



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS  
MARINAS**

**DEPARTAMENTO DE PESQUERÍAS Y BIOLOGÍA  
MARINA**

**DIFERENCIACIÓN ENTRE TURSIONES *Tursiops truncatus*  
COSTEROS Y OCEÁNICOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA  
POR MEDIO DE ISÓTOPOS ESTABLES DE CARBONO Y  
NITRÓGENO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**CON LA ESPECIALIDAD EN:**

**MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

**PRESENTA:**

**BIÓL. RAÚL ENRIQUE DÍAZ GAMBOA**



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 4 del mes de Diciembre del año 2003, el (la) que suscribe RAÚL ENRIQUE DÍAZ GAMBOA alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B011290 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DRA. DIANE GENDRON LANIEL y cede los derechos del trabajo titulado: "DIFERENCIACIÓN ENTRE TURSIONES *Tursiops truncatus* COSTEROS Y OCEÁNICOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA POR MEDIO DE ISÓTOPOS ESTABLES DE CARBONO Y NITRÓGENO" 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: rediazg@ipn.mx

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

**RAÚL ENRIQUE DÍAZ GAMBOA**

*nombre y firma*



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION**  
*ACTA DE REVISION DE TESIS*

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 09:00 horas del día 2 del mes de Diciembre del 2003 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:

**“DIFERENCIACIÓN ENTRE TURSIONES *Tursiops truncatus* COSTEROS Y OCEÁNICOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA POR MEDIO DE ISÓTOPOS ESTABLES DE CARBONO Y NITRÓGENO”**

Presentada por el alumno:

**DIAZ**  
Apellido paterno

**GAMBOA**  
materno

**RAÚL ENRIQUE**  
nombre(s)

Con registro: 

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

Aspirante al grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

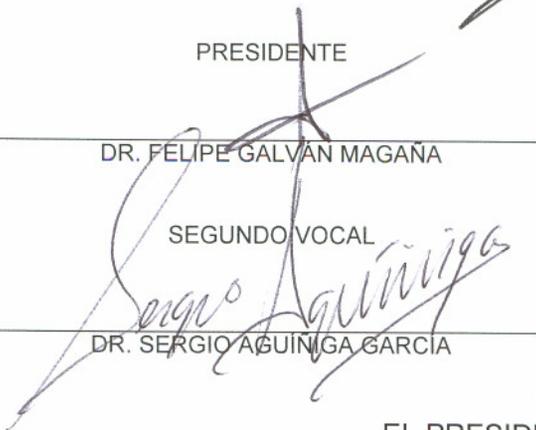
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISION REVISORA**

Director de tesis  
PRIMER VOCAL

  
DRA. DIANE GENDRON LANIEL

PRESIDENTE

  
DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

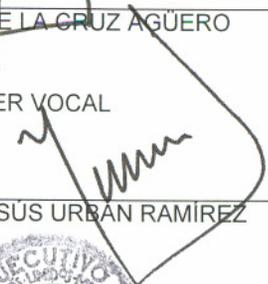
SEGUNDO VOCAL

DR. SERGIO AGUÍNIGA GARCÍA

SECRETARIO

  
MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO

TERCER VOCAL

  
DR. JORGE DE JESÚS URBAN RAMÍREZ

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

  
DR. FRANCISCO ARREGUÍN SANCHEZ



**L. P. N.**  
**CICIMAR**  
**DIRECCION**

## **DEDICATORIA**

**Este trabajo está dedicado a mis raíces:**

**Blanca Rosa y Raúl Fernando,**

**Hilda y Casito, Soco y Chelito**

**También a:**

**Alicia y Licho**

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres Raúl y Blanca por su apoyo incondicional, por su herencia de constancia, tenacidad, entrega y cariño. A mis hermanos, Alicia y Licho, por todo ese sentimiento que me brindan de cerca, pero sobretodo de lejos.

De manera muy especial, agradezco a la Dra. Diane Gendron por su aceptación, consejos, enseñanzas, paciencia, especialmente su confianza y amistad. Este trabajo es un logro compartido, que no hubiera sido posible sin su ayuda. Y mucho más.

Al Dr. Sergio Aguñiga por su iniciativa, paciencia, apoyo y aceptación, desde el principio. Por creer en mí sin conocerme.

Al Dr. Jorge Urbán, por su visión, sus comentarios, apoyo; por su valiosa amistad.

Al honorable comité revisor: Dr. Felipe Galván y M. en C. Gustavo de la Cruz, por la valía de sus comentarios y de su tiempo, por sus enseñanzas.

A la Dra. Nathalie Jaquet, por sus enseñanzas y su paciencia en el campo. Por su dedicación y aceptación. También a John Botke, por sus enseñanzas y aceptación.

Al Dr. Norman Silverberg, por sus valiosos comentarios y aceptación dentro de su proyecto.

A Ciro Arista y Manuel Zamarrón, por todo lo que hicieron para que las salidas fueran mucho más que investigación, por sus ideas, por su humor y su gran apoyo. Sin ellos no hubiera sido posible.

A las personas que me apoyaron y me ayudaron mucho en el campo y en el laboratorio: Sylviane Jaume, Marisol Rueda, Lili Rojo, Alex Bravo, Julie Andersen y Mark Fischer.

A Juan Fuentes y Judith Marmolejo, por su amable apoyo, dedicación y enseñanzas en el trabajo de laboratorio.

A Toño Ceballos, por compartir conmigo más que una casa, su mundo; por su gran amistad. A Luis Sauma: gracias desde mucho antes.

A mis amigos: Mario y Toño. Pedro, Flor, Irán, Érika, Sylviane, Leonel, Felipe, Nico, Alejandro, Paula y Eleonora. Concha, Claudia, Fernando, Francisco, Heidi, Verónica, Vanesa. Por este tiempo de compartimiento, por todo lo que dejan en mí: gracias.

A mis grandes amigos Marco, Luis y Andrés, desde siempre.

A mi Tía Peti y a mi abuelita Soco, por su apoyo económico el principio de esta aventura.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Instituto Politécnico Nacional y el Programa Institucional de Formación de Investigadores, a la Fundación TELMEX, por el apoyo económico recibido para la realización de la maestría.

A esa isla de ensueño, en la que tanto he crecido, aprendido, amado, reído, llorado, compartido, sentido, extrañado, querido, pensado y estado. Por haber vivido y por haber soñado. Porque me queda todo un gran sentimiento esperando a su arribo. A ti, Ibiza.

## ÍNDICE

<b>Glosario</b> .....	8
<b>Resumen</b> .....	9
<b>Abstract</b> .....	10
<b>I. Introducción</b> .....	11
<b>II. Objetivos</b> .....	14
<b>III. Antecedentes</b> .....	15
<b>III.1</b> Estado taxonómico.....	15
<b>III.2</b> Ecotipos costero y oceánico.....	15
<b>III.3</b> Isótopos estables.....	20
<b>III.4</b> Justificación.....	21
<b>IV. Área de estudio</b> .....	23
<b>V. Material y métodos</b> .....	26
<b>V.1</b> Trabajo de campo.....	26
<b>V.2</b> Trabajo de laboratorio.....	28
<b>V.3</b> Análisis estadístico de los datos.....	29
<b>VI. Resultados</b> .....	30
<b>VI.1</b> Descripción de ecotipos.....	30
<b>VI.2</b> Análisis de isótopos estables ( $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ ).....	31
<b>VI.2.1</b> Tursiones costeros y oceánicos.....	31
<b>VI.2.2</b>	
Cachalotes.....	35
<b>VI.2.3</b> Tursiones y cachalotes.....	37
<b>VI.2.4</b> Presas potenciales.....	39
<b>VII. Discusión</b> .....	42
<b>VII.1</b> Descripción de ecotipos.....	42
<b>VII.2</b> Análisis de isótopos estables ( $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ ).....	42
<b>VII.2.1</b> Tursiones costeros y oceánicos.....	42
<b>VII.2.2</b> Tursiones y cachalotes.....	44
<b>VII.2.3</b> Presas potenciales.....	46
<b>VII.2.4</b> Muestras de piel.....	47
<b>VII.2.5</b> Comparación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de <i>T. truncatus</i> y <i>P. macrocephalus</i> con lo previamente reportado.....	47
<b>VIII. Recomendaciones</b> .....	49
<b>IX. Conclusiones</b> .....	50
<b>X. Bibliografía</b> .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	El área de muestreo comprendió la zona entre el sur las Grandes Islas y la Boca del Golfo de California.....	25
<b>Figura 2</b>	Medidas del cuerpo (con número correspondiente) de los tursiones utilizadas para comparar proporciones entre ecotipos.....	27
<b>Figura 3</b>	Localidades de colecta de biopsias de piel de tursiones en el Golfo de California.....	32
<b>Figura 4</b>	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los tursiones en el Golfo de California.....	33
<b>Figura 5</b>	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los ecotipos costero y oceánico de <i>T. truncatus</i> (Tt) en el Golfo de California. Se encontraron diferencias significativas en las abundancias de $\delta^{13}\text{C}$ (Tukey, $P>0.001$ ).....	34
<b>Figura 6</b>	Localidades de colecta de muestras de piel de cachalotes hembras y jóvenes en el Golfo de California.....	35
<b>Figura 7</b>	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las muestras de piel descamada y de biopsia de cachalotes hembras y jóvenes en el Golfo de California.....	36
<b>Figura 8</b>	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de ecotipos costero y oceánico de <i>T. truncatus</i> (Tt) y <i>P. macrocephalus</i> (Pm) en el Golfo de California.....	38
<b>Figura 9</b>	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las presas potenciales (peces) de los tursiones costeros y oceánicos en el Golfo de California.....	40
<b>Figura 10</b>	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las presas potenciales (calamares gigantes <i>D. gigas</i> ) de los tursiones costeros y oceánicos en el Golfo de California.....	41

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b>	Resumen de los hábitos alimentarios de las formas costera y oceánica de tursiones por áreas geográficas.....	19
<b>Cuadro 2.</b>	Resumen de análisis de isótopos estables de las formas costera y oceánica de tursiones por áreas geográficas.....	21
<b>Cuadro 3</b>	Resumen de la comparación de las proporciones de los tursiones costeros y oceánicos.....	30
<b>Cuadro 4</b>	Resumen de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las muestras de piel de tursiones por localidad en el Golfo de California.....	32
<b>Cuadro 5</b>	Diferencias de $\delta^{13}\text{C}$ entre tursiones por localidad (Prueba de Tukey).....	33
<b>Cuadro 6</b>	Resumen de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las muestras de piel de cachalotes hembras y jóvenes por localidades en el Golfo de California.....	36
<b>Cuadro 7</b>	Resumen de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las muestras de piel de tursiones y cachalotes en el Golfo de California.....	37
<b>Cuadro 8</b>	Diferencias de $\delta^{13}\text{C}$ entre tursiones costeros y oceánicos, y cachalotes (Prueba de Tukey).....	38
<b>Cuadro 9</b>	Resumen de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de presas potenciales de los tursiones costeros y oceánicos en el Golfo de California.....	39

## GLOSARIO

**Biopsia:** Muestra de tejido tomada de un ser vivo.

$\delta^{13}\text{C}$ : Relación isotópica de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  expresada en partes por mil sobre un estándar (Pee Dee Belemnite).

$\delta^{15}\text{N}$ : Relación isotópica de  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  expresada en partes por mil sobre un estándar (Nitrógeno atmosférico).

**Ecotipo:** La subdivisión taxonómica más pequeña de una ecoespecie, consistente de poblaciones adaptadas a un conjunto particular de condiciones ambientales. Las poblaciones son infértiles con otros ecotipos de la misma ecoespecie.

**Forma:** Figura exterior de un cuerpo.

**Isótopo:** Átomos de un mismo elemento con igual número de protones pero diferente número de neutrones.

**Isótopo estable:** Isótopo que no demuestra ninguna tendencia a experimentar la descomposición radiactiva o espontánea. Cualquier isótopo natural no radiogénico de un elemento químico.

**Morfotipo:** Grupo de individuos distinguibles de otros de la misma especie basados en caracteres morfológicos.

**Tipo:** Modelo o ejemplar representativo de una especie o género.

## RESUMEN

Aunque no existe un criterio universal, dos “formas” de *Tursiops truncatus* se han descrito en el océano: un ecotipo costero y uno oceánico. En este estudio, se demuestra que la variación en la composición de isótopos estables puede ser útil para distinguir las dos formas de esta especie en el Golfo de California. Esto se corroboró por medio de avistamientos y fotografías mostrando características que permiten su identificación en el campo. En esta área, la forma costera, en comparación con la forma oceánica, es más grande, de color más claro dorsal y lateralmente, con un rostro más corto y ancho, y aletas pectorales relativamente más cortas. Se obtuvieron 51 biopsias de piel de tursiones en el Golfo de California durante 2001-2002 para determinar el enriquecimiento de isótopos estables de carbono y nitrógeno ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ). Las diferencias en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de individuos previamente identificados como ecotipos costero u oceánico (-12.9‰, SD= 0.38 y -15.7‰, SD= 0.39, respectivamente) fueron significantes ( $F_{2,32}=74.44$ ,  $P<0.001$ ). Esto corrobora el hecho de que los ecosistemas costeros presentan valores de  $^{13}\text{C}$  enriquecidos en comparación con los ecosistemas oceánicos. Aunque no existieron diferencias significativas entre ecotipos para  $\delta^{15}\text{N}$  (costero = 18.4‰, SD= 0.07, oceánico = 18.8‰, SD= 0.56), la posición trófica relativa de los tursiones oceánicos fue similar ( $F_{4,88}=25.10$ ,  $P<0.001$ ) a la de los grupos de hembras y jóvenes de cachalote (*Physeter macrocephalus*) ( $\delta^{13}\text{C}$  = -15.3‰, SD = 0.69,  $\delta^{15}\text{N}$  = 19.3‰, SD = 0.65), con los cuáles se asocian. Este resultado, aunado a la similitud en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , sugiere que los tursiones oceánicos se alimentan principalmente de la misma presa que la de los cachalotes hembras y jóvenes, el calamar gigante (*Dosidicus gigas*). Estos resultados muestran claramente que los ecotipos costero y oceánico de tursión en el Golfo de California se alimentan en un nivel trófico similar pero que derivan de diferentes ecosistemas.

## ABSTRACT

### **DISTINCTIONS BETWEEN INSHORE AND OFFSHORE BOTTLENOSE DOLPHINS *Tursiops truncatus* AS REVEALED BY CARBON AND NITROGEN STABLE ISOTOPES**

Although there are no universal criteria, two “forms” of *Tursiops truncatus* have been described in the ocean: inshore and offshore ecotypes. In this study, we demonstrate that variations in stable isotope composition can be useful in distinguishing between the two forms of this species in the Gulf of California. This is corroborated by sighting photographs showing clear characteristics that permit their identification in the field. In this area, the inshore form, in comparison with the offshore form, is bigger, lighter-colored in lateral and dorsal view, with a shorter, wider rostrum, and apparently shorter flippers. Thirty-five skin biopsy samples of bottlenose dolphins were obtained in the Gulf of California during 2001-2002 to determine carbon and nitrogen stable isotopes. The differences in the  $\delta^{13}\text{C}$  values of individuals previously identified as inshore or offshore (-12.9‰, SD= 0.38 and -15.7‰, SD= 0.39, respectively) were significant ( $F_{2,32}=74.44$ ,  $P<0.001$ ). This is in agreement with the fact that coastal systems present enriched  $^{13}\text{C}$  levels compared to offshore systems. Although there were no significant differences between ecotypes for  $\delta^{15}\text{N}$  (inshore = 18.4‰, SD= 0.07, offshore = 18.8‰, SD= 0.56), the relative trophic position of offshore bottlenose dolphins was similar ( $F_{4,88}=25.10$ ,  $P<0.001$ ) to that of the groups of female and juvenile sperm whales (*Physeter macrocephalus*) ( $\delta^{13}\text{C}$  = -15.3‰, SD = 0.69,  $\delta^{15}\text{N}$  = 19.3‰, SD = 0.65) with whom they associated. Since the  $\delta^{13}\text{C}$  values are also the same, the offshore bottlenose dolphin very likely feeds on the same prey as the sperm whales, the jumbo squid (*Dosidicus gigas*). These results clearly show that the inshore and offshore ecotypes of the bottlenose dolphins in the Gulf of California feed on similar trophic level prey but these derive from different ecosystems.

