



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA**

**VARIACIÓN ISOTÓPICA DEL  $\delta^{13}\text{C}$  Y  $\delta^{15}\text{N}$  EN MANTA GIGANTE,  
*MANTA BIROSTRIS* (DONDDORFF, 1798), DEL CARIBE  
MEXICANO**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS  
(BIOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:  
**MARÍA ISABEL DAMIÁN GUILLÉN**

**TUTOR: DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA**  
Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología

**COMITÉ TUTOR:**  
DR. XAVIER CHIAPPA CARRARA Unidad Académica SISAL  
DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología  
DR. MARTÍN F. SOTO JIMÉNEZ Instituto de Ciencias del Mar y Limnología  
DR. JAVIER TOVAR ÁVILA Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología

**MÉXICO, D. F. AGOSTO, 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*

Universidad Nacional Autónoma de México



**Variación isotópica del  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en manta gigante,  
*Manta birostris* (Donndorff, 1798) del Caribe mexicano.**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS  
(BIOLOGÍA MARINA)

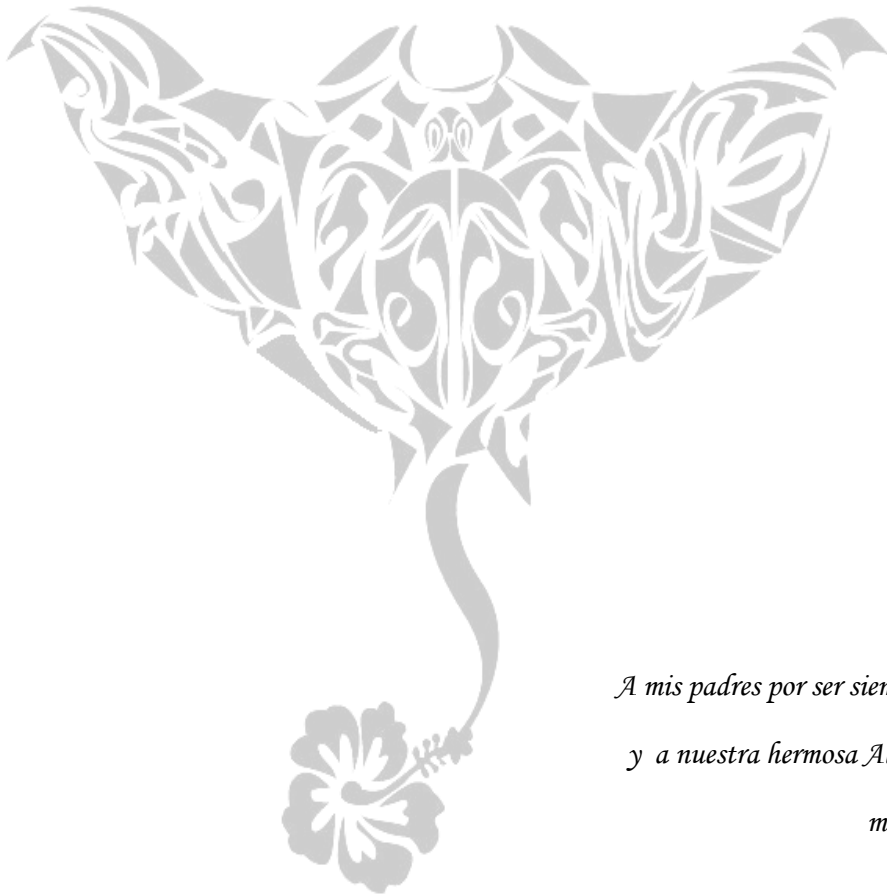
PRESENTA:  
**MARÍA ISABEL DAMIÁN GUILLÉN**

**TUTOR: DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA**

**COMITÉ TUTOR:**  
DR. XAVIER CHIAPPA CARRARA  
DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO  
DR. MARTÍN F. SOTO JIMÉNEZ

**ASESOR EXTERNO:**  
DR. YASSIR E. TORRES ROJAS

**México, D.F. 2014**



*A mis padres por ser siempre mi apoyo y fuente de cariño,  
y a nuestra hermosa Aleninchen, para que descubras las  
maravillas de este hermoso mundo.*

*Me ke aloha*

*Hiiapo o ke kai 🌸*

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia. Mis padres, porque siempre están ahí para nosotras, enseñándonos a ser mejores personas cada día y a buscar nuestros sueños. Mi hermana, por su cariño y apoyo aún a la distancia y por regalarnos a un angelito que alegra más nuestras vidas.

Al Dr. Felipe Galván Magaña por su apoyo, interés y comentarios durante la realización de este proyecto. Por su carisma, sencillez y personalidad tan únicas como él mismo.

Al Dr. Yassir E. Torres Rojas por su apoyo incondicional en todo momento, por sus comentarios y sugerencias para enriquecer este trabajo.

A mi comité tutorial, Dra. Laura Sánchez por su amplia disposición en colaborar en este trabajo, su apoyo en la revisión de las muestras de zooplacton y por permitir acercarme a su equipo de trabajo. Dr. Xavier Chiappa, Dr. Martín Soto, Dr. Javier Tovar por el tiempo invertido y comentarios dedicados para mejorar mi trabajo. Gracias por compartir su vasta experiencia conmigo.

Al M. en C. Javier Hernández por su apoyo y orientación en la identificación del zooplancton y por facilitarme en material de trabajo.

Al CICIMAR por permitirme incorporarme a su institución, facilitarme la asistencia a clases que favorecieron mi formación académica.

A CONACYT por el apoyo económico otorgado.

Al PCMyL por su apoyo durante el posgrado y por permitirme seguir avanzando en el campo de la investigación.

A los integrantes del proyecto “Determination of movement, habitat use, filtration mechanics and diet/food preference of manta rays off the Yucatan Peninsula MEXUS-CONACYT” Natali, Silvia, Iván, Daniel, Ana y Óscar por un gran trabajo en equipo, siempre apoyándose unos a otros para el mejor desarrollo de cada uno de nuestros trabajos.

A mis amigos de siempre, Bárbara, Dulce, Laura, Lupe, Brenda, Sathya, Juan Carlos y Fabián por estar siempre ahí y permitirme saber lo afortunada que soy al tenerlos en mi vida. A los nuevos amigos, Paola, Andrea, Claudia, Iván, José Miguel, Vane, Yassir y Daniel que hicieron de esta una experiencia tan placentera.

A Vanessa y Yassir, gracias por su amistad sincera, apoyo, compañía, “raytes” y convivencias, porque lograban que no se extrañara tanto el hogar, La Paz no hubiera sido igual sin ustedes. Infinitamente gracias.

A Felipe Arriaga, por estar cada día y cada hora de este proyecto apoyándome, escuchándome y acompañándome aún a la distancia. Por todo el cariño y paciencia hacia mí desde el primer momento, le diste un toque especial a esta experiencia.

# ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

1. INTRODUCCIÓN	7
2. ANTECEDENTES	9
2.1 Descripción de la especie	9
2.2 Trabajos relacionados	11
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. HIPÓTESIS	16
5. OBJETIVO	16
5.1 Objetivos particulares	16
6. ÁREA DE ESTUDIO	17
7. MATERIALES Y MÉTODOS	20
7.1 Trabajo de campo	20
7.1.1 Búsqueda y colecta de biopsias	20
7.1.2 Arrastres de zooplancton	21
7.2 Trabajo de laboratorio	21
7.2.1 Separación de muestras	22
7.2.2 Preparación de las muestras para análisis isotópicos	22
7.3 Trabajo de gabinete	23
7.3.1 Análisis de datos	23
8. RESULTADOS	25
8.1 Información general del muestreo	25
8.2 <i>Manta birostris</i>	25
8.3 Zooplancton	29
8.4 Depredador y presas	35
9. DISCUSIÓN	40
9.1 Análisis isotópico	43
9.2 Modelos de mezcla	46
10. CONCLUSIONES	48
11. RECOMENDACIONES	49
12. BIBLIOGRAFÍA	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	a) Características morfológicas de una móbula (tomado de McEachran y Notarbartolo di Sciara, 1995); b) vista dorsal de <i>Manta birostris</i> (tomada de McEachran y Carvalho, 2002).	.....	10
<b>Figura 2.</b>	Distribución mundial de <i>Manta birostris</i> (tomado de Marshall <i>et al.</i> , 2006).	.....	12
<b>Figura 3.</b>	Mapa del área de estudio; a) ANP Yum-Balam; b) ANP Isla Contoy (tomado de INE, 2007 e INEGI, 2011).	.....	18
<b>Figura 4.</b>	Condiciones térmicas durante la primavera sobre la plataforma de Yucatán. a) Topografía (m) de la isoterma de 22.5°C, b) temperatura en el fondo y corriente estimada mediante boyas (tomado de Monreal-Gómez <i>et al.</i> , 1999).	.....	19
<b>Figura 5.</b>	Estaciones de muestreo fijas en las zonas de avistamientos aéreos de elasmobranquios filtradores (tomado y modificado de Cárdenas-Palomo, 2007).	.....	21
<b>Figura 6.</b>	Distribuciones a) no normal del $\delta^{13}\text{C}$ y b) normal del $\delta^{15}\text{N}$ .	.....	27
<b>Figura 7.</b>	Valores promedio y desviaciones estándar de a) $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ y b) relación C/N por sexos.	.....	27
<b>Figura 8.</b>	Valores promedio y desviaciones estándar de a) $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ y b) relación C/N por tipo de tejido.	.....	28
<b>Figura 9.</b>	Valores promedio y desviaciones estándar de a) $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ y b) relación C/N por año de muestreo.	.....	29
<b>Figura 10.</b>	Fotografías de diferentes grupos identificados en el zooplancton; a) Nauplios, b) Misydáceos, c) huevos de peces y d) copépodos (tomadas por Isabel Damián).	.....	30
<b>Figura 11.</b>	Distribuciones no normales del a) $\delta^{13}\text{C}$ y b) $\delta^{15}\text{N}$ .	.....	31
<b>Figura 12.</b>	Valores promedio y desviaciones estándar de a) $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ y b) C/N de zooplancton por años.	.....	32
<b>Figura 13.</b>	Valores promedio y desviaciones estándar de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ por grupo de zooplancton por año de muestreo.	.....	33
<b>Figura 14.</b>	Valores promedio y desviaciones estándar de las relaciones C:N por grupo de zooplancton por año de muestreo.	.....	34
<b>Figura 15.</b>	Valores promedio y desviaciones estándar de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ anuales por grupo de zooplancton y <i>M. birostris</i> .	.....	36



<b>Figura 16.</b>	a) Distribuciones promedio y desviaciones estándar de las diferentes fuentes (presas) y señales isotópicas del depredador. b) Histogramas de la contribución estimada de cada presa.	.....	37
<b>Figura 17.</b>	Distribuciones promedio y desviaciones estándar de las diferentes fuentes (presas) y señales isotópicas de cada tejido e histogramas de la contribución estimada de cada presa. a) y b) dermis, c) y d) epidermis, e) y f) piel.	.....	38
<b>Figura 18.</b>	Distribuciones promedio y desviaciones estándar de las diferentes fuentes (presas) y señales isotópicas por año de muestreo e histogramas de la contribución estimada de cada presa. a) y b) 2008; c) y d) 2010; e) y f) 2011.	.....	39
<b>Figura 19.</b>	Distribución mundial del género <i>Manta</i> y registro de <i>M. cf. birostris</i> en el mar Caribe (tomado de Marshall <i>et al.</i> , 2009).	.....	40

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Registros de <i>Manta birostris</i> (MB) y arrastres de zooplancton (ZP) realizados mensualmente en un periodo de tres años.	.....	25
<b>Tabla 2.</b>	Registro mensual y anual de sexos de <i>Manta birostris</i> . Hembras (H), machos (M) y sin registro (SR).	.....	25
<b>Tabla 3.</b>	División de biopsias de <i>Manta birostris</i> por tipo de tejido. Piel (P), epidermis (E) y dermis (D).	.....	26
<b>Tabla 4.</b>	Lista de grupos identificados de zooplancton en los arrastres realizados durante los años de muestreo.	.....	30
<b>Tabla 5.</b>	Intervalos (Min.; Max.), promedio ( $\bar{X}$ ) y desviaciones estándar ( $\pm$ ) de $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ expresados en partes por mil (‰) y relación C/N por grupo de zooplancton con promedios para cada año de muestreo.	.....	32

## RESUMEN

El estudio de los isótopos estables  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  en *Manta birostris* ha sido de gran utilidad para el conocimiento de su ecología trófica. Debido a las características de esta técnica resulta ser poco invasiva para los organismos durante la obtención de las muestras. *M. birostris* es una especie altamente migratoria con distribución mundial en zonas tropicales y subtropicales, representa un gran interés turístico por su tamaño y carácter dócil, sin embargo aún se desconocen varios aspectos de su biología y su actual estado en IUCN de casi amenazada incrementa la necesidad de conocer más acerca de esta. El objetivo de este trabajo es conocer las variaciones isotópicas de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  en diferentes tejidos de *M. birostris* del Caribe mexicano, analizando características intraespecíficas y en distintos periodos, así como el porcentaje de aportación del alimento a su señal isotópica. Los muestreos fueron efectuados durante los meses de mayo a agosto del 2008, 2010 y 2011, se obtuvieron un total de 111 registros de *M. birostris*, 70 biopsias y 46 arrastres de zooplancton. El 2010 fue el año con más avistamientos, principalmente de hembras. La proporción de sexos registrada para este estudio fue de 6.7 H:M. Los valores promedio de *M. birostris* fueron de  $-14.4\text{‰}$  para  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $8.3\text{‰}$  para  $\delta^{15}\text{N}$ . El análisis por sexos no mostraron diferencias significativas en el caso de  $\delta^{13}\text{C}$  y la proporción C/N, sin embargo existieron diferencias significativas en  $\delta^{15}\text{N}$  entre los grupos de hembras y organismos sin registro de sexo. Para los tejidos se encontraron diferencias significativas en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y C/N indicando distintas tasas metabólicas de los tejidos o la aportación isotópica de diferentes fuentes de alimento a cada tejido. No se registraron diferencias significativas en  $\delta^{13}\text{C}$  con los años, lo cual indica una misma zona de alimentación, sin embargo la diferencia significativa registrada para  $\delta^{15}\text{N}$  indica un cambio en la dieta, esto en relación a las condiciones ambientales que se presentaron cada año. Se registraron siete grupos principales de zooplancton con un valor promedio de  $-18.1\text{‰}$  de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $8.4\text{‰}$  de  $\delta^{15}\text{N}$ . Para conocer el porcentaje de aportación de cada grupo de zooplancton a los tejidos de *M. birostris* se utilizó el programa MixSIR, el cual indicó que el grupo de copépodos (38%) y el de larvas de peces (36%) son los que contribuyen en mayor proporción a la señal isotópica de los tejidos. En el caso de la piel y dermis el grupo con mayor aportación fue el de larvas de peces, en el caso de la epidermis fue el grupo de los copépodos. Se observa una aportación de distintos grupos de zooplancton para cada tejido.

**Palabras clave:** *Manta birostris*, isótopos estables,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , modelos de mezcla, Caribe mexicano.

## ABSTRACT

The study of stable isotopes  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  in *Manta birostris* has been useful for understanding their trophic ecology. Due to the characteristics of this technique results less invasive for the organisms during sample collection. *M. birostris* is a highly migratory species with worldwide distribution in tropical and subtropical areas, also is a great tourist attraction for its size and docile nature, however, several aspects of their biology are still unknown and their current status in IUCN as near threatened increases the need to know more about this. The aim of this study was to determine the isotopic variations of  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  in different tissues of *M. birostris* the Mexican Caribbean, analyzing intraspecific characteristics and at different times, the percentage contribution of food to their isotopic signal. Sampling was conducted during the months of May to August 2008, 2010 and 2011, a total of 111 records *M. birostris*, 70 biopsies and 46 zooplankton tows were obtained. 2010 was the year with more sightings, mainly females. The sex ratio for this study was 6.7 H: M. The average values of *M. birostris* were -14.4‰ for  $\delta^{13}\text{C}$  and 8.3‰ for  $\delta^{15}\text{N}$ . Gender analysis showed no significant differences in the case of  $\delta^{13}\text{C}$  and the ratio C/N, however showed no significant differences in  $\delta^{15}\text{N}$  between groups females and sex organisms without registration. For tissues were significant differences in the values of  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  and C/N indicating different metabolic rates of tissues or the isotopic contribution of different food sources to each tissue. No significant differences in  $\delta^{13}\text{C}$  over the years were recorded, indicating a same feeding area, however the significant difference recorded for  $\delta^{15}\text{N}$  indicates a change in diet, this in relation to environmental conditions that were presented each year. Seven major groups of zooplankton with an average value of -18.1‰ to 8.4‰ for  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  were recorded. For know the percentage of contribution of each group of zooplankton in *M. birostris* tissues we used the MixSIR program, which indicated that the group of copepods (38%) and fish larvae (36%) contribute in a greater proportion of the isotopic signature of tissues. In the case of the skin and dermis the fish larvae group was greatest contribution, in the case of epidermis was the group of copepods. A contribution of different groups of zooplankton for each tissue is observed.

**Keywords:** *Manta birostris*, stable isotopes,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , mixture models, Mexican Caribbean.



---

## 1. INTRODUCCIÓN

La información generada a partir de estudios isotópicos ha demostrado ser una valiosa herramienta indicadora de los cambios que ocurren en los sistemas terrestres, acuáticos, marinos y atmosféricos (Dawson y Siegwolf, 2007). Actualmente los elementos de mayor interés para los estudios ecológicos son aquellos que se relacionan con los ciclos de la materia orgánica, como el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S) (Fry, 2006).

En el estudio de la ecología trófica de organismos marinos el uso de los isótopos de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) aporta información del hábitat en el cual los organismos consumen a sus presas. En el caso del  $\delta^{15}\text{N}$  indica el tipo de recursos utilizados, por lo que las variaciones isotópicas dentro de la población son indicadores de variación en la dieta (Bearhop *et al.*, 2004). La variación del  $\delta^{13}\text{C}$  representa la fuente de nutrición autotrófica en la base de la red trófica (DeNiro y Epstein, 1978).

El uso de esta herramienta representa un avance importante para la estimación de algunas variables difíciles de medir en sus redes de alimentación, tales como omnivorismo, posición trófica y la longitud de las cadenas alimenticias (Cabana y Rasmussen, 1996; Vander-Zanden *et al.*, 1999), por lo que las mediciones isotópicas pueden permitir la evaluación adecuada de los modelos teóricos y conducir a la representación más precisa de la estructura y función de la red alimenticia (Kling *et al.*, 1992). De tal forma permite entender mejor la dinámica de las redes de alimenticias y los flujos energéticos en los ecosistemas acuáticos (Vander-Zanden, 2001).

Una de las ventajas de esta técnica es la pequeña cantidad de muestra necesaria para el análisis, que resulta práctico, además de ser poco invasiva para el organismo estudiado (Ehleringer y Dawson, 1992). Su uso en diferentes especies es cada vez mayor, siendo una herramienta conveniente para el estudio de especies protegidas y/o poco comunes, como el caso de la manta gigante (*Manta birostris* Donndorff, 1798).

*Manta birostris* es un elasmobranquio que se distribuye en mares templados y tropicales de diferentes partes del mundo, asociado a zonas costeras con surgencias, montañas e islas marinas (Marshall *et al.*, 2006). A pesar de su gran tamaño y amplia distribución, las investigaciones biológicas y estudios



---

enfocados a esta especie son reducidos, al igual que las de otros organismos de la misma familia (Notarbartolo di Sciarra, 1987a).

