Posteriormente estos valores se compararon con los de otros estudios.



Se aplicó ANOVA de una vía para medir diferencias significativas entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de colágeno dental tanto entre individuos de la misma especie como entre especies, sin tomar en cuenta la capa fetal-primer año. Cuando se detectaron diferencias, se aplicó la prueba *a posteriori* de Tukey, para identificar a que se debieron esas diferencias.

Para la estimación de amplitud trófica por medio de isótopos se utilizó la varianza de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de las muestras de pelo de cada uno de los otáridos y del promedio de los valores isotópicos de las bandas anuales para cada especie, sin tomar en cuenta la capa fetal-primer año. Cuando la varianza fue menor a 1‰, indicó que la especie era isotópicamente especialista, cuando era mayor a 1‰ fue considerado isotópicamente generalista (Bearhop *et al.*, 2004; Newsome *et al.*, 2007a; Jaerger *et al.*, 2009).

Para la estimación del nivel trófico en los otáridos se utilizó el algoritmo propuesto por Vander-Zanden (2001):

$$\text{Nivel trófico} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{consumidor}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{base}}) / 3.4 + 2$$

donde:

$\delta^{15}\text{N}_{\text{consumidor}}$  = Promedio de la señal de  $\delta^{15}\text{N}$  del consumidor

$\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$  = Valor  $\delta^{15}\text{N}$  de la base de la cadena trófica (zooplancton)

3.4‰ = es la fraccionación trófica por cada uno de los eslabones tróficos

2 = nivel trófico de la base de la cadena trófica

Con el fin de determinar posibles diferencias en el nivel trófico relativo de cada especie de pinnípedo por medio de pelo y colágeno dental se utilizó el algoritmo de Post (2002):

$$\text{Nivel trófico} = \lambda + ((\delta^{15}\text{N}_{\text{consumidor}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{base}}) / \Delta n)$$

donde:

$\lambda$  = es el nivel trófico de la base.

$\delta^{15}\text{N}_{\text{consumidor}}$  = es el  $\delta^{15}\text{N}$  del consumidor, medido directamente.

$\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$  = Valor  $\delta^{15}\text{N}$  de la base de la cadena trófica, para pelo se usó el valor de una especie presa (*Sebastes* sp.) y para el colágeno se usó el valor de sedimento ( $\delta^{15}\text{N}$  en sedimento = 8‰ en la zona de estudio (Altabet *et al.*, 1999) y 7‰ en zona más al norte (Kienast *et al.*, 2002) para *M. angustirostris*).

$\Delta n$  = es el enriquecimiento de  $\delta^{15}\text{N}$  por nivel trófico.

La fracción trófica de nitrógeno ( $\Delta n$ ) generalmente se asume entre los valores de 3‰ y 4‰, en nuestro caso el valor de fraccionación trófica fue de 3.4‰, estimado a partir de los valores isotópicos de la MOP, del zooplancton, de la presa (*Sebastes* sp.) y del valor del depredador (las especies de pinnípedos). El valor de fraccionación isotópico fue estimado con la sumatoria de los fraccionamientos individuales, divididos entre el número de componentes de la cadena. En el pelo de cría se restó el valor de fraccionación entre hembra y cría (2‰) estimado para *Z. californianus* (Porrás-Peters *et al.*, 2008), esto para que los valores fueran comparables entre algoritmos. No se tomaron en cuenta los valores de la banda fetal-primer año en el caso de colágeno dental.

Para relacionar el  $\delta^{15}\text{N}$  con el nivel trófico obtenido a partir del análisis de excretas, se realizó una comparación utilizando los valores de *NT* obtenidos por medio de los algoritmos de Post y Vander-Zanden y los valores obtenidos a partir de la ecuación de Christensen y Pauly (1992), para cada especie. Todos los análisis estadísticos se efectuaron utilizando el programa Statistica versión 7.0 (Copyright StatSoft, 2004).

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Estructura y tamaño de las colonias

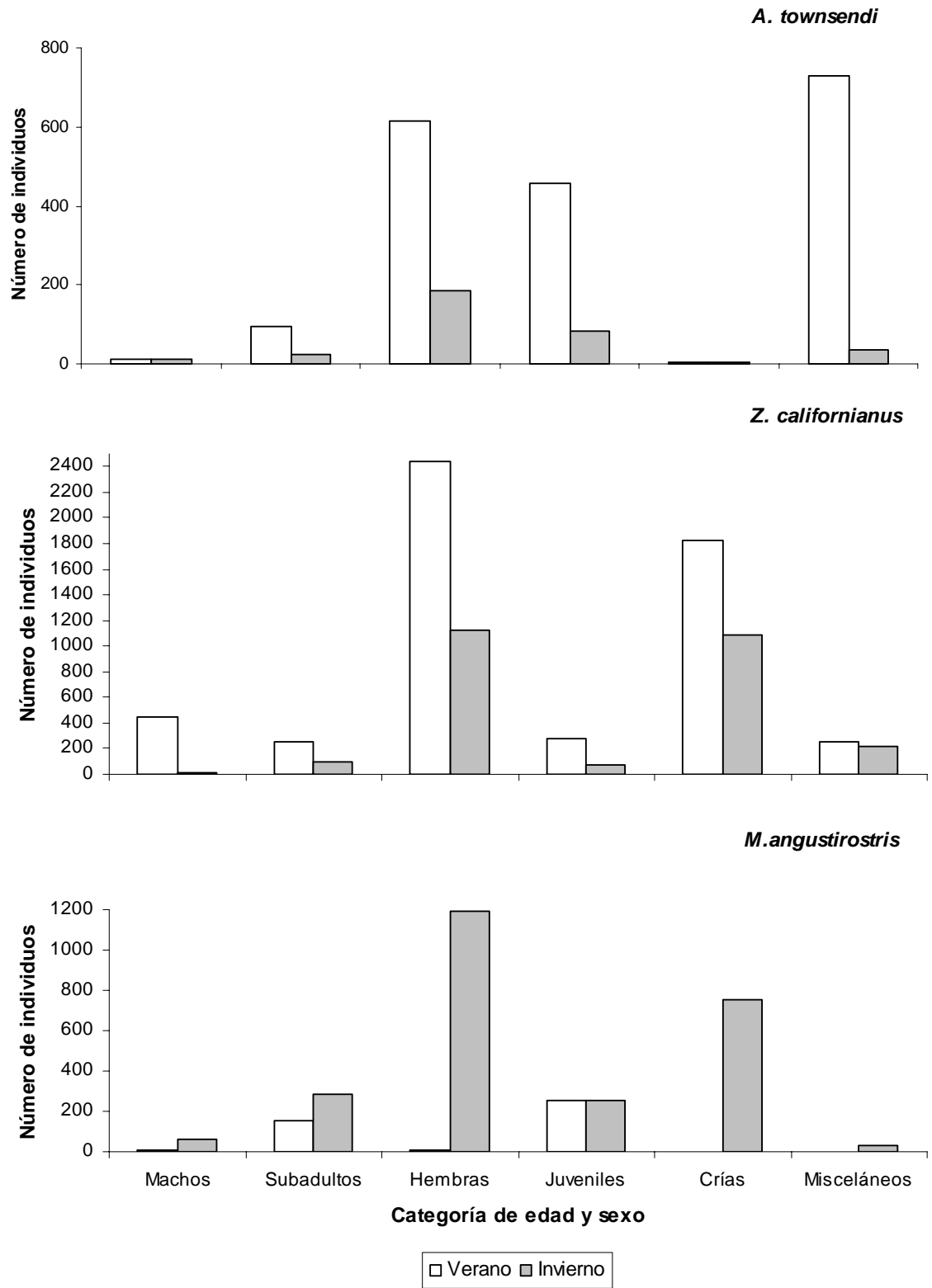
Durante los censos realizados se observó que las poblaciones de los otáridos fueron más abundantes durante el verano, y la población del elefante marino lo fue en el invierno, además se observaron siete individuos de *P. vitulina*; dos en verano y cinco en invierno (Tabla 2).

**Tabla 2.** Poblaciones totales en tierra de los pinnípedos de Islas San Benitos en verano e invierno del año 2007.

Especie	Verano 2007	Invierno 2007
<i>Z. californianus</i>	5, 489	2, 602
<i>A. townsendi</i>	1, 487	320
<i>M. angustirostris</i>	424	2, 453
<i>P. vitulina</i>	2	5

Dado que en estos censos también se reconocieron categorías de sexo y edad, se generó la estructura de cada población por estación (Figura 6). Esta caracterización es útil al momento de asignar los hábitos alimentarios a cada población. Se observó para los otáridos que las categorías de machos subadultos, hembras, juveniles, crías y misceláneos fueron más abundantes durante el verano, y para la categoría de machos adultos en el caso de *Z. californianus* también fue más abundante en verano, pero para *A. townsendi* se registró un número similar de individuos en los dos periodos (Figura 6).

En la población del elefante marino se observó que las diferentes categorías fueron más abundantes en invierno, con excepción de los juveniles en donde se registró un número similar en las dos estaciones (Figura 6).

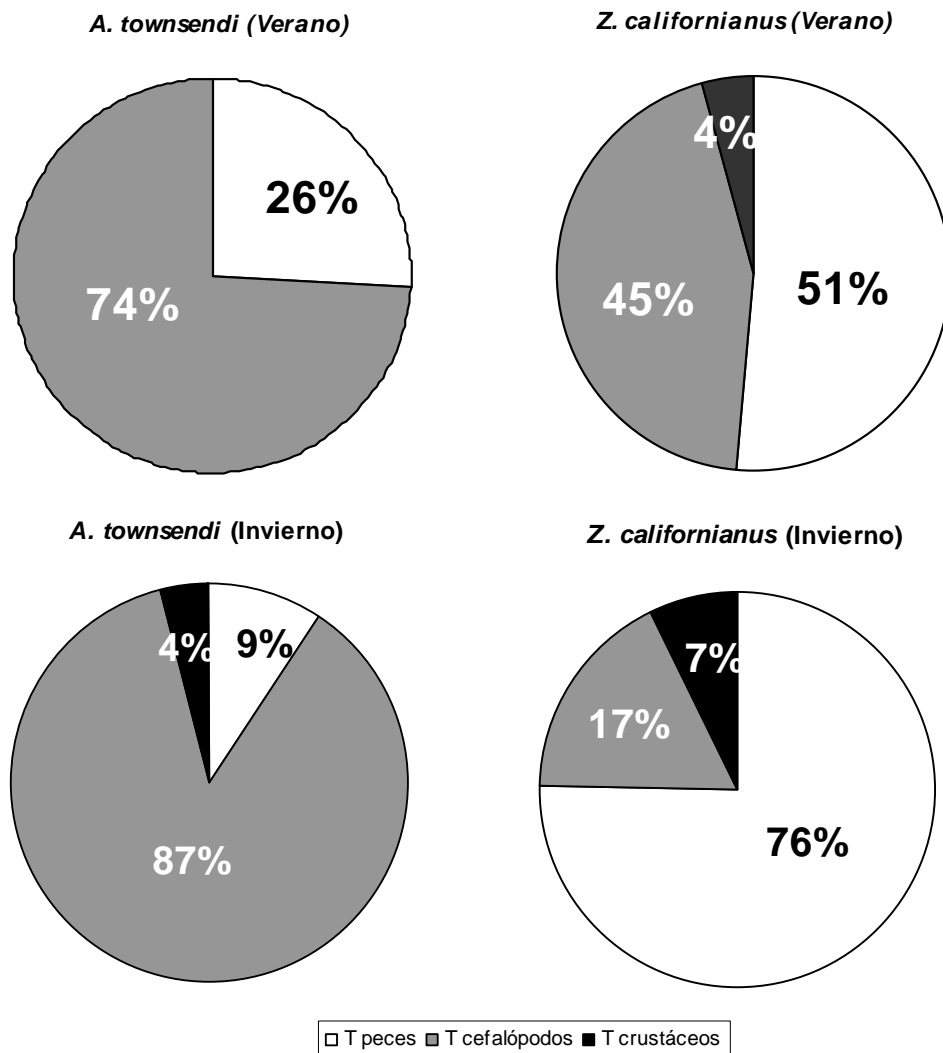


**Figura 6.** Gráficas comparativa de estructura por edad y sexo de *A. townsendi*, *Z. californianus* y *M. angustirostris* en islas San Benitos, B. C., México entre verano e invierno del año 2007.

## 7.2 Análisis de excretas de los otáridos

### 7.2.1 Estructura de la dieta

Se analizó un total de 228 excretas para los otáridos, donde el 94.3% tuvo restos de presas, representadas principalmente por otolitos de peces, mandíbulas de cefalópodos y restos de crustáceos. De las excretas revisadas para *A. townsendi*, recolectadas en el verano, 17 contuvieron 85 otolitos de peces y 49 tuvieron 348 picos de cefalópodos. En las excretas de *Z. californianus* recolectadas durante el mismo periodo, en 38 se encontraron 87 otolitos de peces, 33 tuvieron 389 picos de cefalópodos y 3 tuvieron restos de crustáceos (Figura 7).



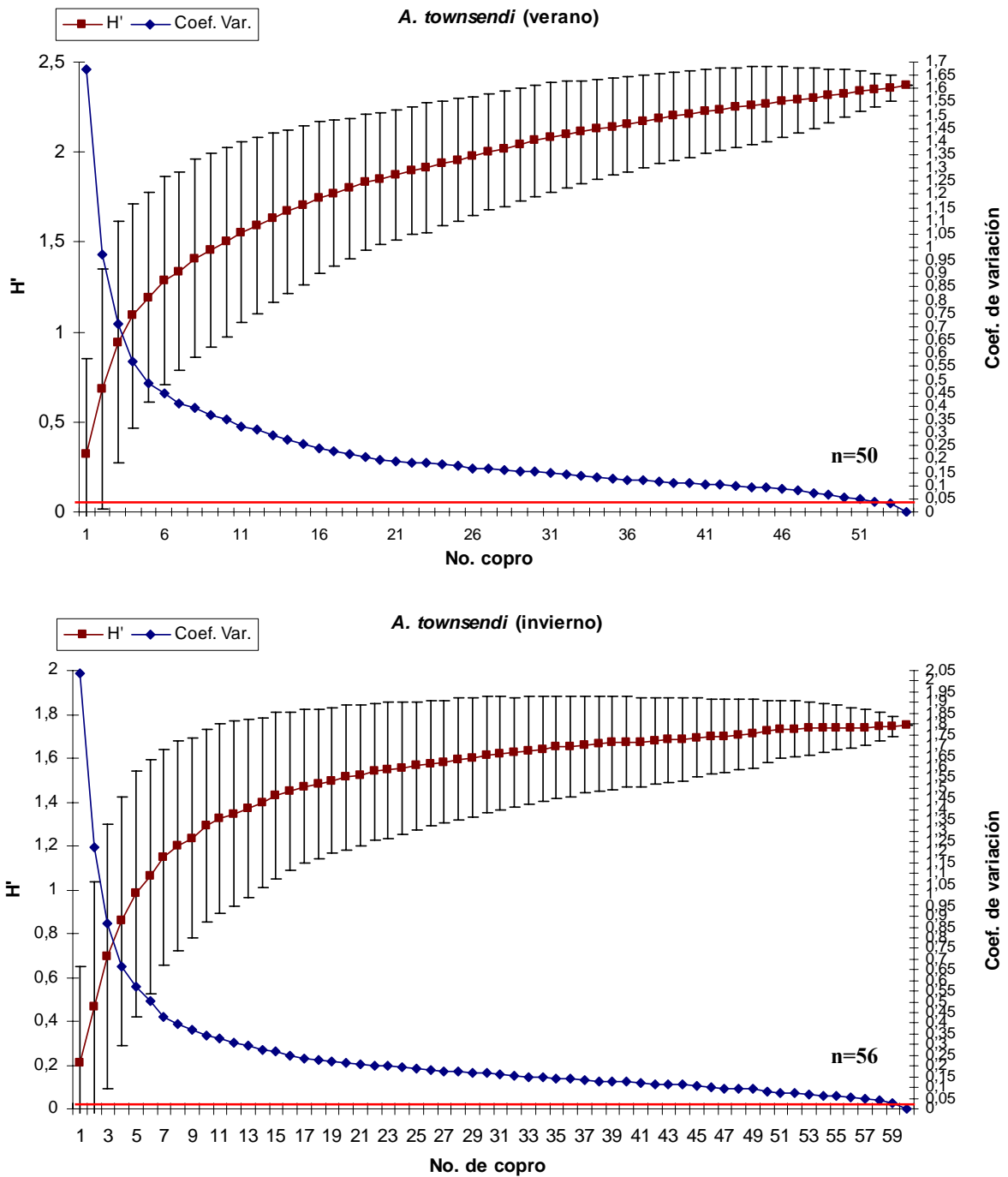
**Figura 7.** Proporción de las presas encontradas en las excretas de *Z. californianus* y de *A. townsendi* durante verano e invierno del año 2007.

En las excretas de *A. townsendi* recolectadas en el invierno, 5 tuvieron 11 otolitos de peces (9%), 46 tuvieron 322 picos de cefalópodos (87%) y dos tuvieron restos de crustáceos (4%). Para la misma temporada para *Z. californianus*, en 52 se encontraron 226 otolitos de peces, en 12 se encontraron 46 picos de cefalópodos y en el 7% de ellos se presentaron restos de crustáceos (Figura 7).

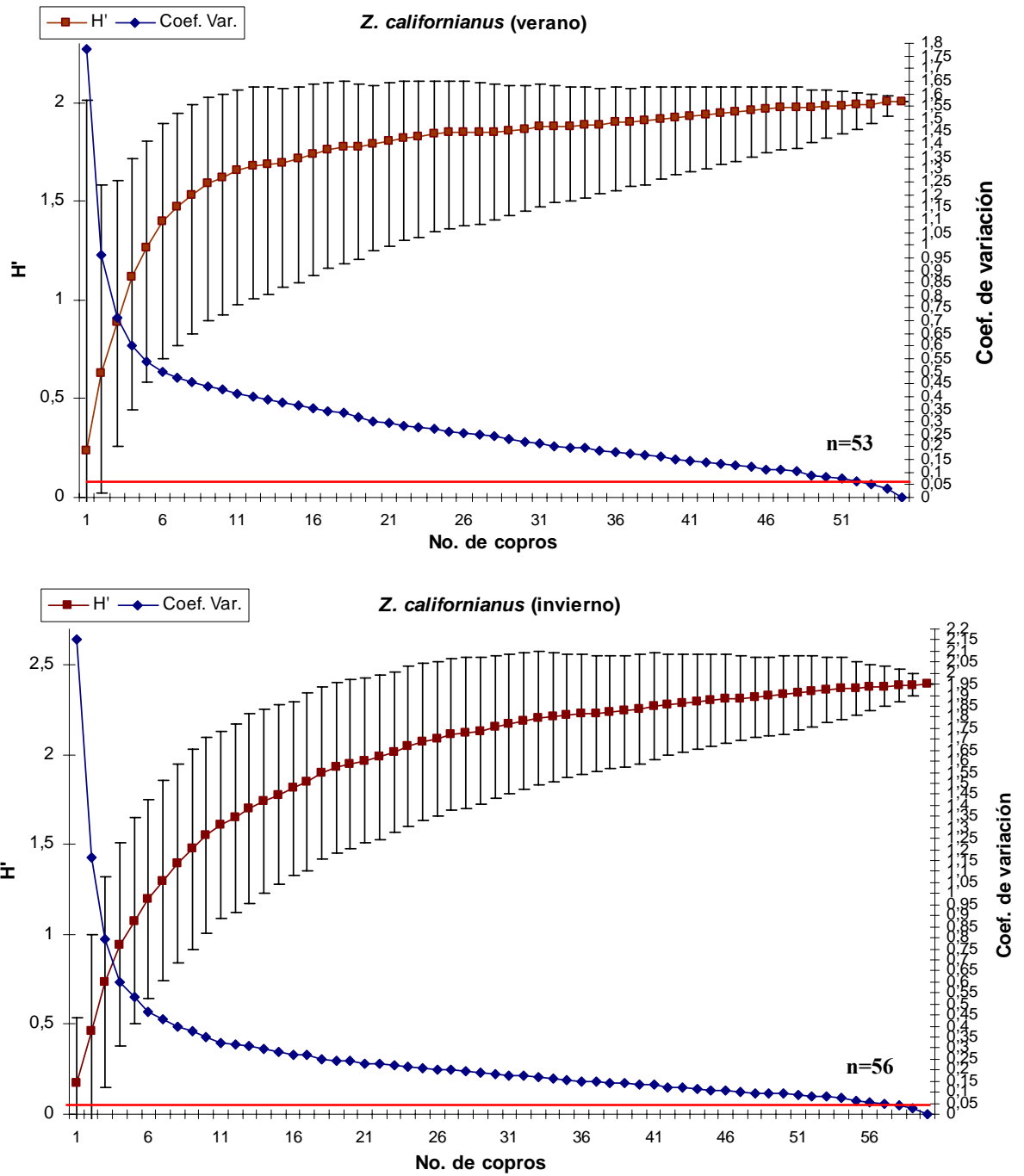
Adicionalmente se colectaron seis excretas de *P. vitulina* en la zona llamada Jojoba, Isla Cedros, donde se encontró un grupo de aproximadamente 30 individuos de *P. vitulina* en verano. De estas excretas cuatro tenían restos de otolitos, y sólo dos tuvieron muestras de otolitos identificables. En una muestra se encontraron 30 otolitos de *Icelinus sp.* y en la otra dos otolitos de *Porichthys sp.* y 14 de *Sebastes jordani*.

### **7.2.2 Tamaño de muestra**

Con las curvas de diversidad acumulada se demostró que para ambas especies el número de excretas fue suficiente para tener una caracterización adecuada de la dieta. Para el verano fue necesario revisar un total de 54 muestras fecales y para el invierno un total de 60 excretas (Figura 8 y 9).



**Figura 8.** Curvas de diversidad acumulada de las presas de *A. townsendi* de Islas San Benito en relación al tamaño de muestras (numero de copros) para verano e invierno del año 2007.



**Figura 9.** Curvas de diversidad acumulada de las presas de *Z. californianus* de Islas San Benito en relación al tamaño de muestra (número de copros) para verano e invierno del año 2007.



### 7.2.3 Espectro trófico

En la tabla 3 se muestra el espectro trófico de las especies de otáridos en las dos estaciones. Durante el verano, para *A. townsendi* se identificaron 19 especies presas pertenecientes a 14 familias; de éstas, 10 pertenecen a cefalópodos y nueve a peces. Para el invierno se identificaron 13 especies agrupadas en 12 familias, siete de las cuales fueron reconocidos como cefalópodos y seis como peces (Tabla 3).

Para *Z. californianus* en el verano se identificaron 32 especies presa, que pertenecen a 23 familias, de las que 13 especies fueron cefalópodos y 19 fueron peces. Para el invierno se identificaron 15 especies presa, agrupadas en 11 familias, donde cuatro especies fueron cefalópodos y 11 pertenecen a peces. También se encontraron restos de crustáceos pero no se identificaron por el alto grado de desgaste (Tabla 3).

