

Ecología trófica de la Manta gigante (*Manta birostris*, Dondorff 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.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

BIOLOGÍA MARINA

P R E S E N T A

SILVIA ALEJANDRA HINOJOSA ALVAREZ

Directores de Tesis: Dr. Felipe Galván Magaña
Dr. Xavier Chiappa Carrara

Comité Tutorial: Dra. Elva Escobar Briones
Dr. Cesar Flores Coto
Dra. Maite Mascaró Miquelejauregui

México, Agosto 2009.



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.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia: Mi papá Manuel Hinojosa Flores, mi mamá Patricia Alvarez Romero, mi abuela Anita y mis hermanos Paulina, Laura y Manuel. A mis sobrinas: Sofía, Emilia, Mariana y Julia.

A mis tutores: Dr. Felipe Galván Magaña por seguir creyendo en mí durante esta etapa, por las sugerencias y comentarios al trabajo, por las carnes asadas y su gran sentido del humor. Al Dr. Xavier Chiappa Carrara por aceptar entrar en este proyecto, por todas las idas a su cubículo cuando tenía dudas y apoyarme para resolverlas, por el cariño y la amistad que me brindo. Mil gracias espero el día en que les pueda devolver todo lo que han hecho por mí.

Al comité: Dra. Maite Mascaro por tener siempre la puerta abierta para sus alumnos y por los momentos fuera de la UMDI tan divertidos. Al Dr. Cesar Flores Coto por siempre preguntar como va todo y estar dispuesto a ayudar en el trabajo. A la Dra. Elva Escobar Briones por sus atinados comentarios y su buena disposición para ayudar en hacer mejor este trabajo.

Al Dr. Nuno Simoes por ayudarme a llegar hasta este lugar y por su amistad.

A mis compañeros de la UMDI: A Andrés por apoyarme, creer en mí y darme palabras de aliento cuando más lo necesite. Reina mi amiga incondicional durante este proceso. Felipe y Pana (José Luís) por empezar este viaje conmigo y apoyarnos en momentos difíciles. Arturo George por ser siempre tan alegre y dispuesto a escuchar. Alex, Carlos y Mauricio por los momentos compartidos. A María, Andrea, Daniel, Quetzalli y Marcelo que llegaron al último pero llegaron ji ji.

A los profesores y técnicos de la UMDI que contribuyeron en el trabajo y en mi formación: M en C. Santiago Capella, Dra. Gabriela Espinosa, Dr. Ismael Mariño, Dr. Gilberto Jerónimo, M en C. Carmen Galindo, M en C. Maribel Badillo, M en C. Alfredo Gallardo, M en C. Ariadna Sánchez y Ecol. Mar. Honorio Cruz.

A el laboratorio de ecología de peces del CICIMAR: M en C Maribel Carrera gracias amiga por darme hospedaje y por nuestras pláticas de siempre y M en C. Yassir Torres por tus comentarios y tu ayuda en el análisis de datos. A todos sus integrantes por darme la bienvenida (Lalo, Jorge, Suri, Xchel, Ofelia y Marcela). Daniel (carnalito) por tu amistad, gracias!

A la CONANP: MVZ José Fco Remolina, Biol. Rafael de la Parra, Capitán Alberto y Chepe por todas las facilidades permitidas para la realización de este trabajo.

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología: Dra. Gloria Vilaclara, Diana Juárez, Gabriela Almaraz, Guadalupe Godoy y Chantal Ruíz.

A CONACYT por la beca que me proporciono para realizar mis estudios.

Al Carnegie Institute for Science en especial al Ph D. Seth Newsome por el procesamiento y análisis de las muestras, además de sus comentarios.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme seguir siendo parte de ella.

DEDICATORIA

A mi padre:
Manuel Hinojosa Flores.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
RESUMEN	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. HIPÓTESIS	12
4. OBJETIVOS	13
5. ÁREA DE ESTUDIO	14
6. MATERIAL Y MÉTODOS	
6.1 Trabajo de campo	16
6.1.1 Búsqueda	16
6.1.2 Colecta de muestras de <i>M.birostris</i>	16
6.1.3 Colecta de zooplancton	17
6.2 Trabajo de laboratorio	
6.2.1 Separación de muestras de zooplancton	17
6.2.2 Secado de muestras	18
6.2.3 Extracción de lípidos	20
6.2.4 Pesado y empaquetado de muestras	23
6.2.5 Espectrómetro de masas de razones isotópicas	24
7. ANÁLISIS DE DATOS	
7.1 Efectos de la extracción de lípidos	25
7.2 Variación isotópica del zooplancton y <i>M.birostris</i>	25
7.3 Parámetros ambientales	27
8. RESULTADOS	
8.1 Efectos de la extracción de lípidos	28
8.2 Parámetros ambientales	28
8.3 Variación isotópica del zooplancton y <i>M.birostris</i>	
8.3.1 Presencia de zooplacton durante el muestreo	31
8.3.2 Señal isotópica del zooplancton	33
8.3.3 Presencia de <i>M.birostirs</i>	35
8.3.4 Señal isotópica de <i>M.birostris</i> y sus presas	37
9. DISCUSIÓN	
9.1 Efectos de la extracción de lípidos	42
9.2 Parámetros ambientales	43
9.3 Variación isotópica del zooplancton y <i>M. birostris</i>	44
9.3.1 Zooplancton	44
9.3.2 <i>Manta birostris</i>	47
10. CONCLUSIONES	50
11. RECOMENDACIONES	52
12. BIBLIOGRAFÍA	53