La presencia de este elasmobranquio en el territorio nacional, en especial en el Caribe mexicano permite que forme parte de un atractivo turístico enfocado principalmente a la observación del tiburón ballena (*Rhincodon typus*), el cual se encuentra presente en esta región con la misma estacionalidad. Esta actividad se ha ido incrementando cada año, generando fuentes de trabajo y favoreciendo el desarrollo de las localidades.

La práctica de avistamiento y nado con tiburón ballena en la región está valuada en 1,000 USD por persona aproximadamente. En el 2008 se registró un total de 17,600 visitantes durante la temporada de mayo a septiembre, así como 150 guías y 140 permisos para la práctica (De la Parra-Venegas, 2008). La importancia de la manta gigante y el tiburón ballena en la zona está enfocada a las actividades lucrativas más que a su captura.

El presente trabajo está enfocado al estudio de las variaciones isotópicas de C y N en el tejido de la epidermis y dermis de *M. birostris* evaluando diferencias intraespecíficas en distintos años. Su finalidad es conocer más acerca de su hábitat trófico para poder inferir su ecología trófica en la zona de estudio.



---

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Descripción de la especie

*Manta birostris* se ubica taxonómicamente en del Orden Myliobatiformes, un taxón monofilético que incluye 10 familias, 27 géneros y 183 especies. Forma parte del Suborden Myliobatoidei, la Superfamilia Dasyatoidea, la Familia Myliobatidae (rayas águila) con tres subfamilias, siete géneros y 37 especies; Subfamilia Mobulinae (rayas diablo) con dos géneros (*Manta* y *Mobula*) y 10 especies (Nelson, 2006).

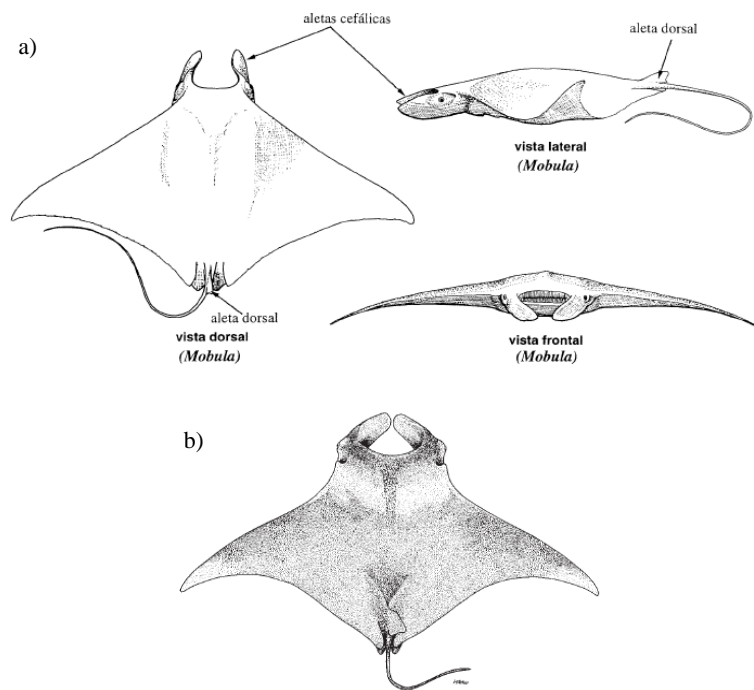
Las mantas, pertenecientes a la subfamilia Mobulinae, conocidas con el nombre común de móbulas (Fig. 1a), son estrictamente marinas y altamente migratorias, se distribuyen en zonas costeras y oceánicas de aguas tropicales y templadas. Se caracterizan morfológicamente por tener tres pares de extremidades funcionales (aletas cefálicas, aletas pectorales y las aletas pélvicas), la subdivisión anterior de las aletas pectorales el origen de las aletas cefálicas. El disco romboidal de algunas mantas llegan a medir más de 6m y pesar más de una tonelada. Son animales zooplanctófagos al igual que otros elasmobranquios como el tiburón ballena y el tiburón peregrino (Nelson, 2006).

Otras características que comparten las móbulas es la posición de la cabeza que sobresale de la superficie del disco sosteniendo las características aletas cefálicas. Los ojos y espiráculos se encuentran a los lados de la cabeza, la boca es terminal o ventral con dientes diminutos en una o ambas mandíbulas. Carece de aleta caudal, presenta una pequeña aleta dorsal en la base de la cola con o sin una larga espina aserrada (McEachran y Notarbartolo di Sciara, 1995; McEachran y Carvalho, 2002).

La piel es desnuda o más o menos rugosa, con dentículos. La coloración de la parte dorsal varía de gris a rojizo o café olivo a negro, siendo por la parte ventral de color amarillenta a blanca. Son vivíparas aplacentadas (del tipo trofonemata). Varias especies de móbulas son capturadas comercialmente para obtener filetes de las aletas y venderlos salados y frescos (McEachran y Notarbartolo di Sciara, 1995; McEachran y Carvalho, 2002). Recientemente se ha registrado un incremento en la captura de las mantas y móbulas a nivel mundial, por el creciente interés del mercado oriental debido al uso medicinal de los filamentos branquiales (Marshall *et al.*, 2006).



*Manta birostris* (Fig. 1b), forma grandes grupos y se han reportado asociados a lo largo de la plataforma continental donde existen eventos de surgencias, cadenas de islas y montañas submarinas. Se han registrado poblaciones locales de 50 hasta 350 organismos en lugares como Hawaii, Islas Revillagigedo, Mozambique, Polinesia francesa y Japón (Fig. 2) (McEachran y Notarbartolo di Sciara, 1995; Marshall *et al.*, 2006).



**Figura 1.** a) Características morfológicas de una móbula (tomado de McEachran y Notarbartolo di Sciara, 1995); b) vista dorsal de *Manta birostris* (tomada de McEachran y Carvalho, 2002).

Se estima que esta especie puede alcanzar tallas de hasta 9.1 m de ancho de disco (AD), sin embargo el organismo más grande registrado ha sido de 7.1 m AD (Bigelow y Schroeder, 1953; Last y Stevens, 1994; Alava *et al.* en Marshall, 2008). Esta especie al ser de hábitos pelágicos se encuentra en diferentes zonas de la columna de agua y a diferencia de otros batoideos no está asociada al fondo marino (Marshall, 2008).

La ubicación terminal de la boca es una diferencia que posee con respecto a otras móbulas, esta se encuentra dotada de pequeños dientes con forma de cabeza de alfiler, localizados únicamente en la mandíbula inferior. La coloración del cuerpo varía de negro, gris azulado a verduzco o café rojizo en algunas partes en la parte dorsal, en ocasiones con parches en los hombros, centralmente presentan coloraciones grisáceas con varios matices, negras hasta blancas con manchas oscuras (estas manchas



---

sirven para la identificación de individuos), en ocasiones se han registrado organismo albinos (Martin, 2003).

Los lugares en donde existen pesquerías dirigidas a este recurso son pocos (Filipinas, Mozambique, Madagascar, India, Sri Lanka, Brasil, Tanzania e Indonesia), en otros países se ha reportado su presencia dentro de las capturas incidentales de distintas pesquerías. Su gran tamaño, baja velocidad de nado y la tendencia de ser encontradas cerca de la superficie las hace vulnerables a la captura por pescadores, volviéndose una de las principales amenazas para las poblaciones de esta especie. El uso de los productos de la manta gigante (piel, hígado, aletas y filamentos branquiales) se hace generalmente de forma local sin embargo el reciente incremento en la demanda de algunos productos ha producido la captura de estos animales para su exportación (Marshall *et al.*, 2006).

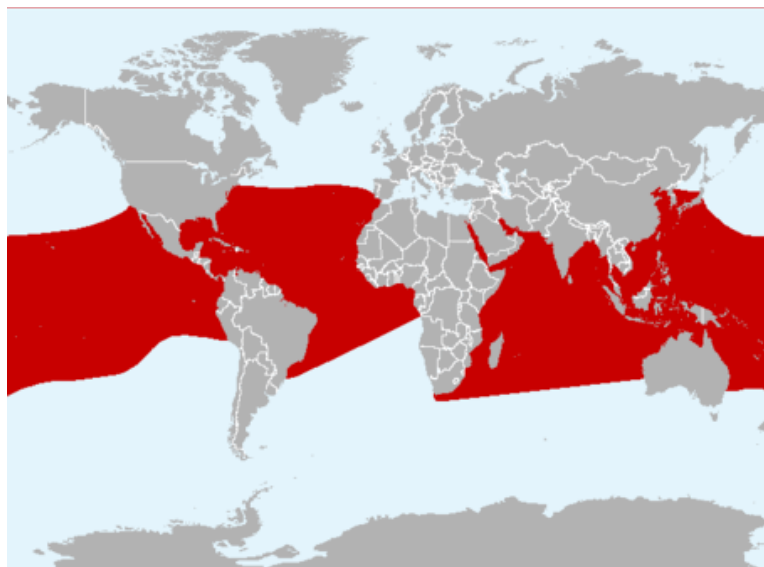
A pesar de su amplia distribución y gran tamaño los estudios enfocados a esta especie son limitados, por lo que se dificulta establecer la situación mundial actual de las poblaciones. La lista roja de especies amenazadas de la IUCN considera a esta especie dentro de la categoría “casi amenazada” (NT por sus siglas en inglés), la cual se asigna a aquellos taxones que han sido evaluados contra diferentes criterios, pero aún no califican para estar dentro de otra categoría como en: en peligro crítico, en peligro o vulnerable; sin embargo en un futuro próximo puede considerarse dentro de alguna de estas categorías (IUCN, 2010).

En México se tienen registros de *M. birostris*, los cuales se ubican dentro del Golfo de California, Islas Revillagigedo y en el Mar Caribe (Hinojosa-Álvarez, 2009). Actualmente en el territorio nacional a través de la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006 tiene protección especial al igual que a cinco especies más de móbulas (*Mobula japanica*, *M. thurstoni*, *M. munkiana*, *M. hypostoma* y *M. tarapacana*), las cuales no se podrán capturar o retener ejemplares de estas especies en aguas de jurisdicción mexicana (SAGARPA, 2007).

## **2.2 Trabajos relacionados**

La mayor parte de los estudios realizados para *M. birostris* se han generado en zonas de agregación y han sido escasas las oportunidades en las que se han logrado hacer disecciones (Marshall, 2008). Algunos de los trabajos publicados para la familia y la especie se mencionan a continuación:





**Figura 2.** Distribución mundial de *Manta birostris* (tomado de Marshall *et al.*, 2006).

Registros de diferentes conductas de alimentación, movimientos y reproducción se han reportado en diferentes áreas: Notarbartolo di Sciara y Hillyer (1989) fundamentaron la presencia, distribución, patrones de coloración y hábitos de dos móbulas, *Manta birostris* y *Mobula tarapacana* en el Caribe Venezolano, observando su mayor abundancia durante el verano y otoño, mencionan también el registro de *Mobula hypostoma*.

Yano *et al.* (1999) describieron las fases del cortejo, copula y post copula de un par de mantas gigantes en las Isla Ogasawara, Japón; Clark *et al.* (2007) describieron la eversión intestinal de una manta gigante en una zona de limpieza en aguas de Maui, Hawaii; Dewar *et al.* (2008) realizaron un monitoreo con marcas acústicas para registrar los movimientos y áreas de fidelidad de las mantas en el Parque Marino de Komodo, asociando el mayor número de visitas a la zona durante las mareas más altas de la luna llena y nueva.

Marshall *et al.* (2008) describieron las características físicas y métricas que fueron utilizadas en el diagnóstico y diagnóstico del feto de una manta gigante encontrada en las costas del Océano Índico; Barcott (2009) describió la técnica de alimentación de un grupo de mantas gigantes en un florecimiento de krill en la Bahía de Hanifarú en las Islas Maldivas del Océano Índico; Luiz Jr. *et al.* (2009) mencionaron la presencia de *Manta birostris* durante nueve años en el Parque Nacional Estatal de Laje de Santos, Brasil en los meses de Junio a Septiembre, asociados a la presencia de un frente



---

costero durante el invierno austral que genera un enriquecimiento en el plancton, además del registro de una manta con melanoma.

En México existen diversos trabajos enfocados a la caracterización biológica de varias especies de batoideos: Notarbartolo di Sciara (1987b) publicó registros de *Manta birostris* y otras nueve especies más del Orden Myliobatiformes dentro de las capturas comerciales de la pesca artesanal de la costa sureste del Estado de Baja California Sur.

Notarbartolo di Sciara (1988) efectuó un monitoreo en la parte suroeste del Golfo de California durante cuatro años de las diferentes especies de móbulas, menciona su presencia, uso y estacionalidad en la zona: *Mobula thurstoni* la utiliza como área de crianza y durante el verano como zona de alimentación y reproducción, al igual que *M. japonica*; en invierno observó *M. munkiana* y juveniles de *M. thurstoni*; mientras que *M. tarapacana* se registra como especie rara; estos resultados aumentaron el registro de móbulas para el área ya que solo existían reportes de la presencia de *M. birostris* y *M. lucasana*.

Abitia-Cárdenas *et al.* (1994), Balart *et al.* (1995) y Galván-Magaña *et al.* (1996) realizaron muestreos para la identificación de la ictiofauna en La Bahía de la Paz e Isla Cerralvo, BCS, confirmando la presencia de las cuatro especies de móbulas (*Mobula thurstoni*, *M. japonica*, *M. munkiana* y *M. tarapacana*). Schmitter-Soto *et al.* (2000) mencionan el avistamiento de *M. birostris* en la zona litoral centro y norte del estado de Quintana Roo.

La aplicación de isótopos estables en el estudio de la ecología trófica de organismos es cada vez más frecuente, algunos estudios en México están enfocados a elasmobranquios, entre ellos Velasco-Tarelo (2005) realizó un estudio sobre la ecología trófica del tiburó mako (*Isurus oxyrinchus*) en tres localidades de la costa occidental de BCS, a partir de análisis de contenido estomacal e isótopos estables de C y N en músculo dorsal observó que los valores isotópicos de organismos adultos son mayores en comparación a otros estadios de madurez.

Torres-Rojas (2006) realizó una comparación entre el contenido estomacal e isótopos estables de C y N del tiburón martillo (*Sphyrna lewini*) en las costas de Mazatlán, Sinaloa. Registró un incremento de 3‰ del  $\delta^{15}\text{N}$  entre niveles tróficos, reflejados en los cambios de dieta mensuales y registrándose un



---

mes después en el tejido. Concluye que *S. lewini* es una especie de hábitos oportunistas con cerca de 88 especies presa.

Hacohen-Domene (2007) en tres zonas de BCS colectó muestras de tiburón ballena (*Rhincodon typus*) encontrando un intervalo isotópico  $\delta^{13}\text{C}$  de -14.59‰ a -15.94‰ y  $\delta^{15}\text{N}$  de 12.03‰ a 12.98‰, concluyendo que en las áreas alimentación del tiburón ballena en esta zona es de origen costero. Ochoa-Díaz (2009) analizó la dieta e isótopos estables en e el tiburón martillo *Sphyrna zygaena* realizando una comparación entre cuatro zonas de la península occidental de BCS y el Golfo de California, observó una diferencia de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , siendo mayor en organismos juveniles, indicando una posible diferencia de dieta o una zona de alimentación diferente.

Sampson *et al.* (2010) estudiaron dos especies de móbulas (*Mobula thurstoni* y *M. japanica*) en la región suroeste del Golfo de California y determinan la posición trófica de ellas como consumidores secundarios.

Para el área del Caribe mexicano existen dos estudios. Hinojosa-Álvarez (2009) abordó la ecología trófica de *Manta birostris*, en el cual confirma que esta especie se alimenta en las zonas de surgencia resultantes de la corriente de Yucatán. Con base al análisis isotópico de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  registra un cambio en la zona de alimentación, pero no en su dieta la cual concluye que se compone principalmente por zoeas de crustáceos. Determinó que *M. birostris* y su presa potencial (zoeas de crustáceos) pertenecen al nivel trófico de carnívoros secundarios.

Alderete-Macal (2010) analizó isotópicamente la piel de *R. typus* del Caribe mexicano, los valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  mostraron que los tiburones ballena mantienen una alimentación costera. El  $\delta^{15}\text{N}$  indicó que su alimentación se basa en plancton, no se observa diferencias intraespecíficas.



---

### 3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente en México se considera a *M. birostris* como un recurso de gran interés en el sector turístico para la práctica de diversas actividades de ecoturismo y de turismo alternativo.

Debido a su protección a nivel nacional por la NOM-029-PESC-2006, la generación de estudios biológicos tradicionales no es posible, por lo que el presente estudio plantea el uso de análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno para conocer características básicas de la especie, como son los aspectos tróficos sin necesidad de coleccionar a los organismos completos.

Se plantea el uso de esta técnica debido a que las proporciones de los isótopos estables del carbono ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) presentes en el tejido del depredador están directamente relacionados con la de sus presas y se bioacumulan de forma predecible, ya que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  permanecen relativamente constantes de la presa al depredador incrementándose de 0-1‰ por cada nivel trófico; mientras que el  $\delta^{15}\text{N}$  incrementa de 3-4‰ (Peterson y Fry, 1987).

Esta técnica aporta otras ventajas con respecto a los análisis tradicionales de dietas, como, la información de la dieta asimilada y no únicamente la ingerida. La composición isotópica del tejido del depredador representa su comportamiento alimenticio a largo plazo, las proporciones de  $\delta^{13}\text{C}$  son utilizadas para distinguir entre patrones de alimentación costeros u oceánicos (France, 1995).

El presente trabajo está enfocado en conocer la variación isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en el tejido de la manta gigante y de su fuente de alimento, así como determinar si existen diferencias intraespecíficas; con la finalidad de aportar información biológica para desarrollar trabajos futuros para inferir la ecología trófica de esta especie, el monitoreo de aspectos poblacionales y ecológicos.



---

#### 4. HIPÓTESIS

- ◀ Debido a que no existen registros de segregación de sexos en *M. birostris* se espera encontrar una señal isotópica similar entre ellos reflejando la señal de las presas del área de muestreo.
- ◀ Considerando los estudios previos con la especie y en la zona, en la cual determinan al grupo de zoeas como las presas más importantes y por lo tanto la que contribuye en mayor proporción con la señal isotópica se espera encontrar resultados similares en los diferentes tejidos de la manta.

#### 5. OBJETIVO

Determinar la variación isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en dermis, epidermis y fuente de alimento de la manta gigante (*Manta birostris*) del Caribe mexicano.

##### 5.1 Objetivos Particulares

- ◀ Determinar los valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *M. birostris* y sus variaciones entre sexos (machos y hembras) y tejidos (dermis y epidermis).
- ◀ Identificar las especies presas importantes del zooplancton en la dieta de *M. birostris* en el Caribe mexicano basado en el conocimiento de la abundancia de especies del zooplancton y en la en la señal isotópica de *Manta birostris*.
- ◀ Determinar la relación C:N del zooplancton y de *M. birostris* a nivel intraespecífico.
- ◀ Conocer las variaciones isotópicas en el tejido entre sexos de *M. birostris* de forma temporal por un periodo de tres años.



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

El estado de Quintana Roo, ubicado al sureste de la República Mexicana colinda al norte con el estado de Yucatán y el Golfo de México, al este con el Mar Caribe, al sur con Belice y la Bahía de Chetumal y al oeste con los estados de Campeche y Yucatán. Cuenta con una extensión superficial aproximada de 42,532 km<sup>2</sup> (incluyendo las Islas Mujeres e Isla Holbox) (INEGI, 2011).