Para determinar las especies de presas más importantes dentro de la dieta de cada depredador, sólo se consideraron aquellas que rebasaron el tres por ciento del índice de importancia de presa ponderado (IIMP<sub>1</sub>). Así las presas más importantes en la dieta de *A. townsendi* durante el verano fueron: *L. opalescens*, *Gonatus* sp., *Octopus* sp., *Dosidicus gigas*, *Argentina sialis*, y *Abraliopsis felis* (Tabla 3). En la dieta de *Z. californianus* durante el verano las presas más importantes fueron: *L. opalescens*, *Gonatus* sp., *Octopus bimaculatus*, *A. sialis*, *Merluccius angustimanus* y *Diplectrum* sp. (Tabla 3).

Durante invierno en la dieta de *A. townsendi*, tres especies de calamar y un pez fueron las especies presa más importantes: *L. opalescens*, *D. gigas*, *Gonatus* sp. y *Serranus aequidens* (Tabla 3). Para *Z. californianus* las presas de mayor importancia fueron: *Sebastes* spp., *A. sialis*, *L. opalescens*, *M. angustimanus*, *Citharichthys sordidus*, *Octopus* sp. y *Opistonema* sp. (Tabla 3).

Se observó la presencia de materia vegetal que no se pudo identificar, durante verano se encontró en el 37% de las excretas de *Z. californianus* y en el 83.3% de las excretas de *A. townsendi*. En el invierno se encontró en el 11.6% de las excretas de *Z. californianus* y en el 75% de las excretas de *A. townsendi*.

**Tabla 3.** Variación temporal en la importancia de presas identificada para *A. townsendi* y de *Z. californianus*.

Grupo	Familia	Especie	<i>A. townsendi</i>		<i>Z. californianus</i>		Hábitat
			Verano	Invierno	Verano	Invierno	
Cefalópodos	Loliginidae	<i>Loligo opalescens</i>	48.370	47.818	29.66	9.014	Bentónico
	Gonatidae	<i>Gonatus</i> sp.	22.316	13.799	11.821	2.707	Batipelágico
		<i>Gonatus</i> sp. ( <i>fabricii</i> )	2.884	/	2.694	/	Batipelágico
	Octopodidae	<i>Octopus</i> sp.	5.922	0.172	0.182	4.399	Bentónico
		<i>Octopus bimaculatus</i>	0.032	/	6.414	/	Bentónico
	Ommastrephidae	<i>Dosidicus gigas</i>	4.538	22.831	1.283	2.707	Pelágico
	Sepiolidae	<i>Rossia pacifica</i>	2.564	0.779	1.283	0.414	Bentónico
	Enoploteuthidae	<i>Abraliopsis felis</i>	3.133	2.086	/	/	Epipelágico
	Onychoteuthidae	<i>Onychoteuthis</i> sp.	/	/	2.638	/	Epipelágico
		<i>Onychoteuthis banksii</i>	/	/	2.566	/	Epipelágico
		<i>Onychoteuthis borealis-japanicus</i>	0.641	/	0.854	/	Epipelágico
		<i>Moroteuthis robusta</i>	0.855	1.390	1.283	/	Epipelágico
	Histioteuthidae	<i>Stenoteuthis oualaniensis</i>	/	/	1.283	/	Epipelágico
Argonautidae	<i>Argonauta</i> sp.	/	/	1.709	/	Pelágico	
Peces	Serranidae	<i>Diplectrum</i> sp.	0.128	0.556	3.849	/	Bentónico
		<i>Serranus aequidens</i>	/	5.006	/	/	Demersal
		<i>Paralabrax</i> sp.	/	/	0.855	/	Bentónico
	Cottidae	<i>Chitonotus pugetensis</i>	0.570	/	/	/	Bentónico
		<i>Icelinus filamentosus</i>	/	/	/	2.707	Demersal
		<i>Icelinus</i> sp.	/	/	/	1.873	Demersal
	Merlucciidae	<i>Merluccius angustimanus</i>	0.570	1.669	2.566	4.432	Demersal
		<i>Merluccius productus</i>	/	/	2.566	/	Demersal
	Paralichthyidae	<i>Citharichthys</i> sp.	0.285	/	/	/	Bentónico
		<i>Citharichthys stigmaeus</i>	/	/	/	0.271	Bentónico
		<i>Citharichthys sordidus</i>	/	/	/	3.249	Bentónico
		<i>Hippoglossina bollmani</i>	/	/	2.686	/	Bentónico
	Batrachoididae	<i>Porychthys myriaster</i>	/	/	2.565	/	Demersal
	Sebastidae	<i>Sebastes pinniger</i>	0.855	/	/	0.563	Bentónico
		<i>Sebastes constellatus</i>	/	/	2.566	/	Bentónico
		<i>Sebastes</i> spp.	0.641	/	/	42.932	Bentónico
	Argentinidae	<i>Argentina sialis</i>	4.202	2.781	5.781	16.919	Bentónico
	Pleuronectidae	<i>Pleuronichthys ritteri</i>	0.285	/	/	/	Bentónico
		<i>Lepidopsetta bilineata</i>	0.285	/	/	/	Bentónico
		<i>Lyopsetta exilis</i>	/	0.556	0.359	2.166	Bentónico
		<i>Microstomus pacificus</i>	/	/	2.566	/	Bentónico
	Muraenesocidae	<i>Cynoponticus coniceps</i>	/	/	1.283	/	Bentónico
	Priacanthidae	<i>Pristigenys serrula</i>	/	/	0.641	/	Bentónico
	Zoarcidae	<i>Lycodes pacificus</i>	/	/	0.257	/	Demersal
	Clupeidae	<i>Sardinops sagax</i>	/	0.556	/	2.526	Demersal
		<i>Opisthonema</i> sp.	/	/	/	3.121	Pelágico
		<i>Lile stolifera</i>	/	/	2.566	/	Bentónico
Haemulidae	<i>Pomadasys bayanus</i>	/	/	1.283	/	Pelágico	
Belonidae	<i>Strongylura exilis</i>	/	/	0.855	/	Bentónico	
Ophidiidae	<i>Chilara taylori</i>	/	/	0.257	/	Bentónico	
Myctophidae	<i>Triphoturus mexicanus</i>	/	/	0.121	/	Bentónico	

### 7.2.4 Amplitud trófica

El índice de Levins mostró que las dos especies de otáridos fueron especialistas para ambos periodos (Tabla 4). *A. townsendi* tuvo mayor variación en su dieta durante el verano y *Z. californianus* durante el invierno.

**Tabla 4.** Amplitud trófica de las especies de otáridos en verano e invierno de 2007, comparado con el estudio de 2001-2002 (Auriolos y Camacho, 2007).

Especie	Auriolos y Camacho 2001-2002	Verano 2007	Invierno 2007
<i>A. townsendi</i>	B= 4.65 Especialista	Bj= 0.13±1.4394 especialista	Bj= 0.13±0.052 especialista
<i>Z. californianus</i>	B= 1.53 Generalista	Bj= 0.02±0.0017 especialista	Bj= 0.15±0.1751 especialista

### 7.2.5 Nivel trófico

El *NT* de los otáridos durante verano fue de 4.1, de igual manera para *A. townsendi* en el invierno y *Z. californianus* tuvo un *NT* de 4.5 para esta estación (Tabla 5).

**Tabla 5.** Comparación del nivel trófico de *Z. californianus* y *A. townsendi* de Islas San Benitos, obtenido en verano e invierno del 2007 con otros estudios.

Especies de otáridos	Pauly <i>et al.</i> (1998)	Auriolos y Camacho 2000-2002	Verano 2007	Invierno 2007
<i>A. townsendi</i>	3.9	4.22	4.1	4.1
<i>Z. californianus</i>	4.1	4.42	4.1	4.52

### 7.2.6 Omnivoría

El grado de omnivoría mostró valores muy cercanos a 0 para ambas especies durante las dos temporadas (Tabla 6), lo que indica que los dos otáridos consumieron presas ubicadas en el mismo nivel trófico.

**Tabla 6.** Valor de omnivoría asignado a cada una de las especies de otárido en verano e invierno de 2007, comparación con un estudio anterior de 2001-2002 (Aurioles y Camacho 2007).

Especie	Aurioles y Camacho		
	2001-2002	Verano 2007	Invierno 2007
<i>A. townsendi</i>	0.13	0.1	0.08
<i>Z. californianus</i>	0.19	0.01	0.16

### 7.2.7 Superposición trófica

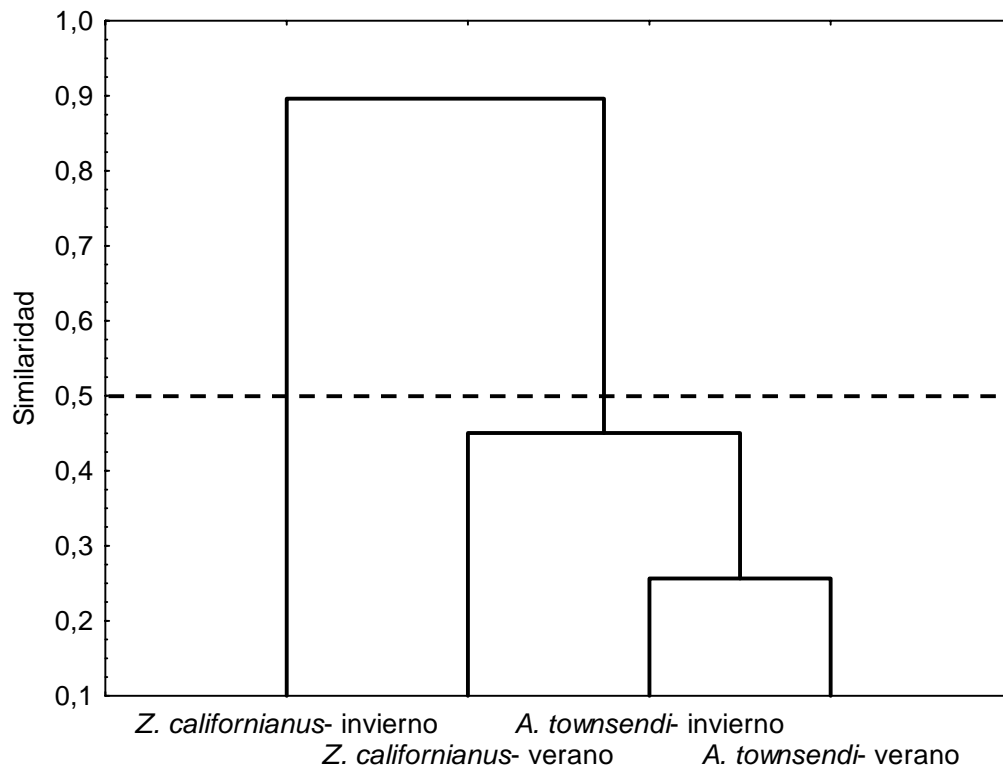
El índice de Morisita-Horn mostró que hubo superposición alta entre las dietas de los otáridos durante el verano ( $CH=0.88$ ) y fue baja en el invierno ( $CH=0.21$ ; Tabla 7).

**Tabla 7.** Grado de superposición trófica entre los otáridos en verano e invierno de 2007, comparado con un estudio anterior de 2001-2002 (Aurioles y Camacho, 2007).

<i>CH</i>	Aurioles y Camacho		2007
	2001	2002	
Verano	0.73	0.09	0.88
Invierno	0.06	0.27	0.21

### 7.2.8 Análisis multivariado de los hábitos alimentarios

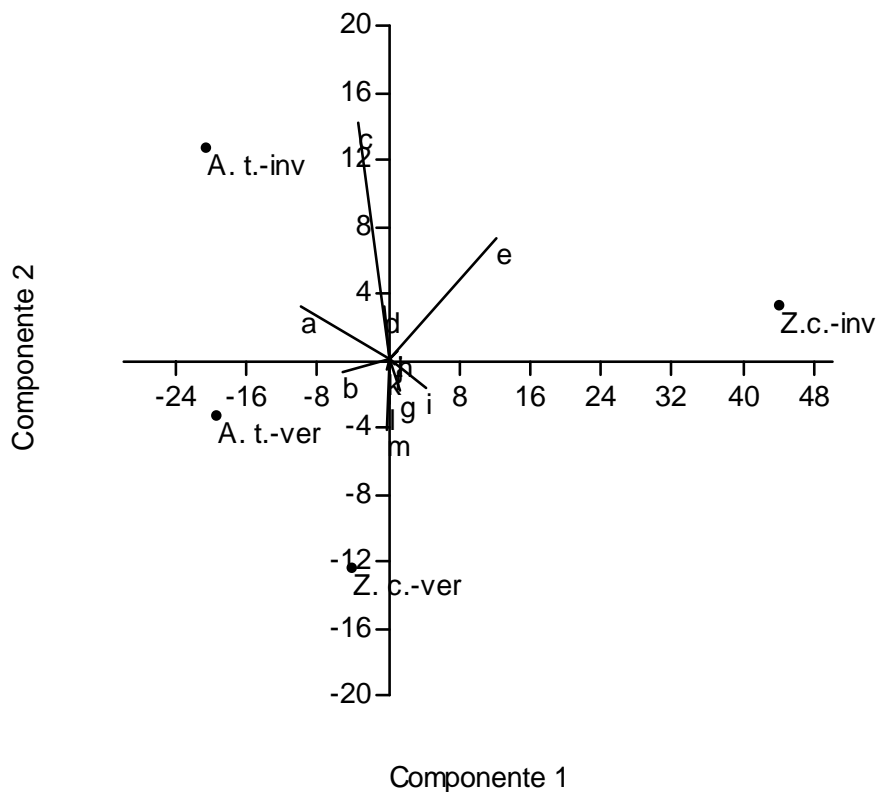
El análisis de clasificación aglomerativa, usando el índice de similitud de Bray-Curtis, mostró la formación de dos grupos a un nivel de similitud del 50%, que separa la dieta de *Z. californianus* en invierno y agrupó la dieta de *Z. californianus* de verano con la dieta de *A. townsendi* descrita para las dos temporadas (Figura 10).



**Figura 10.** Dendrograma de clasificación del espectro trófico de *A. townsendi* (At) y *Z. californianus* (Zc) en verano (ver) e invierno (inv) de 2007, en Islas San Benito.

El análisis de Componentes Principales (ACP) generó cuatro componentes de la dieta, donde los dos primeros representaron el 84.5% y 10.3% de la varianza respectivamente. El primer componente fue explicado en sus valores negativos por la importancia de los calamares *L. opalescens* y *Gonatus sp.*, mientras que los valores positivos fueron explicados por la importancia del pez *Sebastes spp.* El segundo componente en sus valores positivos fue influenciado por *D. gigas* y *Sebastes spp.*, mientras que los valores negativos por *Octopus sp.* y *Diplectrum sp.* (Figura 11).

Las dietas de ambos otáridos durante verano tienen mayor cercanía, mientras que las dietas en invierno se encuentran más alejadas (Figura 11).



**Figura 11.** Análisis de Componentes Principales del espectro trófico de *A. townsendi* (At) y *Z. californianus* (Zc) en verano (ver) e invierno (inv) en Islas San Benito. a) *L. opalescens*, b) *Gonatus* sp., c) *D. gigas*, d) *S. aequidens*, e) *Sebastes* spp., f) *Octopus* sp., g) *M. angustimanus*, h) *C. sordidus*, i) *A. sialis*, j) *Opistonema* sp., k) *A. felis*, l) *Diplectrum* sp., m) *O. bimaculatus*.

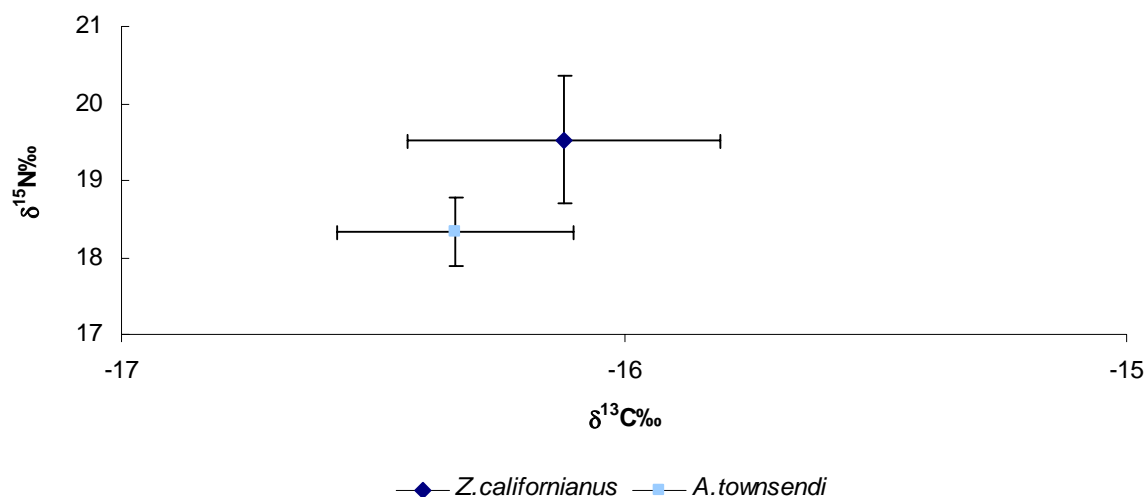
### 7.3 Análisis de isótopos estables

#### 7.3.1 Análisis isotópico en pelo de cría de los dos otáridos.

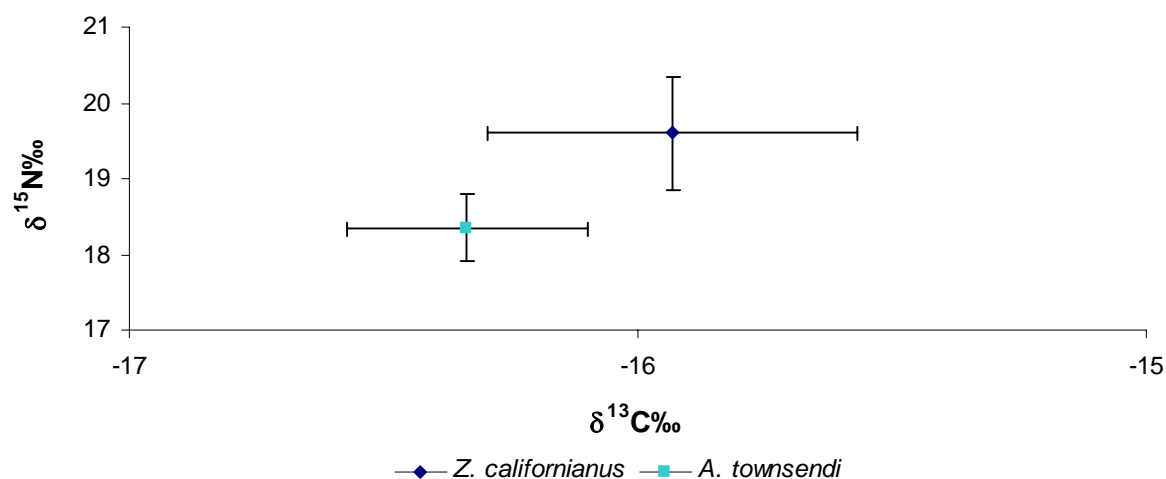
Del pelo de crías de *Z. californianus* y *A. townsendi* se obtuvieron los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ . Para *Z. californianus* el promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  fue  $19.53 \pm 0.82\text{‰}$ , y de  $\delta^{13}\text{C}$  fue  $-16.12 \pm 0.31\text{‰}$ . Para *A. townsendi* el promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  fue  $18.34 \pm 0.44\text{‰}$  y de  $\delta^{13}\text{C}$  fue  $-16.34 \pm 0.23\text{‰}$  (Figura 12). La diferencia estadística entre los promedios de  $\delta^{15}\text{N}$  fue significativa (T-test,  $p=0.001$ ), pero no así para los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ .

Debido a que se observó una tendencia a valores más negativos en el  $\delta^{13}\text{C}$  de *A. townsendi* se decidió realizar las comparaciones estadísticas tomando el mismo tamaño de muestra, para reducir el error de comparar diferentes tamaños de muestra. Entonces se compararon las siete muestras de pelo de *A. townsendi* con siete muestras de pelo de *Z.*

*californianus* elegidas al azar (Figura 13). En este caso para *Z. californianus* el promedio de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  fue de  $19.6 \pm 0.74\text{‰}$  y para  $\delta^{13}\text{C}$  fue de  $-15.93 \pm 0.36\text{‰}$  y existieron diferencias significativas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (T-test,  $p=0.023$ ) y de  $\delta^{13}\text{C}$  (T-test,  $p=0.03$ ).

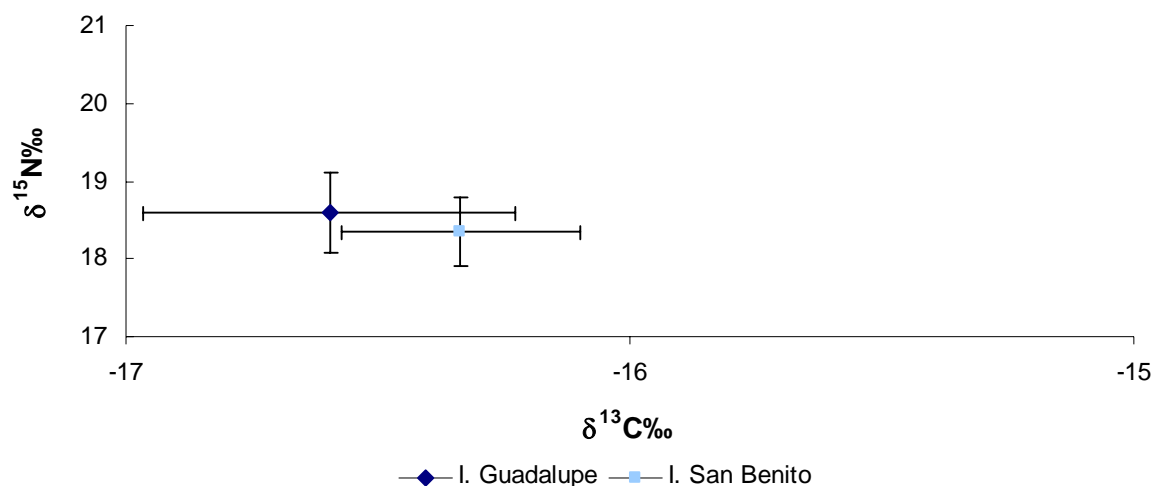


**Figura 12.** Comparación en los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de pelo de crías de *A. townsendi* y *Z. californianus*, en el verano del 2007, en Islas San Benito.



**Figura 13.** Comparación en los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de pelo de crías de *A. townsendi* y *Z. californianus*, en el verano del 2007, en Islas San Benito (mismo tamaño de muestra  $n=7$ ).

Además se compararon los valores isotópicos de pelo de cría de *A. townsendi* de Islas San Benito con los de Isla Guadalupe. Para los individuos de Isla Guadalupe los valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  fueron de  $18.60 \pm 0.52\text{‰}$  y de  $\delta^{13}\text{C}$  fueron de  $-16.60 \pm 0.36\text{‰}$ . En este caso no se encontraron diferencias significativas (T-test,  $p=0.241$  para  $\delta^{15}\text{N}$  y  $p=0.083$  para  $\delta^{13}\text{C}$ ; Figura 14).