ÍNDICE DE TABLAS

Lista de Tablas	Páginas
Tabla 1. Listado de artículos publicados sobre <i>Manta birostris</i> y otras especies de la familia Mobulidae.	6
Tabla 2. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ de importancia geológica (Hoefs, 1980)	9
Tabla 3. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ de zooplancton en el Mar de Bering (Shell et al. 1998)	9
Tabla 4. Valores de músculo de manta antes ($\delta^{13}\text{C}$) y después ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ex}}$) de aplicar la fórmula de Logan et al. 2008	22
Tabla 5. Valores de los componentes del zooplancton antes ($\delta^{13}\text{C}$) y después ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ex}}$) de aplicar la fórmula de Smyntek et al. 2007.	22
Tabla 6. Organismos de zooplancton colectados frente y al norte de Cabo Catoche, Isla Holbox Q Roo.	31
Tabla 7. Familia, género o especies identificadas de los grupos encontrados en el zooplancton.	33
Tabla 8. Número de mantas por temporada de muestreo y localidades de colecta.	36
Tabla 9. Proporción de contribución del zooplancton a la dieta de <i>M. birostris</i>	40
Tabla 10. Posición trófica calculada con base a Vander Zanden y Rasmussen, 2001.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Lista de Figuras	Páginas
Figura 1. Distribución mundial, franja de color rojo, de <i>Manta birostris</i> . (FLMNH, 2007)	3
Figura 2. Vista dorsal y ventral de <i>Manta birostris</i> (FLMNH,2007)	4
Figura 3. Dientes de <i>Manta birostris</i>	5
Figura 4. Esquema de alimentación de <i>Manta birostris</i> (Aidan,2003)	5
Figura 5. Localidades de muestro (Jerónimo, 2007)	15
Figura 6. Recorrido de la corriente de Yucatán (Candela et al.2004)	15
Figura 7. Diagrama de la Liofilizadora (Roman- Reyes, 2003)	19
Figura 8. a) Pesado y encapsulado de las muestras b) Empaquetado de las muestras en cápsulas de estaño (Roman- Reyes, 2003)	23
Figura 9. Mapa de contorno de la variación de la temperatura en ° C (y) y la salinidad (x) con respecto a la profundidad (z)	28
Figura 10. Mapa tres dimensional (Jeronimo, 2008). Valores muestreados en verde y los valores obtenidos con los sensores remotos: superficiales rojo, 50m negro, 100 m azul oscuro y 150m azul claro.	29
Figura 11. Diagrama TS de la zona de muestreo.	30
Figura 12. Señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ en zooplancton	34
Figura 13. Señal isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ en zooplancton	35
Figura 14. Mapa de distribución de $\delta^{13}\text{C}$ en el área de muestreo para <i>M.birostris</i> y presas.	36
Figura 15. Promedio y desviación estándar de la señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de <i>M. birostris</i> y sus presas	37
Figura 16. Señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ en <i>M.birostris</i> y sus presas	38
Figura 17. Señal isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ en <i>M.birostris</i> y sus presas	39

RESUMEN

Las mantas gigantes (*Manta birostris*) son animales de gran atractivo para los seres humanos. Sin embargo, la información biológica relativa a su alimentación, reproducción, distribución, migración, e es muy escasa. La manta gigante es la especie más grande de la familia Mobulidae, la cual ha sido medida hasta de 6.7 m de ancho de disco; sin embargo las más frecuentes son de 4m. Entre los isótopos estables se tiene para el carbono ^{12}C y el ^{13}C y para el nitrógeno el ^{14}N y ^{15}N . De los cuales los isótopos menos pesados (los que tienen menor número de neutrones en el núcleo) son los que serán utilizados en la mayoría de las reacciones biogeoquímicas. El cambio de $\delta^{13}\text{C}$ puede ser útil para diferenciar entre redes alimenticias de valores de $\delta^{13}\text{C}$ diferentes (Perry et al. 1999). El $\delta^{15}\text{N}$ de un organismo se convierte en un índice de su posición trófica relativo al $\delta^{15}\text{N}$ de un consumidor primario cuya posición trófica es conocida. Se cree que el área de muestreo es una zona de alimentación de *Manta birostris*. Pero en su estancia en el área de estudio no se sabe con precisión de que se están alimentando. Sabemos que son zooplanctívoras pero dentro del zooplancton existe una gran diversidad de grupos. Por lo que esperamos encontrar que dentro de esta diversidad de grupos exista una presa que sea su fuente principal de carbono. Además la señal isotópica de la manta debe estar asociada a la señal isotópica del zooplancton presente en la zona de estudio durante el tiempo que permanece la manta en la zona de alimentación. Se observó que los valores de isótopos de carbono y de nitrógeno a los que se les extrajo lípidos son significativamente diferentes ($p < 0.05$) a las muestras no extraídas. Por lo que se decidió que para los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en músculo de manta se iba a utilizar un modelo matemático propuesto por Logan et al. 2008, el cual es específico para tejidos y esta basado en la proporción de carbono y nitrógeno de la muestra y para los de zooplancton el propuesto por Smyntek et al. 2007. Pudimos confirmar que las mantas están alimentándose en las surgencias resultantes de la Corriente de Yucatán que coinciden con la llegada de esta especie a la zona de muestreo. Se corroboró que el área de muestreo es una zona de alimentación ya que los valores de isótopos de ^{13}C cambian de un valor de 11.5-12‰ cuando arriban a 14.5 ‰ cuando se marchan. A diferencia de otros trabajos con elasmobranchios se no se observó una diferencia marcada en cuanto al cambio de valores de ^{15}N ya que la manta no presenta un cambio de dieta tan marcado como el de otros tiburones es decir, siempre consume zooplancton en lugar de en una época del año comer calamares y en otra peces de escama como algunos tiburones. Se encontró que la presa de la contribuye con una mayor fuente de carbono a la dieta de *M. birostris* fueron las zoeas de crustáceos.

1. Introducción

Las mantas gigantes (*Manta birostris*) son animales que se han capturado para consumo humano en diversos lugares del mundo, incluyendo Hawaii, los cuales tienen cuotas para sus capturas. Sin embargo en la mayoría de los lugares donde son comúnmente observadas se utiliza como atractivo turístico en sitios de buceo. Estas mantas no son bien conocidas biológicamente ya que se desconoce acerca de su alimentación, reproducción, distribución, migración, etc. Debido a esta poca información biológica, la Unión internacional para la conservación de la naturaleza (IUCN) y CITES no han podido determinar el verdadero estado de las poblaciones de mantas y por lo mismo no se ha podido catalogarla de manera adecuada. Actualmente la IUCN la tiene catalogada como especie amenazada (IUCN, 2008), sin embargo no se tiene información biológica suficiente para ingresarla a la lista roja de protección internacional. Al no saber el estado actual de las poblaciones en algunos países, incluyendo México, se ha prohibido pescarlas como una medida preventiva.