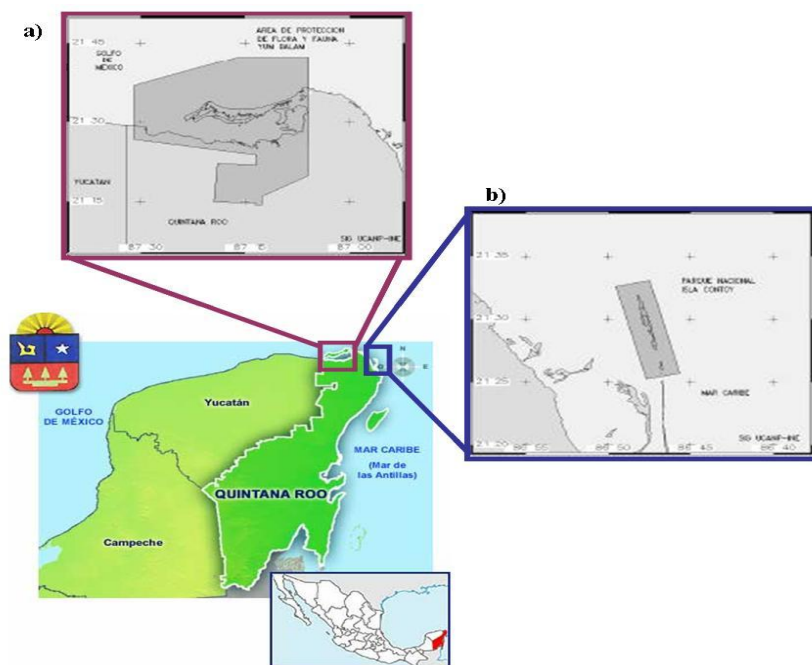
Dentro de este Estado se ubican las Áreas Naturales Protegidas (ANP) Yum-Balam e Isla Contoy, decretadas oficialmente en junio de 1994 y en febrero de 1998 respectivamente. La ANP Yum-Balam se encuentra dentro de la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna (APFF). Se localiza en el municipio de Lázaro Cárdenas y tiene una superficie de 154,052 ha. El límite sur se localiza aproximadamente a 20 km al noroeste de Kantunil Kin, abarcando la franja costera de la porción continental del municipio de Lázaro Cárdenas, la Laguna de Yalahau y la Isla Holbox; el límite norte se encuentra en el mar (dentro del canal de Yucatán) a 18 km aproximadamente al norte de la Isla Holbox (DOF, 2004; INE, 2007a).

El límite oriental concuerda con la división municipal entre los municipios de Lázaro Cárdenas e Isla Holbox (21°43' y 21°14' latitud N y 87°32' y 87°07' longitud O) (Fig. 3a). La región presenta ecotonos y ecosistemas con una gran biodiversidad neotropical, con especies endémicas, raras y en peligro de extinción. Se destacan dos especies de cocodrilos mexicanos, mamíferos marinos, tortugas caguama y carey, aves migratorias y locales, felinos silvestres, el jabalí de labio blanco y el tiburón ballena. Como especies de importancia comercial se registran el tiburón, la langosta, mero, el robalo y diversas especies de escama, pulpo y especies de invertebrados que son utilizadas principalmente para ornato. El uso de esta ANP es de tipo agrícola, pesquero, forestal y turístico (DOF, 2004; INE, 2007a).

La ANP Isla Contoy se encuentra dentro de la categoría de Parque Nacional (PN), se localiza en el municipio de Isla Mujeres, con una superficie de 176 ha. Este PN se encuentra en el extremo poniente del canal de Yucatán, precisamente en el límite del Golfo de México y el mar Caribe, constituyendo el elemento más septentrional del sistema insular del Caribe en México y punto terminal del sistema arrecifal que bordea la costa oriental de la península de Yucatán (21°27' y 21°32' latitud N y 86°46' y 86°47' longitud O) (Fig. 3b).



El parque es una de las islas caribeñas que conserva intactos sus ecosistemas, representa una zona de refugio y anidación de aves marinas, áreas de reproducción de especies acuáticas o subacuáticas en peligro de extinción y se registran algunos recursos pesqueros importantes como el tiburón, crustáceos, peces, langosta y pulpo rosado. Su uso es principalmente pesquero y turístico (DOF, 2004; INE, 2007b).



**Figura 3.** Mapa del área de estudio; a) ANP Yum-Balam; b) ANP Isla Contoy (tomado de INE, 2007 e INEGI, 2011).

Ambas ANP al estar ubicadas en la zona del Canal de Yucatán se encuentran influenciadas por la Corriente de Yucatán, derivada de la Corriente del Golfo y una surgencia estacional que genera un giro ciclónico (Ruíz-Rentería, 1989; Merino, 1992). Este evento se considera a nivel mundial la segunda surgencia con mayor importancia de la parte oriental del continente (Merino, 1992; en Sánchez-Velasco y Flores-Coto, 1994).

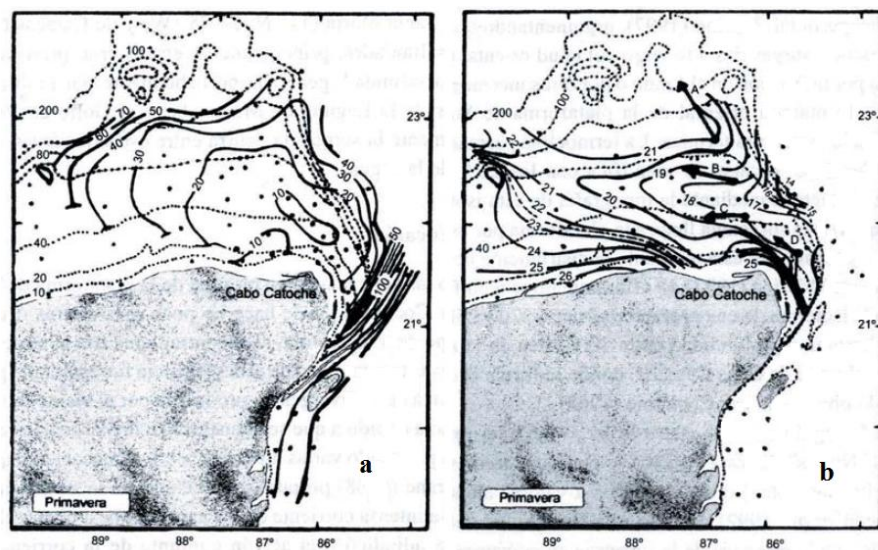
Esta surgencia es producida por la fricción en el fondo y por el estrangulamiento de la corriente de Yucatán (Merino, 1992); la termoclina permanente de la columna de agua en el Canal de Yucatán es de 22.5°C, por lo que la surgencia se puede detectar mediante la topografía de la isoterma. El afloramiento se manifiesta en primavera y verano, elevando la isoterma de una profundidad de 220 y





250 m en el oeste del canal de Yucatán, hasta una profundidad de 10 y 70 m en la zona de surgencia, siendo muy somera al norte de Cabo Catoche, donde se forma un domo de agua fría (Fig. 4) (Merino, 1997).

En el mar Caribe los vientos y las corrientes influyen fuertemente en el tamaño y la posición de los giros y la intensidad de las surgencias, las cuales resultan en una producción biológica alta (Bessonov *et al.*, 1971 en Okolodkov, 2003). Bogdanov (1967) y Bogdanov *et al.* (1968) (en Okolodkov, 2003) identificaron los movimientos verticales de aguas superficiales hasta 200m de profundidad mediante la posición de la termoclina, distribución de la temperatura, salinidad, fosfatos y oxígeno, con la cual observaron un estratificación estable en el agua del mar Caribe, los nutrientes no alcanzan la zona fótica, y que en la boca del canal de Yucatán se intensifica la Corriente de Yucatán la cual tiene una circulación transversal intensa que resulta en una surgencia penetrante a lo largo del margen noroeste hasta el Banco de Campeche.



**Figura 4.** Condiciones térmicas durante la primavera sobre la plataforma de Yucatán. a) Topografía (m) de la isoterma de 22.5°C, b) temperatura en el fondo y corriente estimada mediante boyas (tomado de Monreal-Gómez *et al.*, 1999).





---

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1 Trabajo de campo

Los muestreos efectuados entre la Isla Holbox e Isla Contoy durante los meses de mayo a septiembre del 2010 y 2011 como parte del proyecto “Determination of movement, habitat use, filtration mechanics and diet/food preference of manta rays off the Yucatan Peninsula MEXUS-CONACYT”. Las salidas fueron efectuadas a bordo de embarcaciones facilitadas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) o por parte del sector turístico local, con una longitud de eslora de 7.1 m y dos motores de 115 hp (caballos de fuerza) de capacidad.

#### 7.1.1 Búsqueda y colecta de biopsias

La búsqueda de los organismos se realizó de forma visual de organismos mediante un recorrido por el área de estudio. La presencia de manta se distinguía por la observación de sombras en la superficie de mar, la observación de una punta de las aletas pectorales y en ocasiones por saltos fuera del mar efectuados por los organismos.

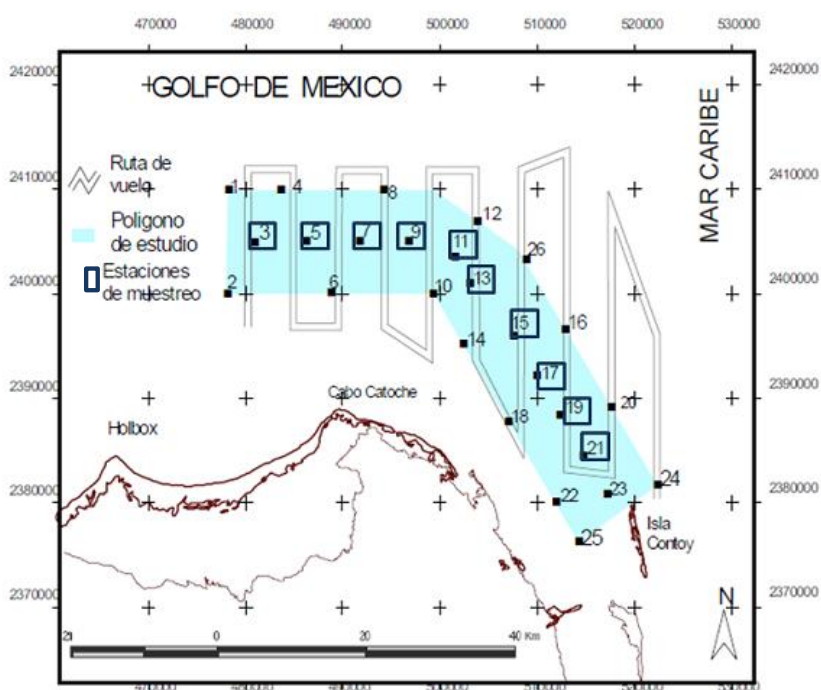
Al momento de identificar la presencia de una manta, se reducía la velocidad de la embarcación para poder acercarse a ella y se registrar los datos de la posición geográfica con un GPS. Posteriormente dos personas del grupo de trabajo con un equipo básico de buceo y una cámara digital submarina se introducían al agua. Se tomaron fotografías y/o video para realizar posteriormente una foto-identificación, a su vez se determinó de forma visual el sexo del organismo. De ser posible se obtenía una biopsia del animal de la parte dorsal cercana a la aleta dorsal con un arpón tipo hawaiano con punta modificada de acero inoxidable.

Las biopsias obtenidas fueron almacenadas en tubos Eppendorf y conservadas en un congelador industrial (Coriat, tapa tipo cofre) a -10°C hasta el momento de su análisis.



## 7.1.2 Arrastres de zooplancton

Se realizaron arrastres superficiales de plancton en zonas de avistamiento de manta y puntos fijos establecidos por otros estudios durante el monitoreo de elasmobranquios filtradores en el área (Cárdenas-Palomo, 2007; De la Parra-Venega, 2008). Los arrastres se hicieron a una velocidad de 2-3 nudos por un tiempo de 5 a 10 min en línea recta. Se utilizó una red cónica simple de boca de 50 cm de diámetro, 500  $\mu\text{m}$  de luz de malla, 150 cm de largo y al final de la cual se colocó un copo blando de la misma luz de malla.



**Figura 5.** Estaciones de muestreo fijas en las zonas de avistamientos aéreos de elasmobranquios filtradores (tomado y modificado de Cárdenas-Palomo, 2007).

Las muestras de zooplancton fueron almacenadas en viales etiquetados individualmente y permanecieron congeladas hasta el momento de ser procesadas.

## 7.2 Trabajo de laboratorio

El material biológico obtenido fue transportado y analizado en los laboratorios de Ecología de Peces y de Zooplancton del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) del Instituto Politécnico Nacional (IPN).



### **7.2.1 Separación de muestras**

Las muestras obtenidas de *Manta birostris* se descongelaron para separar los tejidos con un bisturí y se colocaron en viales etiquetados independientemente, los cuales se mantuvieron congelados nuevamente hasta el siguiente procedimiento. Entre cada separación de tejido el bisturí fue limpiado con una solución de acetona-metanol 1:1 y se dejó secar a temperatura ambiente.

Las muestras de zooplancton se descongelaron de manera gradual, cubriéndolas con gel para evitar la descomposición de la muestra. Una vez descongelada se procedió a la identificación de los grupos de zooplancton con base en la guía de identificación de Smith (1977); cada grupo fue separado y almacenado en tubos Eppendorf individuales y se mantuvieron congelados nuevamente hasta el procesamiento para el análisis isotópico.

### **7.2.2 Preparación de las muestras para análisis isotópico**

La preparación de las muestras para el análisis isotópico se basó en la metodología descrita por Román (2003b); que consiste en cubrir con papel aluminio la boca de cada tubo Eppendorf y realizar aproximadamente seis pequeños orificios para permitir la extracción de agua de la muestra por liofilización.

Los tubos fueron colocados dentro de vasos de vidrio introduciéndolos en un ultracongelador (Thermo Scientific Mod. 703) durante 15 min a una temperatura de  $-52^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, los vasos fueron conectados a la liofilizadora (LABCONCO, Mod. Free Zone 2.5). Este proceso consiste en eliminar el exceso de humedad del tejido, sometiéndolo a condiciones de ultracongelación ( $-46$  a  $-50^{\circ}\text{C}$ ) y al alto vacío (55MBR). La liofilización se realizó por 24h, si al concluir el tiempo la muestra se observaba aún húmeda se incrementaba el tiempo.

Una vez deshidratadas las muestras se realizó su homogenización moliéndolas en un mortero de ágata (se utilizó este material para evitar la introducción de carbonatos provenientes de otros materiales). El polvo obtenido se regresó al frasco de origen para su posterior pesado y encapsulado. Cabe señalar que entre cada muestra el mortero fue limpiado con solución de acetona-metanol 1:1 y se dejó secar a temperatura ambiente.



En una microbalanza (Mettler Toledo, Mod. 1127442766) se pesó aproximadamente  $1.0 \pm 0.1$  mg de cada muestra y se depositó dentro de una cápsula de estaño de 3.5x5 mm (Costech, Cod. 041074), sellándola y evitando dejar burbujas de aire. Las cápsulas fueron enviadas a los laboratorios isotópicos W. M. Keck Isotope Laboratory de la Universidad de California, Santa Cruz e Stable Isotopic Facility de la Universidad de Wyoming, donde se analizaron en un analizador elemental acoplado a un espectrómetro de masas (EA-IRMS por sus siglas en inglés) para conocer la composición de C y N de cada muestra.

Los valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  obtenidos de las muestras del 2010 y 2011 se agruparon con la base del 2008, a los cuales se les aplicó dos pruebas de normalidad (Kolmogorov y Shapiro-Wilks) utilizando el programa STATISTICA V 8.0.

### 7.3 Trabajo de gabinete

Se contó con datos isotópicos de biopsias de *Manta birostris* y de arrastres de zooplancton colectados en el año 2008 en la zona del presente estudio, los cuales fueron incorporados a la base de datos generada durante el presente estudio.

#### 7.3.1 Análisis de datos

Los valores de isótopos estables ( $\delta$ ) para *M. birostris* y los grupos de zooplancton se calcularon mediante las siguientes fórmulas (Park y Epstein, 1961):

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

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

Donde:

$\delta^{15}\text{N}$

$R_{\text{muestra}}$  = proporción entre los isótopos  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$

$R_{\text{estándar}}$  = nitrógeno atmosférico

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

$R_{\text{muestra}}$  = proporción entre los isótopos  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

$R_{\text{estándar}}$  = Pee Dee Belemnite (PDB)



---

La estimación de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  se realizó considerando cada una de las variables de sexo, temporada de colecta, tipo de tejido (piel, dermis y epidermis) y grupo de zooplancton.

Una vez determinados los principales grupos de zooplancton en las muestras, se realizó la comparación isotópica de C y N entre depredador (*Manta birostris*) y presas para determinar cuáles grupos de zooplancton consumidos son los asimilados por el depredador. Para conocer la contribución de cada presa en los tejidos del depredador se utilizó el programa MixSIR versión 1.0.4 (Semmens y Moore, 2008) que consiste en un modelo de mezclas de isótopos estables que utiliza un marco Bayesiano para determinar las distribuciones probables para la aportación proporcional de cada fuente (grupo de zooplancton) a nuestra “mezcla”.

Para este programa se delimitó como mínimo la elaboración de 1,000,000 de permutaciones o interacciones a partir de los promedios y desviaciones estándar de cada categoría, lo cual permite estimar las probabilidades de cada una de las fuentes para contribuir en la mezcla.



## 8. RESULTADOS

### 8.1 Información general del muestreo

Para este estudio se contó con una base de datos del 2008 la cual fue aportada como parte del mismo proyecto, cabe señalar que estas muestras fueron analizadas previamente en otro estudio, el cual se utilizó como punto de comparación para este estudio (Tabla 1).

**Tabla 1.** Registros de *Manta birostris* (MB) y arrastres de zooplancton (ZP) realizados mensualmente en un periodo de tres años.

	Mayo		Junio		Julio		Agosto		TOTAL	
	MB	ZP	MB	ZP	MB	ZP	MB	ZP	MB	ZP
2008	8	3	-	-	3	5	12	11	23	19
2010	17	-	9	-	16	6	37	3	79	18
2011	9	4	-	2	-	2	-	1	9	9
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>19</b>	<b>13</b>	<b>49</b>	<b>15</b>	<b>111</b>	<b>46</b>

### 8.2 *Manta birostris*

Durante los años de muestreo se registraron un total de 111 mantas tres, de las cuales 60 fueron hembras, 9 machos y 42 sin registro de sexo. Debido a las condiciones ambientales y la conducta de los organismos *in situ* fue imposible la identificación sexual de todos aquellos organismos ubicados. La mayor abundancia de organismos sexados fue durante el 2010 con un total de 67 reconocimientos, siendo los meses de mayo y agosto los de mayor abundancia de machos (n=2) y hembras (n=32) respectivamente. Los registros del 2008 indican que agosto también fue el mes con mayor registro de organismos (n=10), sin embargo a estos no fue posible determinar el sexo (Tabla 2).

**Tabla 2.** Registro mensual y anual de sexos de *Manta birostris*. Hembras (H), machos (M) y sin registro (SR).

	Mayo			Junio			Julio			Agosto			TOTAL		
	H	M	SR	H	M	SR	H	M	SR	H	M	SR	H	M	SR
2008	-	-	8	-	-	-	-	-	3	2	-	10	2	-	21
2010	12	5	-	-	-	9	14	2	-	32	2	3	58	9	12
2011	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>17</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>34</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>60</b>	<b>9</b>	<b>42</b>



La proporción total de sexos (H:M) observada durante los tres años de estudio fue de 6.7, siendo la misma para el 2010, año en que se registraron organismos de ambos sexos. En los demás años el registro de organismos hembras estuvo muy por arriba del número de machos registrados (Tabla 2).