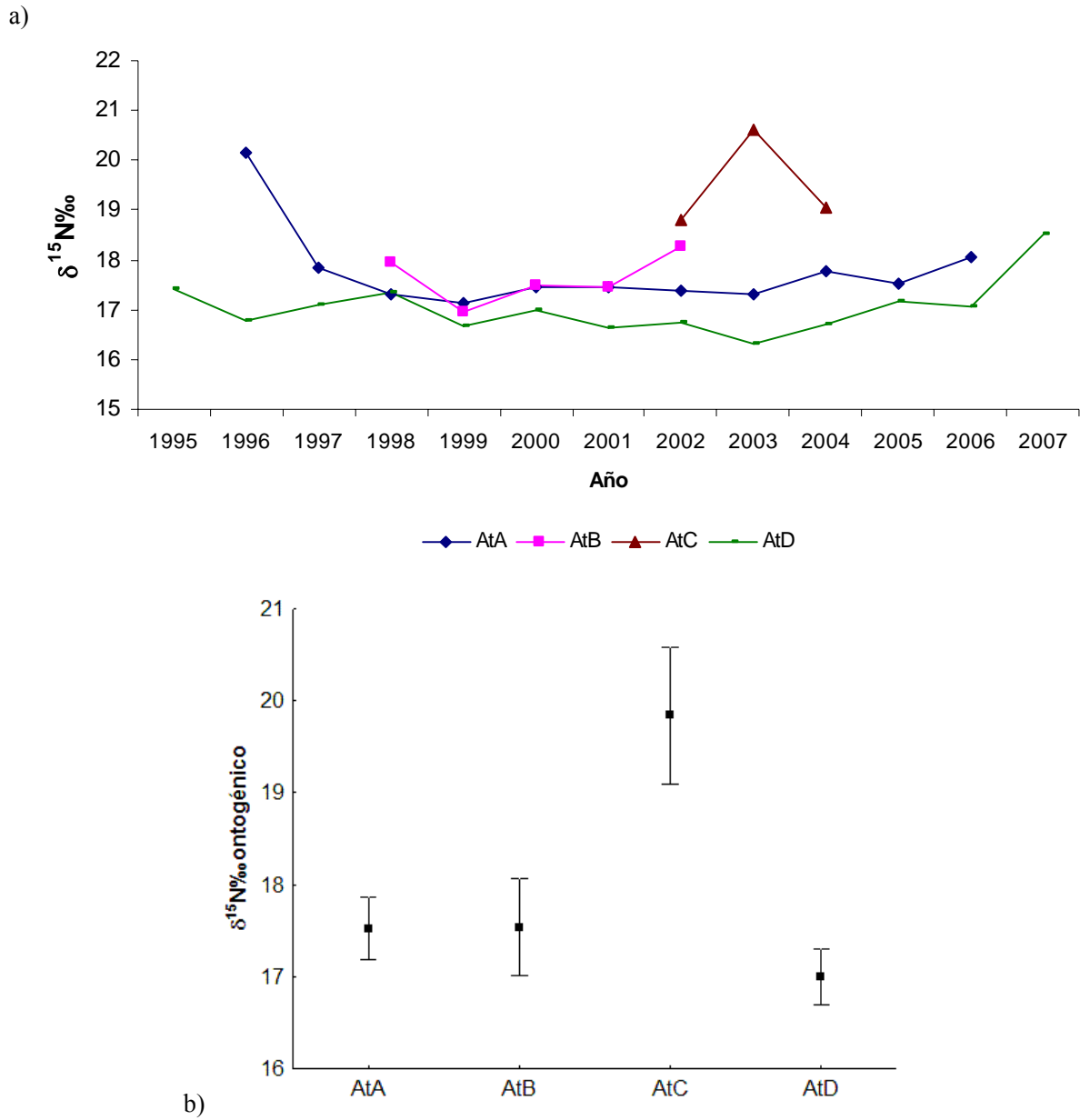


**Figura 14.** Comparación en los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de pelo de crías de *A. townsendi* de Isla Guadalupe e Islas San Benito.

### 7.3.2 Análisis isotópico en colágeno dental de las cuatro especies de pinnípedos.

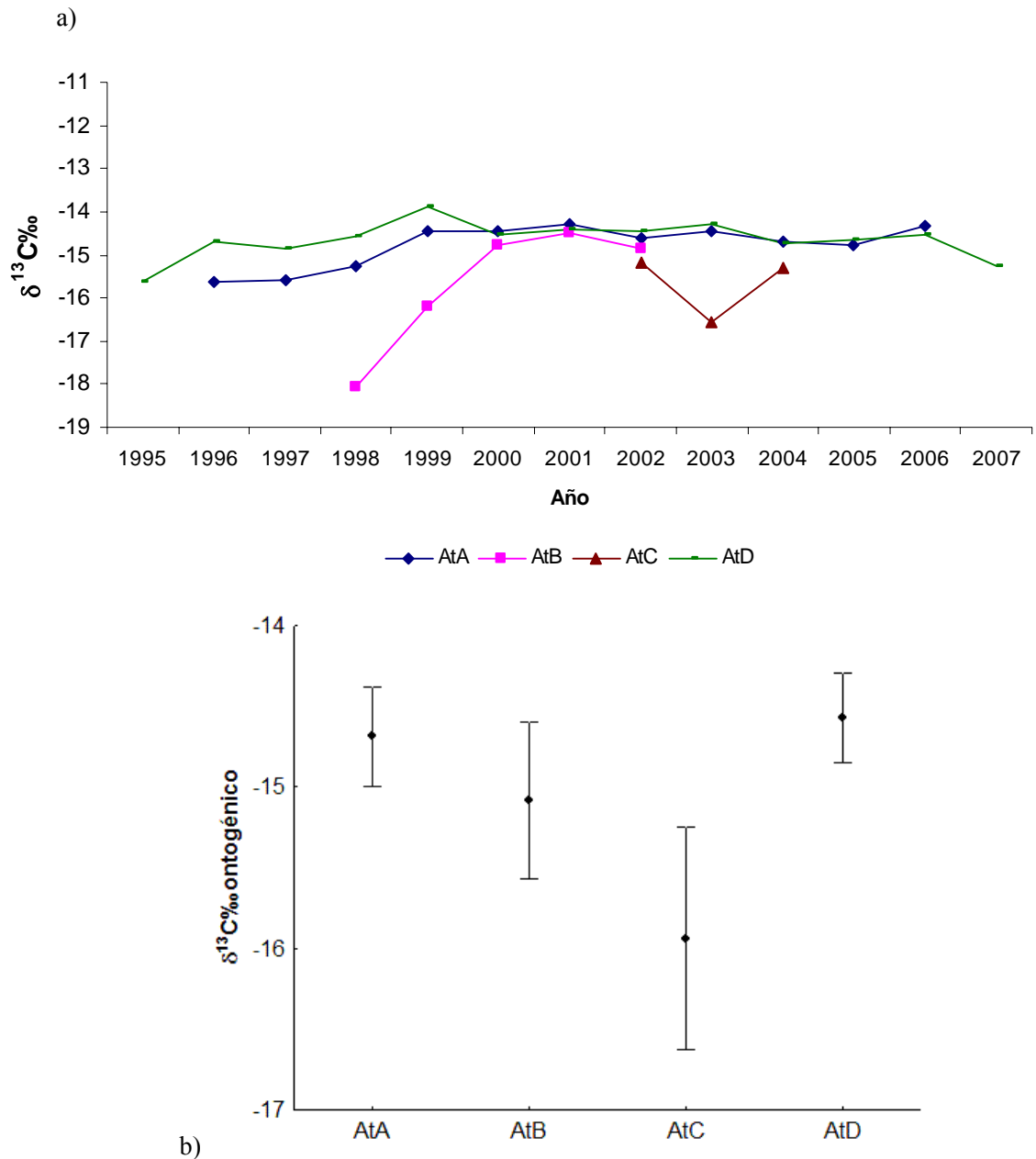
Para cada especie se realizaron perfiles ontogénicos individuales de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ . La Figura 15a muestra los perfiles ontogénicos de cuatro individuos de lobo fino de Guadalupe, los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  se encuentran entre los 16.33‰ hasta 20.63‰. El análisis de ANOVA mostró diferencias significativas ( $F(3, 24)=17.735$ ,  $p \leq 0.001$ ), del individuo AtC con los otros individuos (Figura 17b).





**Figura 15.** Perfil ontogénico de  $\delta^{15}\text{N}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *A. townsendi* (a), valores promedio y desviación estándar (b).

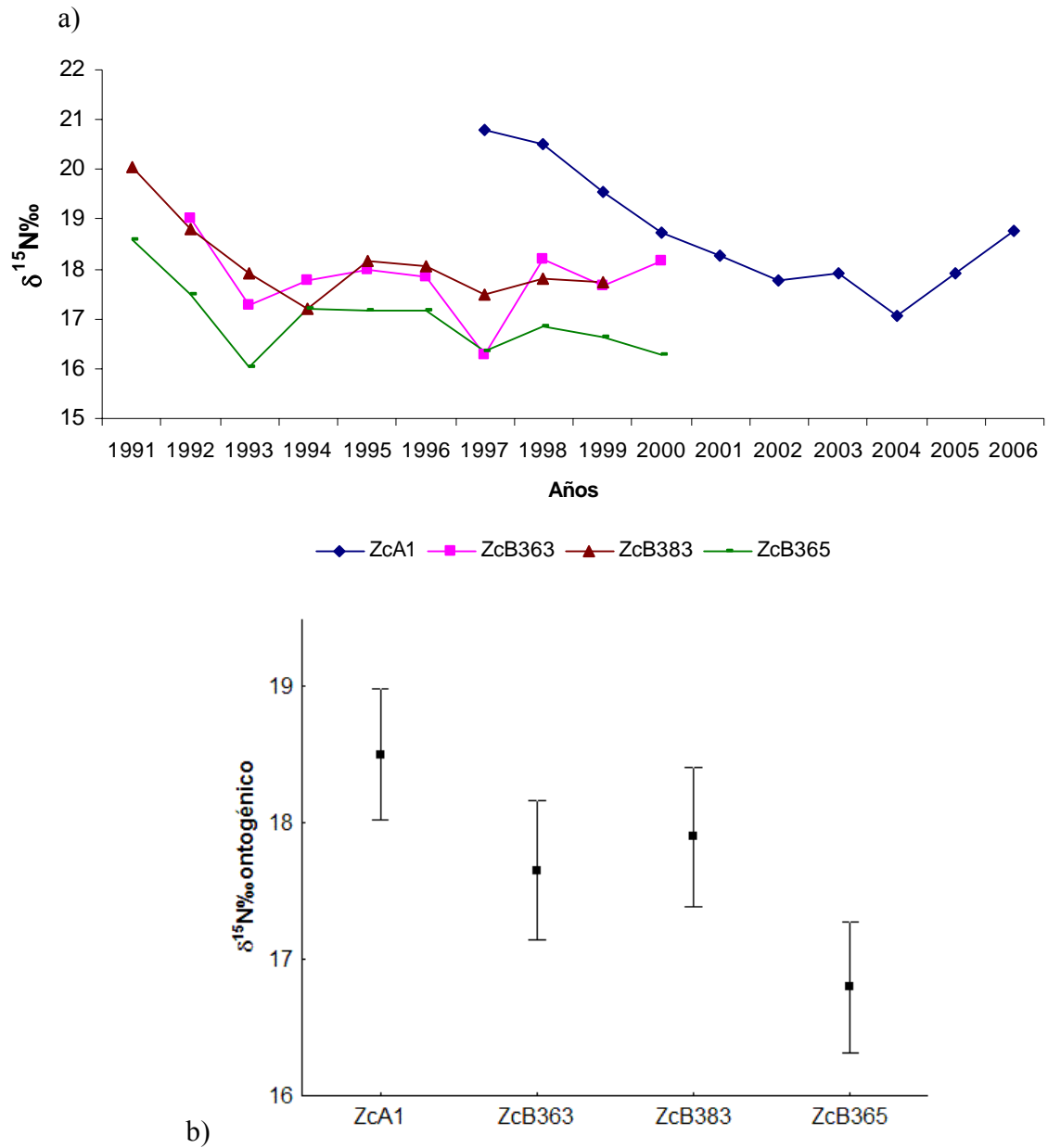
Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de *A. townsendi* se encuentran entre  $-13.9\text{‰}$  y  $-18.0\text{‰}$  (Figura 16a), al aplicar ANOVA hubo diferencias significativas ( $F(3, 24)=5.4956$ ,  $p \geq 0.005$ ; Figura 16b), que de acuerdo a la prueba de Tukey el individuo AtC mostró diferencias con AtA y AtD.



**Figura 16.** Perfil ontogénico de  $\delta^{13}\text{C}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *A. townsendi* (a), valores promedio y desviación estándar (b).

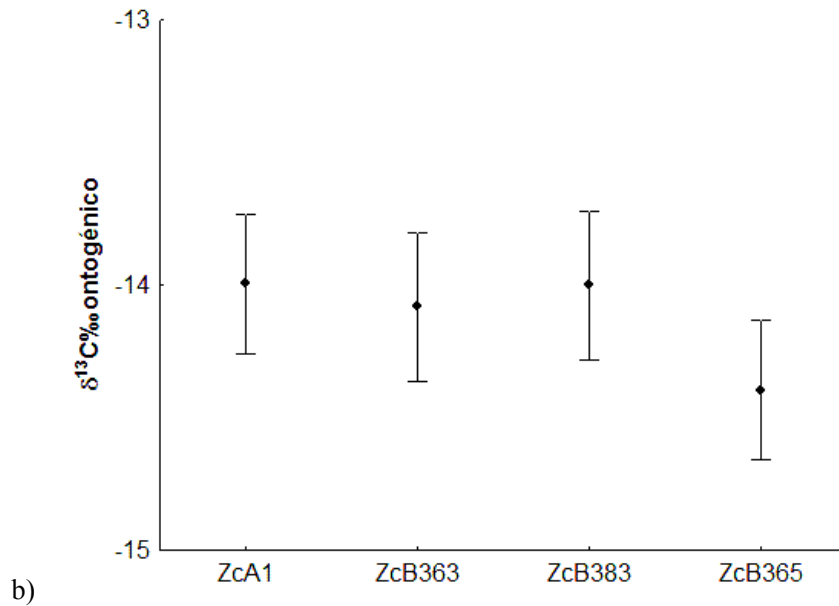
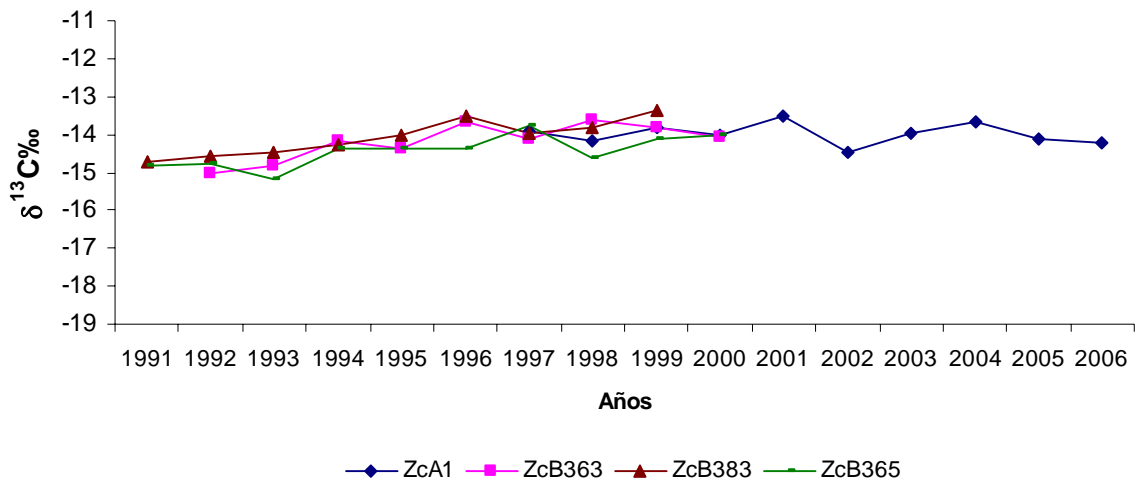
La figura 17a muestra los perfiles ontogénicos individuales de  $\delta^{15}\text{N}$  para el lobo marino de California, tres de ellos (ZcB363, ZcB383 y ZcB365). Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  estuvieron entre 16.0‰ y 20.5‰ (Figura 17a). Sin considerar los datos de la línea fetal-primer año, los valores se ubicaron entre 16‰ y 18.5‰ con una alta consistencia entre ellos, sin embargo al realizar

el análisis estadístico se encontraron diferencias significativas entre el espécimen ZcB365 con ZcA1 y ZcB383 (ANOVA;  $F(3, 30)=8.9665$ ,  $p=0.0002$ ; Figura 17b).



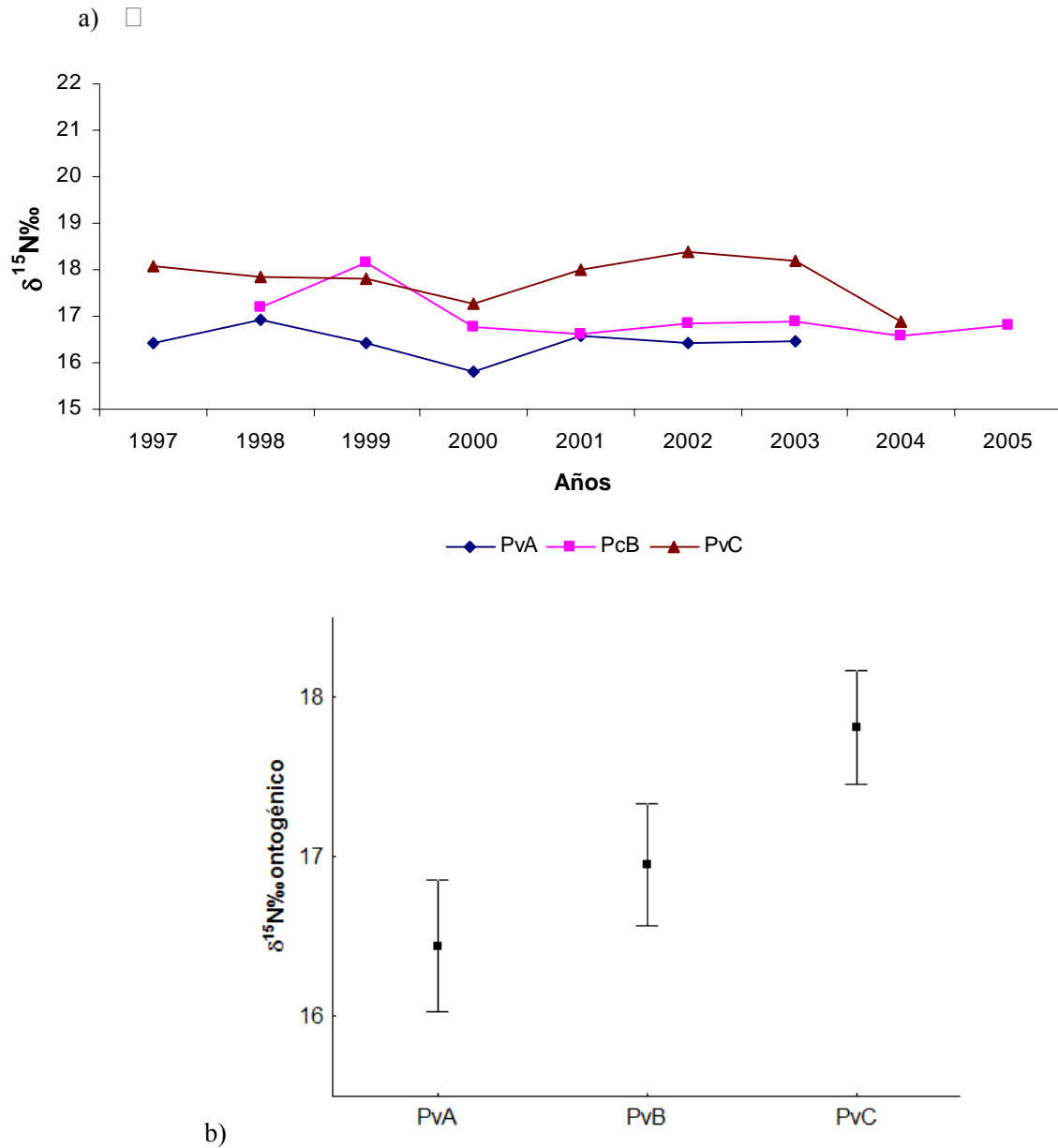
**Figura 17.** Perfil ontogénico de  $\delta^{15}\text{N}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *Z. californianus* (a), valores promedio y desviación estándar (b).

a) □



**Figura 18.** Perfil ontogénico de  $\delta^{13}\text{C}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *Z. californianus* (a), valores promedio y desviación estándar (b).

En cuanto a los perfiles ontogénicos de  $\delta^{13}\text{C}$  para *Z. californianus* (Figura 18a) los de tres individuos que vivieron entre 1991 y 2000 muestran superposición en los valores isotópicos, los cuales van de -13.35‰ a -15.16‰, al realizar el análisis estadístico no existieron diferencias significativas (ANOVA;  $F(3, 30) = 2.1184$ ,  $p = 0.11876$ ; Figura 18b).