En México se tienen ubicadas poblaciones de *M. birostris* en el Golfo de California, Islas Revillagigedo y el Caribe mexicano. En esta última zona se encuentran en las áreas naturales protegidas de Yum Balam e Isla Contoy, Quintana Roo en la Península de Yucatán. Esta especie se llega a pescar en algunas áreas del Caribe, pero al ser las embarcaciones muy pequeñas y el animal muy grande, la pesca se dificulta, de tal forma que se llega a pescar uno o dos animales durante la temporada y su uso es principalmente de carnada.

El conocimiento biológico de la manta gigante (*M. birostris*) a nivel mundial es escaso, a pesar de las múltiples observaciones que se hacen de esta especie en diferentes lugares (Hawaii, Islas Galápagos, Islas Revillagigedo, Caribe mexicano). El Caribe mexicano es una de las áreas con mayor frecuencia de avistamientos en México. La Comisión Nacional de áreas protegidas (CONANP 2006) registró avistamientos constantes desde Mayo a Septiembre en el área de Holbox e Isla Contoy, por lo cual esta área es propicia para realizar investigaciones que permitan conocer la biología de esta especie.

Al respecto, el presente estudio aborda los estudios tróficos de la Manta gigante utilizando dos técnicas de análisis, debido a que esta prohibido pescar a estos organismos para análisis biológicos o para consumo. Una de las técnicas es el análisis de la abundancia de zooplancton presente en la zona de estudio para conocer las especies probables que consume la Manta. La segunda técnica es el uso de isótopos estables de Carbono y Nitrógeno para observar el alimento asimilado y aportar información del hábitat trófico en el cual consume al zooplancton, el cual puede ser oceánico, costero, en la superficie o en el fondo. Asimismo esta técnica permite observar “firmas isotópicas” que indican si la manta permanece en el área de estudio o proviene de otra zona de alimentación. El presente estudio permitirá aportar información biológica sobre la manta gigante (dieta, posición trófica y posibles patrones de migración) utilizando isótopos de Carbono y Nitrógeno.

2. Antecedentes

2.1. *Manta birostris*

La especie *Manta birostris* (Dondorff, 1798) pertenece a la familia Mobulidae, la cual incluye a otras cuatro especies en México: *Mobula thurstoni*, *M. tarapacana*, *M. japonica* y *M. munkiana*. La manta gigante es la especie más grande de la familia Mobulidae, y alcanza hasta 6.7 m de ancho de disco; sin embargo, las más frecuentes son de 4 m.

El tamaño al nacer es de 1.2 m (http://www.elasmobranch-research.org/education/topics/lh_manta_faq.htm). Es uno de los elasmobranchios menos estudiados que tiene una distribución circunglobal en temperaturas cálidas y templadas (Coleman, 1992; Michael, 1993; Compagno, 1999) (Figura 1).



Figura. 1 Distribución mundial estimada, franja de color rojo, de *Manta birostris*. (FLMNH, 2007)

Todas las especies de la familia Mobulidae son filtradoras, aunque consumen también peces pequeños como presas ocasionales (Fischer *et al.*, 1995). Los adultos de *M. birostris* se pueden reconocer fácilmente ya que presentan aletas pectorales largas y triangulares y su cabeza no rebasa el 17% de la amplitud del disco (Figura 2). Son organismos vivíparos, pariendo una sola cría después de un periodo largo de gestación (1-2 años) (Fischer *et al.*, 1995). A diferencia de varios mobúlidos (con boca subterminal), la boca de la manta es terminal.

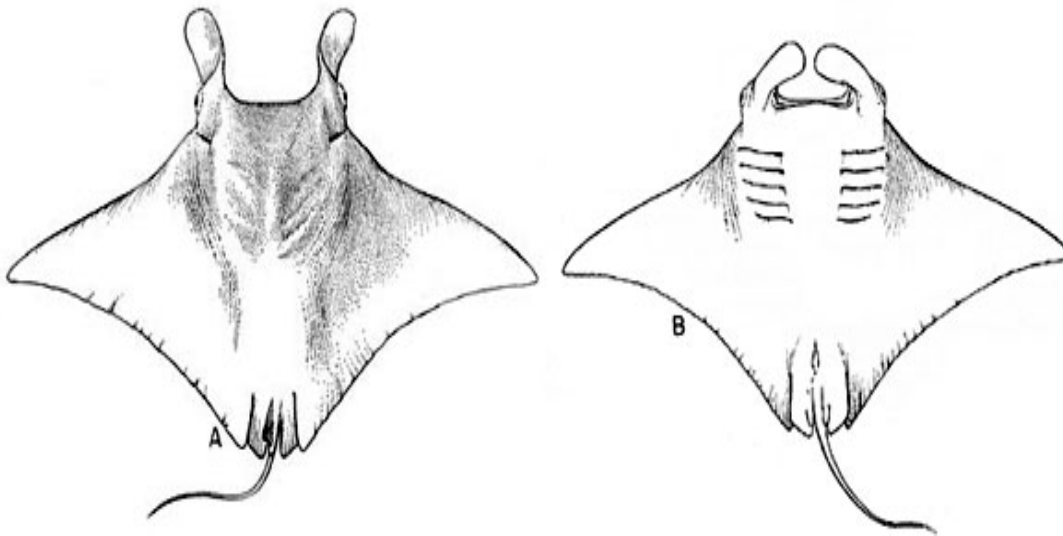


Figura 2. Vista dorsal (A) y ventral (B) de *Manta birostris* (FLMNH,2007)

Cada manta posee un patrón único de manchas en la parte dorsal y ventral, la coloración puede variar de café, azul grisáceo, o negro con algunas regiones en blanco, esta variación de colores se utiliza para su identificación (FLMNH, 2007). Tienen una hilera de 300 dientes del tamaño de la punta de un alfiler, sus dientes son confundidos la mayoría de las veces con dentículos (Fig. 3)

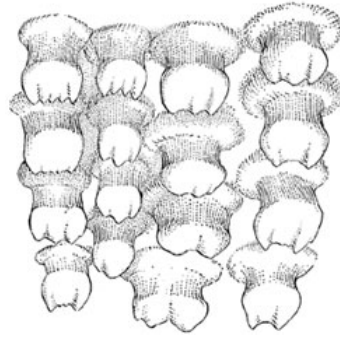


Figura 3. Dientes de *Manta birostris*

El aparato de filtración (Fig. 4) consiste en dos placas de tejido con textura parecido a una esponja localizado en las branquias, el cual también les proporciona sostén (Aidan, 2003).