De los 111 organismos registrados para el estudio, únicamente a 70 de ellos fue posible extraerles la biopsia necesaria para el análisis isotópico (2008: n=17; 2010: n= 43; 2011: n=9). Una vez separadas las biopsias por tipo de tejido (epidermis y dermis), se obtuvieron un total de 93 muestras. Las 17 muestras obtenidas durante el 2008 fueron procesadas como muestras de piel (Tabla 3).

**Tabla 3.** División de biopsias de *Manta birostris* por tipo de tejido. Piel (P), epidermis (E) y dermis (D).

	Mayo			Junio			Julio			Agosto			TOTAL		
	P	E	D	P	E	D	P	E	D	P	E	D	P	E	D
2008	3	-	-	2	-	-	-	-	-	12	-	-	17	-	-
2010	-	11	4	-	5	5	-	10	5	-	14	6	-	40	20
2011	-	9	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	7
TOTAL	3	20	11	2	5	5	-	10	5	12	14	6	17	49	27

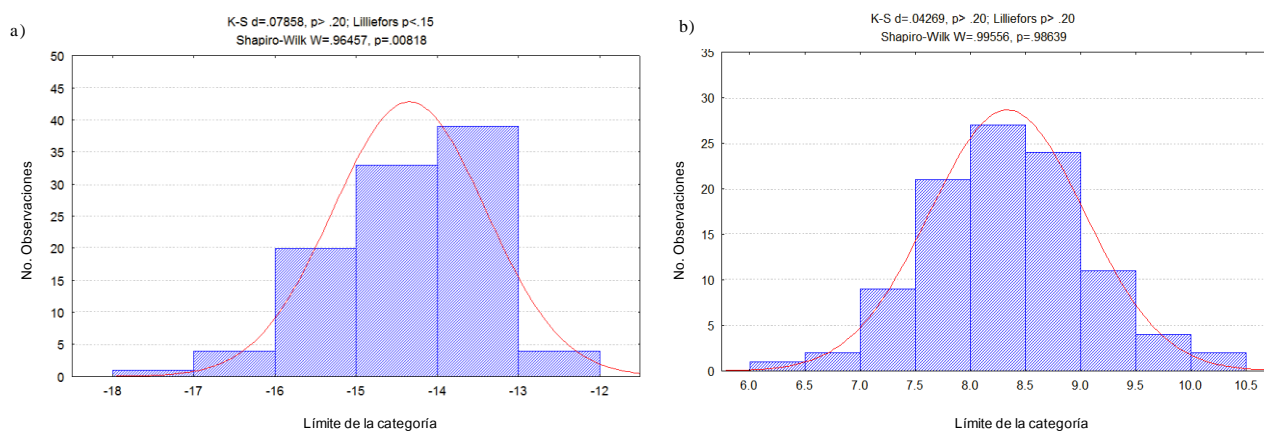
En el caso del  $\delta^{13}\text{C}$  el intervalo que se observó fue de -17.0 a -12.8‰ con un promedio ( $\bar{x}$ ) de  $-14.4 \pm 0.97\text{‰}$  con una distribución no normal (Fig. 6a). Para el  $\delta^{15}\text{N}$  el intervalo fue de 6.9 a 10.1‰ con promedio de  $8.3 \pm 0.65\text{‰}$  con una distribución normal (Fig. 6b).

A ambas variables se les aplicó una prueba de homogeneidad ANOVA, la cual fue no significativa ( $p > 0.05$ ), por lo que se realizó un análisis no paramétrico utilizando la prueba Kruskal-Wallis, para este análisis los datos fueron catalogados en variables dependientes ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) y variables independientes (sexo, año de estudio y tipo de tejido). Mientras que los valores la relación C/N tuvieron un intervalo de 2.2 a 3.4 con promedio de  $2.7 \pm 0.29$ .

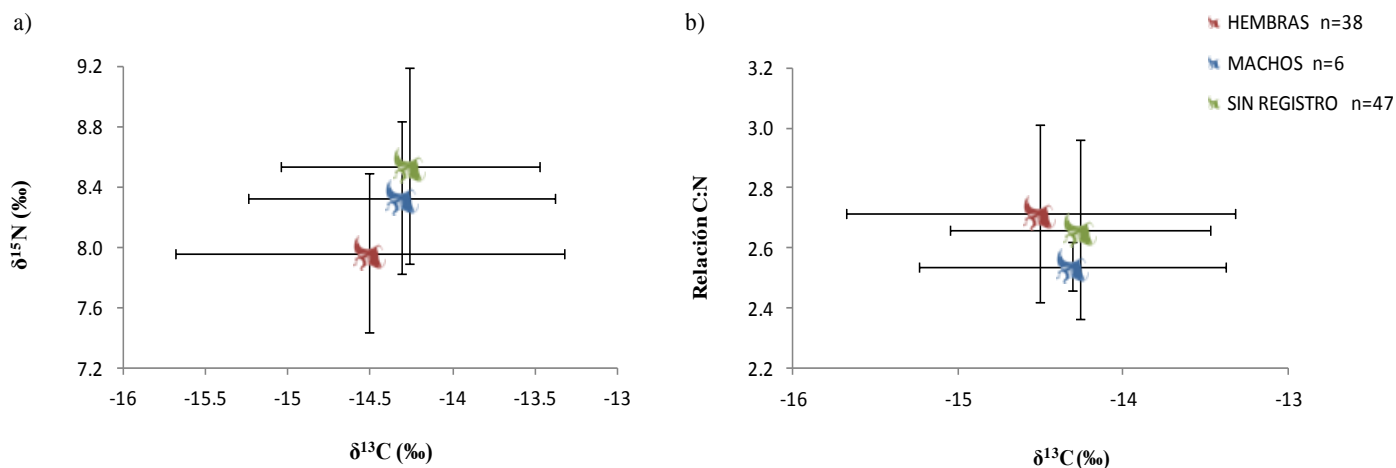
En el caso de la comparación de las razones isotópicas por sexo, las hembras presentaron valores de estuvieron dentro de in intervalo de  $\delta^{13}\text{C}$  -17.0 a -12.8‰ con un promedio de  $-14.5 \pm 1.18\text{‰}$  y de 6.9 a 9.2‰ con promedio de  $8.0 \pm 0.53\text{‰}$  para  $\delta^{15}\text{N}$ . Para los machos el intervalo de C y N estuvo dentro de -15.8 a -13.2‰ ( $\bar{x} = -14.3 \pm 0.93\text{‰}$ ) y de 7.8 a 9.1‰ ( $\bar{x} = 8.3 \pm 0.51\text{‰}$ ) respectivamente.



En el caso de los organismos a los que no fue posible sexar estuvieron dentro de los intervalos de -16.4 a -12.9 ( $\bar{x} = -14.3 \pm 0.79\%$ ) para el carbono y de 7.2 a 10.1‰ ( $\bar{x} = 8.5 \pm 0.65\%$ ) para el nitrógeno (Fig. 7a). Los intervalos observados para la relación C/N fueron para hembras de 2.3 a 3.3 ( $\bar{x} = 2.7 \pm 0.29$ ), para machos de 2.5 a 2.7 ( $\bar{x} = 2.5 \pm 0.08$ ) y para organismos sin sexar de 2.2 a 3.4 ( $\bar{x} = 2.7 \pm 0.30$ ) (Fig. 7b). Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y la relación C/N no fueron significativamente diferentes entre sexos [ $H = 0.54$ ; 2 gl. ( $p = 0.77$ )] y [ $H = 1.32$ ; 2 gl. ( $p = 0.52$ )] respectivamente. Sin embargo, los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre las hembras y los organismos sin sexar fueron significativamente diferentes [ $H = 16.38$ ; 2 gl. ( $p = 0.0003$ )].



**Figura 6.** Distribuciones a) no normal del  $\delta^{13}\text{C}$  y b) normal del  $\delta^{15}\text{N}$ .



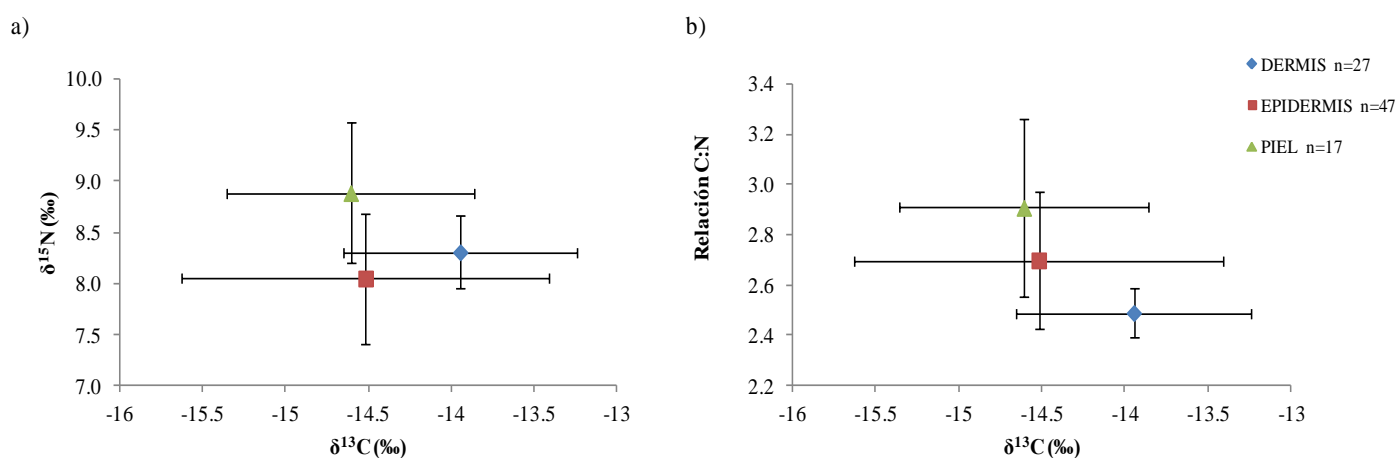
**Figura 7.** Valores promedio y desviaciones estándar de a)  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y b) relación C/N por sexos.





La dermis presentó valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de -15.8 a -12.8‰ ( $\bar{x} = -13.9 \pm 0.71\text{‰}$ ) y para  $\delta^{15}\text{N}$  de 7.5 a 9.0‰ ( $\bar{x} = 8.3 \pm 0.36\text{‰}$ ). Para la epidermis los valores estuvieron dentro de los intervalos de -17.0 a -12.8‰ ( $\bar{x} = -14.5 \pm 1.11\text{‰}$ ) para  $\delta^{13}\text{C}$ , de 6.9 a 9.8‰ ( $\bar{x} = 8.1 \pm 0.64\text{‰}$ ) para  $\delta^{15}\text{N}$ . En el caso de la piel los valores correspondieron a los intervalos de -15.6 a -13.1‰ ( $\bar{x} = -14.6 \pm 0.75\text{‰}$ ) para  $\delta^{13}\text{C}$  y de 7.5 a 10.1‰ ( $\bar{x} = 8.9 \pm 0.69\text{‰}$ ) para  $\delta^{15}\text{N}$  (Fig. 8a). Se encontraron diferencias significativas de  $\delta^{13}\text{C}$  [ $H = 6.8$ ; 2 gl. ( $p = 0.034$ )] y  $\delta^{15}\text{N}$  [ $H = 19.32$ ; 2 gl. ( $p = 0.0001$ )].

Los intervalos de la relación C/N correspondientes a la dermis fueron de 2.2 a 2.7 ( $\bar{x} = 2.5 \pm 0.10$ ), para la epidermis de 2.4 a 3.3 ( $\bar{x} = 2.7 \pm 0.27$ ) y para la piel de 2.2 a 3.4 ( $\bar{x} = 2.9 \pm 0.35$ ) (Fig. 8b). La relación C/N fue significativamente diferente [ $H = 17.20$ ; 2 gl. ( $p = 0.0002$ )] indicando la diferencia entre los tejidos.



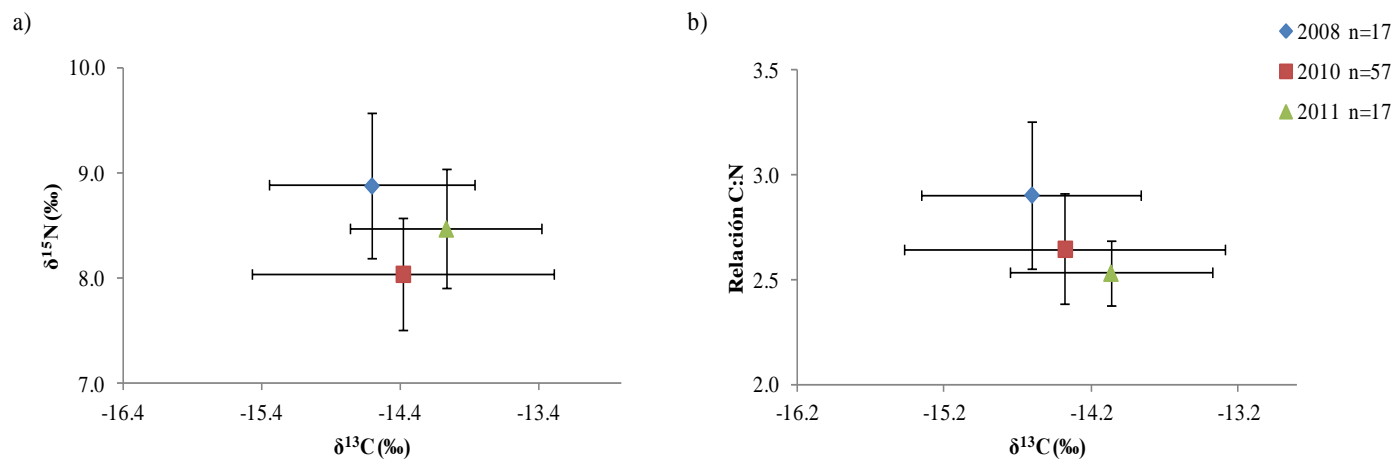
**Figura 8.** Valores promedio y desviaciones estándar de a)  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y b) relación C/N por tipo de tejido.

Los intervalos del 2008 fueron -15.6 a -13.1‰ ( $\bar{x} = -14.6 \pm 0.7\text{‰}$ ) para el C y de 7.5 a 10.1‰ ( $\bar{x} = 8.9 \pm 0.75\text{‰}$ ) para el N. Para el 2010 los valores se encontraron dentro de -17.0 a -12.8‰ ( $\bar{x} = -14.4 \pm 1.1\text{‰}$ ) para  $\delta^{13}\text{C}$  y de 6.9 a 9.2‰ ( $\bar{x} = 8.0 \pm 0.5\text{‰}$ ) para  $\delta^{15}\text{N}$ . En el caso del 2011 el intervalo fue de -15.5 a -12.9‰ ( $\bar{x} = -14.1 \pm 0.7\text{‰}$ ) para  $\delta^{13}\text{C}$ , mientras que para  $\delta^{15}\text{N}$  fue de 7.5 a 9.8‰ ( $\bar{x} = 8.5 \pm 0.75\text{‰}$ ) (Fig. 9a).

La relación C/N por años estuvo dentro de 2.2 a 3.4 ( $\bar{x} = 2.9 \pm 0.4$ ) para el 2008, para el 2010 de 2.3 a 3.3 ( $\bar{x} = 2.6 \pm 0.3$ ) y para el 2011 de 2.2 a 2.9 ( $\bar{x} = 2.5 \pm 0.2$ ) (Fig. 9b). En cuanto a la relación C/N fue de 2.2 a 3.4 ( $\bar{x} = 2.9 \pm 0.4$ ), 2.3 a 3.3 ( $\bar{x} = 2.6 \pm 0.3$ ) y de 2.2 a 2.9 ( $\bar{x} = 2.9 \pm 0.2$ ) para 2008, 2010 y



2011 respectivamente. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  no fueron significativamente diferentes entre los años [ $H = 2.9$ ; 2 *gl.* ( $p = 0.224$ )]. Sin embargo los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y de la relación C/N sí fueron significativamente diferentes [ $H = 21.32$ ; 2 *gl.* ( $p = 0.0000$ )] y [ $H = 10.84$ ; 2 *gl.* ( $p = 0.0045$ )], mostrando que existen diferencias entre los años de muestreo.



**Figura 9.** Valores promedio y desviaciones estándar de a)  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y b) relación C/N por año de muestreo.

### 8.3 Zooplancton

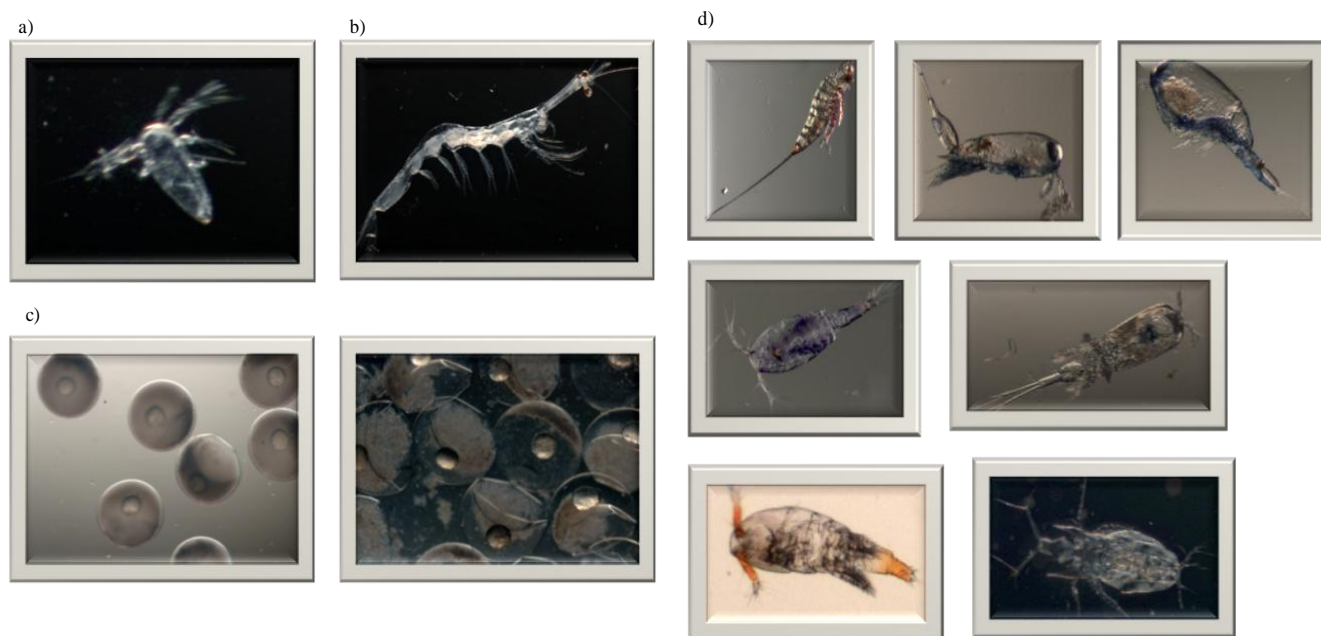
De los arrastres de zooplancton realizados durante los tres años de registro se obtuvieron 56 muestras (2008 n = 35; 2010 n= 10; 2011 n = 11) que fueron revisadas microscópicamente para identificar y separar los diferentes grupos de zooplancton que las constituían (Tabla 4; Fig. 10).

La cantidad de zooplancton en cada muestra fue muy variada por lo que no siempre fue posible reunir el peso necesario de cada grupo de zooplancton para ser analizado isotópicamente; de acuerdo al material por grupo de zooplancton obtenido del total de las muestras se separaron 56 submuestras con el peso necesario para realizar el análisis de isótopos.