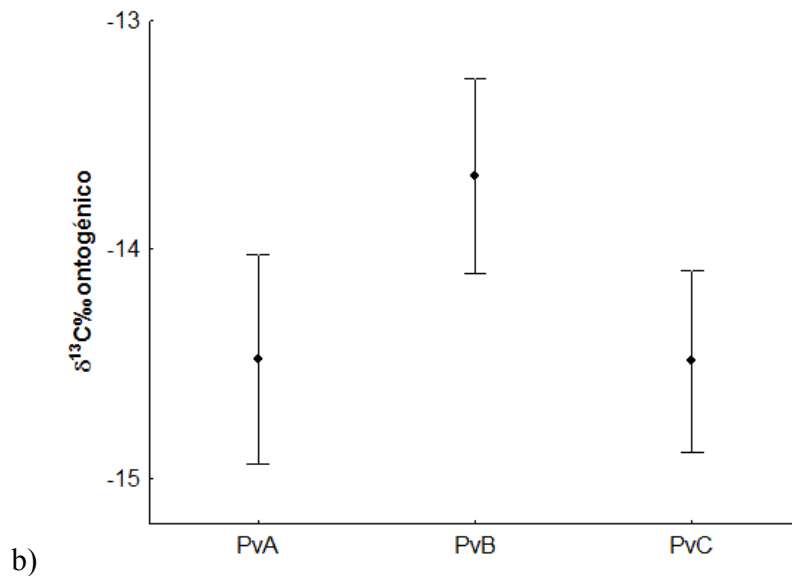
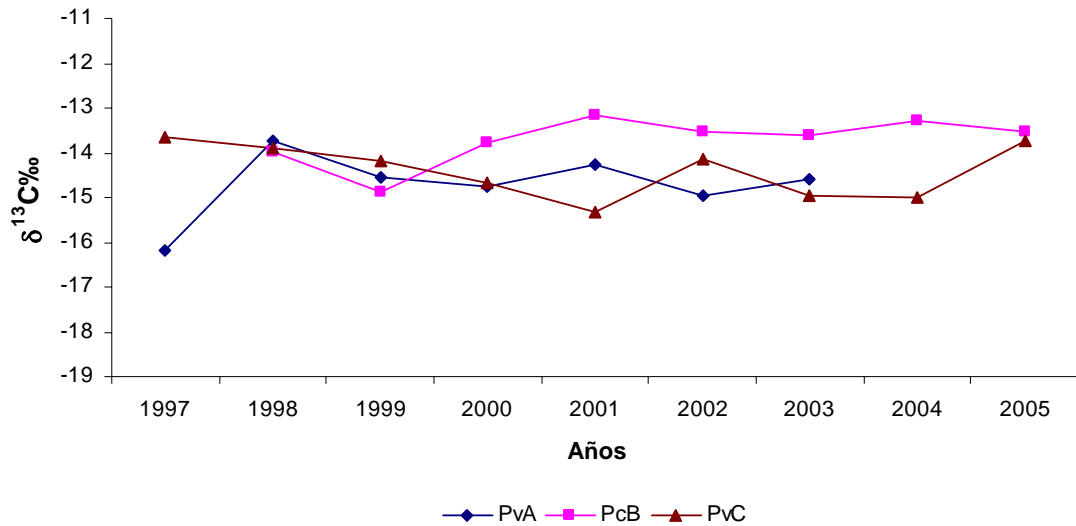


**Figura 19.** Perfil ontogénico de  $\delta^{15}\text{N}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *P. vitulina*(a), valores promedio y desviación estándar (b).

La figura 19a muestra los perfiles ontogénicos de  $\delta^{15}\text{N}$  de tres focas de puerto y su variación fue entre 15.8‰ y 18.4‰. Se encontraron diferencias significativas del individuo PvC con PvA y PvB (ANOVA;  $F(2, 18)=14.654$ ,  $p \leq 0.005$ ; Figura 19b). Por otro lado para  $\delta^{13}\text{C}$  tuvo un rango variación entre -13.15‰ y -15.34‰ (Figura 20a), el análisis estadístico

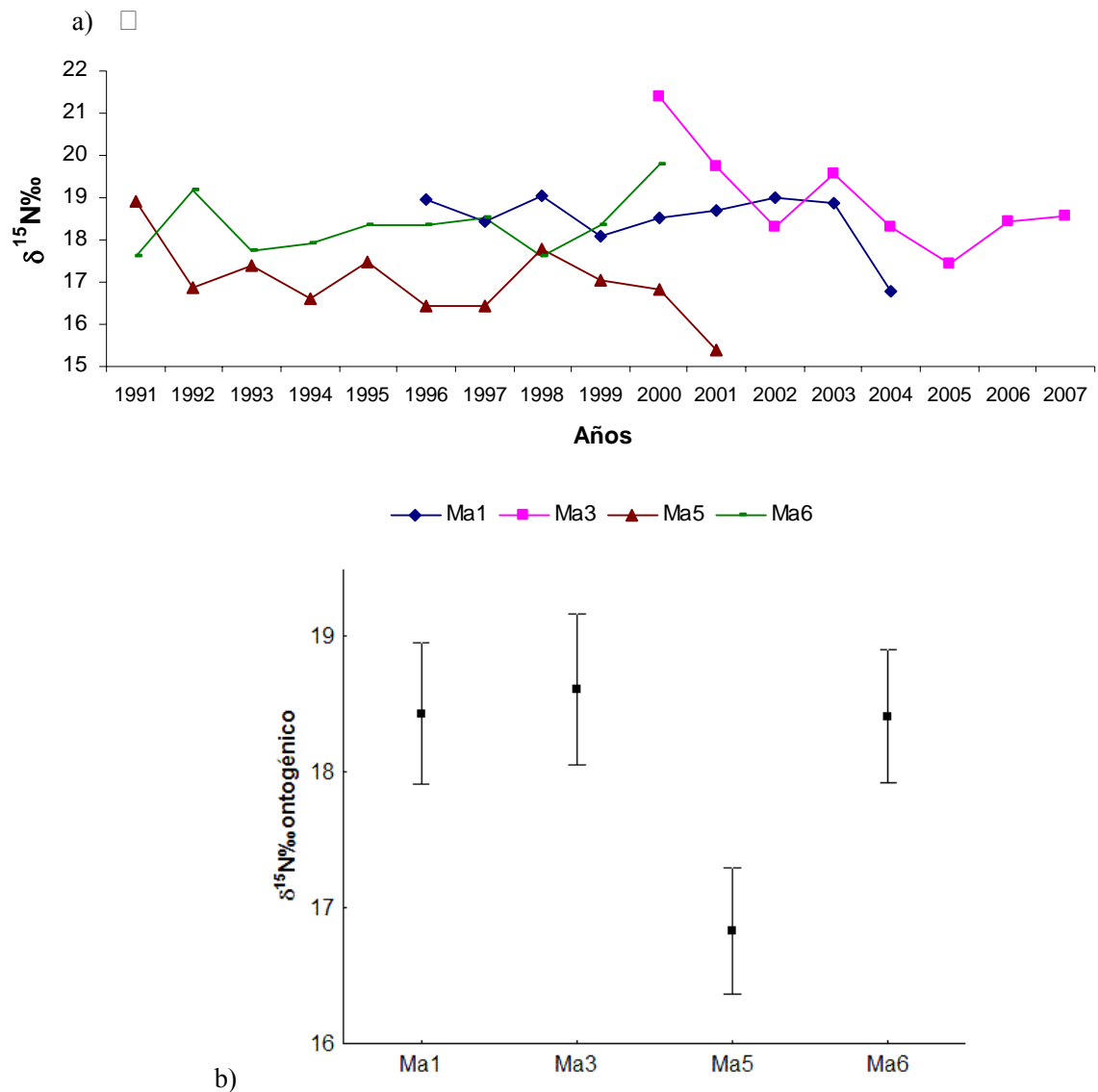
mostró diferencias significativas de PvB con relación a los otros dos individuos (ANOVA;  $F(2, 18)=5.3049$ ,  $p=0.01545$ ; Figura 20b).

a)



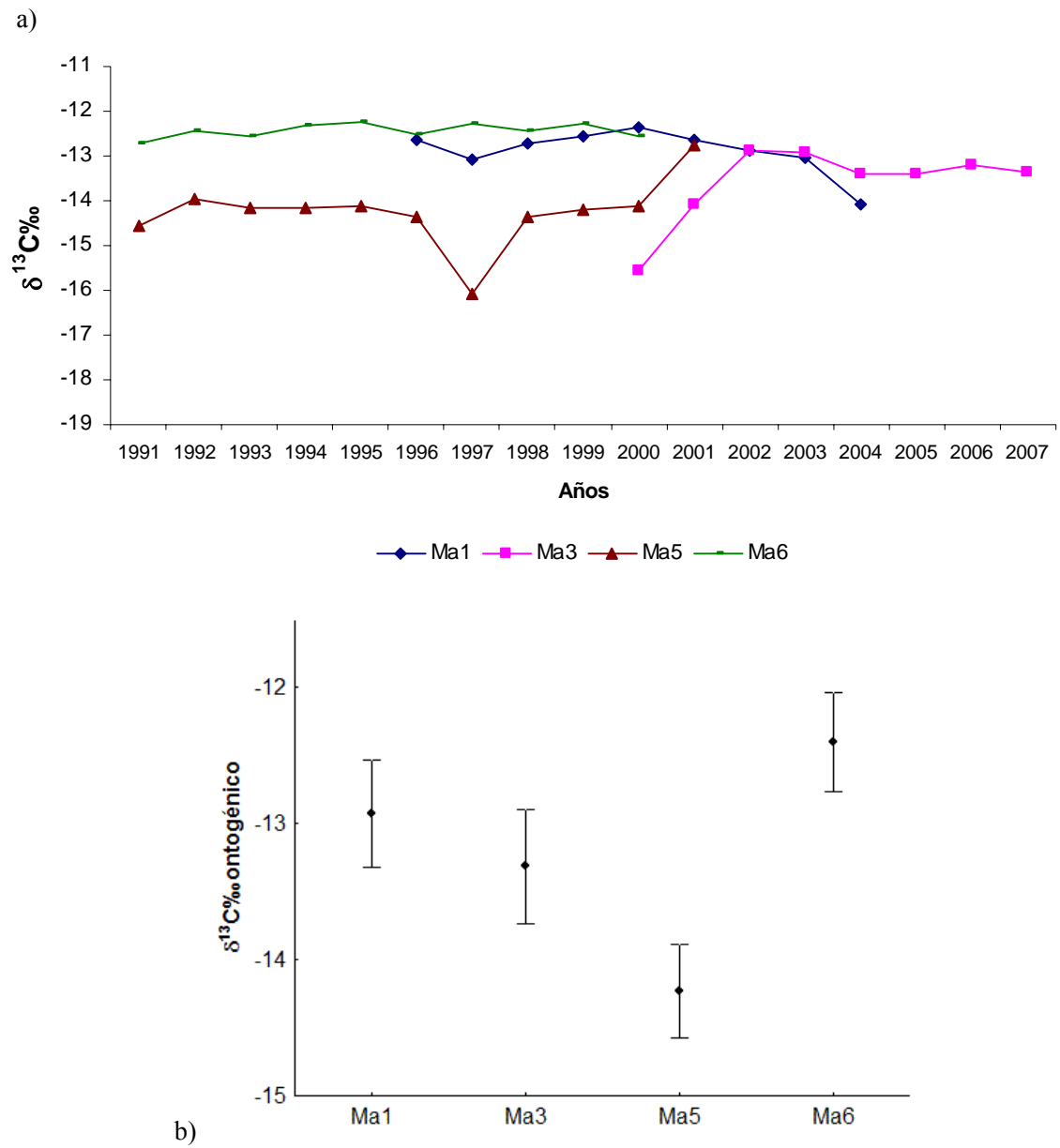
**Figura 20.** Perfil ontogénico de  $\delta^{13}\text{C}$  de colágeno dental de tres individuos de *P. vitulina*(a), valores promedio y desviación estándar (b).

En cuanto a los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en el elefante marino variaron entre 15.4‰ a 21.4‰ (Figura 21a). El análisis estadístico mostró diferencias entre Ma5 y el resto de los individuos (ANOVA;  $F(3, 30)=12.399$ ,  $p\leq 0.0001$ ; Figura 21b).



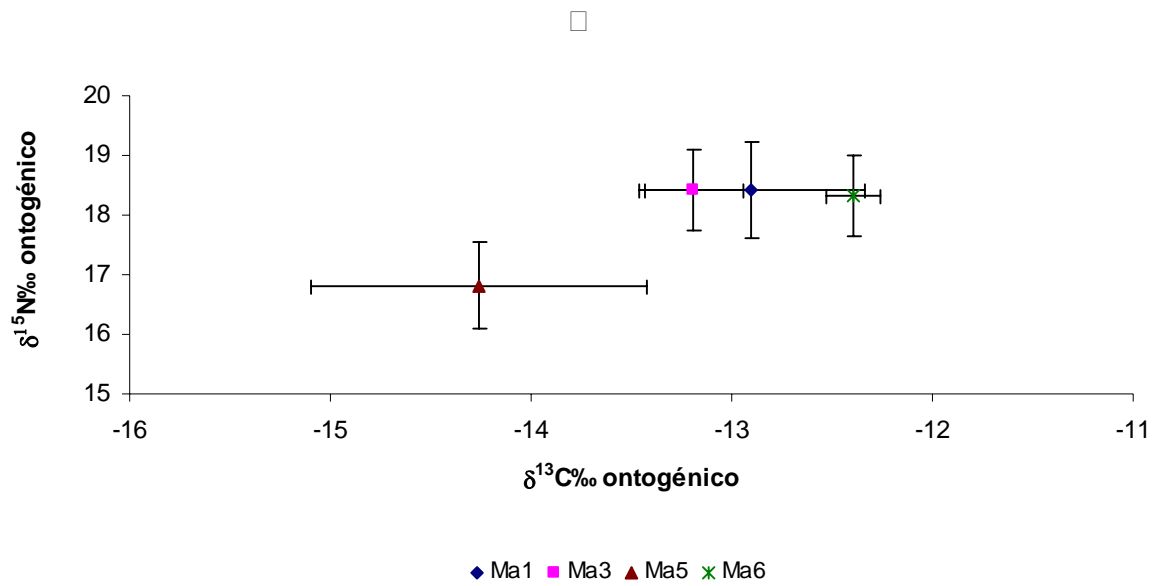
**Figura 21.** Perfil ontogénico de  $\delta^{15}\text{N}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *M. angustirostris* (a), valores promedio y desviación estándar (b).

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  del elefante marino se encuentran entre -12.2‰ y -16.1‰ (Figura 22a). Los perfiles ontogénicos de los machos (Ma1 y Ma6) estuvieron en el rango de -12‰ y -13‰, con valores más negativos para la hembra Ma5. Se encontraron diferencias significativas entre los valores de Ma5 con respecto a todos los individuos, además de diferencias entre Ma6 y Ma3 (ANOVA;  $F(3, 30) = 19.428$ ,  $p \leq 0.0001$ ; Figura 22b). En la figura 23 muestra la dispersión de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , donde se observó una clara separación de Ma5 con los otros individuos.

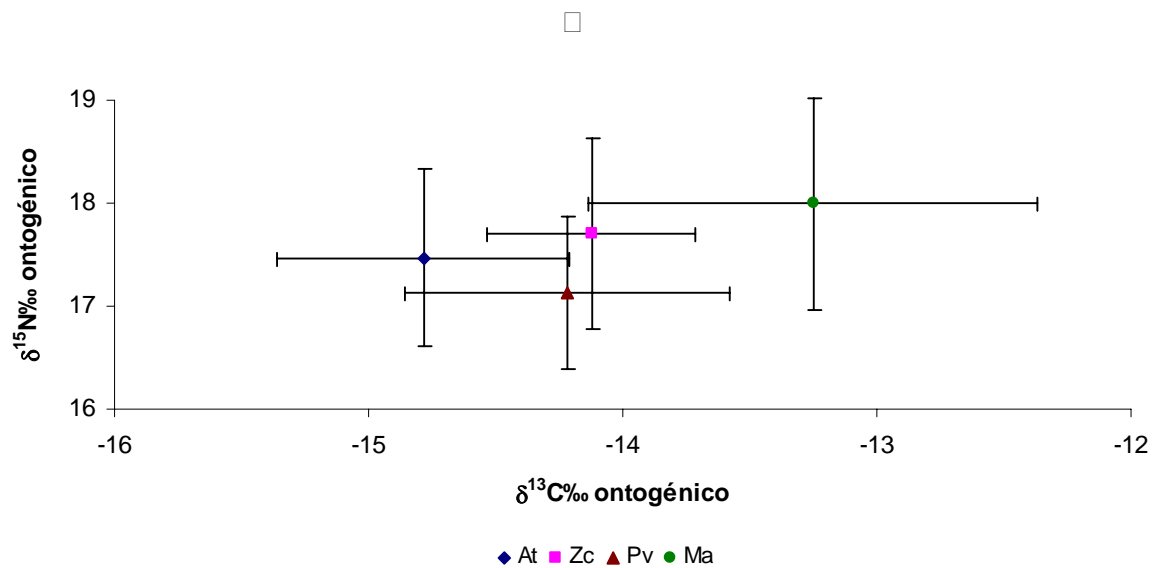


**Figura 22.** Perfil ontogénico de  $\delta^{13}\text{C}$  de colágeno dental de cuatro individuos de *M. angustirostris* (a), valores promedio y desviación estándar (b).





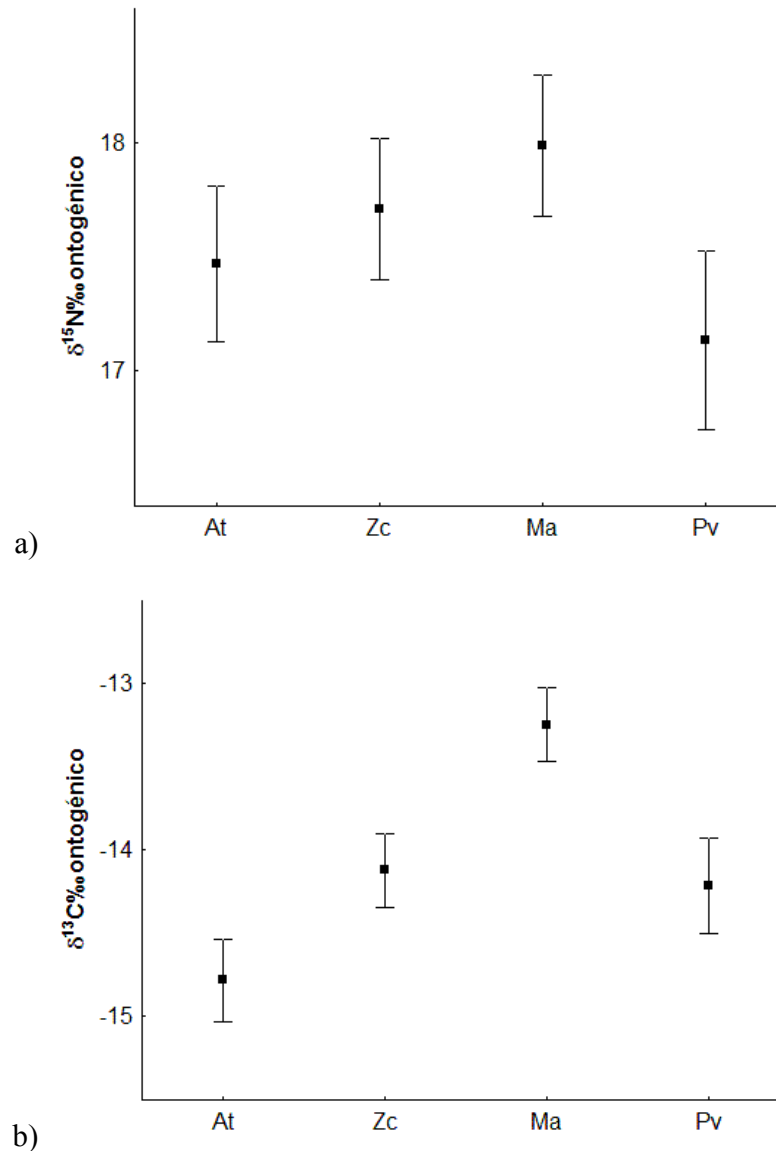
**Figura 23.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (promedio  $\pm$  desviación estándar) de *Mirounga angustirostris* ♦ Ma1 macho (n= 8), ■ Ma3 hembra (n=7), ▲ Ma5 hembra (n= 10) y ✱ Ma6 macho (n=9).



**Figura 24.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (promedio  $\pm$  desviación estándar) de los pinnípedos en Islas San Benito ♦ *A. townsendi* (n= 28), ■ *Z. californianus* (n=34), ▲ *P. vitulina* (n= 21) y ● *M. angustirostris* (n=34).

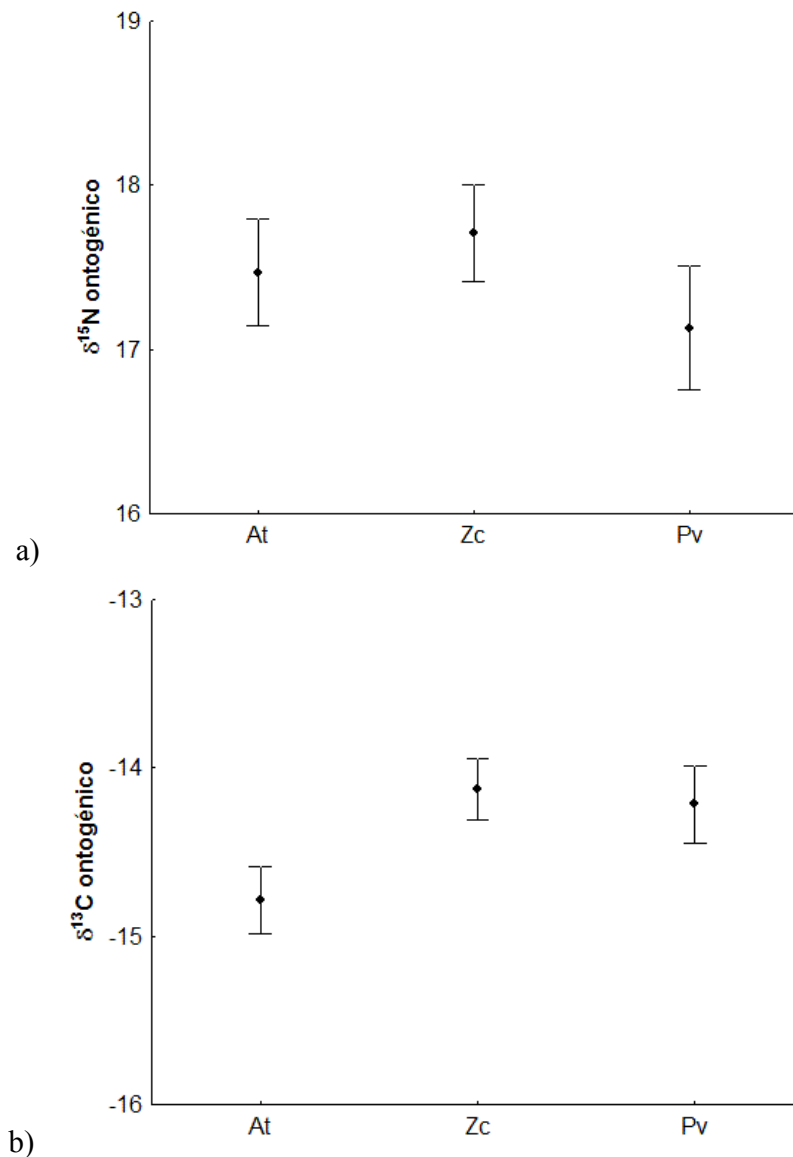
Al comparar los valores de las cuatro especies se observó la separación de los valores isotópicos del elefante marino (Figura 24). Además indicó que los valores de lobo fino de

Guadalupe se separan ligeramente de los de la foca de puerto y del lobo marino de California, estos últimos se superponen entre si (Figura 24).



**Figura 25.** Valores isotópicos (promedio  $\pm$  desviación estándar) de  $\delta^{15}\text{N}$  (a) y  $\delta^{13}\text{C}$  (b) en colágeno dental de los pinnípedos de Islas San Benito, B.C.

Al aplicar el análisis de ANOVA se encontró que existieron diferencias entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de la foca de puerto y el elefante marino ( $F(3, 113)=4.2278$ ,  $p=0.00714$ ; Figura 25a) y para  $\delta^{13}\text{C}$ , el lobo fino de Guadalupe mostró diferencias con respecto al resto de las especies, así también el elefante marino ( $F(3,113)=29.263$ ,  $p\leq 0.00001$ ; Figura 25b).