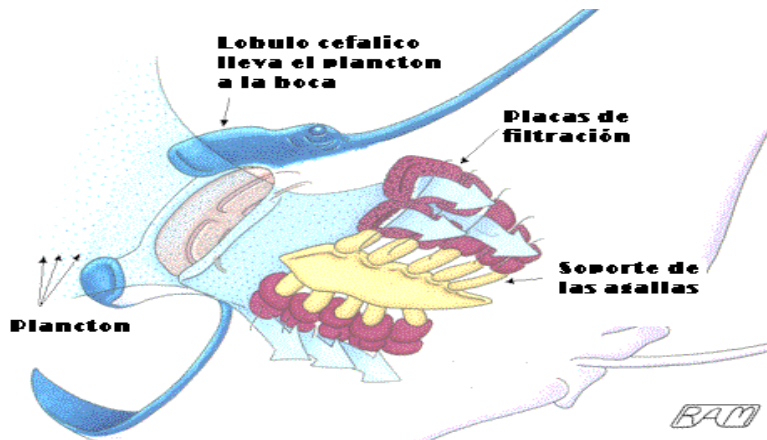


Figura 4. Esquema de alimentación de *Manta birostris* (Aidan, 2003).

Los estudios biológicos sobre *Manta birostris* a nivel mundial son escasos. En la tabla 1 se presentan algunos estudios que se han realizado en esta especie o especies afines; sin embargo se observa que no se han realizado estudios de análisis tróficos en la Manta gigante en ningún lugar del mundo, por lo cual el presente estudio aportará información relevante para conocer parte de la biología de la especie.

Tabla 1. Listado de artículos publicados sobre *Manta birostris* y miembros de la familia Mobulidae.

Tipo de Estudio	Especie y lugar del estudio	Autores
Hábitat y alimentación	<ul style="list-style-type: none"> - <i>M.japanica</i> y <i>M.thurstoni</i> en el Golfo de California. - <i>M. japonica</i> y <i>M.thurstoni</i> - Análisis mediante isótopos estables de carbono y nitrógeno. 	<p>Notabartolo-di-Sciara (1987)</p> <p>Hobro (2002)</p> <p>Sampson (2007)</p>
Áreas de crianza	<ul style="list-style-type: none"> - <i>M.thurstoni</i> en el Golfo de California 	<p>Notabartolo-di-Sciara (1988)</p>
Fisiológicos	<ul style="list-style-type: none"> - <i>M. birostris</i> 	<p>Alexander (1996)</p>
Migratorios	<ul style="list-style-type: none"> - <i>M.japanica</i> en el Golfo de California. - Hábitos estacionales de mobulidos en el Golfo de California. - Fidelidad al sitio de <i>Manta birostris</i> en Indonesia. 	<p>Freund <i>et al.</i>, (2000)</p> <p>Croll (2003)</p> <p>Cerutti y Galván-Magaña (2005)</p> <p>Dewar <i>et al.</i> (2008)</p>
Avistamientos y primeros registros	<ul style="list-style-type: none"> - <i>M.birostris</i> Nueva Zelanda - <i>M.birostris</i> Uruguay 	<p>Gilbert y Paul (1968)</p> <p>Duffy y Abbot (2003)</p> <p>Gayana (2003)</p>

2.2 Isótopos estables

2.2.1 Introducción

En los ecosistemas marinos y terrestres se encuentran isótopos que pueden ser estables o radiactivos. Entre los isótopos estables se tiene para el carbono ^{12}C y el ^{13}C y para el nitrógeno el ^{14}N y ^{15}N . De los cuales los isótopos menos pesados (los que tienen menor número de neutrones en el núcleo) son los que se utilizan en la mayoría de las reacciones biogeoquímicas, en lugar de utilizar los pesados (los que tienen mayor número de neutrones en el núcleo). De tal forma que los isótopos pesados serán los que se queden en el cuerpo del animal. En las interacciones tróficas en las que un organismo se alimenta de otro, el consumidor es isotópicamente más pesado que su fuente de comida (Eggers y Helfin-Jones, 2000)

Con la finalidad de entender las relaciones tróficas de los organismos marinos se han propuesto dos formas diferentes de aproximación: 1) Composición de la dieta, en los que se usan proporciones relativas de los tipos de presas y su nivel trófico respectivo y 2) el análisis de isótopos estables que provee una estimación de la asimilación del alimento en los tejidos de los consumidores marinos (Post, 2002).

El $\delta^{13}\text{C}$ ha sido utilizado para diferenciar entre cadenas tróficas basadas en algas bentónicas (enriquecidas en ^{13}C) y cadenas tróficas basadas en fitoplancton (reducidas en ^{13}C). Un valor alto de $\delta^{13}\text{C}$ podría indicar que el animal se está alimentando de organismos bentónicos (France, 1995). Los animales que se mueven de un ecosistema a otro llevan consigo una firma isotópica particular que permite

inferir las áreas de alimentación (Hobson, 1999). Si las proporciones de $\delta^{13}\text{C}$ son diferentes entre dos regiones, en el caso de un animal migratorio se puede estimar la región en donde ingirió su alimento basándose en las firmas de $\delta^{13}\text{C}$ de cada región (Schell et al. 1998).