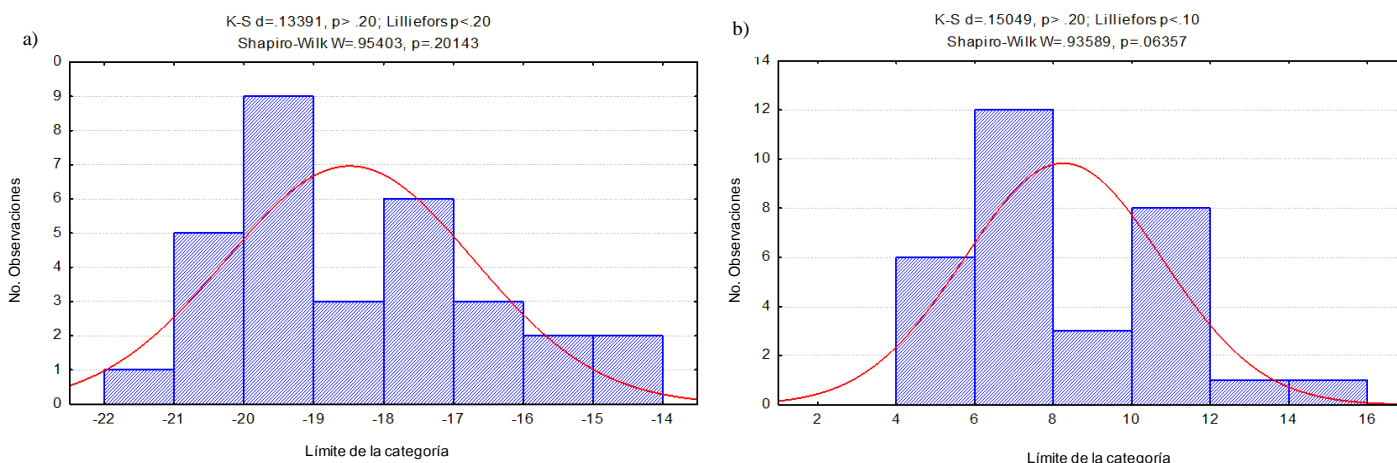
**Tabla 4.** Lista de grupos identificados de zooplancton en los arrastres realizados durante los años de muestreo.

	Grupos de zooplancton																	
	Pteropodos	Larvas peces	Sergéstidos	Copéodos	Apendeicularia	Misydáceos	Huevos peces	Zoeas	Quetognatos	Poliquetos	Ostrácodos	Nauplios	Foraminíferos	Decápodos	Radiolarios	Dinoflagelados	Hydroides	Cirrípedos
2008	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
2010				✓		✓	✓					✓	✓					
2011		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



**Figura 10.** Fotografías de diferentes grupos identificados en el zooplancton; a) Nauplios, b) Misydáceos, c) huevos de peces y d) copéodos (tomadas por Isabel Damián).

El intervalo que se registró para el  $\delta^{13}\text{C}$  fue de -21.3 a -14.7‰ con promedio ( $\bar{x}$ ) de  $-18.1 \pm 1.8\%$ , el intervalo registrado para el  $\delta^{15}\text{N}$  fue de 4.4 a 14.2‰ con promedio de  $8.4 \pm 2.3\%$ , mostró una distribución no normal en ambas variables (Fig. 11). Para estos datos se utilizó la prueba Kruskal-Wallis debido a su heterogeneidad, las variables utilizadas fueron  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  como dependientes y el año de estudio y el grupo de zooplancton como independientes. Los valores la relación C/N tuvieron un intervalo de 3.1 a 6.9 con promedio de  $4.7 \pm 1.1$ .



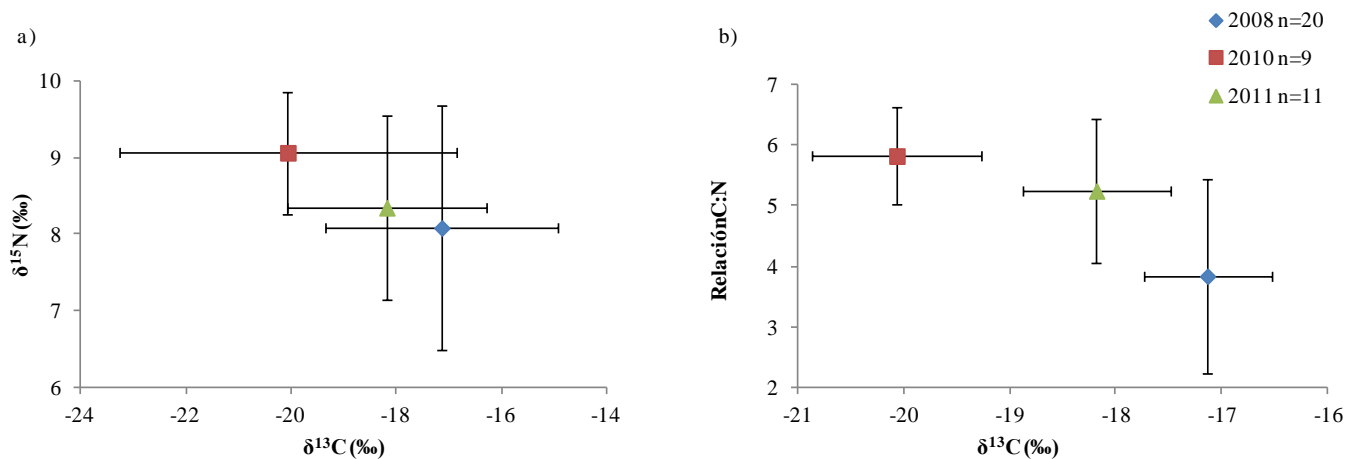
**Figura 11.** Distribuciones no normales del a)  $\delta^{13}\text{C}$  y b)  $\delta^{15}\text{N}$ .

Las muestras correspondientes al año 2008 estuvieron dentro del intervalo de -20.3 a -14.7‰ con promedio de  $-17.1 \pm 1.6\text{‰}$  para el  $\delta^{13}\text{C}$ , para el  $\delta^{15}\text{N}$  el intervalo fue de 5.3 a 14.2‰ con promedio de  $8.1 \pm 2.2\text{‰}$ . Para el año 2010 las muestras se encontraron en los intervalos de  $\delta^{13}\text{C}$  en -21.3 a -19.0‰ ( $\bar{x} = -20.1 \pm 0.8\text{‰}$ ), para el  $\delta^{15}\text{N}$  de 4.4 a 12.1‰ ( $\bar{x} = 9.1 \pm 3.2\text{‰}$ ). Para el 2001 el intervalo determinado para el  $\delta^{13}\text{C}$  fue de -20.1 a -16.8‰ ( $\bar{x} = -18.2 \pm 1.2\text{‰}$ ), para el  $\delta^{15}\text{N}$  el intervalo estuvo entre las 6.4 y 11.0‰ ( $\bar{x} = 8.3 \pm 1.9\text{‰}$ ) (Fig. 12a). La variable  $\delta^{13}\text{C}$  fue significativamente diferente [ $H = 16.13$ ; 2 gl. ( $p = 0.0003$ )], mientras  $\delta^{15}\text{N}$  no mostró diferencias significativas [ $H = 1.75$ ; 2 gl. ( $p = 0.4172$ )].

Los intervalos estimados para la relación C/N por año fueron, para 2008 de 3.1 a 4.7‰ ( $\bar{x} = 3.8 \pm 0.6\text{‰}$ ), para 2010 de 4.4 a 6.9‰ ( $\bar{x} = 5.8 \pm 0.8\text{‰}$ ) y para 2011 de 4.0 a 6.2‰ ( $5.2 \pm 0.7\text{‰}$ ) (Fig. 12b). Estos fueron significativamente diferentes entre los años de estudio [ $H = 24.06$ ; 2 gl. ( $p = 0.0000$ )].

A los valores obtenidos por cada grupo de zooplankton fueron agrupados según el año, como se muestra en la Tabla 5, en la cual se pueden observar los grupos más representativos por año, así como también sus respectivos intervalos, promedios y desviaciones estándar de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  (Fig. 13) y C/N (Fig. 14).

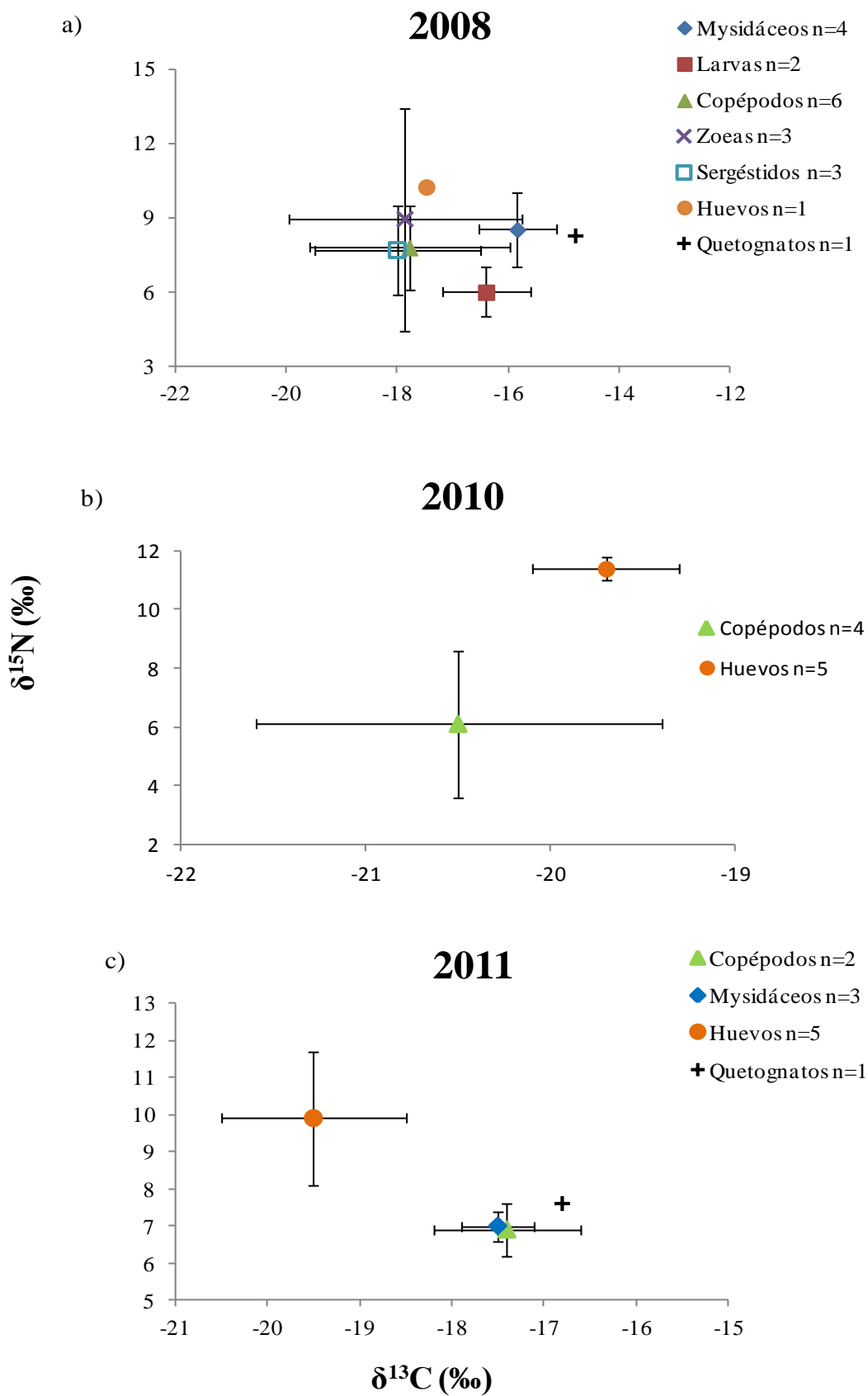
El  $\delta^{13}\text{C}$  [ $H = 16.46$ ; 6 gl. ( $p = 0.0115$ )], el  $\delta^{15}\text{N}$  [ $H = 17.93$ ; 6 gl. ( $p = 0.0064$ )] y la relación C/N [ $H = 15.75$ ; 6 gl. ( $p = 0.0151$ )] fueron significativamente diferentes, las probabilidades fueron menores a 0.05.



**Figura 12.** Valores promedio y desviaciones estándar de a)  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y b) C/N de zooplankton por años.

**Tabla 5.** Intervalos (Min.; Max.), promedio ( $\bar{X}$ ) y desviaciones estándar ( $\pm$ ) de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  expresados en partes por mil (‰) y relación C/N por grupo de zooplankton con promedios para cada año de muestreo.

		2008			2010			2011		
		$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C:N	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C:N	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C:N
Larvas peces	Min.	-17	5.3	3.4	-	-	-	-	-	-
	Max.	-15.8	6.7	3.5	-	-	-	-	-	-
	$\bar{X}$	-16.4	6.0	3.5	-	-	-	-	-	-
	$\pm$	0.8	1.0	0.1	-	-	-	-	-	-
Sergéstidos	Min.	-19.3	5.6	3.3	-	-	-	-	-	-
	Max.	-16.4	8.8	4.6	-	-	-	-	-	-
	$\bar{X}$	-18	7.7	4	-	-	-	-	-	-
	$\pm$	1.5	1.8	0.7	-	-	-	-	-	-
Copépodos	Min.	-20.3	6.3	3.1	-21.3	4.4	4.4	-18	6.4	4
	Max.	-14.7	10.3	4.7	-19	9.8	6.9	-16.8	7.4	4.5
	$\bar{X}$	-17.8	7.8	3.9	-20.5	6.1	5.5	-17.4	6.9	4.3
	$\pm$	1.8	1.7	0.7	1.1	2.5	1	0.8	0.7	0.4
Mysidáceos	Min.	-16.8	6.9	3.1	-	-	-	-17.7	6.6	4.9
	Max.	-15.2	10.5	3.9	-	-	-	-17	7.2	5.2
	$\bar{X}$	-15.8	8.5	3.4	-	-	-	-17.5	7	5.1
	$\pm$	0.7	1.5	0.4	-	-	-	0.4	0.4	0.1
Huevos peces	Min.	-	-	-	-20	11	5.5	-20.1	6.6	5.4
	Max.	-	-	-	-19.2	12.1	6.8	-17.5	11	6.2
	$\bar{X}$	-17.5	10.3	3.36	-19.7	11.4	6.1	-19.2	9.9	5.9
	$\pm$	-	-	-	0.4	0.4	0.5	1	1.8	0.4
Zoeas	Min.	-19.9	5.9	4.5	-	-	-	-	-	-
	Max.	-15.8	14.2	4.6	-	-	-	-	-	-
	$\bar{X}$	-17.9	9	4.6	-	-	-	-	-	-
	$\pm$	2.1	4.5	0.1	-	-	-	-	-	-
Quetognatos	Min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Max.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\bar{X}$	-14.8	8.3	4.01	-	-	-	-16.8	7.6	4.6
	$\pm$	-	-	-	-	-	-	-	-	-



**Figura 13.** Valores promedio y desviaciones estándar de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  por grupo de zooplancton por año de muestreo.

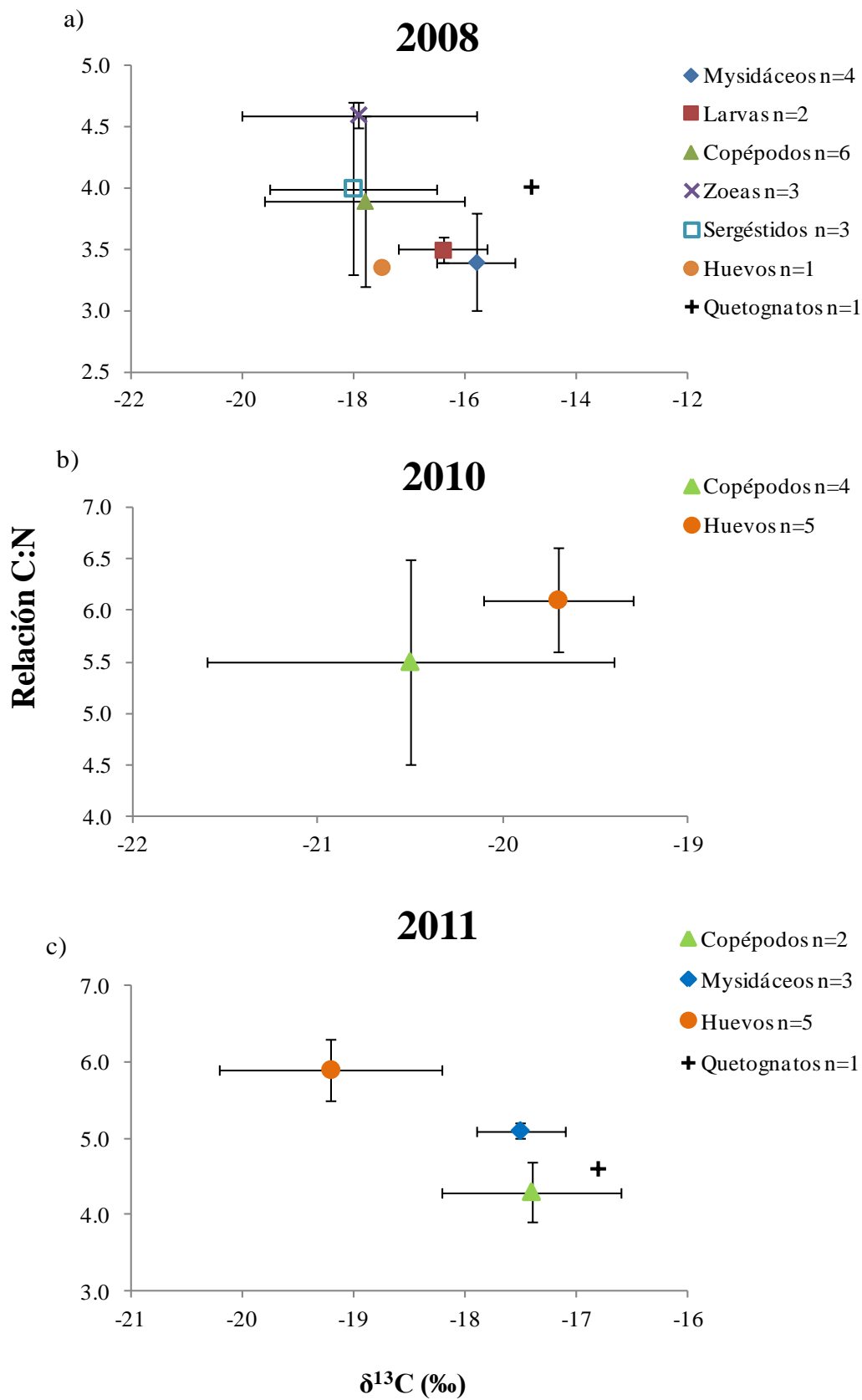


Figura 14. Valores promedio y desviaciones estándar de las relaciones C:N por grupo de zooplancton por año de muestreo.

#### 8.4 Depredador y presas



Se realizó la comparación de los promedios anuales de cada grupo de zooplancton (presas) que fue muestreado en las zonas de avistamiento de *M. birostris* (depredador) con los datos anuales promedio del depredador, para así observar que presa presentaba valores similares al del depredador e inferir que grupo contribuye más en la alimentación de la manta (Fig. 15). Los resultados observados fueron distintos por la diferencia de presas en las muestras, para el año 2008 se observa una posible ingesta mayor de quetognatos, mysidáceos y larvas de peces (Fig. 15a). Para el 2010 las posibles presas están representadas por el grupo de los copépodos, sin embargo al no haber colectado una gran cantidad de presas no se observa directamente la relación de las presas registradas con el depredador (Fig. 15b). En el 2011 los posibles grupos de alimento de la manta son de nuevo los mysidáceos y quetognatos al igual que los copépodos (Fig. 15b). La presencia de huevos de peces en las muestras fue constante sin embargo no parecen ser parte importante en la alimentación de la manta.