## I. INTRODUCCIÓN

El tursión (*Tursiops truncatus*) es común en lagunas costeras (Acevedo, 1989; Marcín-Medina, 1997; Díaz-Gamboa, 2001), bahías (Ballance, 1985; Ballance, 1990; Alba, 1997), aguas neríticas (Leatherwood, 1975; De la Parra y Galván, 1985) y pelágicas (Norris y Prescott, 1961; Urbán, 1983) del Golfo de California. Esta especie desarrolla una amplia variedad de patrones de comportamiento alimentario y se le ha descrito como “oportunista” por su amplia gama de hábitos alimentarios (Norris y Prescott, 1961; Shane *et al.*, 1986; Barros y Odell, 1990), lo que optimiza la energía utilizada y la captura de presas (Norris y Dohl, 1980; Wells *et al.*, 1980; Gaskin, 1982).

Se han descrito dos "formas" para esta especie, en diferentes partes del mundo: una costera y una oceánica. Estas dos formas difieren en cuanto al tamaño corporal, tamaño y forma de las aletas dorsal y pectorales, el patrón de coloración y los tipos de parásitos, los cuáles están relacionados con las características del medio en el que habitan (Walker, 1981; Hersh y Duffield, 1990). También existen diferencias genéticas en haplotipos de fragmentos de la región control del DNA mitocondrial (Sellas *et al.*, 2001) y en las hemoglobinas de ambos ecotipos (Hersh y Duffield, 1990).

Al parecer, sus movimientos están relacionados directamente con la disponibilidad de sus presas, de tal manera que pueden navegar grandes distancias en aguas oceánicas en busca de alimento o aprovechar las poblaciones de presas locales (Norris y Dohl, 1980; Wells *et al.*, 1980; Irvine *et al.*, 1981; Cockcroft y Ross, 1990). Los tursiones oceánicos exhiben hábitos alimentarios diferentes a los que desarrollan los tursiones costeros, ya que tienen un intervalo mayor de posibles presas según la disponibilidad de las mismas y la naturaleza su hábitat (Norris y Dohl, 1980; Wells *et al.*, 1980; Irvine *et al.*, 1981; Barros y Odell, 1990).

Los tursiones oceánicos incluyen un porcentaje mayor de cefalópodos en su dieta que los tursiones costeros (Clarke, 1986; Barros y Odell, 1990; Cockcroft y Ross, 1990; González *et al.*, 1994; Barros *et al.*, 2000). Esta dieta es similar a otros cetáceos teutófagos como el calderón de aletas largas (*Globicephala melas*) y el cachalote pigmeo (*Kogia breviceps*) (Walker *et al.*, 1999). Esta similitud en la dieta se relaciona con la tendencia del tursión a asociarse con calderones, los

cuáles son más eficientes en la búsqueda de presas debido a una mayor capacidad de respiración y buceo (Norris y Dohl, 1980). Este comportamiento se ha descrito como “parasitismo social” y no se considera casual, ya que se cree que ambas especies coordinan su nado y respiración por medio de sonidos (Norris y Prescott, 1961).

La mayoría de los estudios realizados sobre relaciones tróficas de especies de cetáceos se han llevado a cabo por medio de observaciones indirectas y métodos convencionales de análisis de contenidos estomacales (Das *et al.*, 2000). En cambio, los isótopos estables representan una técnica eficaz en estudios de posiciones tróficas y relaciones alimentarias en ambientes acuáticos, ya que se basa en que las abundancias de isótopos estables están determinadas por la dieta del animal (Peterson y Fry, 1987; Hobson y Welch, 1992; Rau *et al.*, 1992). La diferencia o similitud en la abundancia isotópica entre animales asociados puede mostrar dietas diferentes o similares entre ellos, dependiendo de la tasa metabólica y de renovación del tejido utilizado (Tieszen *et al.*, 1983; Hobson y Welch, 1992). El uso de piel ha sido reportado como un tejido útil para el análisis de isótopos estables de nitrógeno y carbono, además de que puede obtenerse de animales vivos por métodos no letales (Todd *et al.*, 1997; Gendron *et al.*, 2001; Hooker *et al.*, 2001; Ruiz-Castro, 2002).

La asociación entre cetáceos es particularmente importante, ya que aparentemente está ligada a aspectos de protección de depredadores, eficiencia energética, búsqueda y detección de presas (Norris y Dohl, 1980). En el Golfo de California se tiene conocimiento de la asociación de tursiones oceánicos con otros cetáceos con mayores capacidades de buceo y consumidores de cefalópodos, como los delfines de Riso (*Grampus griseus*), calderones de aletas cortas (*Globicephala macrorhynchus*) y cachalotes (*Physeter macrocephalus*) (Mangels y Gerrodette, 1994; Jaquet y Gendron, 2002).

Tomando en cuenta la variedad y el oportunismo de los hábitos alimentarios de los tursiones con relación al medio en el que habitan, se postula que los tursiones costeros y oceánicos tienen dietas promedio diferentes y se ubican en posiciones tróficas distintas. Por lo tanto, las razones isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) serán útiles para la diferenciación de los ecotipos costero y oceánico.

En el presente estudio se describen las diferencias morfológicas y de los hábitos alimenticios de las dos formas de tursiones con base en isótopos estables de carbono y nitrógeno.

## **II. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diferenciar los ecotipos costero y oceánico de tursiones en el Golfo de California por medio de isótopos estables de carbono y nitrógeno.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Describir los ecotipos costero y oceánico en el Golfo de California con base a características morfológicas, coloración y comportamiento.
2. Determinar y comparar la posición trófica relativa de los tursiones costeros y oceánicos, con base en la abundancia isotópica de nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ).
3. Comparar la contribución relativa de diferentes fuentes primarias potenciales de la red trófica en la dieta y la variabilidad de la misma, de los tursiones costeros y oceánicos, con base en la abundancia isotópica de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ).
4. Comparar las posiciones tróficas basadas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de los tursiones costeros y oceánicos con las de los grupos de hembras y jóvenes de cachalotes, con los cuáles se asocian.

### III. ANTECEDENTES

#### III.1 ESTADO TAXONÓMICO

El género *Tursiops* se distribuye en las zonas tropicales y templadas de todos los océanos y aguas periféricas, incluyendo el Mar Negro (Rice, 1998; Wells y Scott, 2002). Sin embargo, no se ha podido determinar con exactitud el número de especies que este género comprende, ni sus respectivos límites de distribución geográfica (Urbán, 1983).

A pesar de ser el género más conocido de los cetáceos, su estado taxonómico aún continúa incierto (Ross y Cockcroft, 1990; Wells y Scott, 2002; Torres *et al.*, 2003). Algunos autores han considerado que existe una sola especie, *Tursiops truncatus* (Waerebeek *et al.*, 1990; Klinowska, 1991), mientras que otros consideran que existen dos especies, *T. gilli*, y *T. truncatus* que comprende dos subespecies, *T. truncatus truncatus* y *T. truncatus aduncus* (Hershkovitz, 1966). Actualmente, se reconocen dos especies para este género, el tursión común *T. truncatus* y el tursión *T. aduncus* del Océano Índico y Mar de China (Rice, 1998; IWC, 2002).

#### III.2 ECOTIPOS COSTERO Y OCEÁNICO

En el caso de *Tursiops truncatus* se han descrito dos formas, ecotipos o morfotipos diferentes en varias partes del mundo. A continuación se resumen algunas características descritas para ambas formas distribuidas en distintas áreas geográficas.

##### Morfometría

Atlántico Noroeste (Hersh y Duffield, 1990)

De una muestra de 12 delfines, se encontraron diferencias en medidas y proporciones craneales y corporales. Estas diferencias sugieren que la forma oceánica es más grande, con rostro proporcionalmente más corto y aletas pectorales proporcionalmente más pequeñas, con un cráneo y rostro más anchos, y de coloración más oscura.

Pacífico Noreste (Walker, 1981)

Basados en 41 medidas craneales de 28 ejemplares adultos, se sugiere que entre los criterios para distinguir entre las formas costera y oceánica se encuentran: el ancho de dientes y longitud de la fila de dientes inferior, siendo mayores en la forma costera, el tamaño relativo de los cóndilos mandibulares, (ancho del cóndilo mandibular y altura del ramus), siendo mayores en la forma costera y la forma oceánica tiene un rostro más afilado y más estrecho distalmente. La coloración de la forma oceánica es más oscura en la parte dorsal con una apariencia casi negra, a diferencia de la forma costera de comúnmente gris. En el aspecto reproductivo, menciona que la forma costera alcanza la madurez sexual a tallas más grandes a diferencia de la forma oceánica.

Sur de Australia (Kemper y Hale, 2001)

Basados en 37 variables de 81 cráneos de ejemplares sexualmente maduros, se sugiere que es posible distinguir las formas costera y oceánica. También menciona que es importante considerar la presencia de hueso esponjoso en la premaxila, una cresta supraoccipital distinta y la ausencia casi completa de la erosión parasitaria de los huesos pterigoides para distinguir la forma oceánica, así como también, el patrón de coloración externa y la forma de la aleta dorsal.

Costa Pacífica de Sudamérica (Waerebeek *et al.*, 1990)

Basados en 37 medidas craneales de 15 ejemplares adultos, se sugiere que la forma costera tiene los dientes más anchos, proceso anterorbital más corto, huesos palatinos más estrechos, paredes pterigoides más frágiles, nudo pterigoide más amplio y con un ápice más redondeado y obtuso. También, la forma costera presenta una más amplia separación entre los cóndilos occipitales a nivel del basioccipital. La forma costera es de coloración más clara y se distinguen claramente una capa oscura sobre una más clara, resultando en un patrón tripartita.

## Parásitos

### Pacífico Noreste (Walker, 1981)

Basados en el examen de parásitos internos de animales muertos, se sugiere que la incidencia de tres parásitos comunes en tursiones oceánicos (*Phyllobothrium delphini* CESTODA, *Monorhynchus grimaldii* CESTODA y *Crassicauda* sp. NEMATODA) es suficiente para demostrar diferencias entre las formas costera y oceánica, ya que estos parásitos no están presentes en la forma costera. Estas diferencias de parasitismo están relacionadas con los hábitos alimentarios.

### Costa Atlántica Central de Estados Unidos (Mead y Potter, 1990)

Basados en los parásitos de animales muertos, se sugiere que la forma costera se caracteriza por la presencia de *Braunina* en el estómago y ausencia de *Phyllobothrium* y *Monorhynchus* en otros tejidos y viceversa en la forma oceánica. Por lo que esta diferencia en presencia y ausencia de parásitos es útil para diferenciar entre las formas costera y oceánica.

### Costa Pacífica de Sudamérica (Waerebeek *et al.*, 1990)

Basados en los parásitos de animales muertos, se sugiere que la forma oceánica se caracteriza por la presencia del tremátodo *Pholeter gastrophylus* en el estómago principal y pilórico, y ámpula duodenal. También se encuentran presentes en la forma oceánica los cestodos *Phyllobothrium delphini* y *Monorhynchus grimaldi*. Los parásitos del género *Crassicauda* causantes de la erosión ósea se encontraron en la forma oceánica. El balano ectocomensal *Xenobalanus globicipitis* se encontró en la forma oceánica. Todos los parásitos encontrados en la forma oceánica estuvieron ausentes en la forma costera.

## Biología molecular y genética

Atlántico Noroeste (Hersh y Duffield, 1990)

Basados en análisis de electroforesis de hemoglobinas, se sugiere que la forma oceánica tiene dos tipos de hemoglobinas electroforéticamente distintas, un tipo de hemoglobina electroforéticamente rápida que constituye aproximadamente el 30% del total y un tipo de hemoglobina electroforéticamente lenta que constituye el 70% del total. La forma costera tiene un solo tipo de hemoglobina que concuerda con el tipo de hemoglobina electroforéticamente rápida de la forma oceánica. También sugiere que la concentración mayor de hemoglobinas, hematocritos y conteo de células rojas en la forma oceánica se debe a la adaptación de una mayor capacidad de transporte de oxígeno para facilitar el buceo más prolongado y más profundo.

Océano Pacífico, Atlántico e Índico (Curry *et al.*, 1995)

Basados en análisis de secuencias de la región control del ADN mitocondrial, microsatélites y citocromo *b* del genoma, se sugiere que existen diferencias genéticas entre las formas costera y oceánica, y que los animales del tipo *T. aduncus* representan un clado aparte.

Atlántico Noroeste (Torres *et al.*, 2003)

Basados en análisis de microsatélites y secuencias de ADN mitocondrial, se sugiere la posibilidad de distinción entre las dos formas ya que no comparten secuencias mitocondriales y difieren en frecuencias de alelos de microsatélites.

Golfo de México (Sellas *et al.*, 2001)

Basados en análisis de secuencias del fragmento 359-bp de la región control del ADN mitocondrial, se sugiere que la forma costera tiene tres haplotipos y la forma oceánica tiene nueve, y es posible diferenciar las formas costera y oceánica basándose en la frecuencia y distancia molecular entre haplotipos.

## Hábitos alimentarios

Basados en análisis de contenidos estomacales, se sugiere que existen diferencias entre los hábitos alimentarios de las formas costera y oceánica (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Resumen de los hábitos alimentarios de las formas costera y oceánica de tursiones por áreas geográficas.

<b>Presas principales</b>		<b>Área geográfica</b>	<b>Fuente</b>
<b>Forma costera</b>	<b>Forma oceánica</b>		
Peces de las familias: Sciaenidae e Embiotocidae	Peces epipelágicos y cefalópodos	Pacífico Noreste	Walker, 1981
Peces de las familias: Pomadasidae, Carangidae, Scombridae, así como de los cefalópodos: <i>Loligo</i> sp. y <i>Sepia officinalis</i>		Sur de África	Cockcroft y Ross, 1990
Peces de las familias: Sciaenidae y Haemulidae	Cefalópodos de la familia: Ommastrephidae	Sureste de Estados Unidos	Barros y Odell, 1990
Peces de las familias: Engraulidae, Sciaenidae y Clupeidae, así como del cefalópodo: <i>Loligo gayi</i>	Peces de las familias: Engraulidae, Carangidae, Bathylagidae, Clupeidae y Myctophidae, y cefalópodos	Costa Pacífica de Sudamérica	Waerebeek <i>et al.</i> , 1990
Exclusivamente peces	Peces y calamares en grandes agrupaciones	Aguas de Florida	Barros, 1998
	Peces de las familias: Serranidae, Trichiuridae, Congridae, Apogonidae, Carangidae, Sparidae, Haemulidae, Scaridae y Synodontidae, y cefalópodos de las familias: Loliginidae, Sepiidae y Octopodidae	Sur del Mar de China	Barros <i>et al.</i> , 2000

### III.3 ISÓTOPOS ESTABLES

La técnica de isótopos estables ha sido utilizada para detectar diferencias alimenticias entre individuos en ambientes acuáticos, debido a que la razón isotópica en los tejidos de los consumidores son reflejo del alimento consumido, asimilado e integrado en el tiempo, respecto al tejido utilizado, su tasa metabólica y de renovación (Hobson *et al.*, 1994; Das *et al.*, 2000). También se ha reportado que esta técnica es una herramienta eficaz en el rastreo de dietas basándose en que las razones isotópicas de un consumidor están relacionadas a la de sus presas (Peterson y Fry, 1987; Gearing, 1991).

Los estudios de isótopos estables se basan en la razón del isótopo más pesado sobre el más ligero del mismo elemento. Esta razón promedio varía ligeramente como resultado del fraccionamiento durante los procesos físicos, químicos y biológicos (Boutton, 1991). Las diferencias en los valores isotópicos entre los consumidores y las presas se deben a la retención selectiva de los isótopos más pesados y la excreción de los más ligeros, resultando en un enriquecimiento isotópico en los consumidores en comparación con sus presas (Peterson y Fry, 1987; Das *et al.*, 2000). En cuanto a  $\delta^{15}\text{N}$ , el enriquecimiento se estima en un incremento aproximado de 2.7 a 3.4‰ a cada nivel en una cadena trófica (Hobson y Welch, 1992; Smit, 2001; Bode *et al.*, 2003). En cuanto a  $\delta^{13}\text{C}$ , el enriquecimiento se estima en un incremento aproximado de 1‰ (Abend y Smith, 1997; Burton y Koch, 1999; Smit, 2001). Por lo tanto, más que un indicador confiable del nivel trófico, el  $\delta^{13}\text{C}$  es utilizado para indicar la contribución relativa de diferentes fuentes primarias potenciales a la dieta en una red trófica, permitiendo diferenciar entre terrestre y acuático, costero y oceánico, ó pelágico y bentónico (Rau *et al.*, 1992).