Una aplicación cuantitativa del uso de isótopos estables es también estimar el nivel trófico de los consumidores (Van der Zanden y Rasmussen, 2001). Si hay un enriquecimiento constante en $\delta^{15}\text{N}$ en cada nivel de la cadena alimenticia, el $\delta^{15}\text{N}$ de un organismo se convierte en un índice de posición trófica (Mac Neil et al. 2005). Se estima que en cada nivel trófico el $\delta^{15}\text{N}$ aumenta en 3.4 ‰ en promedio, y el $\delta^{13}\text{C}$ aumenta de 0.00‰ -1.00‰ en promedio (Michener y Schell, 1994; Vander Zanden y Rasmussen, 2001; Post, 2002). Los isótopos estables de Carbono también nos permiten determinar si el depredador se está alimentando en una zona oceánica o una costera. Si se obtienen valores de carbono de -16‰ a -20‰ estaríamos hablando de que el recurso del cual se está alimentando el depredador tiene un origen oceánico; si los valores son de -16‰ o mayores entonces estamos hablando de un origen costero (Koppelman et al. 2008)

Las abundancias relativas de los dos isótopos estables del carbono en la naturaleza son (Hoefs, 1980):

^{12}C 98.89%

^{13}C 1.11%

A continuación se presentan algunos valores de $\delta^{13}\text{C}$ en referencia al estándar PDB expresado en ‰ (Tabla 2)

Tabla 2. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ de importancia geológica (Hoefs, 1980)

Estándar (CaCO ₃ ; PDB)	0
Atmosférico CO ₂	-8
Océano ΣCO_2	+2 (superficie) 0 (profundidad)
Plancton CaCO ₃	0
Plancton carbono orgánico	-20
Árboles	-26

El nitrógeno tiene dos isótopos estables con las siguientes abundancias relativas (Mills, *et al.* 1988):

^{14}N 99.632%

^{15}N 0.368%

En la tabla (3) se presentan los valores del estándar y de otros componentes del zooplancton para el mar de Bering de $^{15}\delta\text{N}$ expresados en ‰ (Shell *et al.* 1998)

Tabla 3. Valores de $^{15}\delta\text{N}$ de zooplancton en el mar de Bering (Shell *et al.* 1998)

Estándar (Aire)	0
Quetognatos	12.9
Copépodos	11.8
Eufáusidos	10.0

2.2.2 Usos y desventajas de los isótopos estables

Algunos beneficios de esta técnica son: provee medidas continuas de la posición trófica que integra la asimilación y flujo de energía a través de las diferentes redes tróficas hasta llegar a un organismo y tiene la posibilidad de seguir las interacciones de productores hasta consumidores a lo largo de la red trófica (Post, 2002)

Sin embargo, existen algunas desventajas en la aplicación de esta técnica. Una es que la proporción isotópica puede variar entre los componentes de la dieta y los tejidos del consumidor debido al metabolismo del consumidor y de cómo lo asimile (McCutchan et al. 2003). La segunda es que algunos componentes como los lípidos pueden provocar una variación en el valor isotópico del tejido ya que presentan valores más negativos de ^{13}C en relación a otros componentes bioquímicos.

La variabilidad del contenido de lípidos en los distintos tejidos (músculo, hígado, sangre) puede alterar el valor de $\delta^{13}\text{C}$ (Focker y Becker, 1998), y esto puede dar origen a interpretaciones erróneas en cuanto a la descripción de una dieta o el cambio de hábitat de un animal. Esto se puede corregir mediante la extracción *a priori* de lípidos (Kline 1999, Matthews y Mazumder 2005). Sin embargo, recientemente se ha reportado que la extracción de lípidos *a priori* causa incrementos significativos en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para casi todas las especies y casi todos los tejidos. De tal forma que se sugiere hacer pruebas estadísticas que ayuden a discernir si hay diferencias significativas entre muestras extraídas de lípidos y no extraídas. De haberlas, es necesario hacer correcciones en estos valores usando un modelo matemático (Smyntek et al. 2007; Logan et al. 2008)

Si bien esta técnica es muy útil y hasta cierto punto precisa es importante recordar que la proporción isotópica de un organismo representa su dieta, pero esta proporción es específica de un tiempo determinado y por lo tanto sólo representa un momento de la vida del organismo. (O'Reilly et al. 2002)

2.2.3 Estudios relacionados

En varios estudios biológicos se han utilizado isótopos estables para determinar la posición trófica y dieta de elasmobranquios como *Isurus oxyrinchus*, *Alopias vulpinus*, *Prionace glauca*, *Cetorhinus maximus* (Estrada et al. 2003; MacNeil et al. 2005), *Somniosus microcephalus* (Fisk et al. 2002) y *Potamotrygon motoro* (MacNeil et al. 2006). Así mismo MacNeil en el 2005 estableció la tasa de recambio para isótopos estables de carbono y nitrógeno es de 3 meses para rayas de la género *Potamotrygon*.

En México, diversas investigaciones han aplicado esta técnica con la finalidad de establecer la posición trófica y la dieta de diversos elasmobranquios, entre ellos Chávez-Costa (2003) en tiburón piloto; Aguilar (2004) en tiburón martillo; Galván et al. (2004) en varias especies de tiburones; Velasco-Tarelo y Galván-Magaña (2005) para el tiburón mako; Cerutti y Galván-Magaña (2005) en mobulas; Escobar-Sánchez, et al. (2005) en tiburón angelito; Valdivia (2006) en la raya guitarra; Sampson y Galván (2007) en dos especies de móbulas; Torres-Rojas et al. (2007) en tiburón martillo y Hacohe-Domene (2007) en el tiburón ballena.

3. Hipótesis

1. *Manta birostris* llega al área de muestreo para alimentarse de zooplancton durante los meses de marzo hasta septiembre de cada año. La presencia de la manta en el área de estudio coincide con los florecimientos de zooplancton como resultado de las surgencias de la Corriente de Yucatán; que además presentan la misma estacionalidad que la llegada de las mantas. Al haber una gran concentración de zooplancton en el área y las mantas alimentarse de este esperamos encontrar que de los diferentes grupos del zooplancton exista uno o unos que aporten una mayor fuente de carbono a la dieta.