Los grupos de zooplancton que contribuyeron en mayor proporción a la señal isotópica del depredador (*M. birostris*) fueron copépodos (26% a 38%), larvas de peces (15% a 36%) y sergéstidos (4% a 28%); los grupos restantes estuvieron representados con 2% a 17% aproximadamente (Fig. 16).

Para el caso de la variable de los sexos no se aplicó el modelo MixSIR dado que no se observaron diferencias significativas ( $[H = 2.67; 2 \text{ gl. } (p = 0.26)]$ ).

Entre tejidos, a partir de MixSIR se observó que para dermis, las larvas de peces contribuyen mayormente a la señal isotópica (17% a 43%), seguido de los quetognatos (2% a 26%). En menor porcentaje de contribución estuvieron los copépodos (6% a 26%), sergéstidos (3% a 26%), mysidáceos (1% a 25%), huevos de peces (2% a 16%) y zoeas (0% a 8%) (Fig. 17a; Fig. 17b).

Para la epidermis los grupos con mayor contribución fueron los copépodos (31% a 47%), larvas de peces (12% a 36%) y sergéstidos (2% a 31%). Con menor contribución se encontraron los mysidáceos (0.4% a 16%), quetognatos (0.3% a 13%), huevos de peces (0.6% a 12%) y zoeas (0.2 a 8%) (Fig. 17c; Fig. 17d).



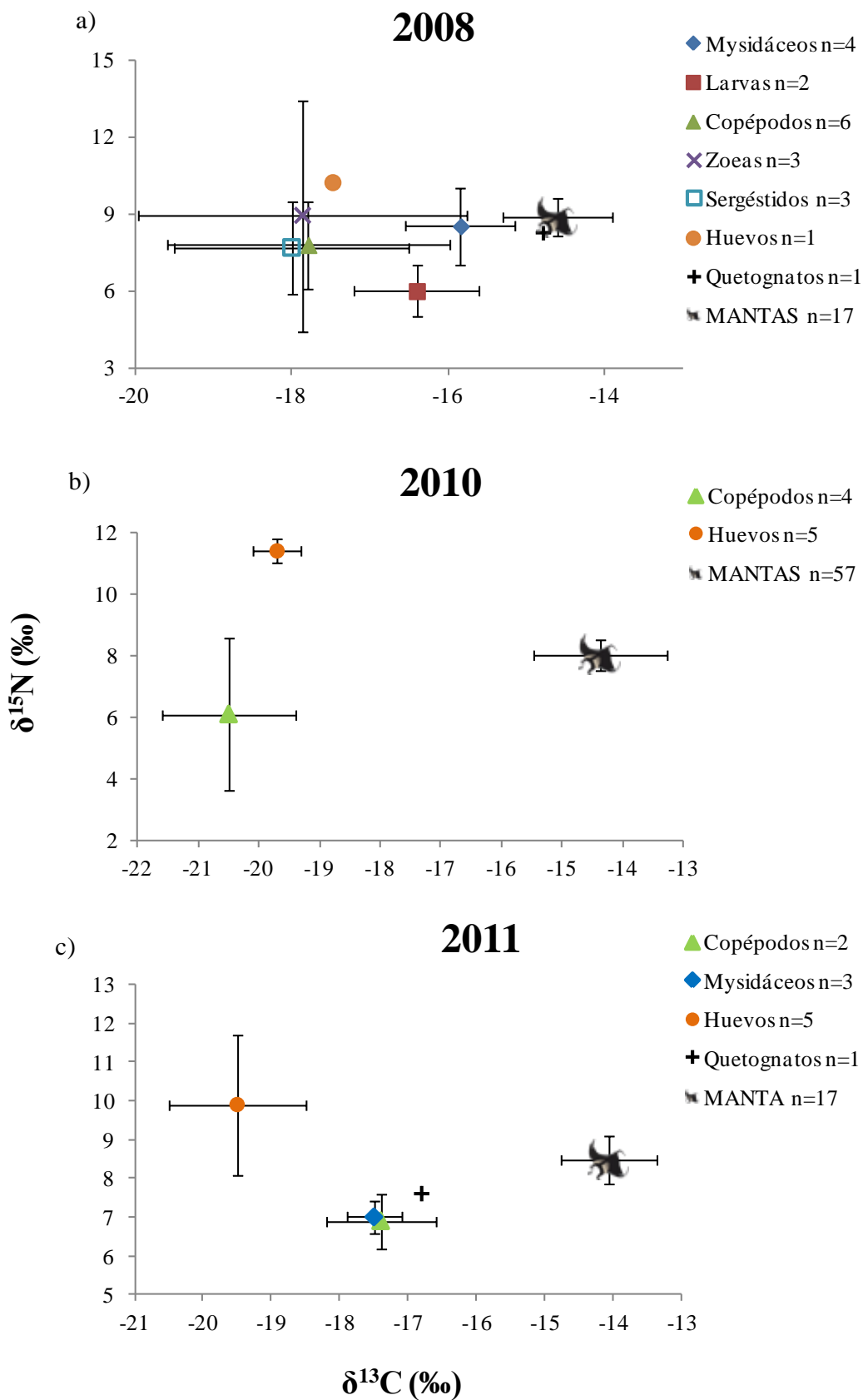
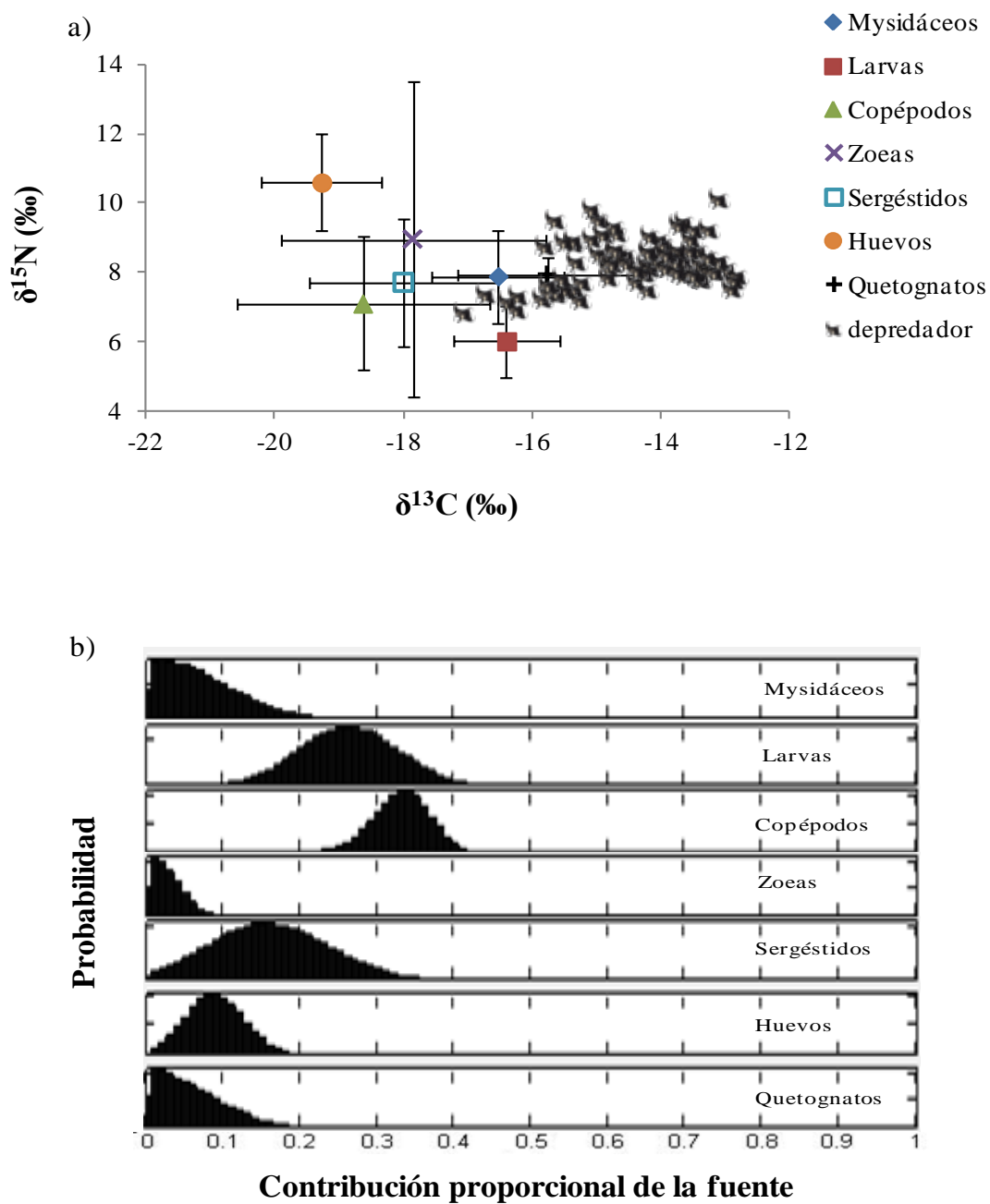


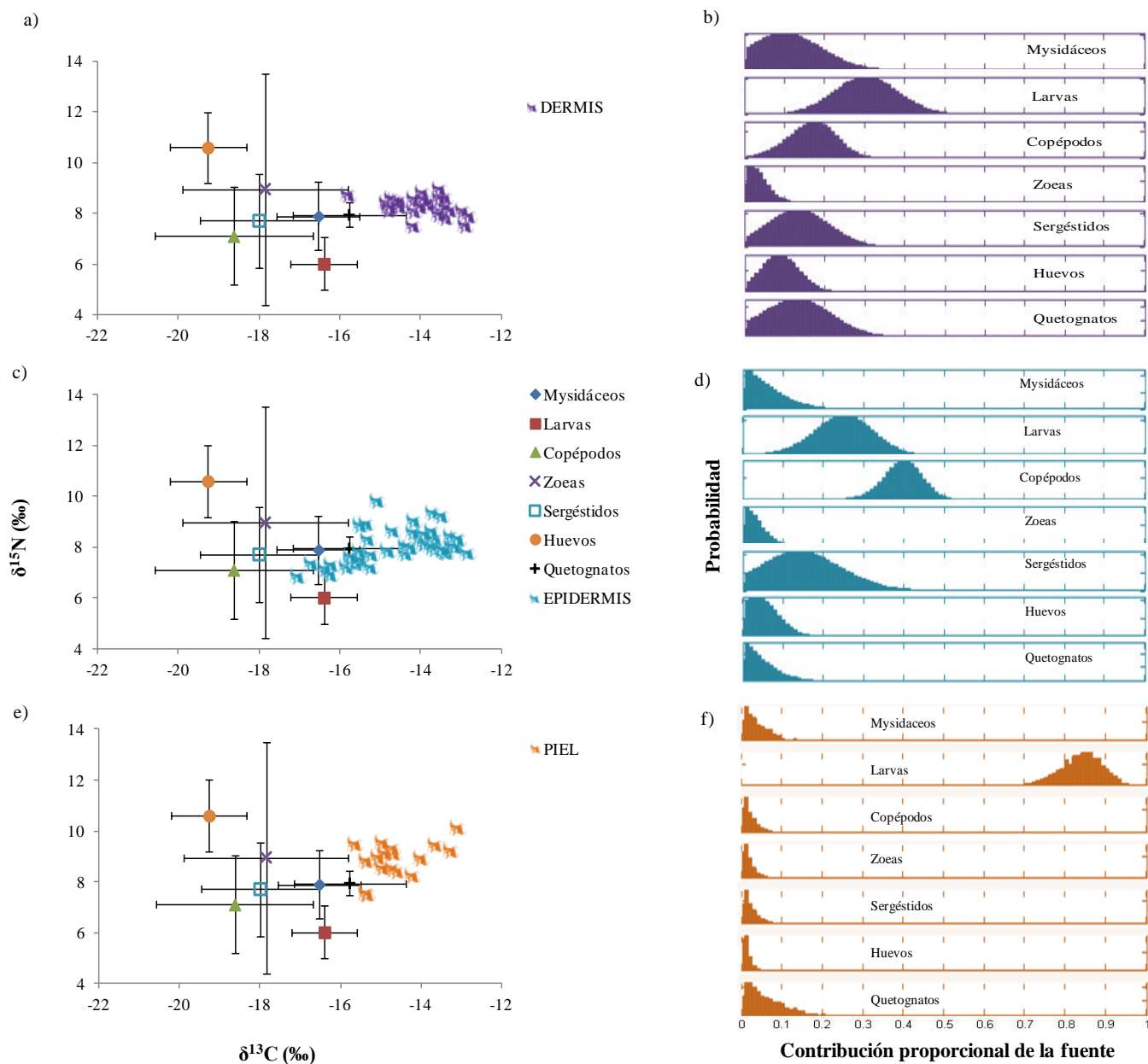
Figura 15. Valores promedio y desviaciones estándar de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  anuales por grupo de zooplancton y *M. birostris*.



**Figura 16.** a) Distribuciones promedio y desviaciones estándar de las diferentes fuentes (presas) y señales isotópicas del depredador. b) Histogramas de la contribución estimada de cada presa.



En el caso de la piel se observó una mayor contribución de las larvas de peces (74% a 91%). La aportación de las demás fuentes fue, los quetognatos (0.3% a 19%), mysidáceos (0.2 a 9%), las fuentes restantes (0.1% a 6%) (Fig. 17e; Fig. 17f).

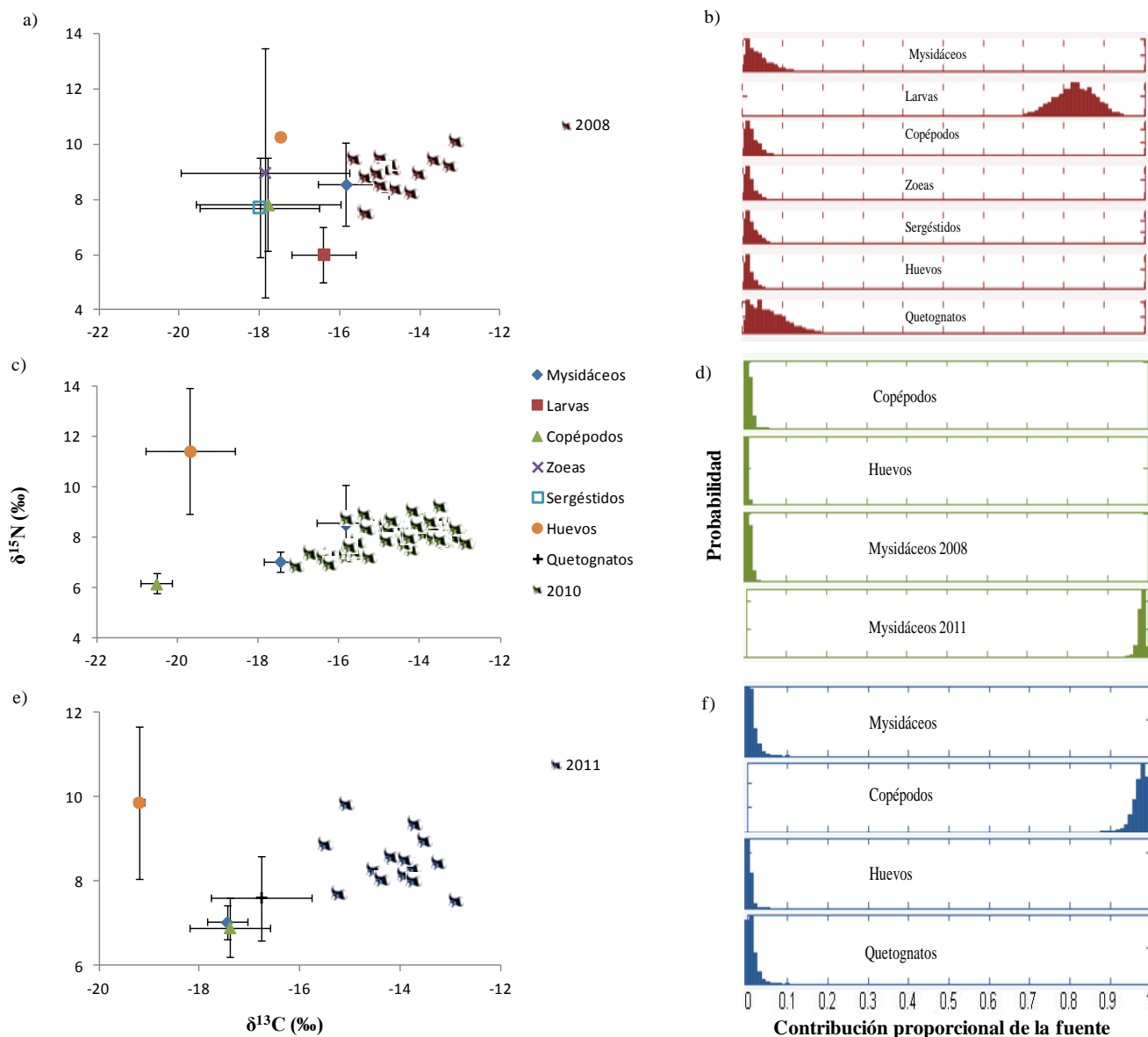


**Figura 17.** Distribuciones promedio y desviaciones estándar de las diferentes fuentes (presas) y señales isotópicas de cada tejido e histogramas de la contribución estimada de cada presa. a) y b) dermis, c) y d) epidermis, e) y f) piel.

Durante el 2008 se identificó siete grupos de presas, de los cuales las larvas de peces contribuyeron en mayor proporción (73% a 90%), quetognatos (0.6 a 16%), mysidáceos (0.2 a 10%), mientras que los grupos restantes aportaron cerca del 0.1 a 6% (Fig. 18a; Fig. 18b). Las dos fuentes



registradas para el 2010 fueron los copépodos y huevos de peces, ambas insuficientes y registrando intervalos de 0 a 1% y de 0 a 0.5% respectivamente. Con los datos de los mysidáceos de los otros años los intervalos estuvieron entre los valores de 0.1 a 1.8% para el 2008 y de 97% a 99% para el 2011 (Fig. 18c; Fig18d). Para el 2011 el grupo con mayor contribución fue el de los copépodos (94 a 99%), quetognatos(0.1 a 3%). Los dos grupos restantes (mysidáceos y huevos de peces) tuvieron intervalos entre 0 a 3% (Fig.18e; Fig. 18f).



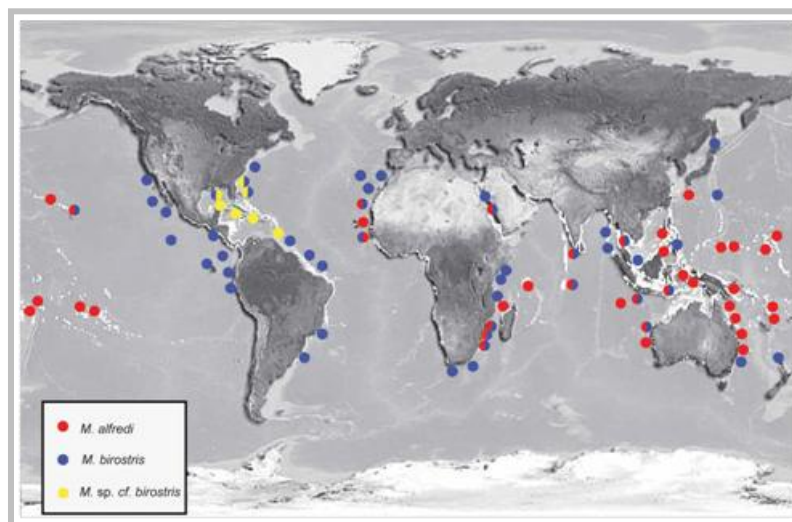
**Figura 18.** Distribuciones promedio y desviaciones estándar de las diferentes fuentes (presas) y señales isotópicas por año de muestreo e histogramas de la contribución estimada de cada presa. a) y b) 2008; c) y d) 2010; e) y f) 2011.