Los análisis de isótopos estables han permitido determinar el tipo de hábitos alimenticios de los tursiones en distintas zonas, sugiriendo diferencias entre las formas costera y oceánica (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Resumen de análisis de isótopos estables de las formas costera y oceánica de tursiones por áreas geográficas.

<b>Resultado de análisis de isótopos estables</b>	<b>Tejido utilizado</b>	<b>Área geográfica</b>	<b>Fuente</b>
Diferencias significativas en los hábitos alimentarios de las formas costera y oceánica. La forma costera tiene valores de nitrógeno más positivos.	Músculo	Este de Florida	Barros <i>et al.</i> , 1995
Diferencias significativas en los hábitos alimentarios de las formas costera y oceánica. La forma costera tiene valores de carbono y nitrógeno más positivos	Dientes	Atlántico Noroeste	Walker <i>et al.</i> , 1999
Diferencias en los hábitos alimentarios de las formas costera y oceánica. La forma costera tiene valores de carbono significativamente más positivos en hueso	Piel y hueso	Mar de China	Tasev <i>et al.</i> , 2001

### III.4 JUSTIFICACIÓN

*T. truncatus* es una de las especies más conocidas y estudiadas dentro de los mamíferos marinos; sin embargo su estado taxonómico es todavía incierto (Wells y Scott, 2002; Torres *et al.*, 2003).

*T. truncatus* es una especie relevante por su posición en la cadena trófica, ya que siendo considerada consumidor tope, puede reflejar el estado de salud de los eslabones inferiores o de la comunidad entera y a la vez, ser un indicador indirecto de la productividad de un ecosistema.

El tursión es una especie que se adapta rápidamente a la vida en cautiverio, además de que su capacidad de aprendizaje, habilidades cognitivas, agilidad en el agua y su relativa facilidad de captura en su hábitat, hacen que sea el cetáceo más conocido (Defran y Prior, 1980; Herman, 1980; Wells y Scott, 2002). Se tienen muchos conocimientos acerca de su biología, etología y fisiología. También se ha obtenido información importante de los individuos varados y de los capturados en las pesquerías (Urbán, 1983). Asimismo, este mamífero marino es una especie atractiva para la captura con fines de exhibición, terapéuticas y como carnada para la pesca del tiburón. Sin embargo, no existen estudios suficientes que permitan regular su captura en México.

La intensificación de estudios, desde el punto de vista del manejo y conservación de los recursos, es importante debido a los planes de desarrollo nacional con relación al turismo y la pesca. Ante esto, surge la necesidad de obtener el conocimiento suficiente para aprovechar de la mejor manera al recurso tursión y para evaluar el grado de competencia que estos representan con otros recursos pesqueros, así como también el grado de interacción con las actividades humanas. Tomando en cuenta que los recursos marinos contribuyen al bienestar de las poblaciones humanas, esta investigación sirve de aporte de elementos en beneficio del manejo sustentable de los recursos marinos de la región.

El Golfo de California es un área con una gran productividad y gran variedad de hábitats (Roden, 1964), sus características oceanográficas favorecen la riqueza específica de cetáceos con 33 especies reportadas (Urbán y Rojas, 1999) y la convierten en un lugar ideal para el estudio de los mamíferos marinos, así como también desde el punto de vista turístico (Urbán *et al.*, 1997). En particular, se ha reportado la presencia de *T. truncatus* en el Golfo de California e incluso datos acerca de sus movimientos y residencia (Urbán, 1983; Acevedo, 1989; Ballance, 1990; Díaz-Gamboa, 2001). Sin embargo se desconocen datos de abundancia, distribución, hábitos alimentarios, dinámica trófica y asociaciones en todo el Golfo de California, así como la identidad taxonómica y poblacional de los tursiones existentes.

#### IV. ÁREA DE ESTUDIO

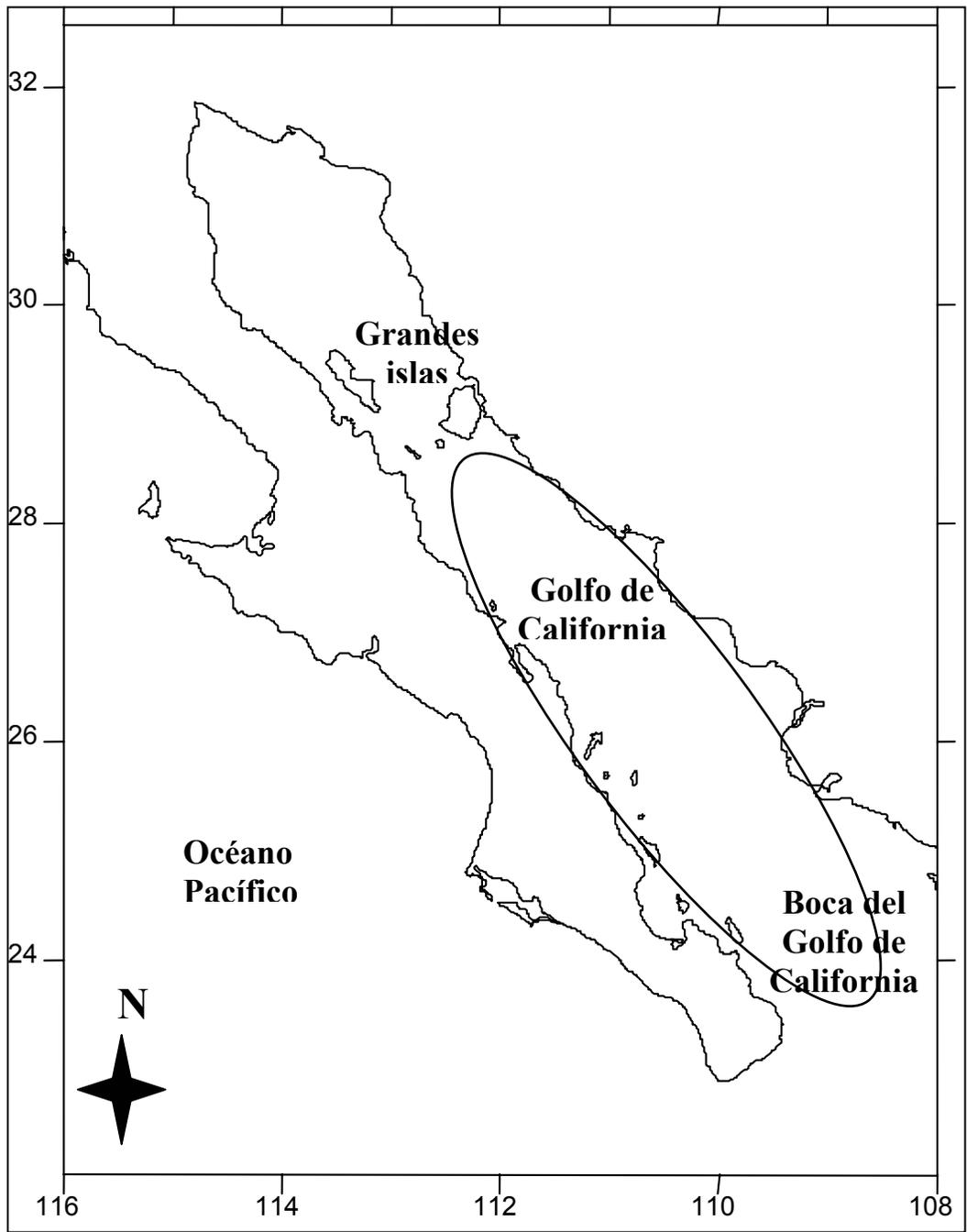
El Golfo de California, también llamado Mar de Cortés, está situado en la parte noroeste de México entre los 105° 15' y 115° 08' longitud oeste y los 20° 22' y 32° 45' latitud norte (Figura 1). El Golfo es una cuenca marina alargada con una orientación noroeste a sureste. Limita al oeste con la Península de Baja California y al este con los estados de Sonora, Sinaloa, Nayarit y Jalisco. Mide aproximadamente 1000 km de largo y 150 km de ancho, con un área aproximada de 40000 km<sup>2</sup> (Roden, 1964).

El Golfo representa un área subtropical con índices altos de productividad primaria (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991). Topográficamente se divide en una serie de cuencas y trincheras que se vuelven más profundas al sur. Hidrográficamente está dividido en dos partes, norte y sur. Sobre la base de la estructura vertical está dividido en cuatro regiones distintas: el Golfo del norte entre el Canal de Salsipuedes y el Canal de la Isla Tiburón; el segundo, el sur del primero, está localizado en el Canal de Ballenas; el Golfo inferior, entre la Isla Tiburón y la línea de Cabo San Lucas con Mazatlán; y la entrada al Golfo, definida como el área triangular entre Cabo San Lucas, Mazatlán y Cabo Corrientes, con una complicada estructura termohalina caracterizada por frentes, remolinos e intrusiones, que se deben a la confluencia de tres corrientes marinas que lo alimentan (Roden, 1964; Badan-Dangon *et al.*, 1985). El área de muestreos comprendió la zona entre el sur de las Grandes Islas y la boca del Golfo de California (Figura 1).

El efecto del Océano Pacífico sobre el clima del Golfo es reducido en gran manera por la las cadenas montañosas a lo largo de la Península de Baja California. El clima es más continental que oceánico, lo que contribuye a la amplia gama de temperaturas diurnas y anuales observadas. Los vientos, mareas, radiación solar e interacciones del Océano Pacífico contribuyen a una circulación activa en el Golfo (Roden, 1964).

El intervalo de temperaturas superficiales está entre 14°C y 21°C en febrero y entre 28°C y 31°C en agosto. La salinidad superficial fluctúa entre 35‰ y 35.8‰ con ligeras variaciones estacionales. La amplitud de la oscilación del nivel medio del mar observado es de 15 cm. El intervalo medio de mareas incrementa aproximadamente 1 m en la entrada del Golfo y 7 m cerca de la boca del Río Colorado. Los vientos del noroeste guían el agua superficial hacia el sur en

invierno y causan surgencias extensas a lo largo de la costa oriental. Los vientos del sureste guían el agua superficial hacia el norte y dan cabida a algunas surgencias a lo largo de la costa de Baja California. La magnitud de las surgencias alcanza velocidades de 3 m por día. La distribución de salinidad sugiere que existe entrada de agua con salinidad baja a lo largo de la costa oriental y salida de agua con salinidad alta a lo largo de la costa occidental, a profundidades entre 50 m y 100 m. Debajo de la termoclina, el agua se caracteriza por una salinidad menor a 34.0‰ entre 400 m y 800 m, y por una concentración de oxígeno menor a 0.2 ml/L entre 200 m y 800 m. A profundidades de 2,500 m y 3,000 m hay un mínimo de temperatura ligeramente menor a 1.85°C, y hacia el fondo la temperatura se incrementa como resultado de la compresión adiabática (Roden, 1964; Bray, 1988).



**Figura 1.** El área de muestreos comprendió la zona entre el sur de las Grandes Islas y la boca del Golfo de California.

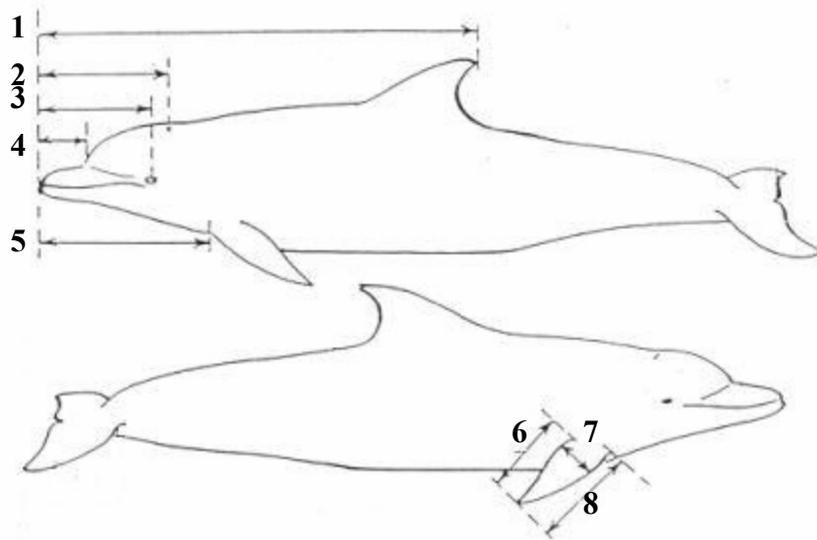
## V. MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló como parte del proyecto “Historia de vida de la ballena azul, el cachalote y especies asociadas en el Golfo de California” que se desarrolló en el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional durante 2000-2003.

### V.1 Trabajo de Campo

Se realizaron salidas de campo entre los meses de mayo de 2001 y julio de 2002 en el Golfo de California para registrar avistamientos de cetáceos. En cada avistamiento se registró, en una bitácora general, la posición geográfica, la fecha, hora, las condiciones climatológicas y oceanográficas, número de animales y asociaciones con otros organismos. La diferenciación de los ecotipos costero y oceánico de *T. truncatus* se hizo mediante avistamientos, enfocándose principalmente en la coloración, comportamiento y morfología. Se tomaron fotografías de la cabeza y resto del cuerpo de diferentes grupos de tursiones para realizar medidas de proporciones. Las medidas utilizadas para proporciones fueron (Figura 2):

- 1) Punta del rostro a punta de la aleta dorsal
- 2) Punta del rostro a espiráculo
- 3) Punta del rostro al centro del ojo
- 4) Punta del rostro al ápice del melón
- 5) Punta del rostro a aletas pectorales
- 6) Longitud de posterior de aletas pectorales
- 7) Ancho máximo de aletas pectorales
- 8) Longitud anterior de aletas pectorales



**Figura 2.** Medidas del cuerpo (con número correspondiente) de los tursiones utilizadas para comparar proporciones entre ecotipos.

En el caso de los tursiones costeros se identificaron las aletas dorsales para la diferenciación entre individuos (Defran *et al.*, 1990; Wursig y Jefferson, 1990).

Se obtuvieron biopsias de piel de tursiones con la finalidad de comparar sus dietas promedio y posiciones tróficas relativas con base al enriquecimiento de las razones de isótopos estables de carbono y nitrógeno ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ). Las biopsias de tursiones se obtuvieron utilizando dos métodos. El primer método fue por medio de una varilla de fibra de carbono que llevó un cilindro colector de acero de 25 mm de largo y 6 mm de diámetro externo y con tres dientes internos en la punta (Pitman, 1999; Bearzi, 2000; Díaz-Gamboa y Gendron, 2002). La biopsia se colectó cuando el delfín emergió para respirar y se encontró lo suficientemente cerca de la embarcación para lograr el contacto con el cilindro colector. El segundo método fue por medio de una flecha que llevó el mismo cilindro colector en la punta y fue lanzada con una ballesta de 25 kg en la resistencia de la cuerda como se sugiere para pequeños odontocetos (Patenaude y White, 1995). Se trató de que la flecha hiciera contacto con la parte superior del animal detrás de la aleta dorsal.

Se obtuvieron biopsias de los cachalotes, especialmente de los grupos de hembras y jóvenes de cachalote solos y en asociación con tursiones. Las biopsias se colectaron por medio de una flecha con un cilindro colector en la punta de 3 cm de largo y 6 mm de diámetro externo, lanzada por medio de una ballesta con más de 25 kg en la resistencia de la cuerda. Se trató de que la flecha hiciera contacto con la parte ventral de la aleta caudal cuando el cachalote realizara su inmersión de buceo, al mismo tiempo que se tomaron fotografías de la cola con fines de fotoidentificación (Arborn, 1987). También se recolectó piel descamada de los cachalotes (Amos *et al.*, 1992) por medio de una red con luz de malla de 1 mm.

Las biopsias se recolectaron por medio de pinzas esterilizadas, se guardaron en papel aluminio en viales criogénicos congelados o en su defecto en dimetil sulfóxido al 20% y saturado de sal (Amos y Hoelzel, 1991). El cilindro colector se esterilizó mediante inmersión en hipoclorito de sodio al 10%, luego en alcohol etílico al 70% y luego por exposición al fuego por 10 segundos mediante un soplete, antes de cada biopsia, con el fin de destruir cualquier residuo de materia orgánica, prevenir la contaminación de las muestras y como protección para los animales.

Se capturaron presas potenciales de los tursiones y cachalotes en las mismas áreas de los avistamientos, utilizando líneas con anzuelo y tarrayas. Las presas potenciales se identificaron hasta el mínimo taxón posible.