**Figura 26.** Valores isotópicos (promedio  $\pm$  desviación estándar) de  $\delta^{15}\text{N}$  (a) y  $\delta^{13}\text{C}$  (b) en colágeno dental de *A. townsendi*, *Z. californianus* y *P. vitulina*.

Ya que hubo diferencias en ambos isótopos de *M. angustirostris* con el resto de las especies, se comparó sólo entre las especies de otáridos y foca, encontrando para el  $\delta^{15}\text{N}$  diferencias entre *Z. californianus* y *P. vitulina* (ANOVA:  $F(2, 80)=2.9162$ ,  $p=0.05992$ ), mientras para  $\delta^{13}\text{C}$  las diferencias fueron entre *A. townsendi* y *Z. californianus* (ANOVA:  $F(2,80)=12.986$ ,  $p\leq 0.0001$ ; Figura 26).

### 7.3.3 Amplitud trófica

De acuerdo a la tabla 8, los valores isotópicos de pelo de crías mostraron que *A. townsendi* y *Z. californianus* fueron especialistas en el verano de 2007. El colágeno dental mostró que *A. townsendi* es generalista con los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , y en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  es especialista. Las especies *Z. californianus*, *P. vitulina* y *M. angustirostris* fueron considerados especialistas.

**Tabla 8.** Amplitud trófica asignado a las especies de pinnípedos por medio de isótopos estables.

Especie	Varianza de $\delta^{13}\text{C}$	Varianza $\delta^{15}\text{N}$	Categorización
<b>Pelo de crías</b>			
<i>A. townsendi</i>	0.056‰	0.195‰	Especialista
<i>Z. californianus</i>	0.096‰	0.688‰	Especialista
<b>Colágeno dental</b>			
<i>A. townsendi</i>	0.382‰	1.604‰	Generalista con alimentación hacia un sitio
<i>Z. californianus</i>	0.032‰	0.514‰	Especialista
<i>P. vitulina</i>	0.216‰	0.478‰	Especialista
<i>M. angustirostris</i>	0.807‰	0.824‰	Especialista con alta variación

### 7.3.4 Nivel trófico

En general la especie con mayor *NT* fraccionario fue *M. angustirostris*, seguida de *Z. californianus*, *A. townsendi* y por último *P. vitulina*. De acuerdo con el algoritmo propuesto por Vander Zanden (2001), el *NT* obtenido por isótopos en pelo de crías para *A. townsendi* fue de 3.68 y para *Z. californianus* fue de 4.03 (Tabla 9). Por otro lado, el algoritmo de Post (2002) en pelo de crías asignó para *A. townsendi* un valor de *NT* de 3.9 y para *Z. californianus* de 4.3. En colágeno dental, *A. townsendi* tuvo un *NT* de 3.78, *Z. californianus* de 3.86, *M. angustirostris* de 4.23 y *P. vitulina* 3.69 (Tabla 9).

**Tabla 9.** Nivel trófico asignado a las especies de pinnípedos de Islas San Benito.

	<i>A. townsendi</i>	<i>Z. californianus</i>	<i>M. angustirostris</i>	<i>P. vitulina</i>
*Pauly <i>et al.</i> , 1998	3.9	4.1	4.3	4.0
Dieta: promedio de Christensen y Pauly	4.13	4.14	-	-
Pelo: Vander-Zanden (2001)	3.68	4.03	-	-
Pelo: Post (2002)	3.9	4.3	-	-
Colágeno: Post (2002)	3.78	3.86	4.23	3.69

\* Referencia de valores de nivel trófico.

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 Censos poblaciones

Durante los siglos XVIII y XIX existieron intensas capturas de pinnípedos por parte de flotas balleneras rusas, inglesas y norteamericana (Lluch, 1969), causando reducciones drásticas de las poblaciones de *A. townsendi*, *M. angustirostris* y, en menor grado, de *Z. californianus*, poniendo al borde de la extinción a las dos primeras especies.

La población de *A. townsendi* quedó reducida a un pequeño grupo confinado a Isla Guadalupe (Hamilton, 1951). Actualmente, esta población se encuentra en fase exponencial de crecimiento, y es probable que el espacio limitado esté llevando a parte de la población a buscar otros sitios para reproducirse. A su vez, desde 1997 se tienen registros de aproximadamente 300 individuos en el Archipiélago de San Benito (Maravilla y Lowry, 1999) y registros continuos de esta población llevados a cabo por el laboratorio de Ecología de Pinnípedos de CICIMAR-IPN, sugieren que la población en estas islas ha aumentado cada año (Figura 1), encontrándose una población cercana a 2,100 individuos en el 2008, sin embargo el número de crías ha sido muy bajo en todos estos años por lo que se piensa que el crecimiento observado se debe principalmente a inmigrantes de la Isla Guadalupe (Aurioles *et al.*, en prensa).

En el caso del lobo marino de California, su explotación fue menor y actualmente es el pinnípedo más abundante en México, estimándose una población de 75,000 a 87,000 individuos para la costa oeste de la Península de Baja California (IUCN, 2008). En el Archipiélago de San Benito, el lobo marino tuvo una población mínima de 5,489 individuos, siendo la especie más abundante de esas islas.

El elefante marino del norte tuvo una historia de explotación similar a la de *A. townsendi* (Aurioles *et al.*, en prensa), pero se recuperó rápidamente alcanzando una población actual que rebasa los 170,000 individuos en todas sus áreas de distribución (IUCN, 2008). En Islas San Benito se pudieron censar alrededor de 2,453 individuos en la época reproductiva (invierno) lo cual representa poco menos del 1.4% de la población total en el Pacífico Norte.

La dinámica poblacional de la foca de puerto ha tenido variaciones drásticas en diferentes regiones. En el Golfo de Alaska, estuvo en decline desde los años 70's hasta principios de los 90's, después de esta fecha incrementó hasta su actual estabilidad (Pitcher, 1990; Jemison y Kelly, 2001). En la Columbia Británica (Canadá), Washington, Oregón y

California (EUA) las poblaciones aumentaron entre los 70's y 90's, y actualmente se encuentra en estabilidad (IUCN, 2008). En México, se han registrado pocos individuos dispersos en varias islas de la costa occidental de Baja California (Aurioles, 1993; Gallo *et al.*, 2008), y en Islas San Benito se tuvieron pocos avistamientos de la especie.

### **8.1.1 Estructura por edad y sexo**

En Islas San Benito, las hembras adultas de los otáridos son la categoría de sexo y edad mas abundante en las dos temporadas, estableciéndose durante todo el año debido al cuidado de las crías (Costa, 1993). Para *Z. californianus* se observó un mayor número de machos en verano, dado por el periodo reproductivo que comienza en mayo, cuando los machos adultos llegan para establecer territorios, y terminan a finales de julio (Peterson y Bartholomew, 1967; Odell, 1975), así también se observó mayor abundancia de machos subadultos y juveniles. En el invierno su proporción disminuye como efecto de su migración principalmente hacia el norte, después de la reproducción (Peterson y Bartholomew, 1967; Odell, 1975; Mate, 1977). En comparación, *A. townsendi* muestra pocos machos en ambas temporadas, así también poca abundancia de crías en el verano debido a que esta población aun no se reproduce de manera eficiente (Aurioles *et al.*, en prensa).

Con respecto a los fócidos, se sabe que el elefante marino del norte tiene dos migraciones al año, se encuentra en las islas de diciembre a marzo para la crianza y reproducción, después migran al norte para alimentarse y regresa a las islas para la muda después de algunas semanas o meses, esto depende de la edad y sexo, posteriormente viajan de nuevo para alimentarse por un periodo más largo, hasta el periodo reproductivo siguiente (Le Boeuf, 1994). Por esa razón se observan un cambio en la estructura de la población entre el verano y el invierno.

La foca de puerto generalmente es residente de sus áreas de reproducción y sólo realiza movimientos locales relacionados con actividades de alimentación y de reproducción (Bigg, 1981). En los censos se avistaron pocos individuos dispersos en el área, y debido a que no existe dimorfismo sexual evidente no hubo categorización por edad y sexo, aunque se pudieron observar crías durante el invierno, muestra de que algunas zonas están siendo utilizadas para crianza. Debido al comportamiento nervioso y alerta de esta especie ante la

presencia humana (Boulva, 1971; Allen *et al.*, 1984; Padilla, 1990; Suryan y Harvey, 1998) es probable que los censos estén subestimados y haya mas individuos utilizando la isla.

## **8.2 Estructura de la dieta de los otáridos.**

Fiscus (1982) generalizó que la dieta de los pinnípedos que se alimentan en aguas oceánicas está principalmente integrada por calamares, mientras que para las especies que se alimentan en la costa la dieta esta integrada en su mayoría por peces. Así, las presas de mayor importancia para *A. townsendi* fueron en su mayoría calamares de hábitos pelágicos o batipelágicos, caracterizados por realizar migraciones verticales (Rodhouse y Nigmatullin, 1996; Forsythe *et al.*, 2004), comportamiento que coincide con los viajes de alimentación de *A. townsendi* hacia zonas oceánicas a distancias de  $440 \pm 151$  km, con duración de  $14 \pm 8.2$  días y profundidades promedio de 30m (Gallo 1994).

Las especies presa identificadas para lobo fino anteriormente ya se habían reportado en estas islas durante 2001 y 2002 (Aurioles y Camacho, 2007). Sin embargo, Esperón (2008) encontró en verano del 2007 a la especie de calamar *Onychoteuthis banksii*, ya reportada para Isla Guadalupe (Gallo, 1994), pero no se encontró en las excretas analizadas. Por otro lado, la baja presencia del crustáceo *P. planipes* en la dieta de *A. townsendi* también se había reportado en esta región (Aurioles y Camacho, 2007).

La dieta de *Z. californianus* en verano mostró un consumo similar en las proporciones de peces y cefalópodos, complementado con un bajo porcentaje de crustáceos. Esta proporción cambió en el invierno, siendo los peces más abundantes que los cefalópodos y los crustáceos. Esta variación en la proporción de la dieta se refleja en la importancia de presas, de calamares a peces en su mayoría. Las especies de mayor importancia identificadas en este estudio ya han sido reportadas para la dieta de *Z. californianus* en otros sitios de su distribución (Jones, 1981; Ainley *et al.*, 1982; Weis, 2006). Este otárido tiene un perímetro de alimentación alrededor de sus colonias de entre 10 a 100 km (promedio 50 km) y los buceos de alimentación pueden llegar a ser de hasta 274-345 m (promedio de 70 m; Durán-Lizarraga, 1998; Costa *et al.*, 2001; Kuhn, 2003). Las presas que consume preferentemente se caracterizan por distribuirse en profundidad, como *A. sialis* que habitan entre 11 y 274 m, *M. angustimanus* entre 80 y 500 m, y el género *Sebastes* hasta 425 m (Fischer *et al.*, 1995), y concuerdan con los patrones de



buceo del depredador. En general las presas del lobo marino son de hábitos bentónicos y en su mayoría peces costeros, especialmente en invierno (Fiscus, 1982).

La variación de la dieta del lobo marino entre temporadas se ha relacionado con fluctuaciones temporales en la abundancia de sus principales presas, lo que determina en este otárido, un relativo amplio espectro trófico que cambia estacionalmente y confiere a la especie una mayor plasticidad trófica (Auriolles *et al.*, 1984; Lowry *et al.*, 1991; Durán, 1998; García-Rodríguez y Auriolles, 2004).

El clamar *L. opalescens* fue una de las especies presa de importancia en la dieta de ambos otáridos, para las dos temporadas, anteriormente reportado por Gallo (1994) para *A. townsendi* en isla Guadalupe, por Hanni *et al.*, (1997) para *Z. californianus* en California y por Auriolles y Camacho (2007) en Islas San Benito. Para entender su presencia en la dieta de estas especies, se debe tomar en cuenta que *L. opalescens* se reproduce en profundidades de 20 a 60 m, cerca de la costa donde deposita sus huevos entre los meses de abril a noviembre (Forsythe *et al.*, 2004; Macewicz *et al.*, 2004) y luego se desplaza a aguas oceánicas donde realiza migraciones circadianas a la superficie durante la noche (Zeidberg, 2003). Así se puede explicar porque aparece con alta frecuencia en la dieta de ambos otáridos durante en el verano y con mayor frecuencia en *A. townsendi* durante el invierno.

En las excretas de los dos otáridos se encontró pastos marinos o materia vegetal, aunque en mayor proporción en *A. townsendi* durante verano. Auriolles y Camacho (2007) encontraron también materia vegetal en 40% de los copros de *A. townsendi* que fue identificada como *Phyllospadix* spp. La presencia de materia vegetal (inusual en pinnípedos), podría ser explicada como ingesta accidental al alimentarse de peces o de calamares (Jackson, 1998). Otra posibilidad es que funcione como purgante natural como sucede en muchos mamíferos carnívoros.

Ebto de la dieta puede existir una subestimación de presas durante la identificación de otolitos y picos pequeños de cefalópodos (Pitcher, 1980b; Olesiuk *et al.*, 1990; Harvey y Antonelis, 1994). En el caso de los otolitos, estos pueden ser frágiles, pequeños y delgados y por tanto pueden ser digeridos completamente (Orr y Harvey, 2001), lo que a su vez ocasiona un desgaste elevado, lo que imposibilita su identificación precisa y en consecuencia quedan mal representados en la dieta (Hawes, 1983; Jobbing y Breiby, 1986; Dellinger y Trillmich, 1988; Harvey, 1989). Así también los picos de cefalópodos, que son

difíciles de digerir y pueden ser regurgitados (Pitcher, 1980b; Hawes, 1983) o acumularse en el estómago en varios periodos de tiempo (Pitcher, 1980b; Bigg y Fawcett, 1985).

La evaluación de la dieta en el análisis de excretas se basa en las presas ingeridas, pero no son necesariamente asimiladas en su totalidad (Hobson *et al.* 1994; Hobson *et al.* 1997), por lo que es importante la aplicación de otro tipo técnica para complementar los hábitos alimentarios de las especies.

### **8.2.1 Grado de omnivoría.**

El grado de omnivoría en el caso de los otáridos indicó que cada una de las especies se está alimentando de presas ubicadas en el mismo nivel trófico, aunque también encontramos especies de crustáceos con nivel trófico menor que el de *D. gigas* o *L. opalescens* para el caso de *A. townsendi* o de *Sebastes* spp. para *Z. californianus* (Anexo 1). Este índice es una medida del rango de nivel trófico encontrado en la dieta de un depredador o una medida de la variabilidad de nivel trófico entre depredadores, el cual requiere saber la estimación del espectro trófico (Gascuel *et al.*, 2005). Como se muestra en el Anexo 1, *Z. californianus* se esta alimenta de presas de niveles tróficos más altos que *A. townsendi*, y este hecho es más notable durante invierno, lo que podría propiciar un nivel trófico mayor para *Z. californianus*.

### **8.2.2 Superposición trófica.**

Cuando dos o mas especies de otáridos habitan en simpatria éstos utilizan diferentes recursos alimentarios, dando lugar a una baja superposición en las dietas (Antonelis y Fiscus, 1980; Green *et al.*, 1990; Dellinger y Trillmich, 1999; Auriol-Gamboa y Camacho-Ríos, 2007). Se ha observado que individuos alimentándose bajo condiciones similares pueden especializarse en ciertas presas o en estrategias de forrajeo sin importar edad, sexo o morfología corporal (Everitt *et al.*, 1981; Antonelis *et al.*, 1990; Green *et al.*, 1990; Riedman, 1990; Dellinger y Trillmich, 1999; Auriol-Gamboa y Camacho-Ríos, 2007). Así es posible suponer que las colonias utilizaron recursos o áreas de alimentación diferentes para coexistir.

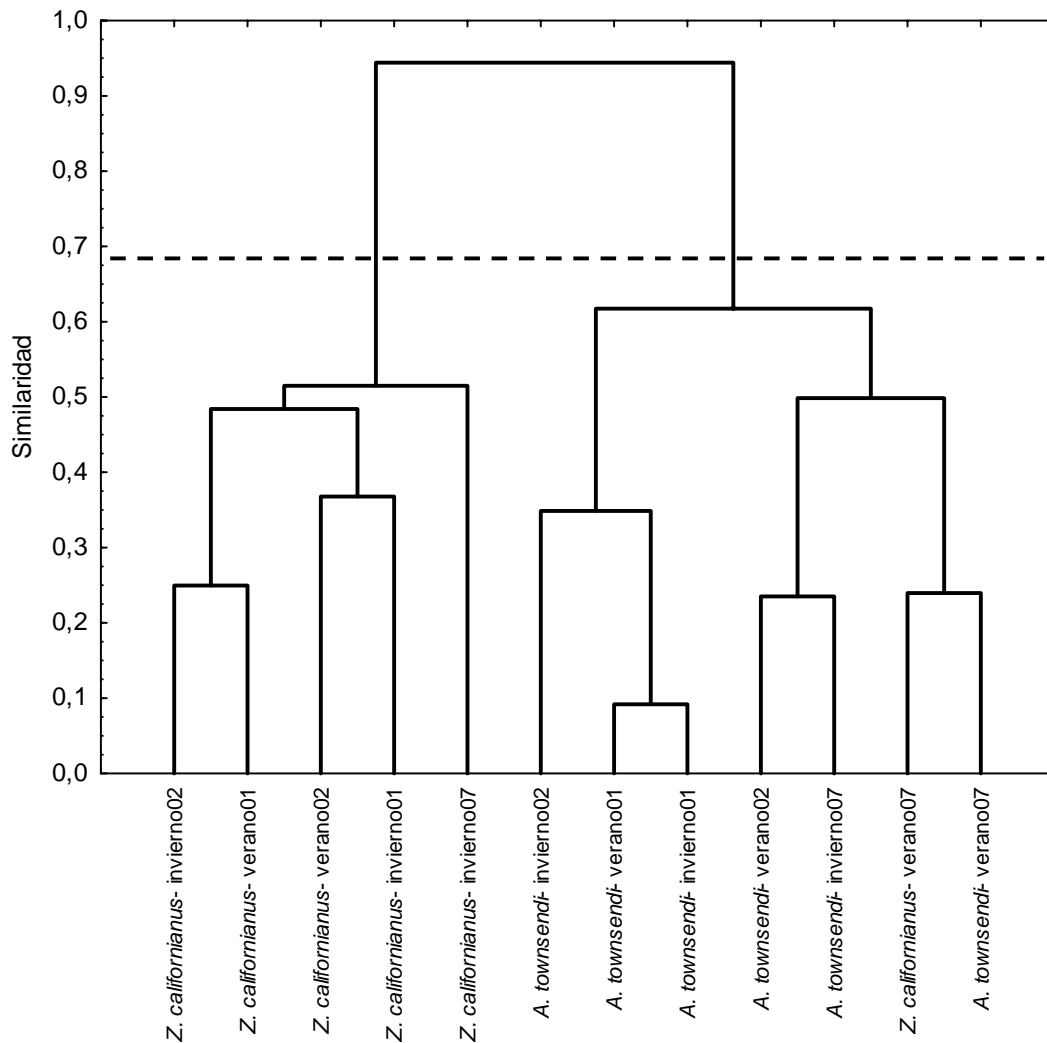
Auriol y Camacho (2007) reportan una superposición trófica entre *A. townsendi* y *Z. californianus* durante verano de 2001, principalmente debido al elevado consumo de *L. opalescens*. De manera similar, en este estudio la alta superposición en verano estuvo determinada por un mayor consumo de los calamares *L. opalescens* y *Gonatus* spp. En el

estudio de Aurióles y Camacho (2007), en el año 2002 no se encontró superposición trófica, probablemente debido a que el estudio representó el mes de septiembre (fin del periodo reproductivo), época con menor número de individuos en las poblaciones y por tanto la competencia por recursos pudo haber disminuido.

Se hizo un análisis de similitud para la dieta de los otáridos que abarcó los años 2001, 2002 y 2007 (Figura 27), éste mostró la formación de dos grupos; uno representa la dieta de *A. townsendi* y el otro la dieta de *Z. californianus*, pero se encontró similitud de la dieta de *Z. californianus* de verano de 2007 con la dieta general de *A. townsendi*. Mostrando que el aumento del número de individuos de lobo fino en estas islas a través del tiempo, ha llevado a las poblaciones a tener mayor interacción con el consumo de presas similares, mostrando alta superposición en la actualidad.

La máxima superposición en las áreas de alimentación de los pinnípedos puede ocurrir en los periodos de máxima abundancia de presas, mientras que la máxima segregación se da cuando las presas son escasas (Antonelis *et al.*, 1990). Este análisis confirma esa idea, pero su implicación va más allá, debido a que la población de *A. townsendi* se está estableciendo en San Benito pero aún no alcanza a reproducirse de manera sostenida (Aurióles *et al.*, en prensa). Dado que la mayor superposición sucede en verano cuando ambas especies se reproducen y tienen su máxima abundancia en las islas (potencialmente mayor competencia), el éxito de alimentación de las hembras adultas de *A. townsendi* se ve reflejado en el crecimiento y supervivencia de sus crías, por lo que quizás la superposición en la temporada de verano podría ser indicio de una posible limitante en el crecimiento de la población de esta especie.

En cuanto al invierno, existió separación en la composición de las dietas, y como en otros casos de otáridos, las distintas especies muestran áreas de alimentación más separadas (Dellinger y Trillmich, 1988; Aurióles y Camacho, 2007).



**Figura 27.** Análisis de similitud para las dietas de los otáridos en verano e invierno de los años 2001, 2002 y 2007.

### 8.3 Análisis isotópico

#### 8.3.1 Isótopos de pelo de cría de los otáridos

El pelo es un tejido inerte que refleja la dieta durante el crecimiento del mismo (Tieszen *et al.*, 1983; Hobson *et al.*, 1996; Darimont y Reimchen, 2002), en el caso de pelo de cría de los otáridos, parte de su formación ocurre en el último mes de gestación (Bauer *et al.*, 1964), por lo que el pelo colectado puede representar la alimentación de la madre integrada a los últimos tres meses antes del muestreo. Por tanto, los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de pelo de las crías, que tuvieron edades de entre 2 y 3 meses, caracterizan la dieta de sus madres alrededor del periodo

reproductivo (Porras-Peters *et al.*, 2008). Sin embargo hay que considerar el enriquecimiento de  $^{15}\text{N}$  entre los tejidos de las crías lactantes y las hembras adultas, ya que las crías consumen exclusivamente leche en sus primeros meses de vida, para lo que las hembras sintetizan lípidos y proteínas derivados de la grasa acumulada y la dieta consumida recientemente (Iverson, 1993; Porras-Peters *et al.*, 2008), por lo que se espera que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en tejidos de crías tengan un enriquecimiento mayor, para las especies de otáridos se ha estimado en 2 ‰ (Porras-Peters *et al.*, 2008). Se sabe que los valores de la leche son mas bajos en  $^{13}\text{C}$ , debido a su alto contenido de lípidos y a que están enriquecidos en  $^{12}\text{C}$ , esto hace que el tejido de crías lactantes tenga un  $\delta^{13}\text{C}$  menos enriquecido que el de sus madres (Newsome *et al.*, 2006).