## 9. DISCUSIÓN

El Caribe mexicano es mundialmente conocido por sus diversas atracciones turísticas, una de ellas es el Sistema Arrecifal Mesoamericano. Durante la primavera y el verano se presenta en el área el afloramiento de una corriente fría y rica en nutrientes, incrementando la producción de fitoplancton y zooplancton, lo que conlleva a la atracción de otras especies marinas como peces óseos de diferentes tamaños, mamíferos, tortugas, aves y elasmobranquios. Entre estos últimos destacan principalmente dos de las especies más grandes del mundo *R. typus* y *M. birostris* (INE, 2007a).

Los estudios enfocados a especies del género *Manta* se encuentran en aumento, sin embargo aún es poco lo que se conoce de éstas. Recientemente la redescripción del género, así como el resurgimiento de una segunda especie (*M. alfredi*, Krefft 1868) incrementa aún más el interés y la necesidad de conocer la biología de estos organismos para fomentar su adecuado manejo y por ende su conservación (Marshall *et al.*, 2009). En cuanto a este aspecto es importante conocer la diversidad de especies que se registran en nuestro país para su protección así como del ambiente en el que se encuentran, por lo que el presente trabajo estuvo dirigido a organismos de *M. birostris* del Caribe mexicano., ya que a falta de registros y monitoreos continuos en la zona aún no se ha podido determinar la posible presencia de ambas especies (*M. birostris* y *M. alfredi*) e incluso de una tercera aún no descrita (com. pers. Hinojosa-Álvarez) (Fig. 19).



**Figura 19.** Distribución mundial del género *Manta* y registro de *M. cf. birostris* en el mar Caribe (tomado de Marshall *et al.*, 2009).



Al igual que en el presente estudio, trabajos realizados en la zona durante la temporada de avistamiento de la especie (mayo a agosto) indican una mayor frecuencia de hembras, principalmente en agosto (Martínez-Urrea, 2013). En este mismo estudio se determina una proporción de sexos de 7:1 H:M durante la temporada similar a la observada en este estudio. Cabe destacar que Martínez-Urrea (2013) menciona el registro de al menos ocho hembras preñadas (seis durante el último mes de la temporada), algunas con cicatrices de cópula e incluso se presenciaron algunas conductas de apareamiento, lo cual confirma la importancia de la zona para la especie. Sin embargo no se puede afirmar que sea un área de crianza ya que no se han registrado organismos neonatos en la zona (Castro, 2009), tampoco se puede asegurar que sea un área de reproducción debido a que la mayor parte de los individuos registrados son hembras y que estas no presentan cicatrices de apareamiento (Marshall y Bennett 2010).

Las condiciones hidrológicas y biológicas del área permiten dividir cada año de muestreo en dos temporadas, las cuales se relacionan con la presencia y ausencia de elasmobranquios filtradores en la zona. Cárdenas *et al.* (2010) registraron mayor número de avistamientos de tiburón ballena cuando la temperatura superficial del mar (TSM) fue mayor ( $27.8 \pm 0.58^{\circ}\text{C}$ ) a la registrada durante los meses sin avistamientos ( $25.0 \pm 0.42^{\circ}\text{C}$ ). Otras condiciones oceanográficas en la zona también muestran variaciones durante la temporada de avistamiento, entre las que descienden se encuentra la salinidad ( $35.4 \pm 0.11$ ups y  $36.7 \pm 0.17$ ups) y el porcentaje de saturación de oxígeno ( $90.3 \pm 7.34\%$ ). Mientras que el coeficiente de extinción de luz aumenta (de  $0.027 \pm 0.07\text{m}^{-1}$  a  $0.44 \pm 0.08\text{m}^{-1}$ ), también se observa un aumento en nitrógeno inorgánico disuelto con un valor de  $6.12 \pm 1.33\mu\text{mol/L}$  (Cárdenas *et al.*, 2010).

En el caso de algunas variables biológicas como la concentración de clorofila-*a* que fue de  $1.53 \pm 0.28\text{mg/m}^3$  durante la temporada de registro y de  $0.83 \pm 0.30\text{mg/m}^3$  en ausencia y por último la concentración de biomasa promedio de la zona durante la temporada de avistamiento se registró de  $26.9 \pm 21.67\text{g}/1000\text{m}^3$  con respecto a la otra temporada con valor de  $222.4 \pm 13.93\text{g}/1000\text{m}^3$ ; sin embargo mencionan estaciones de muestreo durante la temporada de tiburón ballena con valores de  $224\text{g}/1000\text{m}^3$  y siendo esta estación donde se registró el mayor número de tiburón ballena del estudio, lo que hace evidente la formación de “parches” de plancton o alimento (Cárdenas *et al.*, 2010).



Los cambios en las variables se asocian a las condiciones climáticas de la región durante las temporadas de estudio, los avistamientos coinciden con la temporada de lluvias por lo que se considera que modifica la concentración de salinidad, el afloramiento de la surgencia estacional ya mencionada anteriormente que a su vez aumenta el porcentaje de oxígeno (Merino, 1983) y el florecimiento de comunidades fitoplanctónicas (Merino, 1992). En el caso de los parches se han observado en otras áreas de agregación de organismos filtradores, y pueden deberse a la dinámica de las corrientes locales y su abundancia al forrajeo de los depredadores (Ketchum, 2003).

El zooplancton identificado se analizó por grupos, debido a que las muestras fueron insuficientes para ser analizada a nivel de especie y realizar posteriormente el análisis isotópico. Estos grupos no se registraron siempre en el estudio, pudiendo ser regulados por algunas de las características ambientales discutidas anteriormente. De los grupos, el más frecuente en este estudio fue el de los copépodos seguidos del de huevos de peces y misydáceos, los tres grupos estuvieron representados durante los tres años de registro.

El registro del grupo de los copépodos como el más frecuente en el área coincide con los reportados por Perera-Prianti (2006), Cárdenas-Palomo (2007) e Hinojosa-Álvarez (2009) quienes mencionan su abundancia en la misma área de muestreo. Perera-Prianti (2006) observa una vasta abundancia del grupo de los copépodos (70%) en comparación a los demás grupos que conforman el zooplancton (decápodos 15%, quetognatos 6%, hidromedusas y pterópodos 2%, huevos de pez y apendicularias 1%); el trabajo indica también que la biomasa promedio del zooplancton es más abundante en las zonas al norte de la Isla de Contoy.

A su vez Cárdenas-Palomo (2007) en su estudio menciona otros grupos abundantes de zooplancton como el de larvas de gasterópodos, huevos de pez, apendicularia y sergéstidos; en el estudio de Hinojosa-Álvarez (2009) los demás grupos más abundantes fueron los sergéstidos y las zoeas de crustáceos. Sánchez-Velasco y Flores-Coto (1994) identificaron 63 familias y 70 especies de larvas de peces en el área de la plataforma de Yucatán durante un periodo de surgencia, siendo la más abundante *Opisthonema oglinum*, en el trabajo del 2009 únicamente se identificaron siete familias.

Se conoce que los patrones de distribución de las especies se deben a la búsqueda de alimento y zonas de apareamiento o reproducción. *M birostris* al ser una especie migratoria es asociada a zonas de



surgencia en diferentes regiones (Marshall *et al.*, 2009) , por lo que su presencia en el Caribe era evidente, sin embargo la poca cantidad de zooplancton recolectado hace cuestionar el porqué de su presencia durante esta temporada, a lo que se infiere que debido a que son organismos pelágicos filtradores su forrajeo en el área puede ser variable y los parches de zooplancton ser aprovechados por diversos individuos, por diferentes tiempos y en diferentes momentos, así como estar vulnerables a las corrientes locales, por lo que no necesariamente estos parches o en donde se llevaron a cabo los arrastres tuvieran una alta concentración de zooplancton (Cárdenas *et al.*, 2010).

### 9.1 Análisis isotópico

La información generada a través del uso de la técnica de isótopos estables en el área y la especie es relativamente reciente por lo que se utilizaron estudios de especies similares para hacer comparaciones. En este trabajo no se comparan los valores isotópicos con trabajos de otros países ya que por los gradientes isotópicos que existen longitudinalmente y latitudinalmente a nivel mundial (isocapas) la interpretación podría ser errónea ya que la señal isotópica de cada lugar se ve influenciada por los procesos orgánicos e inorgánicos *in situ* (Graham *et al.*, 2010).

Los valores isotópicos encontrados en el presente trabajo se encuentran entre los valores promedio de carbono y nitrógeno en zonas marinas que reflejó zonas de alimentación y de producción primaria (Kurle y Worthy, 2002), indicando que *M. birostris* se localiza cerca de la línea de costa durante eventos de surgencia.

Los valores son similares a los reportados en trabajos realizados en la misma zona, Hinojosa-Álvarez (2009) trabajó con muestras de músculo de *M. birostris* y obtuvo datos de  $-13.9\text{‰}$  para  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $8.9\text{‰}$  para  $\delta^{15}\text{N}$  y con los de Alderete-Macal (2010) en muestras de dermis del tiburón ballena de  $-14.64\text{‰}$  de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $7.15\text{‰}$  de  $\delta^{15}\text{N}$ , esta especie también es un elasmobranquio filtrador y coincide en espacio y tiempo con *Manta birostris*; ambos trabajos concluyen también que las señales isotópicas ubican a estos organismos en áreas cercanas a la costa y alimentándose cerca de la superficie.

En el caso de la relación C:N los valores se registraron en un promedio de 2.7, cabe recordar que a las muestras no se les realizó extracción de lípidos o de urea, por lo que son los valores originales y se encuentran por debajo al valor teórico promedio de los lípidos (C:N >3.5, Post *et al.*, 2007) y por





arriba del valor de la urea (C:N <2.5, Sweeting *et al.*, 2006; Kim y Koch, 2011), lo que es importante considerar ya que la presencia de alguna de estas sustancias podrían alterar los análisis isotópicos, generando valores más negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  y por ende una conclusión errónea.

La razón isotópica por sexo no mostró diferencias significativas ( $p = >0.5$ ) en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y C:N de este estudio. Alderete-Macal (2010) tampoco encontró diferencias significativas entre las señales isotópicas de ambos sexos para el tiburón ballena, sin embargo, el nivel de  $\delta^{15}\text{N}$  es menor (7.11‰) a los registrados en el presente estudio, posiblemente debido a la fisiología y desplazamiento de cada especie para su alimentación. En el caso del  $\delta^{13}\text{C}$  los valores encontrados son similares (-14.61‰ para machos y -14.28‰ para hembras de tiburón ballena). Por lo que no se observa una diferencia en la dieta conforme al sexo en *M. birostris*, hay que recordar que se registró un mayor número de hembras en este estudio, sin embargo al ver a ambos sexos en la zona y registrando conductas de alimentación demuestran que no existe una segregación de sexos al menos durante la alimentación.

Los valores obtenidos para los tipos de tejido analizados muestran una diferencia significativa entre ellos. Alderete-Macal (2010) realizó en tiburón ballena la división de tejidos en epidermis y dermis obteniendo valores aproximados promedios de 8.8‰  $\delta^{15}\text{N}$ , -14.1‰  $\delta^{13}\text{C}$  y 7.8‰  $\delta^{15}\text{N}$ , -14.8‰  $\delta^{13}\text{C}$  respectivamente, indicando que son significativamente diferentes. En comparación con los valores obtenidos para los mismos tejidos en *M. birostris* en ambas variables variaron cerca de 1‰.

En el caso de los valores considerados como piel se compararon con los valores obtenidos por Hinojosa-Álvarez (2009) que se encuentran en intervalos aproximados de -15 a -11.4‰  $\delta^{13}\text{C}$  y de 8 a 10‰  $\delta^{15}\text{N}$ , similares a los datos obtenidos en el presente estudio, los resultados sugieren una diferente tasa de incorporación de isótopos en cada tejido. Martínez del Rio y Carleton (2012) determinan que la tasa de incorporación de isótopos puede variar de forma predecible entre tejidos y taxa, aquellas estructuras carbonatadas tendrán un enriquecimiento de  $^{13}\text{C}$ . Esto se puede observar en el caso de las muestras de piel y epidermis que indican valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mayores a los observados en dermis, posiblemente a que estos primeros dos tejidos fueron analizados con los dentículos dérmicos enriquecidos con  $^{13}\text{C}$ . Bauchinger y MacWilliams (2010) mencionan que los tejidos con elevadas tasas de incorporación isotópica son aquellos propensos a cambiar de tamaño durante la migración y el ayuno, y que la incorporación isotópica parece predecir la flexibilidad fenotípica del órgano. Los



tejidos de *M. birostris* pueden presentar esta característica, ya que al ser una especie altamente migratoria pasa periodos de ayuno y la piel tiene que estar en constante cambio por el contacto con el medio.

Durante los análisis por años se observaron diferencias significativas de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre ellos. En trabajos similares mencionados anteriormente, la variación isotópica entre años en una misma zona no observaron diferencias significativas, sin embargo en el realizado por Sampson-Tenorio (2007) observó para *M. thurstoni* en dos años de su muestreo (2004 y 2006) diferencias significativas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , atribuido a un cambio de presas y no a un cambio en la zona de alimentación. Esta hipótesis se puede aplicar a los resultados de este estudio, ya que al no haberse observado diferencias en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  sugiere que las zonas de alimentación no se modificaron durante los años, sin embargo por procesos oceanográficos *in situ* que pueden variar por temporadas y años modificando la presencia y abundancia de grupos de presas.

Es característico de zonas costeras y de surgencia que la producción nueva se base en nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) como fuente de compuestos nitrogenados; mientras que en zonas de producción regenerada se basa en amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), en estas zonas mientras la concentración de nitrato disponible aumenta, los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  disminuyen, debido a que el fitoplancton utiliza el isótopo ligero ( $^{14}\text{N}$ ) por lo cual aumenta en el medio el isótopo pesado ( $^{15}\text{N}$ ) (Wu *et al.*, 1997). En zonas oligotróficas basadas en producción regenerada ( $\text{NH}_4^+$  como fuente de nitrógeno) los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  son más bajos que en zonas costeras y de surgencia (Wu *et al.*, 1997).

La presencia de elasmobranquios filtradores en la zona del Caribe mexicano coincide con la presencia la surgencia estacional de la zona, por lo que las fluctuaciones en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  se pueden deber a una concentración menor de nitratos en la zona fótica, causando menor discriminación del fitoplancton en contra del  $^{15}\text{N}$ , para valores altos. Los valores bajos pueden reflejar el cambio de una cadena trófica basada en producción nueva ( $\text{NO}_3^-$ ) a una basada en producción regenerada ( $\text{NH}_4^+$ ), al presentarse estratificación de la columna de agua y disminuir la concentración de nutrientes disponibles en la zona fótica (Thunnel *et al.*, 1996).

En cuanto a los valores isotópicos del zooplancton del año 2008 son muy similares a los registrados por Hinojosa-Álvarez en el 2009, los cuales se distribuyen en un intervalo de -17.7 a 15.4‰  $\delta^{13}\text{C}$  y de



5 a 8.8‰  $\delta^{15}\text{N}$  aproximadamente. Mientras que los de este estudio se ubican en intervalos de -20.3 a -14.7‰  $\delta^{13}\text{C}$  y de 5.3 a 14.2‰  $\delta^{15}\text{N}$ , sin embargo por la variación anual de los grupo de zooplancton los otros años no estuvieron muy representados, esto puede deberse a las condiciones oceanográficas anuales, sin embargo los grupos representados se ubicaron entre -21.3 a -16.8‰  $\delta^{13}\text{C}$  y de 4.4 a 12.1‰  $\delta^{15}\text{N}$  en 2010 y 2011.

Alderete-Macal en su estudio del 2010 analizó al zooplancton como un único gran grupo, por lo que los valores que obtuvo para este fueron de -19.69‰  $\delta^{13}\text{C}$  y 5.56‰  $\delta^{15}\text{N}$ , que de igual manera se encuentran dentro del intervalo de este estudio.

Hinojosa-Álvarez (2009) atribuye las fluctuaciones en los valores mensuales de  $\delta^{13}\text{C}$  a un cambio en zonas de distribución del zooplancton (de zonas costeras a oceánicas durante la temporada de muestreo) y a los cambios de temperatura del agua. En el caso del  $\delta^{15}\text{N}$  menciona que el zooplancton se mantiene en zonas superficiales por su tipo de alimentación.

## 9.2 Modelos de mezcla

Los modelos de mezcla se utilizan generalmente en los estudios de isótopos estables para cuantificar la contribución relativa de diferentes fuentes en una mezcla, usando las firmas isotópicas de cada fuente potencial y de la mezcla. Debido a la conservación de los isótopos estables a lo largo del tiempo y su cambio relativamente predecible durante procesos biológicos, por lo que el balance de masas en un modelo de mezcla puede acercarse cuantitativamente la contribución relativa de diferentes fuentes en una mezcla específica (Moore y Semmens, 2008; Shiffman *et al.*, 2012).

El programa MixSIR utiliza un marco Bayesiano para determinar la distribución probable para la contribución proporcional de cada fuente en la mezcla. El algoritmo desarrollado para este modelo matemático permite incorporar distintos datos, entre ellos los datos isotópicos de las presas y los depredadores (Moore y Semmens, 2008).

Un análisis general de las fuentes para la mezcla con MixSIR mostró una mayor contribución por parte de los copépodos y larvas de peces principalmente y de quetognatos con una menor aportación, sin embargo hay que recordar que se analizaron diferentes tejidos y que cada fuente puede contribuir en



---

diferentes proporciones a cada uno y que no todos los grupos de zooplancton fueron constantes en los diferentes años de muestreo por lo que un análisis más detallado es necesario.

Méndez-Da Silveira (2012) concluyó que las diferencias isotópicas entre diferentes tejidos de un organismo se deben a la función desarrollada por cada uno de ellos y el consumo de energía por el mismo. En el presente estudio la diferencia isotópica observada entre los tejidos se da principalmente por las fuentes de alimento que contribuyen a cada uno, sin embargo se debe tener presente la tasa de recambio y el metabolismo de cada uno de estos tejidos.

Hinojosa-Álvarez (2009) menciona a las zoeas de crustáceos como grupo de zooplancton del cual se alimenta preferentemente la manta gigante en el área del Caribe mexicano, ya que la señal de este grupo se acerca más a los valores isotópicos del tejido analizado por el autor, sin embargo con el uso de este modelo de mezcla se puede rectificar que su mayor aporte está siendo obtenido por las larvas de peces. Kim *et al.* (2012) encontraron en (*Prionace glauca* una mayor aportación en la dieta por parte de cangrejos rojos y cefalópodos costeros mediante la revisión del contenido estomacal y pruebas isotópicas. Sin embargo, las firmas isotópicas de las presas analizadas con el mismo modelo de mezcla utilizado en este estudio, mostraron que la mayor aportación estaba dada por cefalópodos oceánicos y en menor cantidad por cangrejos rojos. Estos autores mencionan que la discrepancia entre los resultados de las revisiones estomacales y los modelos de mezcla, se pueden deber a que el contenido estomacal únicamente representa la dieta de un organismo en cierto tiempo, y cierta zona de alimentación, mientras que los isótopos dan una referencia más amplia.