## **V.2 Trabajo de Laboratorio**

Se determinó la variabilidad en la dieta promedio y la posición trófica relativa de los tursiones, cachalotes y presas potenciales con base al enriquecimiento de las razones de isótopos estables de carbono y nitrógeno ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) obtenido de las muestras de piel de ambas especies. Cada muestra de piel fue enjuagada y cortada, con la finalidad de separarla lo más posible de la capa de grasa. Con la finalidad de secar las muestras se sometieron a liofilización a una temperatura promedio de  $-50^{\circ}\text{C}$  en vacío a  $50 \times 10^3$  mbares. Se aplicó el protocolo de Extracción Asistida por Microondas (MAE) mediante el cuál se extrajeron los lípidos en 25 ml de cloroformo-metanol (1:1) utilizando un microondas MARS 5 (Paré *et al.*, 1994; Renoe, 1995). Esta extracción también es útil para remover el dimetil sulfóxido de las muestras (Todd *et al.*, 1997). La muestra libre de lípidos se secó y se homogeneizó en un mortero hasta obtener un polvo fino. Unas submuestras de  $1.5 \pm 0.01$  mg se depositaron en cápsulas de estaño sin aire. Se

analizó el  $\delta^{13}\text{C}$  y el  $\delta^{15}\text{N}$  de submuestras en la División de Ciencias Naturales de la Universidad de California en Santa Cruz. Las submuestras se corrieron en un Espectrómetro de Masas de Razones Isotópicas en flujo continuo a un analizador de carbono y nitrógeno NA-1500, Carlo Erba. Los estándares utilizados en la calibración del espectrómetro fueron  $\text{CO}_2$  (99.8%) con un  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) y con referencia al estándar internacional de Pee Dee Belemnita (PDB) = -43.85 (Boutton, 1991) y  $\text{N}_2$  (99.99%) con un  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) y con referencia al nitrógeno atmosférico = -0.21. Para expresar las diferencias relativas de las razones de los isótopos estables entre las muestras y los estándares, se utilizó la expresión  $\delta$ . Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  se calcularon a partir de las razones medidas en la muestra y la de los elementos estándares usando la expresión (Boutton, 1991):

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

Donde R es  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  para  $\delta^{15}\text{N}$  y  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  para  $\delta^{13}\text{C}$ . El  $\delta^{13}\text{C}$  se expresa en referencia al estándar de PDB y el  $\delta^{15}\text{N}$  al nitrógeno atmosférico.

### V.3 Análisis estadístico de los datos

Se utilizó un análisis de variancia multivariado para probar si las diferencias encontradas fueron significativas entre ambas poblaciones para dos variables,  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ . El análisis de los datos se reportó en términos de  $F_{m,n}$  (el valor transformado de la prueba estadística para una aproximada distribución  $F$  con  $m$  grados de libertad para la hipótesis y  $n$  grados de libertad para el error) y  $P$  (la cuál indicó el nivel de significancia observado). El poder de detección de diferencias entre poblaciones estuvo determinado, asumiendo un nivel de significancia de 0.05. Se realizaron pruebas de Tukey HSD con la modalidad “N desiguales” (UN), para determinar diferencias entre grupos y variables. El análisis de los datos se realizó con la ayuda del paquete estadístico STATISTICA 6 (StatSoft, 2001).

## VI. RESULTADOS

### VI.1 DESCRIPCIÓN DE ECOTIPOS

Se utilizaron proporciones corporales relativas de los tursiones, las cuáles se obtuvieron de 65 fotografías pertenecientes a 32 individuos (10 tursiones costeros y 22 tursiones oceánicos). Las comparaciones de las proporciones corporales relativas entre ecotipos significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) fueron las relacionadas con la longitud del rostro, longitud de aletas pectorales y amplitud de aletas pectorales (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Resumen la comparación de las proporciones de tursiones costeros y oceánicos.

Relación de proporciones	Ecotipo costero			Ecotipo oceánico		
	Promedio	Desviación estándar	<i>n</i>	Promedio	Desviación estándar	<i>n</i>
Punta del rostro a espiráculo/ punta del rostro al ápice del melón	3.49	0.26	7	3.13	0.19	15
Punta del rostro a punta de aleta dorsal/ punta del rostro al ápice del melón	19.06	0.22	8	15.49	0.35	16
Punta del rostro a aletas pectorales/ punta del rostro al ápice del melón	5.38	0.27	7	4.89	0.31	15
Punta del rostro a punta de aleta dorsal/ longitud anterior de aletas pectorales	5.19	0.41	9	4.12	0.38	18
Punta del rostro a punta de aleta dorsal/ longitud posterior de aletas pectorales	6.55	0.37	7	5.92	0.26	16
Longitud anterior de aletas pectorales/ ancho máximo de aletas pectorales	2.06	0.23	7	2.55	0.28	14
Longitud posterior de aletas pectorales/ ancho máximo de aletas pectorales	1.54	0.13	6	2.17	0.34	13

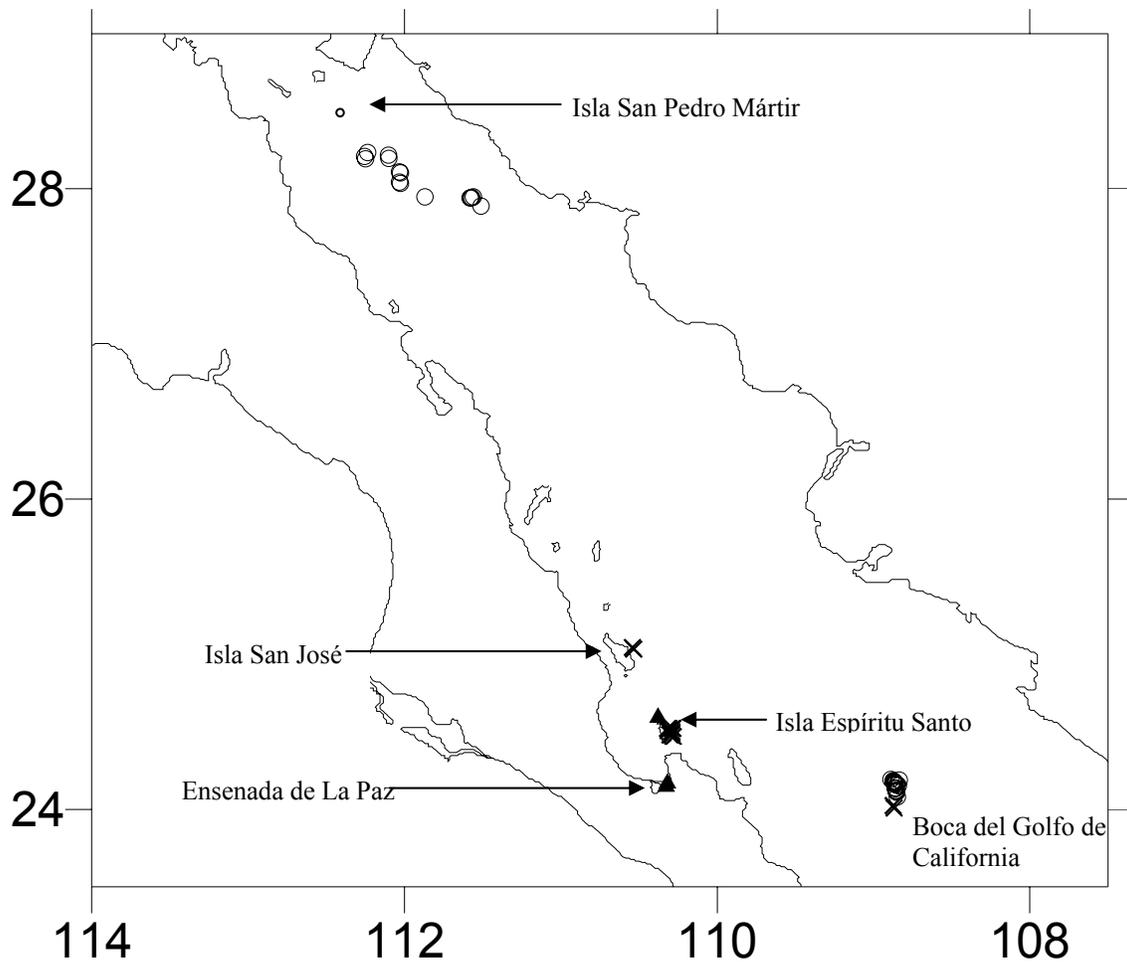
Con base en avistamientos y las comparaciones entre proporciones corporales relativas de fotografías de tursiones, se describen los ecotipos costero y oceánico de forma general:

- Forma costera: En comparación con la forma oceánica, es más grande y robusta, de color más claro dorsalmente, con una evidente capa dorsal más oscura que las capas lateral y ventral. Presenta un rostro más corto, aletas pectorales relativamente más cortas y amplias, y región ventral de color blanco. Generalmente, se encuentra en grupos pequeños (< 20 individuos).
- Forma oceánica: En comparación con la forma costera, es más pequeña, de color más oscuro dorsalmente, sin diferencias evidentes en la coloración de la capa dorsal y lateral. Presenta un rostro más largo, aletas pectorales relativamente más largas y más angostas, y región ventral de color gris claro. Generalmente, se encuentra en grupos más grandes (>200 individuos).

## **VI.2 ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES ( $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ )**

### **VI.2.1 Tursiones costeros y oceánicos**

Se obtuvieron un total de 51 biopsias de piel de tursiones de los ecotipos costero y oceánico en las cercanías a las localidades de la Isla San Pedro Mártir, Isla San José, Isla Espíritu Santo, Ensenada de la Paz y Boca del Golfo de California (Figura 3). Se analizaron 35 muestras de piel de tursiones para determinar sus razones isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) (Cuadro 4). Solamente se obtuvieron dos muestras de piel del ecotipo costero debido a que los delfines siempre tuvieron un comportamiento de evasión a la embarcación con buceos largos y respiraciones cortas, lo cuál dificultó la obtención de las biopsias.

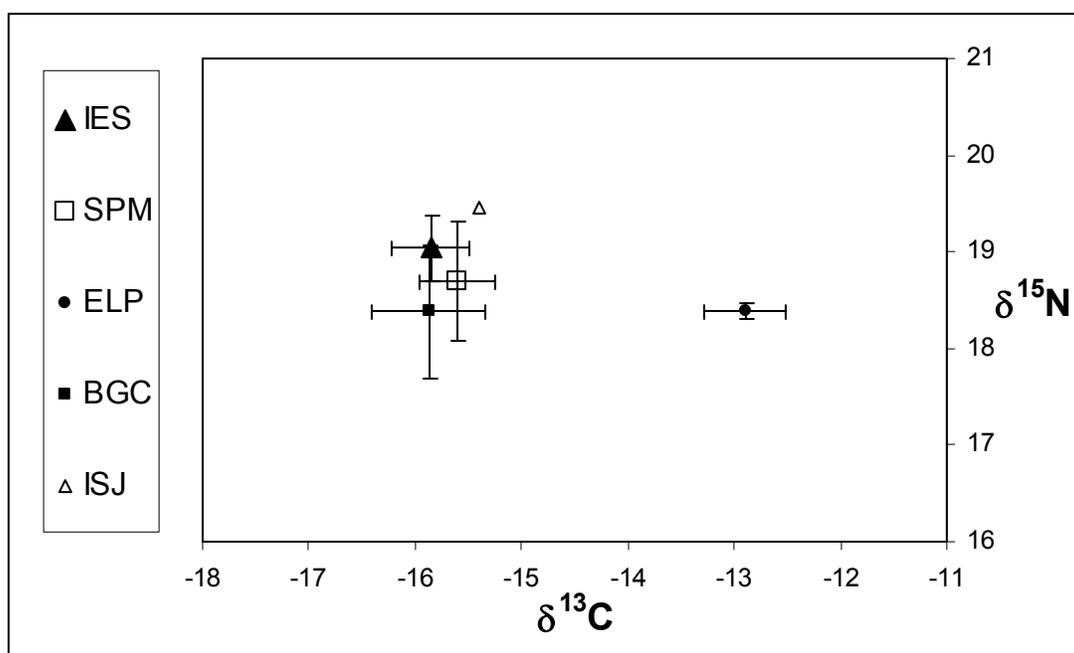


**Figura 3.** Localidades de colecta de biopsias de piel de tursiones en el Golfo de California. Los triángulos indican las posiciones de los tursiones costeros, las equis las de los tursiones oceánicos y los círculos indican las de los tursiones oceánicos asociados a cachalotes.

**Cuadro 4.** Resumen de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las muestras de piel de tursiones por localidad en el Golfo de California.

<b>Tursión (<i>Tursiops truncatus</i>)</b>						
<b>Ecotipo</b>	<b>Localidad</b>	<b><i>n</i></b>	<b>Promedio <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Desv. Est. <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Promedio <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b>Desv. Est. <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>
<b>Oceánico</b>	San Pedro Mártir	12	-15.60	0.35	18.69	0.60
<b>Oceánico</b>	San José	1	-15.39		19.45	
<b>Oceánico</b>	Espíritu Santo	14	-15.84	0.36	19.03	0.34
<b>Oceánico</b>	Boca del Golfo de California	6	-15.87	0.52	18.38	0.68
<b>Costero</b>	Ensenada de La Paz	2	-12.89	0.38	18.38	0.08
<b>Total</b>		35	-15.58	0.77	18.78	0.56

La comparación de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (Figura 4) entre tursiones por localidad revelaron diferencias significativas al menos en una localidad ( $F_{8,58}=15.89$ ,  $P>0.001$ ). La realización de pruebas de Tukey demostró diferencias significativas ( $P<0.05$ ), siendo la Ensenada de La Paz la única localidad diferente en  $\delta^{13}\text{C}$  con valores más positivos que las otras localidades (Cuadro 5). Las pruebas de Tukey no demostraron diferencias significativas ( $P<0.05$ ) entre los tursiones por localidad en  $\delta^{15}\text{N}$ .

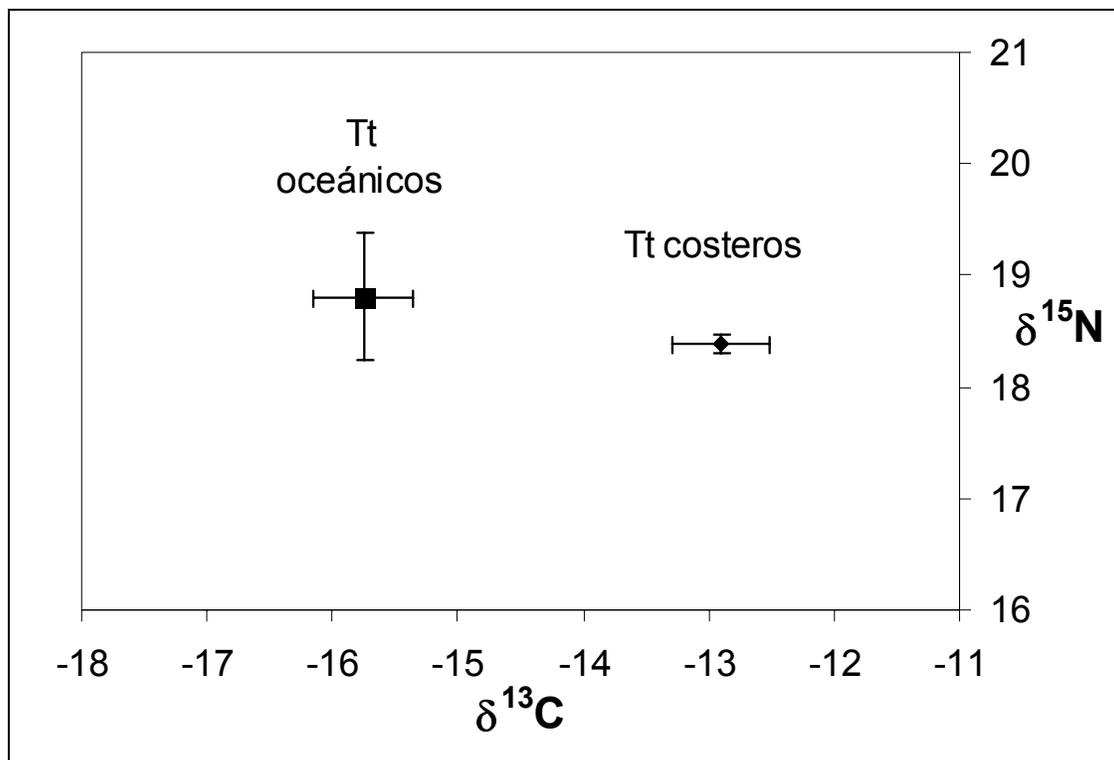


**Figura 4.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de los tursiones en el Golfo de California. Localidades: Isla Espiritu Santo (IES), Isla San Pedro Mártir (SPM), Ensenada de la Paz (ELP), Boca del Golfo de California (SGC) e Isla San José (ISJ).