El análisis estadístico no indicó diferencias significativas en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , aunque si una tendencia más negativa para *A. townsendi*. Cuando se igualó el tamaño de muestras se observó que las diferencias en  $\delta^{13}\text{C}$  fueron significativas, lo que podría deberse a una alimentación mas pelágica o fuera de la costa por parte de *A. townsendi*, que tiene valores más negativos en  $\delta^{13}\text{C}$ , tal y como se ha encontrado en otras especies de hábitos similares (Burton y Koch, 1999), a pesar de estas diferencias, las especies se pueden estar alimentando en zonas no tan alejadas de la costa, durante el verano, ya que hubo superposición en la dieta y concuerda con el comportamiento del calamar *L. opalescens*, que en la temporada de verano permanece cercano de la costa durante la reproducción (Forsythe *et al.*, 2004; Macewicz *et al.*, 2004)

En el caso de la comparación de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  hubo diferencias significativas, lo que podría deberse a la diferencia en las proporciones de las presas, que en el verano *A. townsendi* consumió principalmente cefalópodos y aunque *Z. californianus* consumió casi la misma proporción de cefalópodos, los peces incluidos en su dieta fueron de niveles tróficos mas altos (Anexo 1). Pero los valores isotópicos no indicaron diferencias entre *NT* ya que entre ellos no hubo separación mayor a 1‰ (De Niro y Epstein 1978; 1981; Fry *et al.*, 1984; Minawa y Wanda, 1984; Hobson y Welch, 1992; Hobson y Clark, 1992; Bearhop *et al.*, 2002).

Por otra parte los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en pelo de *A. townsendi* de Islas San Benito e Isla Guadalupe no mostraron diferencias significativas, lo que sugiere que ambas colonias mantienen consumo de presas y ambientes de alimentación similares.

### 8.3.2 Isótopos de colágeno dental en las cuatro especies de pinnípedos.

Los dientes así como muchas estructuras óseas pueden aportar información sobre la alimentación almacenada secuencialmente, ya que el colágeno dental se deposita anualmente sin ser metabolizado (Klevezal, 1996), y ofrece la oportunidad de explorar los patrones de alimentación a lo largo de la vida de un organismo (Hobson y Sease, 1998).

En este estudio se compararon los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de cada año de vida de los individuos, sin considerar la primera banda de depositación que corresponde al periodo fetal-primer año y que de acuerdo a varios trabajos de mamíferos terrestres y marinos, los valores isotópicos de la etapa de recién nacidos pueden ser más altos que los de sus madres, dependiendo de la especie (Balasse *et al.*, 2001; Jenkins *et al.*, 2001; Polischuk *et al.*, 2001), así también en el caso de trabajos realizados en mamíferos marinos, en los que se estudian series ontogénicas en hueso y dentina, se encontró que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  fueron más altos ( $\approx 2\text{--}3\%$ ) y los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mas bajos ( $\approx 2\%$ ) que en los adultos (Hobson y Sease, 1998; Burton *et al.*, 2001).

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en colágeno mostraron diferencias inter-específicas, mostrando que las señales isotópicas de *M. angustirostris* se separaron significativamente del resto de las especies, con valores menos negativos. Esto probablemente se debe a una alimentación en altas latitudes, como se ha reportado en estudios migratorios en pinnípedos (Hobson *et al.*, 1997; Burton y Koch, 1999) y ha sido comprobado en *M. angustirostris* (Aurioles *et al.*; 2006), que se alimenta al norte de sus áreas de reproducción (Le Boeuf *et al.*, 2000). Los valores bajos de  $\delta^{13}\text{C}$  en organismos que viven o se alimentan en altas latitudes se debe a que las bajas temperaturas incrementan la solubilidad y por tanto la concentración del  $\text{CO}_2$  en el agua marina que esta enriquecido en  $^{12}\text{C}$ , lo que genera disminución de  $\delta^{13}\text{C}$  en el agua de mar (Goericke y Fry 1994; Michener y Schell 1994; Schell *et al.* 1998).

Por otro lado *A. townsendi* también mostró diferencias estadísticas con valores mas negativos de  $\delta^{13}\text{C}$ , lo que podría deberse a alimentación alejada de la costa (Thomas y Cahoon 1993; Michener y Schell 1994; Hobson *et al.* 1997), ya que existe un gradiente decreciente costa-océano en el  $\delta^{13}\text{C}$ , que marca las diferencias en las fuentes de producción de fitoplancton, con valores más positivos en zonas cercanas a la costa (Falkowski *et al.*, 1998).

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de *Z. californianus* y *P. vitulina* no mostraron diferencias y fueron mas enriquecidas en  $\delta^{13}\text{C}$ , lo que indica alimentación cerca de la costa. Esto debido a que en

estas zonas la red trófica podría ser enriquecida en  $^{12}\text{C}$  con un afloramiento de fitoplancton, que es introducido por la mezcla aguas de profundidad, que son ricas en nutrientes, hacia la capa superficial (Schell *et al.*, 1998). Lo anterior permite suponer que ambos depredadores tienen estrategias de alimentación similar. En el caso de *Z. californianus* realiza viajes promedio de 10 a 100 km alejados de la costa para conseguir su alimento, a profundidades promedio de 300 m (Kuhn *et al.*, 2003). Por otro lado *P. vitulina* bucea cerca de la costa (Bigg, 1981; Stewart *et al.*, 1989; Boness *et al.*, 1994) a profundidades promedio de 200 m (Lavigne y Kovacs, 1988), esto hace posible que las áreas de alimentación de la foca de puerto y del lobo marino de California sean similares.

Se encontraron diferencias en el  $\delta^{15}\text{N}$  en *P. vitulina* y *M. angustirostris*, lo que puede ser reflejo del nivel trófico de las presas consumidas. Se sabe que *M. angustirostris* se alimenta de calamares y merluzas que tiene *NT* mas alto que los peces pelágicos, peces demersales y de invertebrados bentónicos como crustáceos, moluscos y pulpos que *P. vitulina* consume (Pitcher, 1980b).

El  $\delta^{15}\text{N}$  entre las tres especies que coexisten mostró diferencias significativas entre *Z. californianus* y *P. vitulina*, resultado que pudieran darse por el consumo de presas de diferentes niveles tróficos, aún cuando estas se alimentan en zonas costeras. El análisis de excretas mostró que *Z. californianus* consume presas de *NT* alto (Anexo 1), así como la literatura asigna a *P. vitulina* presas de nivel trófico bajo (Pitcher, 1980b), resultado que difiere con las presas identificadas en este fócido en Islas Cedros las cuales corresponden a niveles tróficos altos (3.4) como *Icelinus* sp. Otra explicación a estas diferencias podría ser el tamaño de las presas consumidas, donde la talla del organismo es un importante factor biológico en la estructura de redes tróficas acuáticas en la dirección de flujo de energía de pequeños a grandes organismos (Borgmann 1987; Peters *et al.* 1996; France *et al.* 1998). Se ha documentado en ecosistemas marinos que el enriquecimiento de  $\delta^{15}\text{N}$  aumenta proporcionalmente con el incremento del tamaño de los taxones (Sholto-Douglas *et al.* 1991; Kline 1997; France *et al.* 1998; Kelly, 2000; Jennings *et al.*; 2002).

Cuando se abordan las diferencias intra-específicas, *M. angustirostris* muestra una gran variación en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ , donde las hembras tienden a valores más negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  que los machos. Las migraciones realizadas por los machos a zonas más al norte en el Golfo de Alaska e Islas Aleutianas, influyen en su señal isotópica a comparación de

las hembras que migran a latitudes más bajas y aguas oceánicas (Le Boeuf *et al.*, 2000). La diferencias migratorias entre sexos de esta especie están asociadas al máximo dimorfismo sexual entre los pinnípedos (Le Boeuf *et al.*, 1993) donde los machos son de tres a cuatro veces más grandes que las hembras (Deutsch *et al.*, 1994), lo que se explica como uno de los productos de la evolución relacionados al sistema de apareamiento y la segregación alimentaria (Kenyon, 1969; Bowers y Smith, 1979, Le Boeuf *et al.*, 2000).

La separación de los valores de la hembra Ma5, donde las señales de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  son menores que de los otros individuos, para el caso de los valores  $\delta^{13}\text{C}$ , puede que no se este alimentando en zonas cercana a la costa como lo hacen los machos y para el caso de  $\delta^{15}\text{N}$  puede que se esté alimentando de presas ubicadas en niveles tróficos inferiores a la que consumen los machos, ya que es notable la diferencia de tamaños, es de esperarse diferentes estrategias de alimentación y los valores bajos de  $\delta^{15}\text{N}$  sugieren presas de nivel trófico bajo (Lewis *et al.*, 2006).

La hembra Ma3 tuvo valores isotópicos muy semejantes a los machos, lo cual podría deberse a que se está alimentando en mismas zonas que estos, se ha observado que entre hembras existen diferentes patrones en cuanto a los viajes de alimentación, y que estos se han clasificado como costeros, oceánicos o costero-oceánico (Simmons *et al.*, 2007), en cambio los machos son más constantes en cuanto a sus trayectorias en los viajes y zonas de alimentación restringidos generalmente a la costa (Le Boeuf *et al.*, 2000; Simmons *et al.*, 2007).

Por otro lado la semejanza de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de la hembra Ma3 con los valores de los machos se puede asumir que están consumiendo presas de niveles tróficos elevados o en su defecto sea una hembra que se esté alimentando al sur del área de estudio y no al norte, ya que se sabe que en bajas latitudes la señal isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  aumenta (Burton y Koch, 1999; Newsome *et al.*, 2007b), además de que los valores son muy similares a los valores promedio de hembras de *Z. californianus* que se alimentan en Isla Santa Margarita, con  $18.7 \pm 1.15\%$  (Elorriaga, 2009) y los de la hembra de elefante Ma3 con un valor promedio de  $18.43 \pm 0.68\%$ , esto también explicaría los reportes de algunos varamientos de *M. angustirostris* encontrados en zonas como Bahía Magdalena (Mercuri, 2007), y los avistamientos de individuos en zonas de Baja California Sur, incluso el Golfo de California (Auriolles, 1993), mostrando así que no todos los individuos de esta población de *M. angustirostris* se están



alimentando al norte. Pero no se puede tener una conclusión definitiva hasta que se asegure un análisis con un mayor tamaño de muestra y/o complementar con otras técnicas tales como la telemetría satelital.

Para las tres especies que se alimentan en el sitio se pudo observar que existen algunas diferencias significativas intraespecíficas, pueden deberse a tres procesos que podrían cambiar los valores isotópicos: cambios temporales en la dieta con diferente nivel trófico de las presas, cambio en las áreas de alimentación o cambios en la composición isotópica de la base de la red trófica (Hirons *et al.*, 2001). Estos hechos se complementan con el supuesto de repartición del nicho trófico adoptado en este estudio. Se ha visto en otros estudios en los que combinan las diferentes técnicas para estudiar las estrategias de alimentación de especies que se distribuyen en la misma área geográfica (Cherel *et al.*, 2007), confirmando que los pinnípedos de Islas San Benito tienen diferentes estrategias adaptativas para coexistir (Aurioles y Camacho 2007).

#### **8.4 Amplitud trófica**

En la estructura trófica de los otáridos durante verano se pudo observar una gran variedad de presas, donde el espectro trófico fue mayor durante verano y disminuyó en invierno. Ambas especies fueron consideradas especialistas en las dos temporadas. En el caso de *A. townsendi* el índice de Levins tuvo los mismos valores para ambas las dos estaciones, donde la varianza fue mayor durante el verano, lo que significa que incrementó la variedad de presas consumidas pero incide preferentemente sobre unas pocas. Estos datos coinciden con el estudio de Aurioles y Camacho (2007) en el que *A. townsendi* es considerado un especialista, lo cual puede relacionarse con las presas consumidas en mayor frecuencia y abundancia, como *L. opalescens* en ambas temporadas.

La amplitud alimentaria de los depredadores también se pudo estimar por medio de la varianza de los valores de isótopos estables (Berhop *et al.*, 2004; Newsome *et al.*, 2007). Con base a este supuesto, los valores isotópicos de nitrógeno para las muestras de pelo de *A. townsendi* confirmaron su condición de depredador especialista, mientras que la señal isotópica de carbono muestra la afinidad a sitios específicos de alimentación. Aunque los datos isotópicos en colágeno dental determinaron que la historia de vida alimentaria de esta especie es considerada generalista, hay que tomar con cuidado los resultados de este tipo de

estimaciones, ya que los resultados pueden deberse a los valores extremos en uno de los individuos (AtC).

Derivado del análisis de excretas se determinó que *Z. californianus* es un depredador especialista en ambas temporadas, aunque la variación de su espectro trófico fue mayor durante el invierno. Aurióles y Camacho (2007) lo habían reportado como generalista. Por otro lado los valores isotópicos confirman a esta especie como un depredador que se alimenta de manera preferencial sobre un reducido número de presas.

La consideración como especialista para *Z. californianus* probablemente se debió a que durante el verano la presa más frecuente fue *L. opalescens*, mientras en el invierno fue *Sebastes* sp. El hecho de que esta especie tenga un espectro trófico amplio durante las dos temporadas muestra que sus hábitos alimentarios pueden ser más flexibles y producto probablemente de las migraciones locales y la disponibilidad de las presas, así como las variaciones en el medio (Lowry, 1991). Espinosa (2008) calculó un valor promedio de amplitud trófica para la especie en México de 0.23, el cual ubica a la especie como especialista, y es considerado así en la mayoría de los estudios realizados en el Pacífico, lo que puede deberse a la baja diversidad de especies en las zonas.

Debido al amplio espectro trófico de *Z. californianus* se le ha sido considerado como un depredador oportunista (Antonelis y Fiscus, 1980), sin embargo, son pocas las especies que dominan en su dieta convirtiéndolo en un especialista plástico (Lowry *et al.*, 1991; Reynolds y Rommel, 1999). Además se sabe que son de dos a cinco especies las que le proporcionan la mayor cantidad de energía dentro de la dieta, variando por estacionalidad o área geográfica (Reynolds y Rommel, 1999).

Para el caso de los fócidos, la amplitud de la dieta se estimó a partir de las señales isotópicas derivadas del colágeno dental. Para la foca de puerto la varianza en los valores de los isótopos de nitrógeno la ubicaron como un depredador especialista, condición que difiere con lo reportado en otros estudios (Scheffer y Sperry, 1931; Scheffer y Slipp, 1944; Spalding, 1964; Calambokidis *et al.*, 1978) en donde la posicionan como un generalista dado que la especie cambia de presas estacionalmente de acuerdo a la abundancia de las mismas. La señal del isótopo de carbono permite suponer que hay una fidelidad a las zonas de alimentación.

Para *M. angustirostris* los valores de varianza fueron los más cercanos a 1%, aun así considerado especialista, con una fuerte afinidad a los sitios de alimentación. Se sabe en esta

especie se alimenta al norte de sus áreas de reproducción, siendo sus áreas de alimentación constante en los machos y más variable en las hembras (Le Boeuf *et al.*, 2000; Simmons *et al.*, 2007). Por otro lado, de los pocos estudios de alimentación en esta especie se sabe que sus presas más importantes son cefalópodos (Condit y Le Boeuf 1984; Antonelis *et al.*, 1987; Antonelis *et al.*, 1994; Sinclair, 1994), y que el consumo de su dieta varía en función de su abundancia y disponibilidad (Antonelis *et al.*, 1994).

Dado que las varianzas en los valores isotópicos representan el promedio anual de cada individuo es importante considerar que puede existir una varianza estacional elevada, mostrando que las especies son generalistas, por tanto debe quedar claro que el alcance de estos resultados solo determinan patrones anuales de las especies, por lo que sería mejor tener datos inter-anuales para este tipo de estimaciones ecológicas. Otro factor que pudiera afectar a la interpretación de los datos es la resolución de la técnica, ya que en otros estudios la técnica de isótopos estables resultó menos sensible para detectar diferencias en los hábitos alimentarios dentro de las poblaciones (Cupa-Cedillo, 2007; Páez, 2008)

## **8.5 Nivel trófico**

Los estudios de nivel o posición trófica permiten conocer el sitio que ocupan las especies en la circulación de energía y nutrientes de la cadena trófica en la que se desarrollan. Debido a que el alimento y los hábitos alimentarios determinan la posición trófica de los animales dentro de las redes tróficas (Pauly *et al.*, 1998), van a definir su papel ecológico. En la mayoría de pinnípedos, los niveles tróficos presentan un rango que va de 3.8-4.4 (Pauly *et al.*, 1998), donde para *Z. californianus* el valor sugerido fue de 4.1, para *A. townsendi* fue de 3.9, para *P. vitulina* fue de 4 y para *M. angustirostris* fue de 4.3 (Tabla 9).

Otros autores mostraron que el *NT* asignado al lobo marino de California es de 4.1 (Jefferson *et al.* 1993; Lowry *et al.*, 1991), ubicándolo en la cadena trófica como carnívoro secundario-terciario (Mearns *et al.* 1981). Aurióles y Camacho (2007) determinaron un *NT* para *Z. californianus* de 4.42 y para *A. townsendi* de 4.22, este estudio explica que la posición trófica es menor en *A. townsendi* debido a un alto consumo de calamares, ya que tienen un *NT* menor pues se alimentan de eufáusidos (Fisher *et al.*, 1995), al contrario de *Z. californianus* que se alimenta de presas de *NT* mayor como *Sebastes* spp., con bajas proporciones de

cefalópodos y crustáceos en la dieta, lo cual también se ve reflejado en el análisis de la dieta del presente estudio.

Una forma alternativa de estimar el *NT* fue a través del fraccionamiento isotópico, ya que la razón isotópica de nitrógeno puede indicar la posición trófica, con un enriquecimiento aproximado de 3.4‰ por *NT* (Minagawa y Wada, 1984; Michener y Schell, 1994; Post, 2002). El cálculo de la posición trófica con el uso de  $\delta^{15}\text{N}$  aporta una estimación de la energía transferida entre productores primarios y los niveles tróficos superiores (Vander-Zander y Rasmussen, 1996). Así para las señales de  $\delta^{15}\text{N}$  de colágeno y pelo no se encontraron diferencias entre los niveles tróficos de las especies, esto puede deberse a que se alimentan de especies ubicadas en el mismo *NT*.

Es importante considerar que las señales de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  solo brindan información relativa a la posición trófica, lo cual no nos aporta información detallada sobre las presas y puede llevar a errores en la estimación de los niveles tróficos. En este sentido, existen varios algoritmos para calcular los valores de *NT* utilizando isótopos estables y cada uno tiene sus propios supuestos.

En el caso de pelo utilizamos el algoritmo propuesto por Vander-Zanden (2001) y para el cual se utilizó la razón isotópica para fitoplancton de la zona como valor de referencia, el *NT* a partir de esta aproximación fue similar al determinado a partir la composición de presas. Por otro lado se utilizó el algoritmo propuesto por Post (2002) tanto para pelo como para colágeno dental, el cual necesita el valor isotópico de la base, que en el caso del pelo fue considerado el valor isotópico de la presa (*Sebastes* spp.) y para el colágeno se tomó el de la MOP del área de alimentación.

Los valores de *NT* obtenidos por medio de colágeno dental utilizando la fórmula de Post (2002) tienden a ser ligeramente más bajos al compararlo con las diferentes técnicas, lo cual puede ser resultado del uso de valores isotópicos de MOP de un solo año y no se cuenta con valores pertenecientes a la serie de tiempo, lo cual muestra la variación en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de los consumidores a través del tiempo que podrían resultar de los cambios en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en la base de la red trófica, en particular de la MOP que varía espacio-temporalmente, esto se ha visto en estudios en el sur del Océano Atlántico y Pacífico (Altabet y Francois 1994, Lourey *et al.* 2003), y estos cambios pueden afectar al calculo de *NT* en colágeno dental (Cherel *et al.*, 2008).

Al comparar las diferentes maneras de obtener los niveles tróficos, todas las especies se pueden ubicar en el mismo *NT*, considerándolas carnívoros secundarios-terciarios (Mearns, 1981). La estimación es consistente en las cuatro especies; por un lado *M. angustirostris* ocupa el nivel trófico más alto entre los cuatro pinnípedos, lo cual se podría explicarse con base a la talla de los individuos, son las especies de pinnípedo mas grande, y si el  $\delta^{15}\text{N}$  es reflejo del *NT*, y el *NT* esta relacionado con el tamaño del organismo, entonces la señal de  $\delta^{15}\text{N}$  dependerá de un número de variables que afectan al tamaño, rango de crecimiento, composición del alimento y las condiciones del organismo (Parry, 2008). Se mostró que en los otáridos *Z. californianus* tiene nivel trófico mayor que *A. townsendi*. Y la posición trófica más baja fue estimada para *P. vitulina*, que concuerda por su talla, al ser el pinnípedo más pequeño. Sin embargo este resultado difiere con el estudio de Pauly *et al.* (1998) quienes determinan un *NT* de *P. vitulina* mayor que el de *A. townsendi*, en otro estudio Hobson y colaboradores (1997) al realizar muestreos en Alaska indican que foca de puerto tuvo un *NT* mayor al del lobo marino de Steller, el cual a su vez tuvo un *NT* mayor a la del lobo fino del norte.

## 9. CONCLUSIONES

- La alimentación del lobo fino de Guadalupe durante las dos temporadas estuvo compuesta principalmente por calamares (*Loligo opalescens*, *Dosidicus gigas* y *Gonatus* sp.). El lobo marino de California durante el verano se alimentó la mayor parte de calamares, en especial *Loligo opalescens* y *Gonatus* sp., y durante el invierno cambió su dieta por peces como *Sebastes* spp. y *Argentina sialis*.
- El grado de omnivoría indicó que cada otárido se alimenta de presas ubicadas en el mismo nivel trófico.
- Existió superposición trófica en los otáridos sólo durante verano, que es cuando las poblaciones de otáridos se encuentran en época de reproducción y hay mayor número de individuos de estas poblaciones.
- El análisis de excretas y de isótopos estables mostraron que las cuatro especies son especialistas en su dieta y sus áreas de alimentación.
- El análisis de excretas y de isótopos estables determinaron niveles tróficos similares para las cuatro especies, ubicándolos en la categoría de consumidores carnívoros secundarios-terciarios.
- Las señales de isótopos estables en pelo de crías de los otáridos y colágeno dental indicaron para las cuatro especies diferencias en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , en el caso de los otáridos es posible que sea por las diferencias observadas en la proporción de las especies presas, y para los fócidos se puede deber a las presas con distinto nivel trófico, relacionado con el tamaño del depredador.

- Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de pelo de cría de los otáridos y el colágeno dental en todas las especies, indicaron que *Z. californianus* y *P. vitulina* son de alimentación costera mientras que *A. townsendi* y *M. angustirostris* son de alimentación oceánica (en el caso de las hembras).
- Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en colágeno dental de *M. angustirostris* indicaron que no se alimenta en la zona de estudio.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Ainley, D.G., H.R. Huber y K.M. Bailey. 1982. Population fluctuations of California sea lions and the Pacific whiting fishery off Central California. *Fishery Bulletin*. 80(2): 253-258.
- Aguayo, L.A. 1989. Aprovechamiento de los mamíferos de América Latina. 500-531 pp. En: *Memorias del 2º Simposio internacional sobre vida silvestre* (WiSociety de México, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología). Talleres Gráficos de la Nación. México.
- Allen, S.G., D.G. Ainley, G.W. Page y C.A. Ribic. 1984. The effect of disturbance on harbour seal haul-out patterns at Bolinas Lagon, California. *Fish Bull.* 82(3): 493-500.
- Altabet, M.A., y R. Francois. 1994. Sedimentary nitrogen isotopic ratio as a recorder for surface ocean nitrate utilization, *Global Biogeochem. Cycles*. 8(1), 103–116.
- Altabet, M.A., C. Pilskaln, R. Thunell, C. Pride, D. Sigman, F. Chavez y R. Francois. 1999. The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the Eastern North Pacific. *Deep-sea research*. 46: 655-679.
- Anderson, M.J. y A.M. Clements. 2000. Resolving environmental disputes: A statistical method for choosing among competing cluster models. *Ecological Applications* 10 (5): 1341–1355.
- Antonelis, G.A.Jr. y C.H. Fiscus. 1980. The pinnipeds of the California current. *CalCOFI Rep.* 21: 68-77.
- Antonelis, G.A., C.H. Fiscus y R.L. DeLong. 1984. Spring and summer prey of California sea lions, *Zalophus californianus*, at San Miguel Island, California, 1978-79. *Fishery Bulletin*. 82(1): 67-75.
- Antonelis, G.A., M.S. Lowry, D.P. DeMaster y C.H. Fiscus. 1987. Assessing northern elephant seal feeding habits by stomach lavage. *Marine Mammal Science*, 3(4):308:322.
- Antonelis, G.A., S.B. Stewart y W.F. Perryman. 1990. Foraging characteristics of female northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) and California sea lions (*Zalophus californianus*). *Canadian Journal of Zoology*, 68:150–158.
- Antonelis, G.A., M.S. Lowry, C.H. Fiscus, B.S. Stewart y R.L. DeLong. 1994. Diet of the Northern Elephant Seal. p. 211:223. En B.J.L. Boeuf (Ed.). *Elephant Seals: Population Ecology, Behavior, and Physiology*. University of California Press.



- Aurioles-Gamboa D. 1993. Biodiversidad y situación actual de los mamíferos marinos en México. *Publicación Especial de la Soc. Mex. de Hist. Natural*, 397-412.
- Aurioles, D. 1995. Distribución y abundancia de la langostilla bentónica (*Pleuroncodes planipes*) en la plataforma continental de la costa oeste de Baja California. En: Aurioles, D. y E. Balart (Eds). *La langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento*. CIBNOR. México. 59-78.
- Aurioles-Gamboa, D., C. Fox, F. Sinsel, y T. Grayeb. 1984. Prey of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in La Paz B.C.S., México. *Journal of Mammalogy*. 65(3): 519-521.
- Aurioles-Gamboa, D. 1988. Behavioural Ecology of California sea lions in the Gulf of California. Tesis doctoral, University of California, Santa Cruz. 175 pp.
- Aurioles-G., D., J.P. Gallo-Reynoso, E. Muñoz-L., J. Egido-V. 1989. El delfín de costados blancos (*Lagenorhynchus obliquidens* Gill, 1865 (*Cetacea: Delphinidae*)); residente estacional en el suroeste del Golfo de California, México. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México. Ser. Zool.* 60(3): 459-472.
- Aurioles, D. y A.G. Zavala. 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. Godínez, M.E. Duran, F.J. García, C.J. Hernández, S. Luque, S. Ellis, y P. Miller. 1998. Conservación, análisis y manejo planificado sobre los pinnípedos de México y Análisis de la viabilidad de la población y del hábitat para el lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*). *Inform UICN/SSC, Conservation Breeding Specialist Group*, Apple Valley, Minnesota, 65 p.
- Aurioles-Gamboa, D., P.L. Koch y B.J. Le Boeuf. 2006. Differences in foraging location of Mexican and Californian elephant seals: evidence from stable isotopes in pups. *Marine Mammal Science*. 22(2): 326-338 pp.
- Aurioles-Gamboa, D. y F.J. Camacho-Ríos. 2007. Diet and feedings overlap of two otariids, *Zalophus californianus* and *Arctocephalus townsendi*: Implications to survive environmental Uncertainty. *Aquatic Mammals*. 33 (3):317-326.

- Aurioles-Gamboa, D., F. Elorriaga-Verplancken y C.J. Hernandez-Camacho. (en prensa), The current population status of Guadalupe fur seal (*Arctocephalus townsendi*) on the San Benito Islands, Mexico. *Marine Mammal Science*.
- Balasse, M., H. Bocherens, A. Mariotti y S.H. Ambrose. 2001. Detection of dietary changes by intra-tooth carbon and nitrogen isotopic analysis: An experimental study of dentine collagen of cattle (*Bos taurus*). *Journal of Archaeological Science*, 28(5):235–245.
- Bauer, R.D., R.S. Peterson y V.B. Scheffer. 1964. Age of northern fur seal at completion of its first moult. *Journal of Mammalogy*. 45(2): 299-300.
- Bearhop, S., S. Waldron, S.C. Botiller y R.W. Furness. 2002. Factors that influence assimilation rates, and fractionation of nitrogen and carbon isotopes in avian blood and feathers. *Physiological and Biochemical Zoology*. 75, 451-458.
- Bearhop, S., C.E. Adams, S. Waldron, R.A. Fuller y H. Macleod. 2004. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*. 73, 1007-1012.
- Bigg, M.A. y Fawcett. 1985. Two biases in diet determination of northern fur seals (*Callorhinus ursinus*). En. J.R. Beddington, R. J.H. Beverton y D.M. Lavigne (Eds) *Marine mammals and fisheries*, 153-169.
- Boness E.S., W.D. Bowen, O.T. Oftedel. 1994. Evidence of a maternal foraging cycle resembling that of otariid seals in a small phocid, the harbor seal. *Behav Ecol Sociobiol* 34:95±104.
- Borgmann U. 1987. Models on the slope of, and biomass flow up, the biomass size spectrum. *Can J Fish Aquat Sci*. 44(Suppl 2):136–140.
- Boswall, J. 1978. The birds of the San Benito Islands lower California, Mexico. *Bristol Ornithology*. 11:23-30.
- Boulva, J. 1971. Observations on a colony of whelping harbour seals, *Phoca vitulina concolor* on Sable Island. Nova Scotia. *J. Fish. Res. Biol. Canada*, 28:755-759.
- Bowers, M.A., y H.D. Smith. 1979. Differential habitat utilization by sexes of the deer mouse, *Peromyscus maniculatus*. *Ecology*. 50:869–875.
- Briggs, K.T., y C.W. Davis. 1972. A study of predations by sea lions on salmon in Monterey Bay. *Calif. Fish Game*, 58:37-43.

- Burton, R.K. y P.L. Koch. 1999. Isotopic tracking of foraging and long-distance migration in north eastern Pacific pinnipeds. *Oecologia*. 119: 578-585.
- Burton, R. K., J.J. Snodgrass, D. Gifford-Gonzalez, T. Guilderson, T. Brown y P. Koch. 2001. Holocene changes in the ecology of northern fur seals: insights from stable isotopes and archaeofauna. *Oecologia*. 128:107–115.
- Calambokidis, J., K. Bowman, S. Carter, J. Cabbage, P. Dawson, T. Fleischner, J. Schuett-Hames, J. Skidmore, y B. Taylor. 1978. Chlorinated hydrocarbon concentrations and the ecology and behavior of harbor seals in Washington State waters. *Student-originated study supported by the National Science Foundation, Evergreen State College, Olympia, Wash.* 98505, 121 p.
- Camacho-Ríos, F. J. 2004. Estructura alimentaria y posición trófica de dos especies de otáridos *Zalophus californianus* y *Arctocephalus townsendi*, en las islas San Benito, B.C. México. *Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN*. La Paz, B.C.S. México. 53 pp.
- Ceballos, G. y G. Oliva. 2005. Los Mamíferos Silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Fondo de Cultura Económica*. 396 y 400 pps.
- Chávez-López, S. 1995. Los sedimentos y la geomorfología de la plataforma continental oeste de Baja California entre los paralelos 24° y 29° L .N. *Capítulo 2*: 11-34. En: *La Langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento*. Eds. Aurióles-Gamboa, D. y E.F. Balart, Pub. Esp. CIBNOR, 233 p.
- Cherel, Y., K.A. Hobson, C. Guinet y C. Vanpe. 2007. Stable isotopes document seasonal changes in trophic niches and winter foraging individual specialization in diving predators from the Southern Ocean. *Journal of Animal Ecology*. 76, 826-836.
- Cherel, Y., S. Ducatez, C. Fontaine, P. Richard, y C. Guinet. 2008. Stable isotopes reveal the trophic position and mesopelagic fish diet of female southern elephant seals breeding on the Kerguelen Islands. *Marine Ecology Progress Series*. 370:239-247.
- Christensen, V. y D. Pauly. 1992. Ecopath II: A software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modeling*. 61:169-185.
- Cohen, L. H., K. C. Condie, L. J. Kuest, G. S. MacKenzie, F. H. Meister, P. Pushkar y A. M. Stueber. 1963. Geology of the San Benito Islands, Baja California, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*. 74:1355-1370.

- Condit, R. y B. J. Le Boeuf. 1984. Feeding habits and feeding groups of the northern elephant seal. *J. Mamm.*, 65(2):281-290.
- Costa, D. P. 1993. The relationship between reproductive and foraging energetics and the evolution of the Pinnipedia. *Zoological Society of London*. 66, 293-314.
- Costa, D. P., N. J. Gales y M. E. Goebel. 2001. Aerobic dive limit: How often does it occur in nature? *Comparative Biochemistry and Physiology – Part A*. 129, 771-783.
- Cupa-Cedillo, L. 2007. Evaluación de los perfiles de ácidos grasos del lobo marino de California *Zalophus californianus* en estudios de alimentación. *Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN*. La Paz, Baja California Sur. 109 pp.
- Darimont, C. T. y T. E. Reimchen. 2002. Intra-hair stable isotope analysis implies seasonal shift to salmon in gray wolf diet. *Canadian Journal of Zoology*. 80: 1638-1642.
- Day, J.W.Jr., C.A.S. Hall., W.M. Kemp y A. Yañez-Arancibia. 1989. Estuarine ecology. *John-Wiley & Sons*. E. U. A. 558 pp.
- De Anda, M. 1985. Hábitos alimentarios del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en las Islas Los Coronados B.C., México de noviembre, de 1983 a octubre de 1984. *Tesis de Licenciatura. UABC*. México. 63 pp.
- Dellinger, T., y F. Trillmich. 1988. Estimating diet composition from scat analysis in otariid seals (Otariidae): is it reliable? *Can. J. Zool.* 66: 1865–1870.
- Dellinger, T., y F. Trillmich. 1999. Fish prey of the sympatric Galapagos fur seals and sea lions: Seasonal variation and niche separation. *Canadian Journal of Zoology* 77:1204—1216.
- DeNiro, M. J. y S. Epstein. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 42: 495-506.
- DeNiro, M. J. y S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 45: 341-353.
- Deutsch, C., B.J. Le Boeuf y D.P. Costa. 1994. Sex differences in reproductive effort in northern elephant seals. En: B.J. Le Boeuf y R. M.Laws (Eds.). *Elephant seals: population ecology, behaviour, and physiology*. University of California Press.
- Donlan, C.S., B.R. Tershy, B.S. Keit, J.A. Sánchez, B. Wood, A. Weinstein, D.A. Croll y M.A. Hermosillo. 1999. Island conservation actions in Northwest Mexico. En: Browne,

- D.R., K.L. Mitchell y H.W. Chaney. (Eds.). *Proceedings of the fifth California Islands Symposium*. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Barbara, CA.
- Durán-Lizárraga, M.E. 1998. Caracterización de los patrones de buceos de alimentación de lobo marino *Zalophus californianus* y su relación con variables ambientales en la Bahía de La Paz, B.C.S. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 82 pp.
- Elorriaga, F.R. 2009. Variación de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en colágeno dental de lobos marinos del género *Zalophus*: patrones ontogénicos y geográficos. *Tesis Doctoral*. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 142 pps.
- Esperón, M. 2008. Estado actual del lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus townsendi* Merriam, 1897) en el Archipiélago de San Benito, Baja California: tamaño de la población, biología reproductiva y alimentación. *Tesis de Maestría*. UNAM, México. 56 pp.
- Espinosa, M.G. 2007. Variabilidad espacial de la dieta del lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*, Lesson 1828). *Tesis de Maestría*. CICESE. Ensenada, B. C. México. 175 pp.
- Everitt, R.D., P.J. Gearin, J.S. Skidmore y R.L. Delong. 1981. Prey items of harbor seals and California sea lions in Puget Sound, Washington. *Murrelet*. 62:83–86.
- Falkowski, P.G., R.T. Barber y V. Smetacek. 1998. Biogeochemical controls and feedback on ocean primary productivity. *Science* .281:200-206.
- Ferry, L.A. y G.M. Cailliet. 1996. Sample size and data analysis: are we characterizing and comparing diet properly? En: *Feeding ecology and nutrition in fish. Symposium Proceeding* (D. Mackinlay y K. Shearen, Eds.) *American Fisheries Society*, San Francisco. Estados Unidos. 71-80 pp.
- Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. Karpenster y Niem, V. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca: Pacífico centro-oriental. *Rome: FAO*. 646 pp.
- Fiscus, C. 1982. Predation by marine mammals on squids of the Eastern North Pacific Ocean and the Bering Sea. *Marine Fisheries Review*, 44(2), 1-10.
- Fogel, M.L., N. Tuross y D.W. Owsley. 1989. Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations. *Annual Report Geophysical Laboratory, Carnegie*

- Institution 1988-1989. Geophysical Laboratory, Carnegie Institution, Washington, D.C.*  
111-117.
- Ford, J.K.B., G.M. Ellis, L.G. Barrett-Lennard, A.B. Morton, R.S. Palm y K.C. Balcomb III. 1998. Dietary specialization in two sympatric populations of killer whales (*Orcinus orca*) in coastal British Columbia and adjacent waters. *Canadian Journal of Zoology*. 76: 1456-1471.
- Forsythe J., N. Kangas y R.T. Hanlon. 2004. Does the California market squid (*Loligo opalescens*) spawn naturally during the day or at night: A note on the successful use of ROVs to obtain basic fisheries biology data. *Fishery Bulletin*, 102, 389-392.
- France, R.L. 1995. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: Foodweb implications. *Marine Ecology Progress Series*. 124: 307-312.
- France R, M. Chandler y R. Peters. 1998. Mapping trophic continua of benthic foodwebs: body size- $\delta^{15}\text{N}$  relationships. *Mar Ecol Prog Ser* 174:301–306.
- Froese, R. y D. Pauly. 2009. FishBase. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), version (09/2009).
- Fry, B., R.K. Anderson, L. Entzeroth, J.L. Bird y P.L. Parker. 1984.  $^{13}\text{C}$  enrichment and oceanic food web structure in the northwest Gulf of Mexico. *Contributions in Marine Science*. 27: 49-63.
- Gallo, J.P. 1994. Factors affecting the population status of Guadalupe fur seals, *Arctocephalus townsendi* (Merriam, 1897), at Isla Guadalupe, Baja California, Mexico. *PhD Dissertation. University of California, Santa Cruz*. 199 p.
- Gallo-Reynoso, J.P., A.L. Figueroa-Carranza y B.J. Le Boeuf. 2008. Foraging behaviour of lactating Guadalupe fur seal females. En. Lorenzo, C., E. Espinoza y J. Ortega (Eds). 2008. Avances en el Estudio de los Mamíferos de México. Publicaciones Especiales, Vol. II, *Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C.*, México, D.F.
- García, F. 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, Golfo de California. *Tesis de Maestría. CICIMAR*. México. 85 pp.
- García-Rodríguez, F.J. 1995. Ecología alimentaria del Lobo Marino de California, *Zalophus californianus californianus*, en Los Islotes, B.C.S., México. *Tesis de Licenciatura. UABCS*. La Paz, B.C.S. México. 106 pp.

- García-Rodríguez, F.J. y D. Aurióles-Gamboa. 2004. Spatial and temporal variation in the diet of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Fishery Bulletin*. 102(1): 47-62.
- Gascuel, D., Y-M. Bozec, E. Chassot, A. Colomb, y M. Laurans. 2005. The trophic spectrum: theory and application as an ecosystem indicator. *ICES Journal of Marine Science*. 62:443-452.
- Gorricke, R. y B. Fry. 1994. Variations of marine  $\delta^{13}\text{C}$  with latitude, temperature, and dissolved  $\text{CO}_2$  in the world. *Ocean. Global Biogeochemical Cycles*. 8: 85-90.
- Green, K., R. Williams, K.A. Handasyde, H.R. Burton y P.D. Shaughnessy. 1990. Interspecific and intraspecific differences in the diets of fur seals, *Arctocephalus* species (Pinnipedia: Otariidae), at Macquarie Island. *Australian Mammalogy*. 13:193–200
- Hamilton, A. 1951. Is the Guadalupe fur seal returning? *Natural History*. 60:90-96.
- Hammer, Ø., D.A.T. Harper y P.D. Ryan, 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontología Electrónica*. (4), 4: 9 pp., 178kb. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm).
- Hanni, K., D. Long, R. Jones, P. Pyle y L. Morgan. 1997. Sighting and strandings of Guadalupe fur seals in central and northern California, 1988-1995. *Journal of Mammalogy*. 78(2):684-690.
- Harvey, J.T. 1989. Assessment of errors associated with harbour seal (*Phoca vitulina*) faecal sampling. *J. Zool. Lond.* 219: 101-111.
- Harvey, J.T. y G.A. Antonelis, 1994. Biases associated with non-lethal methods of determining the diet of northern elephant seals. *Marine Mammal Science*. 10 (2): 178–187.
- Hawes, S.D. 1983. An evaluation of California sea lion scat samples as indicators of prey importance. *Tesis de Maestría, San Francisco State University*, San Francisco.
- Hickey, B.M. 1979. The California current system-hypothesis and facts. *Progr. Oceanogr.* 8: 279.
- Hirons, A.C., D.M. Schell y D.J. Aubin. 2001. Growth rates of vibrissae of harbour seals (*Phoca vitulina*) and Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*). *Canadian Journal of Zoology*. 79: 1053–1061.
- Hobson, K.A. 1990. Stable isotope analysis of marine bled murrelets: evidence for freshwater feeding and determination of trophic level. *Condor*. 92: 897-903.

- Hobson, K.A. y G.R. Clark. 1992. 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: 9-18.
- Hobson, K.A., F.J. Piatt y J. Pitocchelli. 1994. Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. *Journal of animal ecology*. 63: 786-798.
- Hobson, K.A., M.D. 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. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 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*. Volume 13(1):114.
- Hobson K.A. y J.L. Sease. 1998. Stable isotope analysis of tooth annuli reveals temporal dietary records: An example using Steller Sea lions. *Marine Mammal Science*. 14(1): 116-129.
- Horn, H.S. 1966. Measurement of "overlap" in comparative ecological studies. *The American Naturalist*. 100 (914): 419-424.
- IUCN. 2008. Red List of Threatened Animals. *World Conservation Monitoring*, Center, Cambridge.
- Iverson, I., y L. Pinkas. 1971. A pictorial guide to beaks of certain Eastern Pacific cephalopods. *Fishery Bulletin*, 152, 83-105.
- Iverson, S.J. 1993. Milk secretion in marine mammals in relation to foraging: Can milk fatty acids predict diet? *Symposium of the Zoological Society of London*. 66:263-291.
- Iverson, S.J., J.P. Arnould e I.L. Boyd. 1997. Milk fatty acid signatures indicate both major and minor shifts in the diet of lactating Antarctic fur seals. *Can J. Zool*. 75:188-197
- Jackson, G.D. 1998. Research into the life history of *Loligo opalescens*: Where to from here? *CalCOFI Report*. 39, 101-107.
- Jaerger, A., P. Blanchard, P. Richard e Y. Cherel. 2009. Using carbon and nitrogen isotopic values of body feathers to infer inter- and intra-individual variations of seabird feeding ecology during moult. *Mar. Biol*. 156: 1233-1240.



- Jemison, L.A., y B.P. Kelly. 2001. Pupping phenology and demography of harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) on Tugidak Island, Alaska. *Marine Mammal Science* 17:585–600.
- Jennings, S., K.J. Warr y S. Mackinson. 2002. Use of size based production and stable isotope analyses to predict trophic transfer efficiencies and predator prey body mass ratios in food webs. *Marine Ecology Progress Series*. 240: 11-20.
- Jenkins, S.G., S.T. Partridge, T.R. Stephenson, S.D. Farley y C.T. Robbins. 2001. Nitrogen and carbon isotope fractionation between mothers, neonates, and nursing offspring. *Oecologia* 129:336–341.
- Jefferson, T.A., S. Leatherwood y M.A. Weber. 1993. FAO species identification guide. Marine mammals of the world. Rome, FAO. 1993. 320 p. 587 figs.
- Jobling, M., y A. Breiby. 1986. The use and abuse of fish otoliths in studies of feeding habits of marine piscivores. *Sarsia*, 71:265–274.
- Jones, R.E. 1981. Food habits of smaller marine mammals from northern California. *Proceedings of the California Academy of Sciences*. 42(16):409-433.
- Junak, S.A. y Philbrick, R. 1999. Flowering plants of the San Benito Islands, Baja California, Mexico. *Proceedings of the fifth California Islands Symposium*. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Barbara, CA.
- Kelly, J.F. 2000. Stable isotopes of carbon and nitrogen in the study of avian and mammalian trophic ecology. *Canadian Journal of Zoology*. 78, 1–27.
- Kenyon, K.W. 1969. The sea otter in the eastern Pacific Ocean. North American Fauna 68. Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, United States Government Printing Office, Washington, D.C., USA.
- Kienast, S.S., S.E. Calvert y T.F. Pedersen. 2002. Nitrogen isotope and productivity variations along the northeast Pacific margin over the last 120 kyr: Surface and subsurface paleoceanography. *Paleoceanography*. 17 (1055):1–17.
- Klevezal, G.A. 1996. Recording structures of mammals: Determination of age and reconstruction of life history. A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield (Eds.). Estados Unidos. 274 p.