2. La señal isotópica de la manta debe estar asociada a la señal isotópica del zooplancton presente en la zona de estudio durante el tiempo que permanece la manta en la zona de alimentación.

4. Objetivos

Objetivo general

Conocer la ecología trófica de la manta gigante mediante el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno en el músculo y en el zooplancton en la zona de Isla Holbox e Isla Contoy, Quintana Roo.

Objetivos particulares

- Obtener el valor isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ de los grupos funcionales del zooplancton y de las mantas para establecer la fuente de carbono de la dieta de la manta.
- Separar el zooplancton de acuerdo a sus hábitos alimentarios e identificarlo en familia, género o especie si es posible.
- Establecer la posición trófica de la manta y sus presas mediante el $\delta^{15}\text{N}$
- Determinar si la extracción de lípidos altera significativamente los valores de los isótopos de carbono y nitrógeno en músculo de manta.
- Establecer la posible relación de llegada y partida de las mantas a la zona de estudio debido a los parámetros ambientales que influyen en los afloramientos de zooplancton.

5. Área de Estudio

La región de Yalahau se encuentra en los municipios de Lázaro Cárdenas e Isla Mujeres en el Estado de Quintana Roo, incluye la Laguna de Yalahau, Isla Holbox, Isla Arena, la Laguna de Chacmochuk y las selvas bajas y humedales.

Las mayores precipitaciones se encuentran en el norte del municipio en donde alcanzan los 1500 mm anuales de precipitación, registra un promedio de temperatura anual de 24.7° C el clima es cálido húmedo con lluvias en verano. Los vientos predominantes vienen del suroeste. El municipio se localiza entre los 21° 36' y 20° 34' Latitud norte y 87° 06' y 87° 25 Longitud oeste (Lazcano, 1999). Isla Holbox se encuentra en la punta norte de la Península de Yucatán, en el Estado de Quintana Roo, la cuál esta dentro de los limites de la reserva ecológica de flora y fauna silvestre denominada "Yum Balam" (Figura 5). Al este colinda con Cabo Catoche y la Laguna Yalahau (Sedetur, 2007).

Isla Contoy (Figura 5) se localiza entre los 21°27' y 21°32' Latitud N y entre los 86°46' y 86°47' Longitud O. Se ubica en el estado de Quintana Roo, en el municipio de Isla Mujeres. Es el punto terminal del sistema de arrecifes de la costa oriental de la Península de Yucatán. Predomina la corriente de Yucatán (figura 6) sobre la del Caribe y se presentan surgencias estacionales (Diario Oficial, 2004).

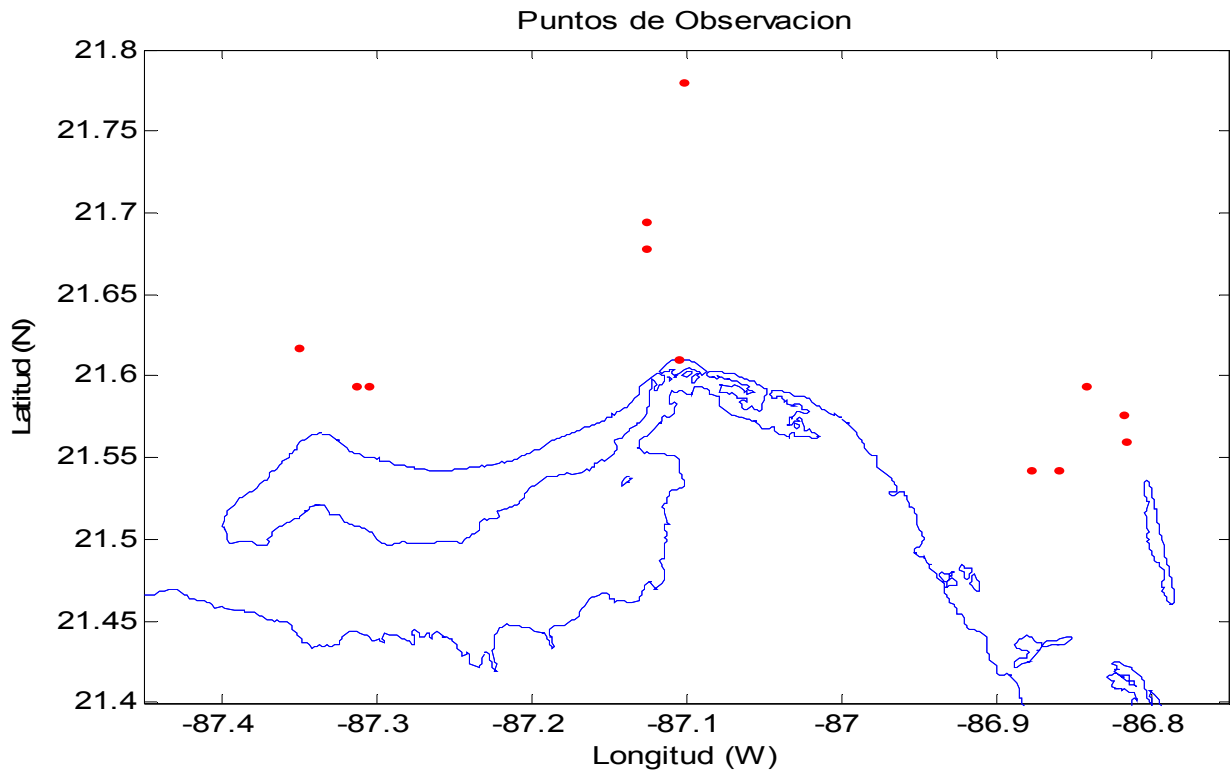


Figura 5. Puntos de muestro (Jerónimo, 2007)