**Cuadro 5.** Diferencias de  $\delta^{13}\text{C}$  entre tursiones por localidad (Prueba de Tukey). La localidad marcada\* denota diferencias significativas ( $P<0.05$ ).

Localidades		1 (-15.85)	2 (-15.61)	3 <b>(-12.90)</b>	4 (-15.88)	5 (-15.39)
1	Espíritu Santo		0.56	<0.01	0.99	0.92
2	San Pedro Mártir	0.56		<0.01	0.76	0.99
3	<b>Ensenada de La Paz*</b>	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01
4	Boca del Golfo de California	0.99	0.76	<0.01		0.90
5	San José	0.92	0.99	<0.01	0.90	

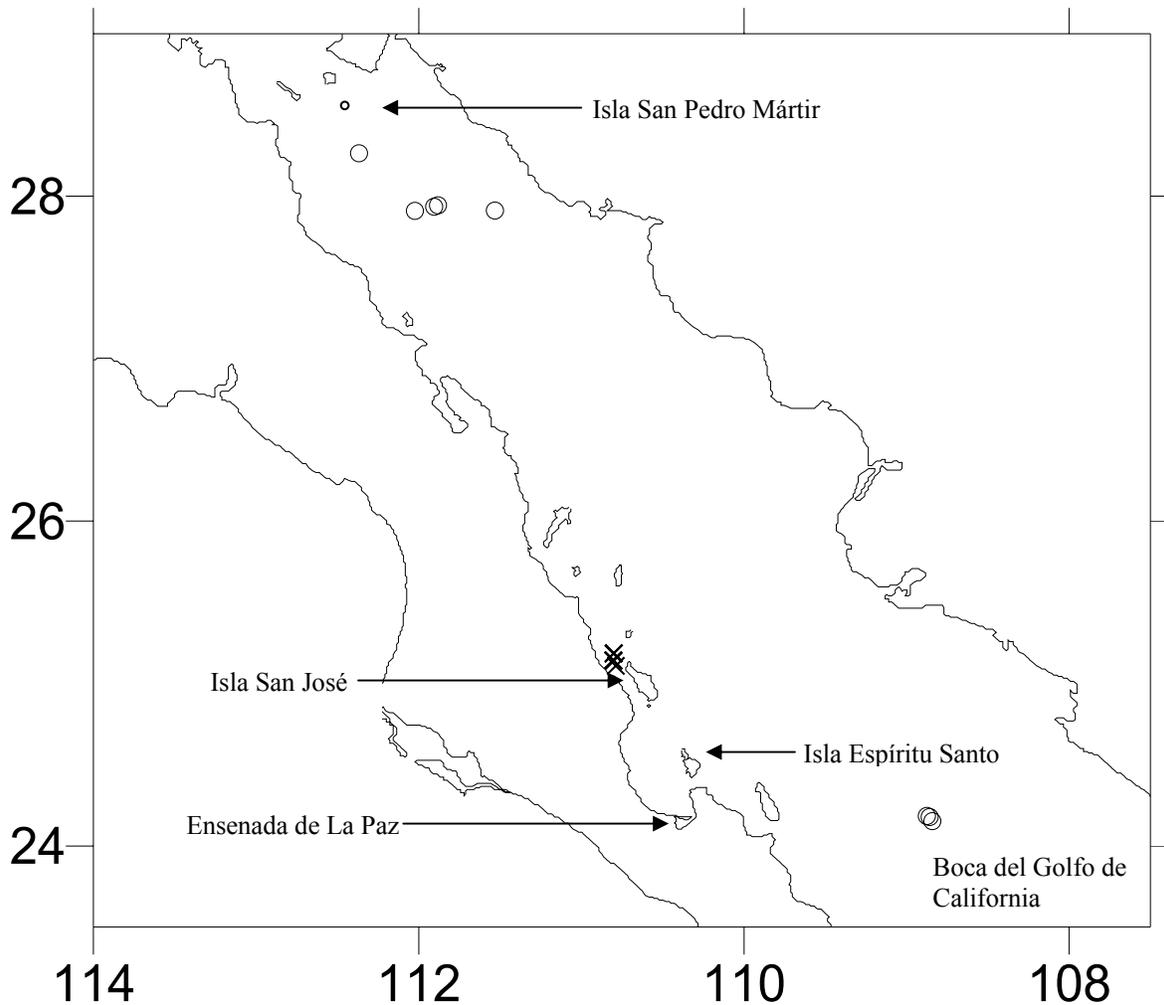
Los tursiones costeros, representados por dos individuos de la Ensenada de La Paz, tuvieron una razón isotópica promedio de  $-12.9 \pm 0.38\text{‰}$  para  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $18.38 \pm 0.07\text{‰}$  para  $\delta^{15}\text{N}$ . Los demás individuos correspondieron a tursiones oceánicos ( $n = 33$ ), los cuáles tuvieron una razón isotópica promedio de  $-15.75 \pm 0.39\text{‰}$  para  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $18.80 \pm 0.56\text{‰}$  para  $\delta^{15}\text{N}$ . La comparación de las razones isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre las dos formas revelaron diferencias significativas ( $F_{2,32}=74.44$ ,  $P>0.001$ ). La realización de pruebas de Tukey demostró diferencias significativas ( $P<0.05$ ) entre las formas costera y oceánica en  $\delta^{13}\text{C}$  ( $P>0.001$ ), pero no en  $\delta^{15}\text{N}$  ( $P=0.456$ ) (Figura 5). Por lo tanto, la forma costera tuvo un valor más positivo de  $\delta^{13}\text{C}$ .



**Figura 5.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de los ecotipos costero y oceánico de *T. truncatus* (Tt) en el Golfo de California. Se encontraron diferencias significativas en las abundancias de  $\delta^{13}\text{C}$  (Tukey,  $P>0.001$ ).

## VI.2.2 Cachalotes

Se analizaron un total de 13 muestras de piel de cachalotes hembras y jóvenes en las cercanías a las localidades de la Isla San Pedro Mártir, Isla San José y Boca del Golfo de California (Figura 6, Cuadro 6), para determinar sus razones isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ). Las muestras correspondieron a 6 biopsias y 7 de piel descamada.

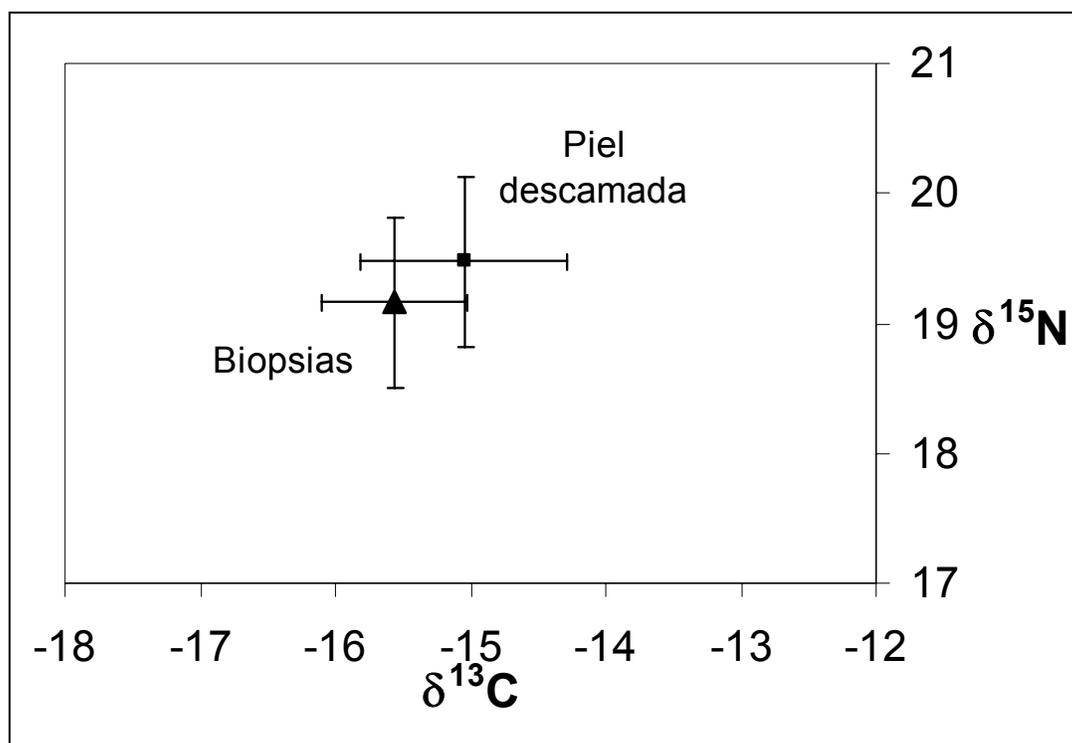


**Figura 6.** Localidades de colecta de muestras de piel de cachalotes hembras y jóvenes en el Golfo de California. Las equis indican las posiciones de los grupos de cachalotes solos y los círculos las de los grupos de cachalotes en asociación con tursiones.

**Cuadro 6.** Resumen de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las muestras de piel de cachalotes hembras y jóvenes en el Golfo de California.

Cachalotes hembras y jóvenes ( <i>Physeter macrocephalus</i> )					
Localidad	N	Promedio $\delta^{13}\text{C}$	Desv. Est. $\delta^{13}\text{C}$	Promedio $\delta^{15}\text{N}$	Desv. Est. $\delta^{15}\text{N}$
San Pedro Mártir	5	-14.66	0.46	19.76	0.50
San José	5	-15.86	0.25	18.95	0.40
Boca del Golfo de California	3	-15.34	0.74	19.24	0.92
<b>Total</b>	13	-15.28	0.69	19.33	0.65

Se compararon las razones isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) de las muestras de piel descamada y de biopsia de los grupos de hembras y jóvenes de cachalote. Las muestras de piel descamada tuvieron una razón isotópica de  $-15.04 \pm 0.76\text{‰}$  para  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $19.47 \pm 0.65\text{‰}$  para  $\delta^{15}\text{N}$  ( $n = 7$ ), mientras que las muestras de piel de biopsias tuvieron valores de  $-15.56 \pm 0.54\text{‰}$  para  $\delta^{13}\text{C}$  ( $n = 6$ ) y de  $19.16 \pm 0.65\text{‰}$  para  $\delta^{15}\text{N}$ . Esta comparación no reveló diferencias significativas ( $F_{2,10}=0.96$ ,  $P=0.415$ ) (Figura 7).



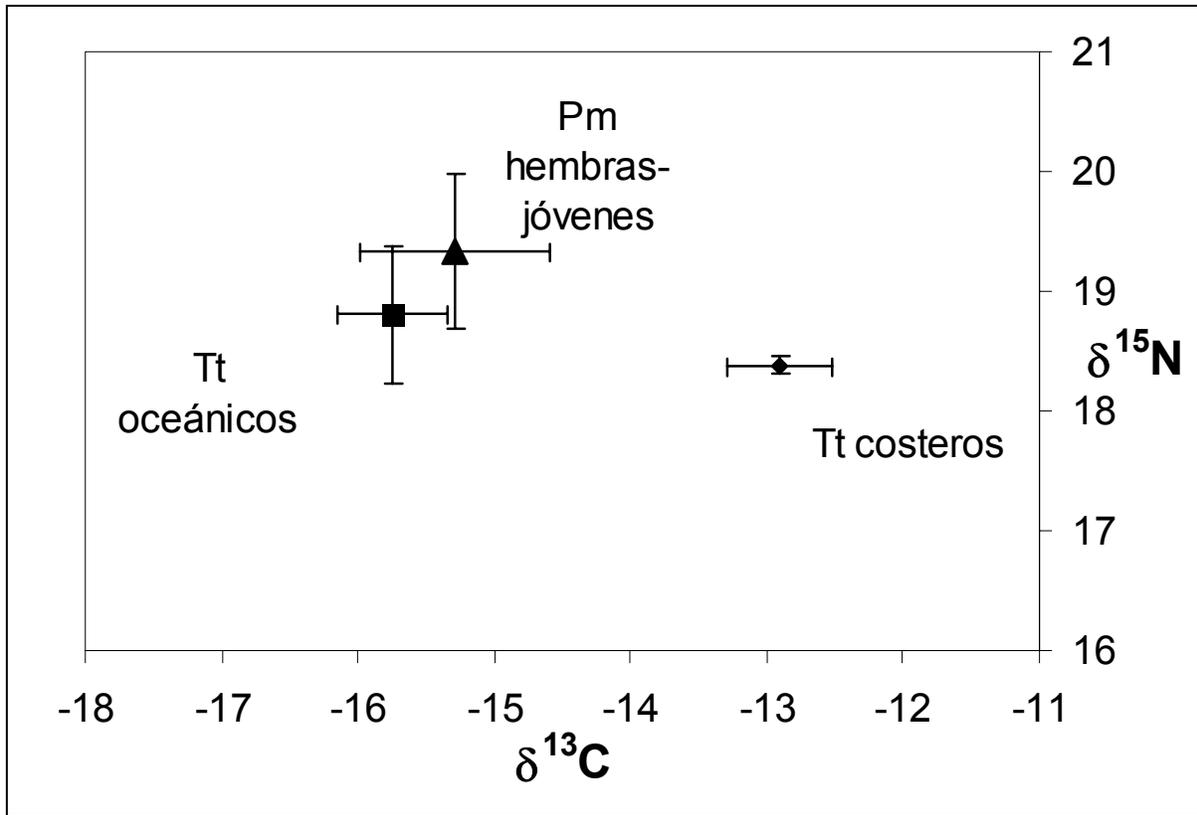
**Figura 7.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las muestras de piel descamada y de biopsia de cachalotes hembras y jóvenes en el Golfo de California.

### VI.2.3 Tursiones y cachalotes

Se compararon las posiciones tróficas ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) de los tursiones costeros y oceánicos con la de los grupos de hembras y jóvenes de cachalote (Cuadro 7, Figura 8). Esta comparación reveló diferencias significativas al menos en uno de los grupos ( $F_{4,88}=25.10$ ,  $P>0.001$ ). Las pruebas de Tukey demostraron diferencias significativas, siendo los tursiones costeros la única especie diferente en  $\delta^{13}\text{C}$  (Cuadro 8). Las pruebas de Tukey no demostraron diferencias significativas entre especies en  $\delta^{15}\text{N}$ . Por lo tanto, el ecotipo costero tuvo un valor más positivo de  $\delta^{13}\text{C}$ .

**Cuadro 7.** Resumen de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las muestras de piel de tursiones y cachalotes hembras y jóvenes en el Golfo de California.

<b>Especie</b>	<b>Ecotipo</b>	<b>N</b>	<b>Promedio <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Desv. Est. <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Promedio <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b>Desv. Est. <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>
Tursión	Costero	2	-12.90	0.38	18.38	0.07
Tursión	Oceánico	33	-15.75	0.39	18.80	0.56
Cachalote	Hembras y jóvenes	13	-15.28	0.69	19.33	0.65



**Figura 8.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de ecotipos costero y oceánico de *T. truncatus* (Tt) y *Physeter macrocephalus* (Pm) en el Golfo de California.