- Kline, T.C. 1997. Confirming forage fish food web dependencies in Prince William Sound using natural stable isotope tracers. Forage Fishes in Marine Ecosystems, Alaska Sea Grant College Program
- Krebs, C. 1999. Ecological Methodology. Addison Wesley Longman. E.U.A. 620 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 Science. *Blackwell Scientific Publications, Boston*. 63-92.
- Kuhn, C.E., D. Aurióles-Gamboa y D. Costa. 2003. Habitat utilization, diving and foraging behaviour of adult females California sea lions (*Zalophus californianus*): Beyond physiological limits (Abstracts). Fifteenth Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Greensboro, North Carolina.
- Langton, R. 1982. Diet overlap between the Atlantic cod *Gadus morhua*, silver hake *Merluccius bilinearis* and fifteen other northwest Atlantic finfish. *Fishery Bulletin*. E.U.A. 80:745-759.
- Lavigne D.M. y K.M. Kovacs. 1988. Harps and hoods. Icebreeding seals of the Northwest Atlantic. University of Waterloo, 174.
- Le Boeuf, B.J. 1994. Variation in the diving pattern of northern elephant seals with age, mass, sex, and reproductive condition. Pages 237–252. En: B. J. Le Boeuf y R. M. Laws, editors. Elephant seals: population ecology, behaviour and physiology. *University of California Press*, Berkeley, California, USA.
- Le Boeuf, B.J., Countryman, D.A., y L.C. Hubbs. 1975. Records of elephant seals, *Mirounga angustirostris*, on Los Coronados Islands, Baja California, México, with recent analyses of the breeding population. *San Diego Soc. Nat. Hist., Trans.* 18(1):1-8.
- Le Boeuf, B.J., Aurióles, D., Condit, R., Fox, C., Gisiner, R., Romero, R. y F. Sinsel. 1983. Size and distribution of the California sea lion population in México. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 43(7):77-85.
- Le Boeuf, B.J., Crocker, D.E., Blackwell, S.B., Morris, P.A. y Thorson, P.H. 1993. Sex differences in foraging in northern elephant seals. Pags. 149–178. En: Marine mammals: advances in behavioural and population biology. Ed. I. L. Boyd, *Oxford University Press*, Londres, Reino Unido.

- Le Boeuf, B.J., D.E. Crocker, D.P. Costa, S.B. Blackwell, P.M. Webb y D.S. Houser. 2000. Foraging ecology of northern elephant seals. *Ecological Monographs*. 70 (3): 353-382.
- Lewis, R., T.C. O. Connell, M. Lewis, C. Campagna y A.R. Hoelzel. 2006. Sexspecific foraging strategies and resource partitioning in the southern elephant seal (*Mirounga leonina*). *Proceedings of the Royal Society B*. 273: 2901–2907.
- Lluch, D.B. (1969). El lobo marino de California *Zalophus californianus californianus* (Lesson, 1828) Allen, 1880. Observaciones sobre su ecología y explotación. Inst. Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México, DF, 69 pp.
- Lourey, M.J., T.W. Trull y D.M. Sigman. 2003. Sensitivity of  $\delta^{15}\text{N}$  of nitrate, surface suspended and deep sinking particulate nitrogen to seasonal nitrate depletion in the Southern Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*. 17(3), 1081, doi:10.1029/2002GB001973.
- Lowry, M.S., B.S. Stewart, C.B. Heath, P.K. Yochem y J.M. Francis. 1991. Seasonal and annual variability in the diet of California sea lions *Zalophus californianus* at San Nicolas Island, California, 1981-86. *Fishery Bulletin*. 89(2): 331-336.
- Lynn, R.L. y J.J. Simpson. 1987. The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*. 92: 12948-12966.
- Macewicz, B.J., J.R. Hunter, C.H.N. Lo, y E.L. LaCasella. 2004. Fecundity, egg deposition, and mortality of market squid (*Loligo opalescens*). *Fishery Bulletin*. 102, 306-327.
- Maravilla, O. y M. Lowry. 1999. Incipient breeding colony of Guadalupe fur seal at Isla Benito del Este, Baja California, México. *Marine Mammal Science*. 15(1):239-241.
- Macewicz, B.J., J.R. Hunter, C.H.N. Lo y E.L. LaCasella. 2004. Fecundity, egg deposition, and mortality of market squid (*Loligo opalescens*). *Fishery Bulletin*. 102, 306-327.
- Mate, B.R. 1977. Aerial censusing of pinnipeds in the eastern Pacific for assessment of population numbers, migratory distributions, rookery stability, breeding effort and recruitment. *Final report for MMC Contract MM5 AC001*. NTIS pub. PB-265859 67 p.
- Mearns, A.J., R.J. Olson, D.R. Young y H.A. Schafer. 1981. Trophic structure and the cesium-potassium ratio in pelagic ecosystems. *CalCOFI Rep*. XXII. 99-110.
- Mercuri, M. 2007. Varamiento de mamíferos marinos en Isla Magdalena, B. C. S., México y su relación con factores físicos y biológicos. *Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, La Paz, B. C. S., México*. 103 pp.

- Merrick, R.L., M.K. Chumbley y G.V. Byrd. 1997. Diet diversity of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) and their population decline in Alaska: a potential relationship. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 54: 1342–1348.
- Mesnick, S.L., M.G. Rivas y B.J. Le Boeuf. 1998. Northern elephant seals in the Gulf of California, Mexico. *Mar. Mam. Sci.* 14(1):171-178. ).
- Michener, R. H. y D. M. Schell. 1994. Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. En: *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Eds. K. Lajtha, R.H. Michener y Blackwell. Boston. 138:15 pp.
- Minagawa. M. y E. Wada. 1984. Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: further evidence and the relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 48: 1135-1140.
- Newsome S., P.L. Koch, M.A. Etnier y D. Aurióles-Gamboa. 2006. Using carbon and nitrogen isotope values to evaluate maternal strategies in northeast pacific otariids. *Marine Mammal Science*. 22(3): 556-572.
- Newsome, S.D., C. Martínez del Río, S. Bearhop y D.L. Phillips. 2007a. A niche for isotopic ecology. *Front Ecol Environ*; 5(8): 429-436 pp.
- Newsome, S.D., M.A. Etnier, C.M. Kurle, J.R. Waldbauer, C.P. Chamberlain y P.L. Koch. 2007b. Historic decline in primary productivity in western Gulf of Alaska and eastern Bering Sea: isotopic analysis of northern fur seal teeth. *Marine Ecology Progress Series*. 332: 211-224.
- Norma Oficial Mexicana. 1994. Listado de especies de mamíferos que se encuentran en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-1994, D.O.F. 16/05/1994), México. Consultado en: <http://www.conabio.gob.mx/biodiversidad/mamifnom.htm>
- Odell, D.K. 1975. Breeding biology of the California sea lion, *Zalophus californianus*. *Rapports et Proc`es-verbeaux des R`eunions. Conseil international pour l'Exploration de la Mer*. 169:374–378.
- Olesiuk, P.F., M.A. Bigg, G.M. Ellis, S.J. Crookford y R.J. Wigen. 1990. An assessment of the feeding habits of harbour seals (*Phoca vitulina*) in the Strait of Georgia, British Columbia, based on scat analysis. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1730: 135 pp.

- Olesiuk, P.F. 1993. Annual prey consumption by harbor seals (*Phoca vitulina*) in the Strait of Georgia, British Columbia. *Fishery Bulletin*. 91:491-515.
- Orr, A.J., y J.T. Harvey. 2001. Quantifying errors associated with using faecal samples to determine the diet of the California sea lion (*Zalophus californianus*). *Canadian Journal of Zoology* .79:1080–1087.
- Owens, P.J.N. 1987. Natural variations in  $^{15}\text{N}$  in the marine environment. *Advances in Marine Biology*. 24: 389-451.
- Padilla, V.A. 1990. Aspectos biológicos de la foca común (*Phoca vitulina richardsi* Grey, 1986) en la costa occidental de Baja California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Páez-Rosas, D. 2008. Diversificación de dietas en tres colonias de lobo marino de Galápagos, *Zalophus wolfebaeki*, evaluada con análisis de excretas e isótopos estables de C y N. *Tesis de Maestría*, CICIMAR-IPN, 81 p.
- Parés S.A. M. López y E.G. Pavía. 1997. Oceanografía física del Océano Pacífico Nororiental. En: Lavin, M. (Ed.). Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3. *Unión Geofísica Mexicana. CICESE*. Ensenada, B.C. 1-24 pp.
- Parry M. 2008. Trophic variation with length in two ommastrephid squids, *Ommastrephes bartramii* and *Sthenoteuthis oualaniensis*. *Marine Biology*. 153(3): 249-256.
- Pauly, D., A.M. Trites, E. Capuli y V. Christensen, 1998. Diet composition and trophic levels of mammals. *ICES Journal of Marine Science*. 55: 467-481.
- Peters R.H, G. Cabana, O. Choulik, T. Cohen, O. Griesbach y S.J. McCanny SJ. 1996. General models for trophic fluxes in animals based on their body size. *Ecoscience*. 3:365–377.
- Peterson, R.S. y G.A. Bartholomew. 1967. The natural history and behaviour of the California sea lion (Special Publication No. 1). Boston: *The American Society of Mammalogist*. 79 pp.
- Pitcher, K.W. 1980a. Food of the harbor seal, *Phoca vitulina richardsi*, in the Gulf of Alaska. *Fishery Bulletin*. 78(2):544-549.
- Pitcher, K.W. 1980b. Stomach contents and feces as indicators of harbour seal, *Phoca vitulina*, foods in the Gulf of Alaska. *Fishery Bulletin*. 78(3):797-798.
- Pitcher, K.W. 1990. Major decline in number of harbor seals, *Phoca vitulina richardsi*, on Tugidak Island, Gulf of Alaska. *Mar. Mamm. Sci*. 6:121–134.

- Polischuk S.C., K.A. Hobson y M.A. Ramsay. 2001. Use of stable-carbon and nitrogen isotopes to assess weaning and fasting in female polar bears and their cubs. *Canadian Journal of Zoology*. 79(3):499–511.
- Porrás-Peters, H., D. Aurióles-G., V. Cruz, y P. Koch. 2008. Trophic level and overlap of California sea lions, *Zalophus californianus* in the Gulf of California. *Marine Mammal Science*. 24 (3): 554-576.
- Post, D. M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Ecology*. 83(3): 703-718 pp.
- Riedman, M. 1990. The pinnipeds: Seals, Sea Lions, and Walruses. *University of California Press*. EUA. 439 pp.
- Reynolds, J., y S. Rommel. (1999). Biology of marine mammals. *Washington, DC: Smithsonian Institute*. 578 pp.
- Rodhouse, P.G. y C. M. Nigmatullin. 1996. Role as consumers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 351:1003-1022.
- Salazar, A. 1989. Hábitos alimenticios, distribución y tamaño de la población del lobo marino *Zalophus californianus* en Isla de Cedros, B. C. México. *Tesis de Licenciatura. UABC*. México. 74 pp.
- Salazar, S.K., 1999. Dieta, tamaño poblacional e interacción con desechos costeros del lobo marino *Zalophus californianus wollebaeki* en las islas Galápagos. *Tesis de Licenciatura en Ciencias Biológicas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador*, Ecuador. 100 p.
- Salazar-Pico, S.K. 2005. Variación temporal y espacial del espectro trófico del lobo marino de Galápagos (*Zalophus wollebaeki*). *Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN*. La Paz, B. C. S. México. 83 pp.
- Salazar, S.K. y R. Bustamante, 2003. Effects of the 1997–98 El Niño on population size and diet of the Galápagos sea lion (*Zalophus wollebaeki*). *Noticias de Galápagos, Puerto Ayora Galápagos*, 62:40–45.
- Scheffer, T.H., y C.C. Sperry. 1931. Food habits of the Pacific harbor seal, *Phoca richardsi*. *J. Mammal*. 12:214-226.
- Scheffer, V.B., y J.W. Slipp. 1944. The harbor seal in Washington State. *Amer. Midl. Nat.* 32:373-416.

- Schell, D.M., B.A. Barnett y K.A. Vinette. 1998. Carbon and nitrogen isotope ratios in zooplankton of the Bering, Chukchi and Beaufort Seas. *Marine Ecology Progress Ser.* 162: 11-23.
- Seagars, J. 1984. The Guadalupe fur seal: A status review. *U.S. Department of Commerce, NOAA Administrative Report SWR- 84-6*, 18 p.
- Sholto-Douglas A.D., J.G. Field, A.G. James y Van Der Merwe NJ. 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. *Mar Ecol Prog Ser.* 78:23– 31.
- Simmons, E.S., D.E. Crocker, R.M. Kudela y D.P. Costa. 2007. Linking foraging behaviour of the northern elephant seal with oceanography and bathymetry at mesoscales. *Marine Ecology Progress Series.* 346: 265-275.
- Sinclair, E.H. 1994. Prey of juvenile northern elephant seals (*Mirounga angustirostris*) in the southern California. *Marine mammal Science*, 10(2):230-239.
- Spalding, D.J. 1964. Comparative feeding habits of the fur seal, sea lion and harbor seal on the British Columbia coast. *Fish. Res. Board Can., Bull.* 146, 52 p.
- Stewart B.E., S. Innes, y R.E.A. Stewart. 1998. Mandibular dental ontogeny of ringed seals (*Phoca hispida*). *Mar Mammal Sci.* 14:221–231
- Strub, P.T., J.S. Allen, A. Huyer y R.L. Smith. 1987. Seasonal cycles of currents, temperature, winds and sea level over the northeast Pacific continental shelf: 35°N to 48°N. *Journal of Geophysical Research.* 92: 1507-1526.
- Suryan, R.M. y J.T. Harvey. 1998. Tracking harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) to determine dive behaviour, foraging activity, and haul-out site use. *Marine Mammal Science*, 14 (2):361-372.
- Thomas, C.J. y L.B. Cahoon. 1993. Stable isotope analysis differentiates between different trophic pathways supporting rocky-reef fishes. *Marine Ecology Progress Series.* 95:19-24.
- 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. y K. Ono. 1991. Pinnipeds and El Niño. Responses to environmental stress. *Ecological Studies* 88. Springer-Verlag, 293.

- Trites, A.W., 1998. Steller Sea Lions (*Eumetopias jubatus*): Causes for their decline and factors limiting their restoration. Steller Sea Lions: Causes for their Decline. Octubre 29, 1998, 1–22.
- Vander Zanden, M.J., y J.B. Rasmussen. 1996. A trophic position model of pelagic food webs: impact on contaminant bioaccumulation in lake trout. *Ecological Monographs*. 66:451–477.
- Vander Zanden, M.J., y J.B. Rasmussen. 2001. Variation in  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  trophic fractionation: Implications for aquatic food web Studies. *Limnol. Oceanogr.* 46(8): 2061–2066.
- Weise, M.J. 2006. Foraging ecology of male California sea lion (*Zalophus californianus*): movement, diving and foraging behaviour, and diving capacity. *Tesis de Doctorado. University of California, Santa Cruz*. Santa Cruz, Ca. 137 pp.
- Winship, A. y A.W. Trites. 2003. Prey consumption by Steller sea lions in Alaska: How much do they require? *Fishery Bulletin*. 101, 147–163.
- Wolf, G.A. 1982. A beak key for eight eastern tropical Pacific cephalopod species with relationships between their beak dimensions and size. *Fish. Bull.* 80:357–370.
- Wolf, G.A. 1984. Identification and estimation of size from the beaks of eighteen species of cephalopods from the Pacific Ocean. *NOOA Tech. Rep. NMFS*. 17.
- Zavala G., A. 1990. La población del lobo marino común *Zalophus californianus* (Lesson, 1828) en las islas del Golfo de California, México. *Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México*, México.
- Zavala-González, A. 1993. Biología poblacional del lobo marino de California, *Zalophus californianus, californianus* (Lesson 1828), en la Región de las Grandes Islas del Golfo de California, México. *Tesis de Maestría. UNAM*. 79 pp.



ANEXO 1.

Tablas de nivel trófico de las presas de los otáridos en verano e invierno.

<b>Arctocephalus townsendi- Dieta de verano</b>					
<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b># Copro</b>	<b># partes duras</b>	<b>IIMP</b>	<b>NT</b>
Loliginidae	<i>Loligo opalescens</i>	25	213	48,369 5	3.05
Gonatidae	<i>Gonatus</i> sp.	12	33	22,316 4	3.2
Gonatidae	<i>Gonatus</i> spp. ( <i>fabricii</i> )	5	18	2,8840 8	3.05
Serranidae	<i>Diplectrum</i> sp.	1	1	0,1281 8	3.99
Octopodidae	<i>Octopus</i> sp.	5	10	5,9222 3	3.71
Octopodidae	<i>Octopus bimaculatus</i>	1	1	0,0320 5	3.71
Ommastrephidae	<i>Dosidicus gigas</i>	4	65	4,5376 2	3.2
Sepiolidae	<i>Rossia pacifica</i>	1	3	2,5636 2	3.2
Enoploteuthidae	<i>Abraliopsis felis</i>	2	3	3,1333 1	3.2
Cottidae	<i>Chitonotus pugetensis</i>	1	2	0,5696 9	3.55
Merlucciidae	<i>Merluccius angustimanus</i>	2	4	0,5696 9	3.98
Paralichthyidae	<i>Citharichthys</i> sp.	1	1	0,2848 4	3.4
Onychoteuthidae	<i>Moroteuthis robusta</i>	1	1	0,8545 3	3.2
Onychoteuthidae	<i>Onychoteuthis borealis-japanicus</i>	1	1	0,6409 1	3.2
Sebastidae	<i>Sebastes pinniger</i>	1	1	0,8545 3	3.8
Sebastidae	<i>Sebastes</i> spp.	1	1	0,6409 1	3.8
Argentinidae	<i>Argentina sialis</i>	2	73	4,2024 6	3.1
Pleuronectidae	<i>Pleuronichthys ritteri</i>	1	1	0,2848 5	3.1
Pleuronectidae	<i>Lepidopsetta bilineata</i>	1	1	0,2848 5	3.48

<b>Zalophus californianus – Dieta de verano</b>					
<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b># Copro</b>	<b># partes duras</b>	<b>IIMP</b>	<b>NT</b>
Serranidae	<i>Diplectrum</i> sp.	2	2	3,8487	3.99
Serranidae	<i>Paralabrax</i> sp.	1	2	0,8552	3.98
Loliginidae	<i>Loligo opalescens</i>	13	298	29,663	3.05
Argentinidae	<i>Argentina sialis</i>	6	36	5,781	3.1
Octopodidae	<i>Octopus</i> sp.	3	38	0,1822	3.71
Octopodidae	<i>Octopus bimaculatus</i>	3	8	6,4144	3.71
Onychoteuthidae	<i>Onychoteuthis</i> sp.	1	1	2,6376	3.2
Onychoteuthidae	<i>Onychoteuthis banksii</i>	1	1	2,5658	3.2
Onychoteuthidae	<i>Moroteuthis robusta</i>	1	3	1,2829	3.2
Onychoteuthidae	<i>Onychoteuthis borealis-japanicus</i>	1	1	0,8544	3.2
Paralichthyidae	<i>Hippoglossina bollmani</i>	2	2	2,6864	3.49
Paralichthyidae	<i>Citharichthys stigmaeus</i>	1	2	1,2829	3.4
Batrachoididae	<i>Porychthys myriaster</i>	1	8	2,5658	4.29
Histioteuthidae	<i>Stenoteuthis oualaniensis</i>	1	4	1,2829	3.5
Gonatidae	<i>Gonatus</i> sp.	5	24	11,821	3.05
Gonatidae	<i>Gonatus</i> spp. ( <i>fabricii</i> ?)	2	5	2,6941	3.05
Omastrephidae	<i>Dosidicus gigas</i>	1	3	1,2829	3.2
Muraenesocidae	<i>Cynoponticus coniceps</i>	1	1	1,2829	4.03
Merlucciidae	<i>Merluccius productus</i>	1	5	2,5658	3.98
Merlucciidae	<i>Merluccius angustimanus</i>	2	9	3,9893	3.98
Argonautidae	<i>Argonauta</i> sp.	1	2	1,7088	3.2
Pleuronectidae	<i>Microstomus pacificus</i>	1	4	2,5658	3.34
Pleuronectidae	<i>Lyopsetta exilis</i>	1	2	0,3592	3.44
Priacanthidae	<i>Pristigenys serrula</i>	1	1	0,6414	4.03
Zoarcidae	<i>Lycodes pacificus</i>	1	2	0,2566	3.28
Clupeidae	<i>Lile stolifera</i>	1	1	2,5658	3.49
Haemulidae	<i>Pomadasys bayanus</i>	1	1	1,2829	3.54
Sepiolidae	<i>Rossia pacifica</i>	1	1	1,2829	3.2
Sebastidae	<i>Sebastes constellatus</i>	1	1	2,5658	3.8
Belonidae	<i>Strongylura exilis</i>	1	1	0,8552	4.5
Ophidiidae	<i>Chilara taylori</i>	1	2	0,2566	4.07
Myctophidae	<i>Triphoturus mexicanus</i>	1	1	0,1206	3.07
<b>Arctocephalus townsendi- Dieta de invierno</b>					
<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b># Copro</b>	<b># partes duras</b>	<b>IIMP</b>	<b>NT</b>
Loliginidae	<i>Loligo opalescens</i>	17	117	47,8183487	3.05
Gonatidae	<i>Gonatus</i> sp.	9	91	13,7986652	3.05
Enoploteuthidae	<i>Abraliopsis felis</i>	2	2	2,08565072	3.2
Sepiolidae	<i>Rossia pacifica</i>	2	2	0,77864294	3.2
Omastrephidae	<i>Dosidicus gigas</i>	13	108	22,8309232	3.2
Merlucciidae	<i>Merluccius angustimanus</i>	1	6	1,66852058	3.98
Clupeidae	<i>Sardinops sagax</i>	1	2	0,55617353	2.61
Pleuronectidae	<i>Lyopsetta exilis</i>	1	2	0,55617353	3.44
Onychoteuthidae	<i>Moroteuthis robusta</i>	1	1	1,39043382	3.2

Serranidae	<i>Serranus aequidens</i>	2	5	5,00556174	3.9
Serranidae	<i>Diplectrum</i> sp	1	1	0,55617353	3.99
Argentinidae	<i>Argentina sialis</i>	1	1	2,78086763	3.1
Octopodidae	<i>Octopus</i> sp.	1	1	0,17241379	3.71
<b>Zalophus californianus- Dieta de invierno</b>					
<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b># Copro</b>	<b># partes duras</b>	<b>IIMP</b>	<b>NT</b>
Loliginidae	<i>Loligo opalescens</i>	7	36	9,0146183	3.05
Sepiolidae	<i>Rossia pacifica</i>	1	2	0,41418517	3.2
Sebastidae	<i>Sebastes</i> spp.	19	131	42,9317813	3.8
Sebastidae	<i>Sebastes pinniger</i>	1	5	0,56307526	3.8
Octopodidae	<i>Octopus</i> sp.	4	4	4,39902545	3.71
Merlucciidae	<i>Merluccius angustimanus</i>	3	14	4,43151056	3.98
Paralichthyidae	<i>Citharichthys sordidus</i>	2	9	3,2485111	3.4
Paralichthyidae	<i>Citharichthys stigmaeus</i>	1	1	0,27070926	3.4
Argentinidae	<i>Argentina sialis</i>	7	29	16,9193286	3.1
Clupeidae	<i>Opisthonema</i> sp.	2	5	3,12127775	3.24
Clupeidae	<i>Sardinops sagax</i>	1	14	2,52571738	2.61
Cottidae	<i>Icelinus filamentosus</i>	1	1	2,70709258	3.45
Cottidae	<i>Icelinus</i> sp.	1	9	1,87330807	3.45
Omastrephidae	<i>Dosidicus gigas</i>	1	3	2,70709258	3.2
Pleuronectidae	<i>Lyopsetta exilis</i>	2	8	2,16567407	3.44
Gonatidae	<i>Gonatus</i> sp.	1	1	2,70709258	3.05