Para los modelos de mezcla por años se observó un patrón muy similar al de la piel, siendo las larvas de peces el grupo con mayor aportación, en el caso de los demás años y por la limitante de muestras fueron menores los resultados encontrados, en el 2010 los copépodos y huevos de peces fueron las dos fuentes más importantes; en el 2011 los copépodos y quetognatos. Estas fuentes corresponden a los grupos más abundantes en la zona, como registraron Sánchez-Velasco y Flores-Coto (1994), Hinojosa-Álvarez (2009) y Cárdenas *et al.* (2010).

La técnica de isótopos estables complementado con un modelo de mezclas ha demostrado ser una herramienta práctica y efectiva para conocer el hábitat, alimentación y patrones de distribución de diferentes especies, en este estudio su uso implicó un daño mínimo a la manta gigante durante la toma



de las muestras de tejido y evitó la revisión estomacal de este organismo que está protegido por leyes nacionales, obteniendo información altamente confiable.

## 10. CONCLUSIONES

- ◀ El uso de herramientas como el análisis de isótopos estables y modelos de mezcla resultan ser técnicas poco invasivas para los organismos de estudios que aportan resultados confiables en una escala mayor de tiempo.
- ◀ La zona del Caribe mexicano es de suma importancia para *M. birostris* ya que es un área de alimentación y distribución temporal durante cada año.
- ◀ El análisis de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  no muestra una segregación de sexos evidente, ni diferencias significativas en la alimentación de los organismos de *M. birostris* en esta zona.
- ◀ Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  indican la existencia de diferencias significativas en los valores isotópicos de tejidos analizados, posiblemente debidas a las diferentes tasas de metabólicas de cada uno de ellos u otras características intrínsecas de la especie.
- ◀ La relación C:N de los tejidos fue menor al nivel teórico de los lípidos y mayor al de la urea, lo que indica que se encuentran libres de estos elementos por lo que los resultados no indicaron más negativos de  $\delta^{13}\text{C}$ .
- ◀ Los grupos de zooplancton no permanecieron contantes a través de los años de estudio, las condiciones oceanográficas y climáticas *in situ* influyeron en su disponibilidad. Los grupos más abundantes en el área de estudio fueron los copépodos, huevos de peces y misydáceos.
- ◀ La herramienta MixSIR de modelos de mezcla indicó variaciones en los grupos de zooplancton para la contribución a la señal isotópica de cada tejido, por lo que es importante tener en consideración la composición y la tasa metabólica de cada tejido.
- ◀ Las larvas de peces fue el grupo con mayor contribución a la señal isotópica de la piel y de la epidermis, para la dermis el grupo más importante fue el de los copépodos.



---

## 11. RECOMENDACIONES

- ◀ Debido a que la presencia de *M. birostris* no es permanente en la zona, es necesario ampliar el área de estudio a diferentes zonas, preferentemente siguiendo la Corriente de Yucatán.
- ◀ Aumentar el tamaño de muestra e identificar organismos de diferentes tallas para realizar los análisis de isótopos estables y MixSIR para conocer si existe variación en la alimentación durante el desarrollo de *M. birostris*.
- ◀ Colocar marcas de satélite a mantas para validar y complementar los estudios sobre patrones de distribución inferidos por estudios de isótopos estables.
- ◀ Realizar arrastres constantes de zooplancton durante el año para analizar el cambio en la biomasa y composición, así como de fitoplancton y detritos. Estos también ayudarán a conocer más a fondo cómo se comporta la red trófica de estos organismos.
- ◀ Monitorear la información satelital de las condiciones ambientales en la zona de estudio, así como sus cambios estacionales para determinar posibles asociaciones de estos con la distribución y alimentación de las mantas.



---

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Abitia-Cárdenas, L. A., J. Rodríguez-Romero, Galván-Magaña, F., J. de la Cruz-Agüero y H. Chávez-Ramos. 1994.** Lista sistemática de la ictiofauna de Bahía de la Paz, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 20 (2):159-181.
- Alderete-Macal, M. J. 2010.** Ecología trófica del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en zonas de agregación de la Isla Holbox, Quintana Roo. Tesis Maestría. CIBNOR. México. 60 pp.
- Balart, E. F., J. L. Castro-Aguirre, D. Auriol-Gamboa, F. García-Rodríguez y C. Villavicencio-Garayazar. 1995.** Adiciones a la ictiofauna de Bahía de La paz, Baja California Sur, México. *Hidrobiológica*, 5 (1-2): 79-85.
- Barcott, B. 2009.** Banquete Frenético. En: Revista National Geographic en Español. [en línea]: <http://ngenespanol.com/2009/07/banquete-frenetico-articulos/>
- Bauchinger, U. y S. R. MacWilliams. 2010.** Extent of phenotypic flexibility during long-distance flight is determined by tissue specific turnover rates: a new hypothesis. *Physiological and Biochemical Zoology*, 82: 787-797.
- Bearhop, S., C. E. Adam, S. Waldron, R. A. Fuller y H. Macleod. 2004.** Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*, 73: 1007–1012.
- Cárdenas-Palomo, N. 2007.** Distribución espacio-temporal de variables hidrobiológicas asociadas con el uso del hábitat del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en el noreste de la península de Yucatán. Tesis de Maestría. CINVESTAV-IPN. México. 88 pp.
- Cárdenas-Palomo, N., J. Herrera-Silveira y O. Reyes. 2010.** Distribución espacio-temporal de variables fisicoquímicas y biológicas en el hábitat del tiburón ballena *Rhincodon typus* (Orectolobiformes: Rhincodontidae) al norte del Caribe Mexicano. *Revista de Biología Tropical*. 58 (1): 399-412.



- 
- Clark, T. B., Y. P. Papastamatiou y C. G. Meyer. 2007.** Intestinal eversion in a free-ranging manta ray (*Manta birostris*). Springer-Verlag 2007. Coral Reefs (2008), 27:61.
- Castro, J. I. 2009.** Observations on the reproductive cycles of some viviparous North American Sharks. Aqua, International Journal of Ichthyology. 15 (4): 205-222.
- Dawson, T. E. y R. T. W. Siegwolf. 2007.** Using stable isotopes as indicators, tracers, and recorders of ecological change: some context and background. En: Stable Isotopes as Indicators of Ecological Change. Eds. T. E. Dawson y R. T. W. Siegwolf. Academic Press. EUA. p. 3-18.
- De la Parra-Venega, R. 2008.** Proyecto Dominó. Informe Técnico 2003-2008. 36 pp.
- DeNiro, M. J. y Epstein, S. 1978.** Influence of the diet on the distribution of carbon isotopes in animals. Geochimica Cosmochimica Acta, 42: 495-506.
- Dewar, H., P. Mous, M. Domeier, A. Muljadi, J. Pet y J. Whitty. 2008.** Movements and site fidelity of the giant manta ray, *Manta birostris*, in the Komodo Marine Park, Indonesia. Marine Biology, 155: 121-133.
- DOF. 2004.** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Pesquera y su Anexo. Diario Oficial de la Federación. Tomo DCVI No. 11: 59-61.
- Ehleringer, J. R y T. E. Dawson.1992.** Water uptake by plants: perspectives from stables isotopes composition. Plant, Cell and Environment, 15: 1073-1082.
- Estrada, J. A., A. N. Rice, M. E. Lutcavage y G. B. Skomal. 2003.** Predicting trophic position in sharks of the north-west Atlantic Ocean using stable isotope analysis. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 83: 1347-1350.





---

**France, R. L. 1995.** Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. *Marine Ecology Progress Series*, 124: 307-312.

**Fry, B. 2006.** *Stable Isotope Ecology*. Springer. EUA. 308 pp.

**Galván-Magaña, F., L. A. Abitia-Cárdenas, J. Rodríguez-Romero, H. Pérez-España y H. Chávez-Ramos. 1996.** Lista Sistemática de los peces de la Isla Cerralvo, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 22 (3): 295-311.

**Graham, B. S., P. L. Koch, S. D. Newsome, K. W. McMahon y D. Aurioles. 2010.** Using Isoscapes to Trace the Movements and foraging Behavior of Top Predators in Oceanic Ecosystems. J. B. *et al.* (eds.), *Isoscapes: Understanding Movement, pattern and Process on earth Through Isotopes Mapping*. Springer Science+Business Media. EUA. p. 299-318.

**Hacohen-Domene, A. 2007.** Ecología alimentaria del tiburón ballena (*Rhincodon typus*, Smith 1828) en la costa occidental del Golfo de California, México. Tesis Maestría. CICIMAR-IPN. México. 57pp.

**Hinojosa-Álvarez, S. A. 2009.** Ecología trófica de la manta gigante (*Manta birostris*, Donndorff, 1798) mediante el análisis de isótopos estables de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en las áreas naturales protegidas de Yum Balam e Isla Contoy, Quintana Roo. Tesis Maestría. PCML-UNAM. México. 65 pp.

**INE. 2007a.** Área de Protección de Flora y fauna Yum-Balam. Instituto Nacional de Ecología (INE) [en línea]: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/2/yumbalam.html>

**INE. 2007b.** Reserva Especial de la Biosfera Isla Contoy. Instituto Nacional de Ecología (INE) [en línea]: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/2/contoy.html>

**INEGI. 2011.** Información por Entidad. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) [en línea]: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/información/qroo/default.aspx?tema=me&e=23>



---

**IUCN. 2010.** Red List of Threatened Species Version 2010.4. International Union for Conservation of Nature. [en línea]: <http://www.iucnredlist.org/>

**Ketchum, J. T. 2003.** Distribución espacio temporal y ecología alimentaria del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en la bahía de La Paz y zonas adyacentes en el suroeste del Golfo de California. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. México. 91 pp.

**Kim, S. L. y P. L. Koch. 2011.** Methods to collect, preserve and prepare elasmobranch tissues for stable isotopes analysis. *Environ Biol Fish* DOI 10.1007/s10641-011-9860-9

**Kim, S. L., D. R. Casper, F. Galván-Magaña, R. Ochoa-Díaz, S. B. Hernández-Aguilar y P. L. Koch. 2012.** Carbon and nitrogen discrimination factors for elasmobranch soft tissues based on a long-term controlled feeding study. *Environ Biol fish*, 95: 37-52.

**Kling G. W., Fry B. y Brien W. J., 1992.** Stable isotopes and plankton trophic structure in arctic lakes. *Ecology*, 73: 561-566.

**Kurle, C. M. y G. A. J. Worthy. 2002.** Stable nitrogen and carbon isotope ratios in multiple tissue of the northern fur seal *Callorhinus ursinus*: implications for dietary and migratory reconstructions. *Marine Ecology Progress Series*, 236: 289-300.

**Luiz Jr., O. J., A. P. Balboni, G. Kodja, M. Andrade y H. Marum. 2009.** Seasonal ocurrentes of *Manta birostris* (Chondrichthyes: Mobulidae) in southeastern Brazil. *Ichthyology Research*, 56: 96-99.

**Marquéz, J. F. y M. P. Blanco. 2006.** Las Rayas del Golfo de California. En: *Sustentabilidad y Pesca responsable en México. Evaluación y Manejo*. Instituto Nacional de la Pesca (INP) y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). p. 303-322.

**Marshall, A. 2008.** Biology and Population Ecology of *Manta birostris* in Southern Mozambique. Tesis de Doctorado. University of Queensland. Australia. 360 pp.



- 
- Marshall, A. y M. B. Bennett. 2010.** Reproductive ecology of the reef manta ray *Manta alfredi* in southern Mozambique. *Journal of fish biology*. p. 1-22.
- Marshall, A., L. J. V. Compagno y M. B. Bennett. 2009.** Redescription of the genus *Manta* with resurrection of *Manta alfredi* (Krefft, 1868) (Chondrichthyes; Myliobatoidei; Mobulidae). *Zootaxa*, 2031: 1-28.
- Marshall, A., H. Ishihara, S. F. J. Dudley, T. B. Clark, S. Jorgensen, W. D. Smith, y J. J. Bizzarro. 2006.** *Manta birostris*. En: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species Version 2010.4. [en línea]: <http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/39417/0>
- Marshall, A., S. J. Pierce y M. B. Bennett. 2008.** Morphological measurements of manta rays (*Manta birostris*) with a description of a foetus from the east coast of Southern Africa. *Zootaxa* 1717:24-30.
- Martin, R. A. 2003.** Biology of the Manta Ray (*Manta birostris*). En: Biology of Sharks and Rays. [en línea]: [http://elasma-research.org/education/topics/lh\\_manta.htm](http://elasma-research.org/education/topics/lh_manta.htm)
- Martínez del Rio, C. y S. A. Carleton. 2012.** How fast and how faithful: the dynamics of isotopic incorporation into animal tissues. *Journal of Mammalogy*, 93 (2): 353-359.
- Martínez-Urrea, D. A. 2013.** Foto identificación de Manta gigante (*Manta birostris*; Walbaum, 1972) en las áreas naturales protegidas del Caribe mexicano. Tesis de Licenciatura. UABCS. México. 71 pp.
- McEachran, J. y M. Carvalho. 2002.** Batoid fishes. En: The living marine resources of the Western Central Atlantic, FAO Species identification guide for fishery purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication, Rome, 3(5): 2127.
- McEachran, J. D. y G. Notarbartolo di Sciara. 1995.** Peces Batoideos. En: Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Vol. II.



---

Vertebrados-parte 1. Eds. W, Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem. FAO. Roma. Vol. II: 647-1200.

**Méndez-Da Silveira, E. D. 2012.** Variación isotópica del  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  entre diferentes tejidos musculares del tiburón cazón (*Mustelus henlei*) en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de licenciatura. CUCBA-U de G. 69 pp.

**Merino, I. M. 1983.** Estudios ambientales del arrecife de Puerto Morelos, Quintana Roo. Informe del proyecto de investigación PAMOR. UACP y P-CCH. México.

**Merino, I. M. 1992.** Afloramiento en la plataforma de Yucatán: estructura y fertilización. Tesis de Doctorado. UNAM. México. 285 pp.

**Merino, I. M. 1997.** Upwelling on the Yucatan Shelf: hydrographic evidence. *Journal of Marine Systems*. 13: 101-122.

**Monreal-Gómez, M. A., D. A. Salas de León y J. Adelco-Ramírez. 1999.** Las surgencias costeras de América. *Revista Geofísica*, 51: 7-43.

**Moore, J. W. y B. X. Semmens. 2008.** Incorporating uncertainty and prior information into stable isotope mixing models. *Ecology Letters*, 11: 470-480.

**Nelson, J. S. 2006.** *Fishes of the world*. John Wiley & Sons, Inc. 4 ed. EUA. 601 pp.

**Notarbartolo di Sciara, G. 1987a.** A revisionary study of the genus *Mobula* Rafinesque. 1810 (Chondrichthyes: Mobulidae) with the description of a new species. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 91: 1-91.

**Notarbartolo di Sciara, G. 1987b.** Myliobatiform rays fished in the southern Gulf of California (Baja California Sur, Mexico) (Chondrichthyes: Myliobatoformes). *Mem. V Simp. Biol. Mar. Univ. Autón. Baja California Sur*: 109-115.



- 
- Notarbartolo di Sciara, G. 1988.** Natural History of the rays of the genus *Mobula* in the Gulf of California. *Fishery Bulletin*. 86 (1): 45-66.
- Notarbartolo di Sciara, G. y E. Hillyer. 1989.** Mobulid Rays off Eastern Venezuela (Chondrichthyes, Mobulidae). *Copeia*, 3: 607-614.
- Ochoa-Díaz, M. R. 2009.** Espectro trófico del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en Baja California Sur: aplicación de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ . Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. México. 82 pp.
- Okolodkov, Y. B. 2003.** A review of Russian plankton research in the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea in the 1960-1980's. *Hidrobiológica*, 13 (3): 207-221.
- Park, R. y S. Epstein. 1961.** Metabolic Fraction of  $\text{C}^{13}$  &  $\text{C}^{12}$  in plants. *Plant Physiology*. 36 (2): 133-138.
- Perera-Prianti, N. M. 2006.** Variación espacio-temporal del zooplancton del Parque Nacional Isla Contoy durante la temporada de lluvias. Tesis de Licenciatura. FES-Iztacala, UNAM. México. 61 pp.
- Peterson, B. J. y Fry, B. 1987.** Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 18: 293-320.
- Post, D., C. A. Layman, G. Takimoto, J. Quattrochi y C. G. Montaña. 2007.** Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia*, 152: 179-189.
- Román, J. C. 2003a.** Información ecológica a partir del análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno en las cadenas tróficas. Examen Predoctoral. CICIMAR-IPN. México. 58 pp.



- 
- Román, J. C. 2003b.** Preparación de muestras para la determinación de isótopos estables de carbono y nitrógeno en el espectrómetro de masas. Informe de actividades de estancia de investigación. CICIMAR-IPN. México. 31 pp.
- SAGARPA. 2007.** Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca Responsable de Tiburones y Rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Sampson-Tenorio, L. 2007.** Dieta, posición trófica y variación en la señal isotópica de *Mobula thurtoni* y *Mobula japonica* en el suroeste del Golfo de California. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. México. 64 pp.
- Sampson, L., F. Galván-Magaña, R. De Silva-Dávila, S. Aguíñiga-García y J. B. O'Sullivan. 2010.** Diet and trophic position of the devil rays *Mobula thurstoni* and *Mobula japonica* as inferred from stable isotope analysis. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 90 (5): 969-976.
- Sánchez-Velásco, L. y C. Flores-Coto. 1994.** Larval fish assemblages at the Yucatan Shelf and in the Mexican Caribbean Sea during the upwelling period (Spring, 1985). Scientia Marina, 58 (4): 289-297.
- Schmitter-Soto, J. J., A. Aguilar-Perera, C. Curiel-Mondragón y J. A. Caballero-Vázquez. 2000.** Lista de peces marinos del Caribe mexicano. Anales del Instituto de Biología Universidad nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 71 (2): 143-177.
- Semmens, B. X. y J. W. Moore. 2008.** MixSIR: A Bayesian stable isotope mixing model, version 1.0. [en línea]: <http://ecologybox.org>. 2012
- Shiffman, D. S., A. J. Gallagher, M. D. Boyle, C. M. Hammerschlag-Peyer y N. Hammerschlag. 2012.** Marine and Freshwater Research. [en línea]: <http://dx.doi.org/10.1071/MF11235>



- 
- Smith, D. L. 1977.** A guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae. Kendall/Hunt. EUA. 161 pp.
- Sweeting, C. J., N. V. C. Polunin y S. Jennings. 2006.** Effects of chemical lipid extraction and arithmetic lipid correction on stable isotope ratios of fish tissues. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 20: 595-601.
- Thunnel, R., C. Pride, P. Ziveri, F. Muller-Karger, C. Sancetta y D. Murray. 1996.** Plankton response to physical forcing in the Gulf of California. *J. Plankto Res.*, 18 (11): 2017-2026.
- Torres-Rojas, Y. E. 2006.** Hábitos alimenticios y la razón de isotópos estables de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) del tiburón *Shyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) capturado en el área de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. México. 107 pp.
- Vander-Zanden M. J., 2001.** Variation in  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  trophic fractionation: implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography*, 46: 2061-2066.
- Velasco-Tarelo, P. M. 2005.** Hábitos alimenticios e isótopos de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  del tiburón mako *Isurus oxyrinchus* (Rafinesque, 1810) en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. México. 97 pp.
- Wu, J., S. E. Calvert y C. S. Wong. 1997.** Nitrogen isotope variations in the subartic northeast Pacific: relationships to nitrate utilization and trophic structure. *Deep-Sea Res.*, 44: 287-314.
- Yano, K., F. Sato y T. Takahashi. 1999.** Observations of mating behavior of the manta ray, *Manta birostris*, at the Ogasawara Islands, Japan. *Ichthyological Research*, 46 (3):289-296.