**Cuadro 8.** Diferencias de  $\delta^{13}\text{C}$  entre tursiones costeros y oceánicos, y cachalotes (Prueba de Tukey). La especie marcada\* denota diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

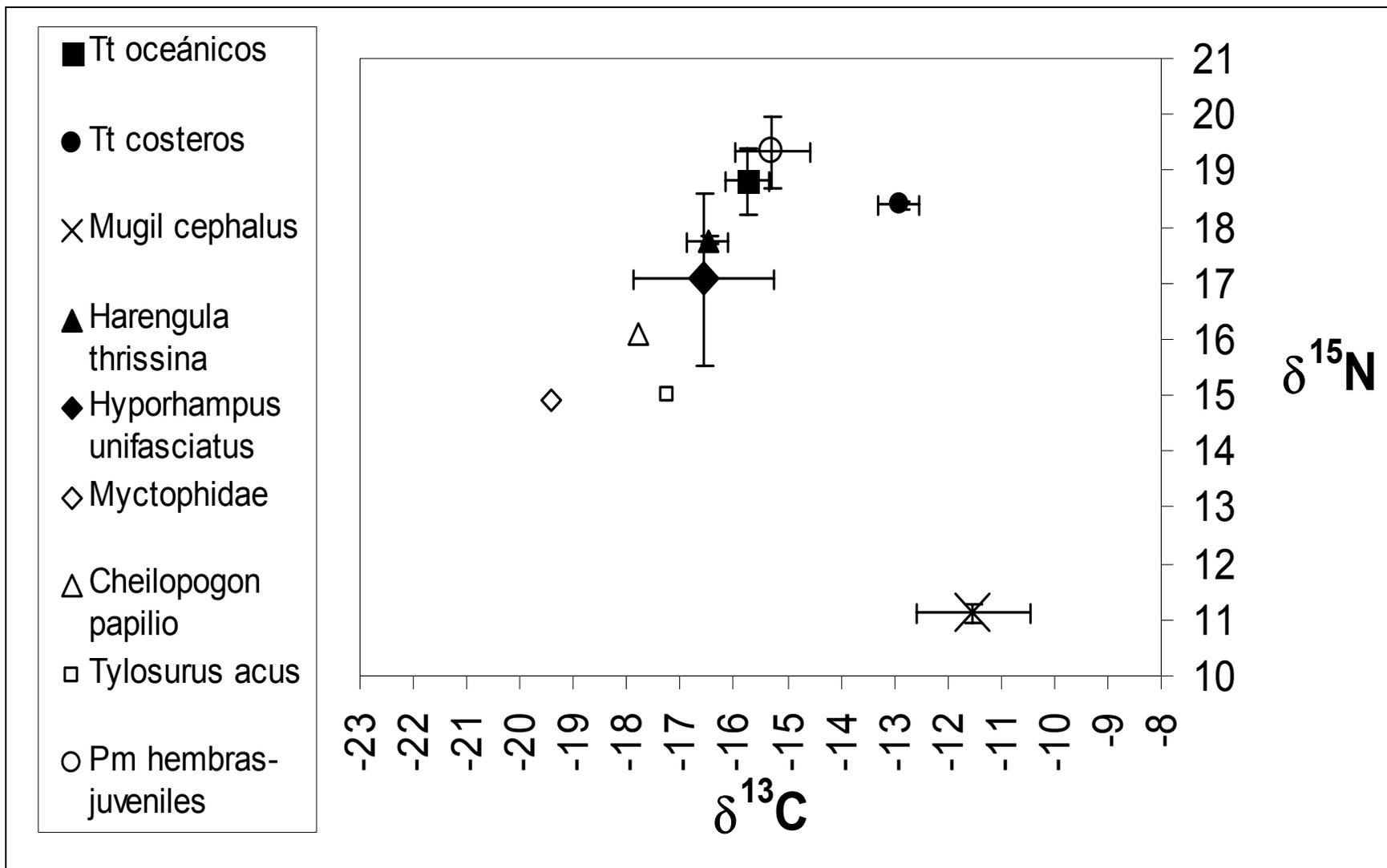
Especie		1 (-15.75)	2 (-12.90)	3 (-15.28)
1	Tt oceánico		<0.01	0.05
2	Tt costero*	<0.01		<0.01
3	Pm hembras-jóvenes		<0.01	

#### VI.2.4 Presas potenciales

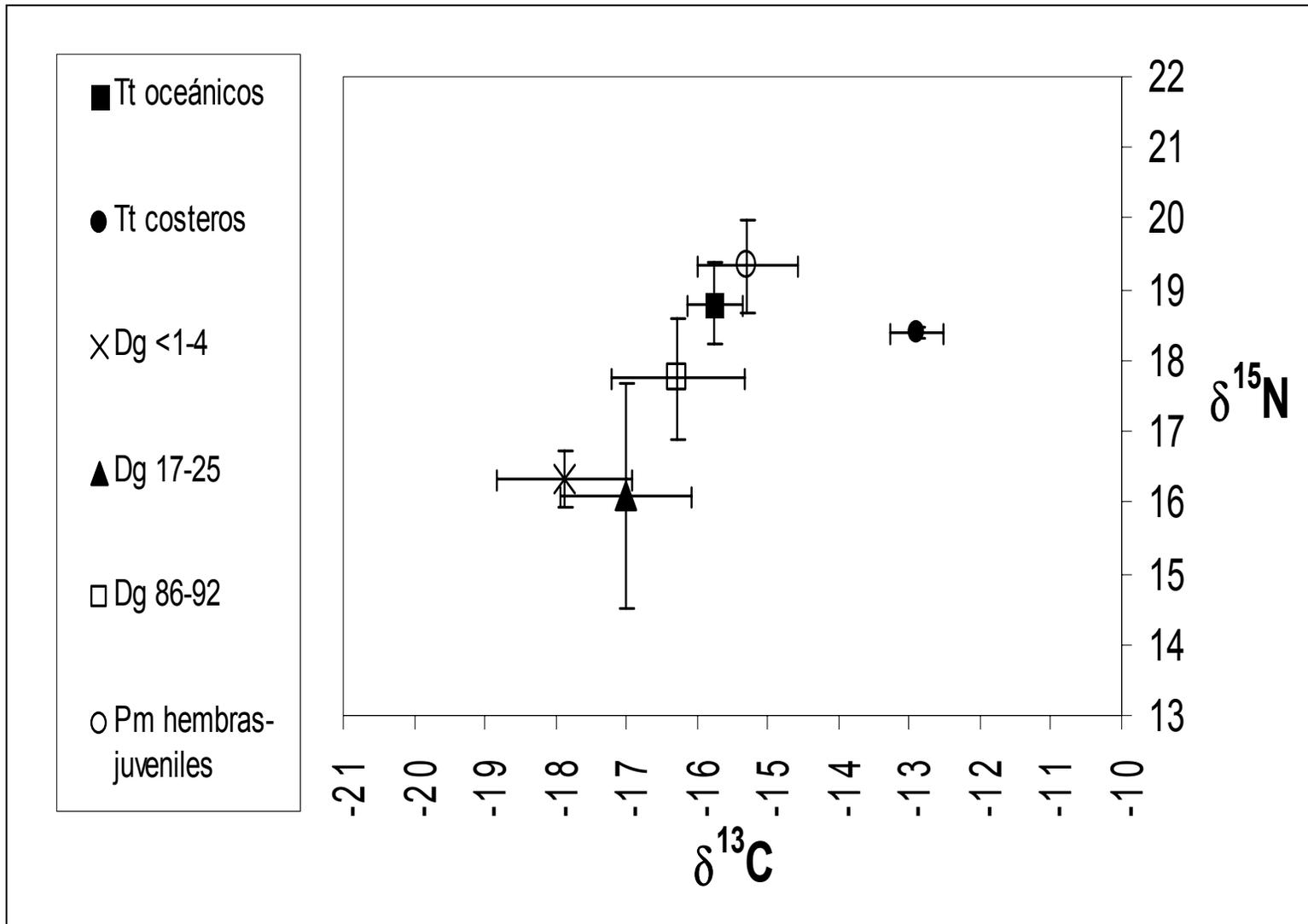
Se capturaron presas potenciales de los tursiones costeros y oceánicos en el Golfo de California con el fin de determinar sus razones isotópicas de carbono y nitrógeno y compararlas con las de los tursiones. Las presas potenciales capturadas fueron identificadas hasta el menor taxón posible y correspondieron a sardinas (*Harengula thrissina*), pajaritos (*Hyporhamphus unifasciatus*), pez volador (*Cheilopogon papilio*), pez aguja (*Tylosurus acus*), lisas (*Mugil cephalus*) y peces linterna (Myctophidae) (Cuadro 9). También se capturaron calamares gigantes (*Dosidicus gigas*) de diferentes tallas y se clasificaron en grupos de <1-4, 17-25 y 86-92 cm de longitud de manto (Cuadro 9, Figuras 9 y 10)

**Cuadro 9.** Resumen de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las muestras de músculo de presas potenciales de los tursiones costeros y oceánicos en el Golfo de California.

Especie	N	Promedio $\delta^{13}\text{C}$	Desv. Est. $\delta^{13}\text{C}$	Promedio $\delta^{15}\text{N}$	Desv. Est. $\delta^{15}\text{N}$
<i>Harengula thrissina</i>	3	-16.49	0.38	17.76	0.08
<i>Hyporhamphus unifasciatus</i>	3	-16.56	1.30	17.08	1.52
<i>Cheilopogon papilio</i>	1	-17.77		16.10	
<i>Tylosurus acus</i>	1	-17.25		15.03	
<i>Mugil cephalus</i>	2	-11.51	1.06	11.11	0.15
Myctophidae	1	-19.43		14.90	
<i>Dosidicus gigas</i> (<1-4 cm)	7	-17.88	0.96	16.35	0.39
<i>Dosidicus gigas</i> (17-25 cm)	5	-17.01	0.93	16.11	1.58
<i>Dosidicus gigas</i> (86-92 cm)	3	-16.27	0.93	17.75	0.84



**Figura 9.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las presas potenciales (peces) de los tursiones costeros y oceánicos en el Golfo de California.



**Figura 10.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las presas potenciales (calamares gigantes *D. gigas*) de los tursiones costeros y oceánicos en el Golfo de California.

## VII. DISCUSIÓN

### VII.1 DESCRIPCIÓN DE ECOTIPOS

La descripción general de los ecotipos corroborada por el análisis isotópico de C y N, concuerda con lo reportado por Walker (1981) y Waerebeek *et al.* (1990) para tursiones del Pacífico Noreste y Sureste, respectivamente. El primer autor menciona que la forma oceánica del Pacífico Noroeste es de coloración más oscura en la parte dorsal y con rostro más afilado y estrecho, mientras que la forma costera del Pacífico Sureste es de coloración más clara y se distingue claramente una capa oscura sobre una más clara, resultando en una coloración tripartita. En contraste, la descripción de los ecotipos realizada en este estudio no concuerda con la de los tursiones del Atlántico Noroeste reportada por Hersh y Duffield (1990), quienes mencionan que la forma oceánica es más grande, con rostro más corto y aletas pectorales más pequeñas. Al parecer las características de los tursiones costeros y oceánicos son inversas entre el Océano Pacífico y el Atlántico.

La descripción de los ecotipos costero y oceánico, se realizó con base en avistamientos y comparaciones entre proporciones corporales relativas de fotografías de tursiones, permitiendo discriminar entre ecotipos en el campo. Las fotografías fueron útiles para ver con más detalle las diferencias morfológicas. La descripción general de los ecotipos fue de gran utilidad, ya que nuestra percepción de lo que consideramos como costero y oceánico pudo ser corroborada por medio del análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno.

### VII.2 ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES ( $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ )

#### VII.2.1 Tursiones costeros y oceánicos

La única localidad diferente en cuanto a  $\delta^{13}\text{C}$  fue la Ensenada de La Paz (Cuadro 4 y 5), y también fue la única con tursiones costeros. En el resto de las localidades, con tursiones oceánicos, no existieron diferencias tróficas ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ), ni entre los grupos de tursiones oceánicos solos y los asociados a cachalotes. La composición isotópica de la base de la red trófica tiende a estar enriquecida en bajas latitudes en comparación a altas latitudes (Rau *et al.*, 1992; Burton y Koch, 1999), sin embargo en este estudio no se encontraron diferencias latitudinales en

las razones isotópicas de carbono para los grupos de tursiones oceánicas (entre los 23° y 27° N dentro del Golfo de California). La diferencia entre ecotipos radica en las razones isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  y sugieren que los tursiones costeros y oceánicos se alimentan de presas que derivan de fuentes de carbono diferentes, es decir, de presas de diferentes ecosistemas (Rau *et al.*, 1992; Das *et al.*, 2003), reflejándose un ambiente de alimentación enriquecido con  $^{13}\text{C}$  para la forma costera. Los resultados de este estudio concuerdan con la observación de ambos ecotipos en zonas costeras (Rojo-Arreola *et al.*, 2001; Torres *et al.*, 2003). A pesar de que esto pudiera sugerir un ámbito hogareño más amplio para los tursiones oceánicos, los resultados de isótopos estables no reflejaron una dieta similar entre los tursiones costeros y oceánicos, que en ocasiones son simpátricos en la Bahía de La Paz. Esta distribución simpátrica se debe a que los tursiones oceánicos incurren en ocasiones en aguas costeras (Torres *et al.*, 2003), aunque el ecotipo costero puede encontrarse muy lejos de la costa, hasta donde se extiende la plataforma continental (Kenney, 1990).

Los aportes terrígenos pueden ocasionar variaciones en las razones isotópicas en la base de la red trófica en los ecosistemas costeros (Walker *et al.*, 1999). Los ecosistemas costeros están enriquecidos en  $^{13}\text{C}$  debido a los florecimientos rápidos de fitoplancton inducidos por la mezcla de la columna de agua y el consecuente aporte de nutrientes del fondo (Schell *et al.*, 1998). Durante estos florecimientos de fitoplancton, los valores de  $^{13}\text{C}$  se incrementan 2-3‰ como resultado de la retención de  $^{12}\text{C}$  en el carbono orgánico fijado en la fotosíntesis, y quizás también a una reducida discriminación de  $^{13}\text{C}$  como  $\text{CO}_2$  acuoso (Schell *et al.*, 1998; Burton y Koch, 1999). En los ecosistemas oceánicos, donde el aporte de nutrientes es generalmente limitado, los niveles de producción de las microalgas son tan lentos que decrece el  $\text{CO}_2$  acuoso y consecuentemente, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de carbono fijado en la base de la red trófica es bajo comparado con los ecosistemas costeros (Burton y Koch, 1999). Las temperaturas bajas, que incrementan la solubilidad y concentración de  $\text{CO}_2$  en el mar, causan un decremento en la tasa de crecimiento del fitoplancton (Schell *et al.*, 1998). Los resultados de este estudio concuerdan con Hirons *et al.* (2001), quienes mencionan que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en organismos marinos de niveles tróficos tope pueden cambiar sin que cambien los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , debido a la composición diferencial del fitoplancton en las redes tróficas. Estas diferencias entre ecosistemas permiten diferenciar a los ecotipos costero y oceánicos por medio de las razones isotópicas de carbono y nitrógeno, cómo lo demostraron Das *et al.* (2000) con valores más bajos de  $\delta^{13}\text{C}$  en

músculo de atunes (*Thunnus alalunga*) reflejando una alimentación oceánica en comparación con delfines comunes de rostro corto (*Delphinus delphis*) y listados (*Stenella coeruleoalba*) alimentándose dentro de bahías el Atlántico Noreste.

Solamente se obtuvieron resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de dos muestras de tursiones costeros de la Ensenada de La Paz, lo cuál limita el alcance de este estudio para extrapolarlo hacia otras localidades costeras. La precisión de los datos obtenidos por medio de los análisis de isótopos estables permitió interpretar la información ecológica. Sin embargo, más datos del ecotipo costero y de otras localidades ayudarían a interpretar mejor los resultados y con mayor robustez estadística.

Las comparaciones de las razones isotópicas entre localidades y ecotipos no revelaron diferencias en  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre todos los grupos de delfines, es decir, todos los grupos de delfines muestreados, costeros y oceánicos, se alimentaron en el mismo nivel trófico relativo, a pesar de diferir en sus presas. Esto concuerda con lo reportado por Tasev *et al.* (2001) para el Mar de China, ya que encontraron valores más positivos de  $\delta^{13}\text{C}$  en muestras de hueso para tursiones con hábitos costeros (*Tursiops aduncus*), a diferencia de tursiones con hábitos oceánicos (*T. truncatus*), y valores similares de  $\delta^{15}\text{N}$  para ambas especies. Estas diferencias isotópicas sugieren que las dos especies exhiben patrones de movimiento diferentes y que se alimentan en el mismo nivel trófico. Con base en datos isotópicos de dientes de tursiones costeros y oceánicos en el Pacífico Noreste, Walker *et al.* (1999) también observaron en la forma costera, valores más positivos de  $\delta^{13}\text{C}$ , pero también de  $\delta^{15}\text{N}$ . Sin embargo, Barros *et al.* (1995) en el Atlántico Noroeste, observaron valores de  $\delta^{15}\text{N}$  más positivos en la forma costera.