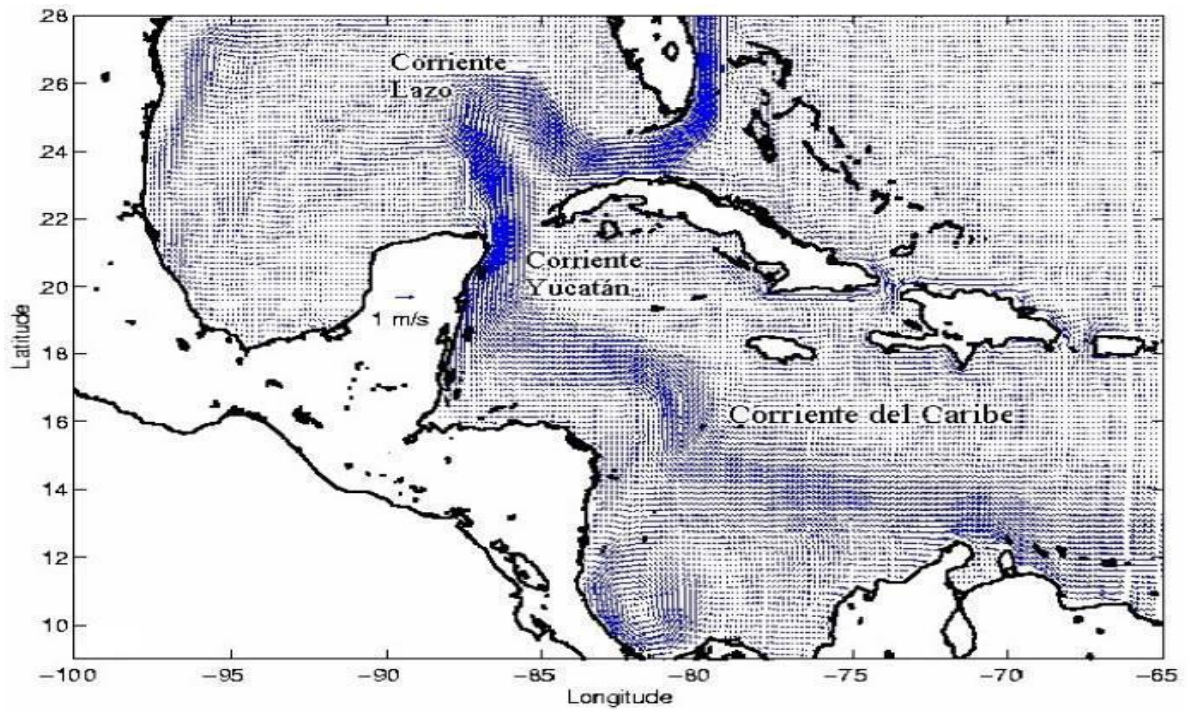


Figura 6. Recorrido de la corriente de Yucatan (Candela et al.2004)

6 .Material y Métodos

6.1 Trabajo de Campo

6.1.1 Búsqueda

Se realizaron búsquedas de *Manta birostris* en el área de Isla Holbox ,Cabo Catoche e Isla Contoy, durante los meses de mayo a septiembre del 2008 en áreas conocidas de agregación. Este es el periodo en el cual las mantas llegan y permanecen en la zona de estudio

Al encontrar a las mantas, la embarcación redujo la velocidad para registrar su posición geográfica mediante un geoposicionador satelital y para no lastimar a las mantas. Posteriormente una o dos personas con equipo de buceo libre se acercaron a la manta para estimar su longitud de disco, sexo y para tomar la biopsia para el análisis de isótopos estables. La forma de acercarse a las mantas siempre fue por atrás, tomando la muestra cercana a aleta dorsal en medida de lo posible.

6.1.2 Colecta de muestras de *M.birostris*

Se colectaron de 1 a 2 g de tejido muscular dorsal por medio de biopsias para las cuales se utilizó con un arpón tipo hawaiano, con puntas especiales de acero inoxidable. Una vez que fueron extraídas las muestras, se congelaron en un tanque de nitrógeno líquido y posteriormente se preservaron congeladas en viales los que se mantuvieron en refrigeración a una temperatura de – 40° C.

6.1.3. Colecta de zooplancton

Las muestras de zooplancton se obtuvieron por medio de arrastres superficiales que se realizaron con una periodicidad bimensual tanto de día como de noche. Se utilizó una red cónica simple de boca de 50 cm de diámetro, 500 μm 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. Los arrastres se realizaron a una velocidad de 2-3 nudos durante 5 a 10 minutos en línea recta. Se colocó un flujómetro calibrado marca G.O. Environmental ® al centro de la boca de la red para determinar el volumen de agua de mar filtrado, en m^3 . Las muestras de zooplancton se preservaron en botes de plástico los cuales fueron introducidos en un tanque de nitrógeno líquido. Se anotó el estado del mar según la escala de Beaufort y la temperatura superficial del mar, pH, salinidad y oxígeno disuelto. La profundidad de la red se midió con una computadora de buceo marca Nitek Duo (Dive Rite®) con una precisión +/- 3%.

6.2 Trabajo de laboratorio

6.2.1. Separación de muestras de zooplancton

Se colocó la muestra de zooplancton congelada en una hielera, la cual a su vez contenía paquetes de agua congelada con la finalidad de procesar las muestras en el mayor tiempo posible antes de que la muestra empezara a descongelarse. De esta muestra se extrajo una fracción la cual se colocó en una caja de Petri para observar la muestra en un estereoscopio. Se identificaron y separaron cuatro grupos

funcionales que se clasificaron *a priori* de acuerdo con los hábitos alimenticios. Se consideraron a los herbívoros (copépodos), carnívoros (quetognatos, zoeas, copépodos, larvas de pez y sergéstidos), omnívoros (misidáceos). Para el caso de las larvas de pez se consideraron carnívoras cuando se observó que ya se habían alimentado y se asignaron a un grupo distinto cuando se colectaron huevos o larvas aún con saco vitelino.

Una vez separados e identificados los grupos mediante la guía de zooplancton de Mediterráneo (Trégouboff y Rose, 1957) y con la ayuda del M en C. Uriel Ordoñez del laboratorio de zooplancton marino del CINVESTAV – Mérida; se guardaron en tubos Eppendorff de 0.5 ml que se mantuvieron congelados a -40°C hasta el momento de los análisis isotópicos.