### **VII.2.2 Tursiones y cachalotes**

La comparación de las razones isotópicas de los tursiones costeros y oceánicos con la de los grupos de hembras y jóvenes de cachalote (Cuadro 7, Figura 8), reveló diferencias significativas en carbono, siendo los tursiones costeros, los únicos que mostraron valores significativamente diferentes a los demás (Cuadro 8, Figura 8). Los tursiones costeros reflejaron un ambiente enriquecido con  $^{13}\text{C}$  a diferencia de los tursiones oceánicos y los cachalotes, quienes a su vez, no reflejaron diferencias significativas en cuanto a la contribución relativa a la dieta de

diferentes fuentes primarias en la red trófica. En cuanto al  $\delta^{15}\text{N}$ , no se encontraron diferencias significativas entre los ecotipos costero y oceánico y los cachalotes. Esto indica que los dos ecotipos de tursión y los grupos de cachalotes hembras y jóvenes se alimentaron en un mismo nivel trófico relativo. Estos resultados sugieren que los tursiones costeros y oceánicos explotan diferentes ambientes, y que el ecotipo oceánico y los grupos de cachalotes tienen hábitos alimentarios similares.

Se ha observado la asociación marcada entre grupos de tursiones oceánicos y de cachalotes hembras y jóvenes en el Golfo de California (Jaquet y Gendron, 2002). La dieta de los cachalotes ha sido ampliamente descrita, la cuál se basa principalmente en cefalópodos mesopelágicos y batipelágicos (Okutani *et al.*, 1976; Clarke, 1986; González *et al.*, 1994), se ha reportado la preferencia por el calamar gigante (*D. gigas*) en el Pacífico Tropical Oriental (Clarke *et al.*, 1988) y se ha sugerido lo mismo para el Golfo de California (Jaquet y Gendron, 2002). Mediante un análisis de isótopos estables en músculo de calamar y piel de cachalotes, se confirmó a *D. gigas* como presa principal y se demostró que las tallas medianas y grandes (40-80 cm) son presas principales de hembras y jóvenes de cachalotes (Ruiz-Castro, 2002). Siendo las razones isotópicas de carbono y nitrógeno similares entre los tursiones oceánicos y cachalotes, con los cuáles se asocian, se sugiere indirectamente que los tursiones oceánicos se alimentan de presas similares, es decir, del calamar gigante.

Los tursiones oceánicos están adaptados a ambientes pelágicos para realizar buceos más prolongados y profundos que los costeros (Hersh y Duffield, 1990), sin embargo no tienen la misma capacidad que los cachalotes. En general, la asociación de cetáceos con otras especies marinas está ligada a aspectos de protección de depredadores, eficiencia energética, búsqueda y detección de presas (Norris y Dohl, 1980). La asociación de tursiones con calderones, aparentemente ligada a la búsqueda de alimento, beneficia a los tursiones, ya que los calderones son más eficientes en la búsqueda de presas en ambientes pelágicos debido a su mayor capacidad de respiración y buceo (Norris y Prescott, 1961). Por lo tanto, se sugiere que la asociación entre los tursiones oceánicos y los grupos de hembras y jóvenes de cachalotes, está basada en la alimentación. Siguiendo esta idea, los tursiones oceánicos se beneficiarían también al asociarse con cachalotes, cuya adaptación para realizar buceos profundos les permite seguir a los calamares gigantes fácilmente durante el día. El calamar gigante habita en profundidades de 1200 m durante

el día y realiza migraciones verticales hacia la superficie al atardecer y durante las primeras horas de la noche, que es cuando se alimenta (Galván, 1999; Markaida y Sosa-Nishizaki, 2003). A pesar de que los tursiones oceánicos no tienen las mismas capacidades de buceo que los cachalotes, las migraciones verticales del calamar gigante les permitirían acceder a ellos.

### VII.2.3 Presas potenciales

Al comparar las razones isotópicas de carbono y nitrógeno de algunas especies citadas como presas potenciales de tursiones costeros y oceánicos se encontró un patrón similar al de los ambientes costero y oceánico. Las lisas (*Mugil cephalus*) fueron las únicas presas cuyo valor isotópico de carbono fue el más positivo, y por lo tanto de ambiente costero. Tomando en cuenta que el incremento en  $\delta^{15}\text{N}$  de las razones isotópicas en una relación consumidor-presa se estima por un enriquecimiento que varía entre 2.7 y 3.4‰ (Hobson y Welch, 1992; Smit, 2001; Ruiz-Castro, 2002; Bode *et al.*, 2003), y de 1‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  (Abend y Smith, 1997; Burton y Koch, 1999; Smit, 2001), las presas más probables del tursión oceánico serían el pez volador, el pez aguja, el pez pajarito y los calamares gigantes de 17-25 cm de longitud patrón (Figuras 9 y 10). Si bien el tursión oceánico fuera el consumidor de estas presas, el enriquecimiento isotópico de carbono y nitrógeno, respectivamente, sería de 1.5 y 3.8‰ para el pez aguja, 2.0 y 2.7‰ para el pez volador,  $0.8 \pm 1.3$  y  $1.7 \pm 1.7$ ‰ para el pez pajarito y  $1.3 \pm 0.9$  y  $2.7 \pm 1.6$ ‰ para los calamares gigantes de 17-25 cm de longitud patrón. Estos resultados concuerdan con las presas principales encontradas en otras áreas: peces epipelágicos y cefalópodos (Walker, 1981; Waerebeek *et al.*, 1990; Barros, 1998). En particular, Barros y Odell (1990) mencionan que los tursiones oceánicos en el Sureste de Estados Unidos se alimentan principalmente de cefalópodos de la familia Ommastrephidae, a la cuál pertenece el calamar gigante. Aunado a lo anterior, se ha encontrado que el 70% de los cefalópodos consumidos por tursiones oceánicos en el Pacífico Noreste pertenecen al calamar gigante (Walker, 1981).

Los tursiones costeros prefieren alimentarse de peces del género *Mugil* (Barros y Odell, 1990; Shane, 1990). No obstante, los valores isotópicos obtenidos en el presente estudio muestran claramente que las lisas no forman parte de la dieta de los tursiones costeros, ya que se observa un enriquecimiento estimado (7.27‰ de  $\delta^{15}\text{N}$ ) mucho mayor al esperado entre esta presa y los tursiones costeros.

#### **VII.2.4 Muestras de piel**

Las razones isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) determinadas en este estudio reflejaron la dieta promedio de los animales, la cuál fue integrada durante el tiempo de renovación de la piel. Se ha reportado que para *T. truncatus*, el tiempo en que las células de la epidermis migran a la capa superficial de la piel, es decir, la tasa de renovación del tejido, es de 73 días (Hicks *et al.*, 1985). Por lo tanto, las razones isotópicas de las muestras de piel de los tursiones reflejarían la dieta promedio integrada en el tejido desde los dos últimos meses y medio hasta que se obtuvo la biopsia.

En lo que refiere a los cachalotes, las muestras de piel provinieron de piel descamada y de biopsias. Asumiendo que la tasa de renovación de la piel en tursiones es similar a la de los cachalotes, esta diferencia en la procedencia de las muestras de piel de cachalotes indicaría que las razones isotópicas determinadas de la piel descamada, reflejarían la dieta promedio consumida más de dos meses y medio antes de que se recolectara la muestra. Al comparar las razones isotópicas de las muestras de piel descamada y de biopsias de cachalotes, no se encontraron diferencias significativas ( $F_{2,10}=0.96$ ,  $P=0.415$ ) (Figura 7). Por lo que se podría asumir que su estancia en el Golfo de California y/o zonas adyacentes rebasa la tasa de intercambio de la piel de esta especie.

#### **VII.2.5 Comparación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de *T. truncatus* y *P. macrocephalus* con lo previamente reportado**

En este estudio los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de los tursiones costeros a partir de biopsias de piel fue de  $-12.9 \pm 0.4\text{‰}$  y  $18.4 \pm 0.1\text{‰}$  respectivamente, y para los tursiones oceánicos los valores fueron  $\delta^{13}\text{C} = -15.7 \pm 0.4\text{‰}$  y  $\delta^{15}\text{N} = 18.8 \pm 0.6\text{‰}$ . Encontrándose valores más positivos en  $\delta^{13}\text{C}$  en el ecotipo costero.

A partir de dientes de tursiones del Atlántico Noroeste se encontraron valores para  $\delta^{13}\text{C}$  muy similares entre ecotipos costeros y oceánicos ( $-13.0 \pm 0.7\text{‰}$  y  $-13.9 \pm 0.4\text{‰}$  respectivamente) y valores para  $\delta^{15}\text{N}$  mayor en el ecotipo costero ( $16.8 \pm 0.9\text{‰}$  y  $14.8 \pm 0.8\text{‰}$  respectivamente, Walker *et al.*, 1999).

Utilizando muestras de piel y hueso de tursiones del Mar de China entre especies con hábitos costeros (*T. aduncus*) y hábitos oceánicos (*T. truncatus*) se encontraron valores similares de  $\delta^{15}\text{N}$  en ambos tejidos. Para  $\delta^{13}\text{C}$  se encontraron valores similares en piel y significativamente diferentes en hueso ( $-15.96 \pm 0.33\text{‰}$  y  $-16.61 \pm 0.4\text{‰}$  para piel, y  $-12.54 \pm 0.22\text{‰}$  y  $-13.39 \pm 0.11\text{‰}$  para hueso, respectivamente, Tasev *et al.*, 2001).

En este estudio los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de los cachalotes hembras y jóvenes partir de biopsias de piel y piel descamada fue de  $-15.3 \pm 0.7\text{‰}$  y  $19.3 \pm 0.6\text{‰}$  respectivamente.

Un análisis previo de las razones isotópicas de piel descamada de grupos de hembras y jóvenes de cachalotes en el Golfo de California determinó que los valores isotópicos fueron  $\delta^{13}\text{C} = -13.83 \pm 0.38\text{‰}$  y  $\delta^{15}\text{N} = 19.64 \pm 0.59\text{‰}$  (Ruiz-Castro, 2002).

## VIII. RECOMENDACIONES

### El uso de isótopos estables ( $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ )

A pesar de que la precisión del análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno es muy alta, la interpretación de la variación isotópica no siempre es la más adecuada, y más aún su comparación con otras áreas de estudio (Gearing, 1991). La variación isotópica de carbono y nitrógeno de los productores primarios en una región puede ser afectada por la intensidad de luz, concentración de nutrientes y composición específica (Gearing, 1991; Smit, 2001). La composición isotópica de la base de la red trófica tiende a estar enriquecida en bajas latitudes en comparación a altas latitudes (Rau *et al.*, 1992; Burton y Koch, 1999). Esta composición también puede ser alterada, en ambientes costeros, por la influencia de aportes terrígenos como fertilizantes, aguas negras y restos de plantas, entre otros (Gearing, 1991; Smit, 2001).

La técnica de isótopos estables se ha reportado ampliamente eficaz en estudios de posiciones tróficas relativas, historial alimentario y relaciones tróficas en ambientes marinos (Ej. Hooker *et al.*, 2001; Hoekstra *et al.*, 2002; Lesage *et al.*, 2002). En este estudio, se demostró la utilidad de esta técnica para diferenciar entre los ecotipos costero y oceánico de tursiÓN en el Golfo de California.

## IX. CONCLUSIONES

- En el Golfo de California, los ecotipos costero y oceánicos son distinguibles entre sí por su coloración, morfología y tamaño de grupo. La descripción general establece que la forma costera, en comparación con la forma oceánica, es más grande y robusta, de color más claro dorsalmente, con una evidente capa dorsal más oscura que las capas lateral y ventral. Presenta un rostro más corto, aletas pectorales relativamente más cortas y amplias, y región ventral de color blanco. Generalmente, se encuentra en grupos pequeños (< 20 individuos).
- Los ecotipos costero y oceánico de los tursiones se alimentan de presas con un nivel trófico similar pero que derivan de ecosistemas distintos. Los ecotipos se alimentan en redes tróficas con diferentes fuentes primarias, y se corrobora que los ecosistemas costeros presentan niveles más enriquecidos de carbono<sup>13</sup> en comparación a los oceánicos.
- La forma oceánica tiene una posición trófica similar a los grupos de hembras y jóvenes de cachalotes con los cuáles se asocia en el Golfo de California.
- La asociación entre los tursiones oceánicos y los grupos de hembras y jóvenes de cachalotes está basada en la alimentación, donde los tursiones oceánicos se benefician al asociarse con cachalotes y se alimentan de presas similares, principalmente del calamar gigante (*Dosidicus gigas*).
- La técnica de isótopos estables es útil para diferenciar las formas costera y oceánica de tursión en el Golfo de California.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Abend, A. y T. Smith. 1997. Differences in stable isotope ratios of carbon and nitrogen between long-finned pilot whales (*Globicephala melas*) and their primary prey in the western north Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*. 54: 500-503.
- Acevedo, G.A. 1989. Uso del área por el tursión (*Tursiops truncatus*) en la Ensenada de La Paz, durante el verano de 1987. Tesis profesional. UABCS. La Paz, B.C.S. 115 pp.
- Alba, C. 1997. Estructura comunitaria de los odontocetos de Bahía de La Paz y alrededores, B.C.S., México (mayo de 1989 a abril de 1995). Tesis profesional. UABCS. La Paz, B.C.S. 66 pp.
- Álvarez-Borrego, S. y J.R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. P. 555–567. *En*: B.R.T. Simoneit y J.P. Dauphin (Eds.). *The Gulf and peninsular province of the Californias*. American Association of Petroleum Geologists Memoirs No. 47.
- Amos, W. y A.R. Hoelzel. 1991. Long-term preservation of whale skin for DNA analysis. P. 99-103. *En*: A.R. Hoelzel (Ed.). *Genetic ecology of whales and dolphins. Report of the International Whaling Commission*, (Special issue 13). 311 pp.
- Amos, W., H. Whitehead, M.J. Ferrari, D.A. Glockner-Ferrari, R. Payne y J. Gordon. 1992. Restrictable DNA from sloughed cetacean skin; its potential for use in population analysis. *Marine Mammal Science*. 9(2): 213-220.
- Arnbom, T. 1987. Individual identification of sperm whales. *Report of the International Whaling Commission*. 37: 201-204.
- Badan-Dangon, A., C. Koblinsky y T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Acta Oceanológica*. 1:13-22.

- Ballance, L. 1985. Área de acción del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) en Bahía Kino, Sonora. P. 161-165. *En: Memorias de la X Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos*. La Paz, B.C.S., México. 196 pp.
- Ballance, L. 1990. Residence patterns, group organization and surfacing association of bottlenose dolphin in Kino Bay, Gulf of California, Mexico. P. 267-283 *En: S. Leatherwood y R.R. Reeves (Eds.). The Bottlenose Dolphin*. Academic Press. USA. 653 pp.
- Barros, N. y D. Odell. 1990. Food habits of bottlenose dolphins in the south-eastern United States. P. 309-328. *En: S. Leatherwood y R.R. Reeves (Eds.). The Bottlenose Dolphin*. Academic Press. USA. 653 pp.
- Barros, N., P. Ostrom y D. Odell. 1995. Stable isotopes in muscle of East Florida bottlenose dolphins: implications for stock differentiation. P. 9. *En: Abstracts of the 11<sup>th</sup> Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals*. Orlando, Florida, USA. 147 pp.
- Barros, N. 1998. Ecología alimenticia de las toninas en aguas de Florida. P. 13. *En: Resúmenes de la XXIII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos*. Xcaret, Q. Roo., México. 60 pp.
- Barros, N., E. Parsons y T. Jefferson. 2000. Prey of bottlenose dolphins from the South China Sea. *Aquatic Mammals*. 26(1): 2-6.
- Bearzi, G. 2000. Biopsy sampling and other intrusive research on free-ranging cetaceans. Tethys Research Institute. *En: <http://www.tethys.org/biopsy.htm>*
- Bode, A., P. Carrera y S. Lens. 2003. The pelagic foodweb in the upwelling ecosystem of Galicia (NW Spain) during spring: natural abundance of stable carbon and nitrogen isotopes. *Journal of Marine Science*. 60: 11-22.

- Boutton, T. 1991. Stable carbon isotope ratios of natural materials: I. Sample preparation and mass spectrometric analysis. P. 173-185. *En: D. Coleman y B. Fry (Eds.). Carbon Isotope Techniques*. Academic Press. USA. 274 pp.
- Bray, N. 1988. Thermohaline circulation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*. 93: 4993-5020.
- Burton, R. y P. Koch. 1999. Isotopic tracking of foraging and long-distance migration in northeastern Pacific pinnipeds. *Oecologia*. 119: 578-585.
- Clarke, M. 1986. Cephalopods in the diet of odontocetes. P. 281-321. *En: M. Bryden y R. Harrison (Eds.). Research on dolphins*. Clarendon Press. USA. 478 pp.
- Clarke, R., O. Paliza y A. Aguayo. 1988. Sperm whales of the Southeast Pacific Ocean. Part IV: Fatness, food and feeding. *Investigations on Cetacea*. 21: 53-195.
- Cockcroft, V. y G. Ross. 1990. Food and feeding of the Indian Ocean bottlenose dolphin off Southern Natal, South Africa. P. 295-308. *En: S. Leatherwood y R.R. Reeves (Eds.). The Bottlenose Dolphin*. Academic Press. USA. 653 pp.
- Curry, B., M. Milinkovitch, J. Smith y A. Dizon. 1995. Stock structure of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. P. 27. *En: Abstracts of the 11<sup>th</sup> Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals*. Orlando, Florida, USA. 147 pp.
- Das, K., G. Lepoint, V. Loizeau, V. Debacker, P. Dauby y J. Bouquegneau. 2000. Tuna and dolphin associations in the northeast Atlantic: evidence of different ecological niches from stable isotope and heavy metal measurements. *Marine Pollution Bulletin*. 40(2): 102-109.
- Das, K., C. Beans, L. Holsbeek, G. Mauger, S.D. Berrow, E. Rogan y J. Bouquegneau. 2003. Marine mammals from Northeast Atlantic: relationship between their trophic status as determined by  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  measurements and their trace metal concentrations. *Marine Environmental Research*. 56: 349-365.

Defran, R.H. y K. Prior. 1980. The behavior and training of cetaceans in captivity. P. 319-364. *En: L. Herman (Ed.). Cetacean behaviour: mechanisms and functions.* John Wiley and Sons. USA. 463 pp.

Defran, R.H., G.M. Schultz y D.W. Weller. 1990. A technique for the photographic identification and cataloguing of dorsal fins of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). P. 53-55. *En: P. Hammond, S.A. Mizroch y G.P. Donovan (Eds.). Individual recognition of cetaceans: Use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters. Report of the International Whaling Commission.* (Special issue 12) Cambridge, 440 pp.

De la Parra, R. y E. Galván. 1985. Observación del tursión costero del Pacífico en el sistema Topolobampo-Ohuira, Sinaloa (con notas acerca del comportamiento, ritmo respiratorio e identificación individual). P. 137-160. *En: Memorias de la X Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos.* La Paz, B.C.S., México. 196 pp.

Díaz-Gamboa, R. 2001. Tamaño poblacional y residencia de las toninas (*Tursiops truncatus*) en la Ensenada de La Paz, B.C.S. 1998-1999. Tesis profesional. UADY. Mérida, Yuc. 77 pp.

Díaz-Gamboa, R. y D. Gendron. 2002. Método de varilla para la colecta de biopsias de piel de toninas (*Tursiops truncatus*) para análisis de isótopos estables. P. 49. *En: Resúmenes de la XXVII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos.* Veracruz, Ver., México. 71 pp.

Galván, M.F. 1999. Relaciones tróficas interespecíficas de la comunidad de depredadores epipelágicos del Océano Pacífico Oriental. Tesis de doctorado. CICESE. Ensenada, B.C. 212 pp.

Gaskin, D. E. 1982. *The ecology of whales and dolphins.* Heinemann. Inglaterra. 459 pp.

- Gearing, J.N. 1991. The study of diet and trophic relationships through natural abundant  $^{13}\text{C}$ . P. 201-218. *En*: D. Coleman y B. Fry (Eds.). *Carbon Isotope Techniques*. Academic Press. USA. 274 pp.
- Gendron, D., S. Aguíñiga y J. Carriquiry. 2001.  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  in skin biopsy samples: a note on their applicability for examining the relative trophic level in three rorcual species. *Journal of Cetacean Research and Management*. 3(1): 41-44.
- González, A., A. López, A. Guerra y A. Barreiro. 1994. Diets of marine mammals stranded on the northwestern Spanish Atlantic coast with special reference to Cephalopoda. *Fisheries Research*. 21: 179-191.
- Herman, L. 1980. Cognitive characteristics of dolphins. P. 363-429. *En*: L. Herman (Ed.). *Cetacean behaviour: mechanisms and functions*. John Wiley and Sons. USA. 463 pp.
- Hersh, S.L. y D.A. Duffield. 1990. Distinction between northwest Atlantic offshore and coastal bottlenose dolphins based on hemoglobin profile and morphometry. P. 129-139 *En*: S. Leatherwood y R.R. Reeves (Eds.). *The Bottlenose Dolphin*. Academic Press. USA. 653 pp.
- HersHKovitz, P. 1966. Catalog of living whales. *United States National Museum Bulletin*. No. 246.
- Hicks, B.D., D.J. Aubin, J.R. Geraci y W.R. Brown. 1985. Epidermal growth in the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. *The Journal of Investigative Dermatology*. 85(1): 60-63.
- Hirons, A., D. Schell y B. Finney. 2001. Temporal records of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in North Pacific pinnipeds: inferences regarding environmental change and diet. *Oecologia*. 129: 591-601.
- Hobson, K. y H. Welch. 1992. Determination of trophic relationships within a high Arctic food web using  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  analysis. *Marine Ecology Progress Series*. 84: 9-18.

- Hobson, K., J. F. Piatt y J. Pitocchelli. 1994. Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. *Journal of Animal Ecology*. 63: 786-798.
- Hoekstra, P., L. Dehn, J. George, K. Solomon, D. Muir y T. O'Hara. 2002. Trophic ecology of bowhead whales (*Balaena mysticetus*) compared with that of other arctic marine biota as interpreted from carbon-, nitrogen-, and sulfur-isotope signatures. *Canadian Journal of Zoology*. 80: 223-231.
- Hooker, S., S. Iverson, P. Ostrom y S. Smith. 2001. Diet of northern bottlenose whales inferred from fatty-acid and stable-isotope analyses of biopsy samples. *Canadian Journal of Zoology*. 79: 1442-1454.
- International Whaling Commission. 2002. Classification of the Order Cetacea (Whales, dolphins and porpoises). *En*: <http://www.iwcoffice.org/Cetacea.htm>
- Irvine, A., M. Scott, R. Wells y J. Kauffman. 1981. Movements and activities of the Atlantic bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, near Sarasota, Florida. *Fishery Bulletin*. 79(4): 671-688.
- Jaquet, N. y D. Gendron. 2002. Distribution and relative abundance of sperm whales in relation to key environmental features, squid landings and the distribution of other cetacean species in the Gulf of California, México. *Marine Biology*. 141: 591-601.
- Kemper, C. y P. Hale. 2001. Morphological variation of *Tursiops* spp. in South Australia. P. 113. *En*: Abstracts of the 14<sup>th</sup> Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Vancouver, Canada. 262 pp.
- Kenney, R.D. 1990. Bottlenose dolphins off the northeastern United States. P. 369-386. *En*: S. Leatherwood y R.R. Reeves (Eds.). *The Bottlenose Dolphin*. Academic Press. USA. 653 pp.

- Klinowska, M. 1991. Dolphins, porpoises and whales of the world: the IUCN Red data Book. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). Gland, Suiza y Cambridge, Inglaterra. 429 pp.
- Leatherwood, S. 1975. Some observations of feeding behaviour of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) en the northern Gulf of Mexico and (*Tursiops* cf. *T. gilli*) off southern California, Baja California, and Nayarit, Mexico. *Marine Fisheries Review*. 37(9): 10-16.
- Lesage, V., M. Hammill y K. Kovacs. 2002. Diet-tissue fractionation of stable carbon and nitrogen isotopes in phocid seals. *Marine Mammal Science*. 18: 182-193.
- Mangels, K. y T. Gerrodette. 1994. Report of cetacean sightings during a marine mammal survey in the eastern Pacific Ocean and the Gulf of California aboard the NOAA ships McArthur and David Starr Jordan July 28 – November 6, 1993. NOAA/NMFS *Southwest Fisheries Center Administrative Report*. No. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-211. USA. 88 pp.
- Marcín-Medina, R. 1997. Comportamiento del tursión (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821) en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 71 pp.
- Markaida, U. y O. Sosa-Nishizaki. 2003. Food and feeding habits of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, México. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 83: 507-522.
- Mead, J. y C. W. Potter. 1990. Natural history of bottlenose dolphins along the Central Atlantic Coast of the United States. P. 165-195. En: S. Leatherwood y R.R. Reeves (Eds.). *The Bottlenose Dolphin*. Academic Press. USA. 653 pp.
- Norris, K. y J. Prescott. 1961. Observations on Pacific cetaceans of Californian and Mexican waters. *University of California Publications in Zoology*. 63(4): 291-402.

- Norris, K. y T. Dohl. 1980. The structure and functions of cetacean schools. P. 211-261. *En: L. Herman (Ed.). Cetacean behaviour: mechanisms and functions.* John Wiley and Sons. USA. 463 pp.
- Okutani, T., Y. Satake, S. Ohsumi y T. Kawakami. 1976. Squids eaten by sperm whales caught off Joban District, Japan, during January-February, 1976. *Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory.* 87: 67-113.
- Ostrom, P., J. Lien y S. Macko. 1993. Evaluation of the diet of Sowerby's beaked whale, *Mesoplodon bidens*, based on isotopic comparisons among northwestern Atlantic cetaceans. *Canadian Journal of Zoology.* 71(4): 858-861.
- Paré, J., J. Bélanger y S. Stafford. 1994. Microwave-assisted process (MAP<sup>TM</sup>): a new tool for the analytical laboratory. *Trends in Analytical Chemistry.* 4: 176-184.
- Patenaude, N.J. y B.N. White. 1995. Skin biopsy sampling of beluga whale carcasses: Assessment of biopsy darting factors for minimal wounding and effective sample retrieval. *Marine Mammal Science.* 11(2):163-171.
- Peterson, B. y B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics.* 18: 293-320.
- Pitman, R. 1999. Star report, David Starr Jordan, 12-15 August. Natl. Mar. Fish. Serv., NOAA SWFC Weekly Report. *En: [http://swfsc.nmfs.noaa.gov/mmd/star/cruisepage/dsj4.htm](http://swfsc.nmfs.noaa.gov/mmd/star/cruise/dsj4.htm)*
- Rau, G., D. Ainley, J. Bengtson, J. Torres y T. Hopkins. 1992. <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N and <sup>13</sup>C /<sup>12</sup>C in weddell seabirds, seals and fish: implications for diet and trophic structure. *Marine Ecology Progress Series.* 84: 1-8.
- Renoe, B. 1995. Microwave-assisted extraction for environmental analyses. *American Environmental Laboratory.* 7(5): 26-27.

- Rice, D.W. 1998. Marine mammals of the world. Systematics and distribution. Special Publication No. 4. *The Society for Marine Mammalogy*. Allen Press. USA. 231 pp.
- Roden, G.I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. P. 30-58. *En*: T.H. van Andel y G.S. Shore (Eds.). *Marine Geology of the Gulf of California*. American Association of Petroleum Geologists Memoirs No. 3.
- Rojo-Arreola, L., M. Salinas-Zacarías, y J. Urbán. 2001. Distribution and movements of bottlenose dolphin females. P. 181. *En*: Abstracts of the 14<sup>th</sup> Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Vancouver, Canada. 262 pp.
- Ross, G. y V. Cockcroft. 1990. Comments on Australian bottlenose dolphins and the taxonomic status of *Tursiops aduncus* (Ehrenberg, 1832). P. 101-128. *En*: S. Leatherwood y R.R. Reeves (Eds.). *The Bottlenose Dolphin*. Academic Press. USA. 653 pp.
- Ruiz-Castro, R.I. 2002. Relación trófica entre el cachalote (*Physeter macrocephalus*) y el calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California mediante el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 48 pp.
- Schell, D., B. Barnett y K. Vinette. 1998. Carbon and nitrogen isotope ratios in zooplankton of the Bering, Chukchi and Beaufort Seas. *Marine Ecology Progress Series*. 162: 11.23.
- Sellas, A., P. Rosel y R. Wells. 2001. Genetic differentiation between inshore and coastal bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Gulf of Mexico using mitochondrial DNA sequences. P. 193. *En*: Abstracts of the 14<sup>th</sup> Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Vancouver, Canada. 262 pp.
- Shane, S. 1990. Behavior and ecology of the bottlenose dolphin at Sanibel Island, Florida. P. 245-265. *En*: S. Leatherwood y R.R. Reeves (Eds.). *The Bottlenose Dolphin*. Academic Press. USA. 653 pp.

- Shane, S., R. Wells y B. Würsig. 1986. Ecology, behavior and social organization of bottlenose dolphin: A review. *Marine Mammal Science*. 2(1): 34-63.
- Smit, A. 2001. Source identification in marine ecosystems. P. 219-245. *En*: M. Unkovich., J. Pate, A. McNeill y D. Gibbs (Eds.). *Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems*. Kluwer Academic Publishers. Holanda. 289 pp.
- StatSoft, Inc. 2001. STATISTICA (Data analysis software system). Version 6. U.S.A. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Tasev, T., J. Wang, B. White y H. Schwarcz. 2001. Stable isotope ratios of two species of bottlenose dolphins (genus: *Tursiops*) in Chinese waters. P. 210. *En*: Abstracts of the 14<sup>th</sup> Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Vancouver, Canada. 262 pp.
- Tieszen, L., T. Boutton, K. Tesdahl y N. Slade. 1983. Fractionation and turn-over of stable carbon isotopes in animal tissues: implication for  $\delta^{13}\text{C}$  analysis of diet. *Oecologia*. 57:32-37.
- Todd, S., P. Ostrom, J. Lien y J. Abrajano. 1997. Use of biopsy samples of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) skin for stable isotope  $\delta^{13}\text{C}$  determination. *Journal Northwest Atlantic Fishery Science*. 22: 71-76.
- Torres, L., P. Rosel, C. D'Agrosa y A. Read. 2003. Improving management of overlapping bottlenose dolphin ecotypes through spatial analysis and genetics. *Marine Mammal Science*. 19(3): 502-514.
- Urbán, R.J. 1983. Taxonomía y distribución de los géneros *Tursiops*, *Delphinus* y *Stenella* en las aguas adyacentes a Sinaloa y Nayarit, México (Cetacea: Delphinidae). Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 86 pp.

- Urbán, J., A. Gómez, M. Palmeros y G. Velásquez. 1997. Los mamíferos marinos de la Bahía de La Paz, B.C.S. P. 201-236. *En: R.J. Urbán y M. Ramírez (Eds.). La Bahía de La Paz, investigación y conservación.* UABCS-CICIMAR-SCRIPPS. México. 345 pp.
- Urbán, J. y L. Rojas. 1999. Los programas de conservación de mamíferos marinos. P. 541-573. *En: H.M. Rodríguez y C. Hernández (Eds.). Océanos: ¿Una fuente inagotable de recursos?* UNAM-SEMARNAP. México. 589 pp.
- Waerebeek, K., J. Reyes, A. Read y J. McKinnon. 1990. Preliminary observations of bottlenose dolphins from the Pacific Coast of South America. P. 143-154. *En: S. Leatherwood y R.R. Reeves (Eds.). The Bottlenose Dolphin.* Academic Press. USA. 653 pp.
- Walker, W. 1981. Geographical variation in morphology and biology of bottlenose dolphins (*Tursiops*) in the Eastern North Pacific. NOAA/NMFS Southwest Fisheries Center Administrative Report. No. LJ-81-03C. USA. 21 pp.
- Walker, J., C. Potter y S. Macko. 1999. The diets of modern and historic bottlenose dolphin populations reflected through stable isotopes. *Marine Mammal Science*. 15(2): 335-350.
- Wells, R., A. Irvine y M. Scott. 1980. The social ecology of inshore odontocetes. P. 263-317. *En: L. Herman (Ed.). Cetacean behaviour: mechanisms and functions.* John Wiley and Sons. USA. 463 pp.
- Wells, R. y M. Scott. 2002. Bottlenose dolphins. *Tursiops truncatus* and *T. aduncus*. P. 122-128. *En: W. Perrin, B. Würsig y J. Thewissen (Eds.). Encyclopedia of Marine Mammals.* Academic Press. USA. 1414 pp.
- Würsig, B. y T.A. Jefferson. 1990. Methodology of photo-identification for small cetaceans. P. 43-52. *En: P. Hammond, S.A. Mizroch y G.P. Donovan (Eds.). Individual recognition of cetaceans: Use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters. Report of the International Whaling Commission.* (Special issue 12) Cambridge, 440 pp.

“Más allá de los alcances de esta investigación, y de la vida misma en el planeta, este trabajo está dedicado a todos aquellos que creen, y que a pesar de todo siguen creyendo y que también, siguen luchando. Porque es cierto que a las personas no se les mide de los pies a la cabeza, pero tampoco de la cabeza al cielo, sino de la mente al corazón.”