6.2.2. Secado de muestras de zooplancton y músculo de manta.

El tejido muscular se mantuvo congelado a -40°C . Se hicieron cortes finos lo más cercano al músculo; deben de hacerse con navajas de acero inoxidable previamente esterilizadas para obtener la cantidad de 1 a 2 mg de muestra (Roman-Reyes 2003).

Las muestras se secaron mediante una liofilización que consiste en un proceso de sublimación del contenido de agua, esto se logra mediante un proceso de ultra congelación (-40°C a -50°C) y al alto vacío (55 MBR) constante durante un periodo determinado (4 h para el caso del zooplancton y 24 h para el del músculo de manta).

Los frascos de la liofilizadora fueron lavados previamente con jabón Extran y agua destilada, después se enjuagaron con acetona y por último se dejaron 24 h en un horno a 50° C con el fin de evitar contaminación.

Cada muestra de zooplancton estaba en el tubo Eppendorff en el que había sido almacenada después de la separación de grupos y cada grupo de zooplancton se colocó en un frasco de liofilizadora (Fig.7) diferente al momento de secarlos. Las muestras de músculo de manta se procesaron en un mismo frasco, aunque contenidas a su vez en otros frascos pequeños separados unos de otros y debidamente etiquetados con la finalidad asegurar que cada muestra sería tratada de la misma manera pero, sin tener el riesgo de que se llegaran a mezclar o contaminar.



Figura 7. Liofilizadora (Roman- Reyes, 2003)

6.2.3. Extracción de lípidos

Se tomaron 10 muestras las cuales por su cantidad podían ser partidas a la mitad y extraer a una de las mitades lípidos y a las otras no. Con la finalidad de observar si existía o no un aumento en los valores de ^{13}C por la extracción.

Se extrajeron lípidos del músculo de la manta mediante el método Goldfisch el cuál consiste en la extracción continua de grasas mediante un solvente, en este caso n- hexano. La metodología que se siguió fue la siguiente:

- 1) Se pesó aproximadamente 1 mg de la muestra seca y molida en un filtro de papel Whattman sin cenizas de 22 x 80 mm
- 2) Se adicionó 35 – 40 ml de hexano
- 3) Se extrajo en “Hi” por aproximadamente 5 h
- 4) Después de la extracción se dejó secar la muestra durante 24 h en campana de flujo laminar.

Al haber diferencias significativas entre los valores extraídos de los no se aplicó un modelo matemático propuesto por Logan et al. 2008, el cual es específico para tejidos y esta basado en la proporción de carbono y nitrógeno de la muestra. En comunicación personal con el autor sugirió que utilizáramos los datos de las muestras a las cuales no extrajimos lípidos y aplicáramos la siguiente ecuación:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{ex}} = a \cdot \text{C:N} + b / \text{C:N} + c$$

Donde:

C:N = proporción carbono y nitrógeno

$$a = 7.415$$

$$b = -22.732$$

$$c = 0.746$$

Al zooplancton no se le extrajo lípidos ya que se tiene reportado el aumento en los valores de ^{13}C y ^{15}N (Smyntek et al.2007), así que se utilizó el modelo propuesto por Smyntek y colaboradores.

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{ex}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{bulk}} + 6.3 (\text{C:N}_{\text{bulk}} - 4.2 / \text{C:N}_{\text{bulk}})$$

Donde:

C:N_{bulk} = la proporción de carbono y nitrógeno atómico en la muestra para lo cual se multiplica el valor de C:N * 1.166

$\delta^{13}\text{C}_{\text{bulk}}$ = el valor isotópico del carbono sin extracción de lípidos.

En la tablas (4) y (5) se presentan los valores que se obtuvieron al aplicar estas fórmulas.

Tabla 4. Valores de las concentraciones de isótopos medidas en el músculo de manta antes ($\delta^{13}\text{C}$) y después ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ex}}$) de aplicar la fórmula de Logan et al. 2008

mes	ID	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{ex}}$
mayo	10	-15.6	-14.5
	11	-13.6	-11.8
	4	-13.2	-10.9
junio	2	-13.1	-11.4
	9	-13.4	-11.7
	18	-15.4	-15.4
agosto	14	-14.9	-14.7
	17	-14.0	-14.0
	12	-15.3	-15.3
	15	-14.6	-14.6
	19	-15.0	-15.4
	7	-15.0	-14.9
	16	-14.7	-14.3
	20	-14.7	-14.3
	6	-15.1	-12.8
	13	-14.7	-15.0
	5	-14.2	-14.8
	8	-15.3	-15.3

Tabla 5. Valores de los componentes del zooplancton antes ($\delta^{13}\text{C}$) y después ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ex}}$) de aplicar la fórmula de Smyntek et al. 2007.

	$\delta^{13}\text{C}$				
	Misidáceos	Sergéstidos	Zoeas de crustáceos	Copépodos	Larvaz de pez
septiembre	-16			-16.1	-16.2
noviembre	-16.4			-18.3	
enero	-17.7	-17.1			-17.5
mayo		-17.5	-16.6		
julio	-15.4		-14.4		-17.2
agosto		-17.9	-18.6		
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{ex}}$				
	Misidáceos	Sergéstidos	Zoeas de crustáceos	Copépodos	Larvaz de pez
septiembre	-16			-16	-15.8
noviembre	-15.5				
enero	-16.7	-16.4		-19	-17.9
mayo		-17.5	-16.5		
julio	-15.9		-15.8	-14.7	-17
agosto		-17.9	-19.9	-19.4	

Para el $\delta^{15}\text{N}$ en comunicación personal con Dr. John M. Logan del Large Pelagics Research Center de la Universidad de New Hampshire se nos recomendó que se utilizarían los valores sin extraer y sin necesidad de aplicar ninguna corrección (Sotiropoulos et al. 2004; Smyntek et al. 2007; Logan et al. 2008)

6.2.4. Pesado y empaquetado de las muestras

Una vez eliminados los lípidos se peso 0.05mg y se colocó el polvo en cápsulas de estaño como se ilustra en la figura 8. Ya encapsuladas se enviaron al Carnegie Institute for Science en Washington, D.C. para su análisis en el espectrómetro de masas de razones isotópicas (IRMS).

(Roman-Reyes 2003).

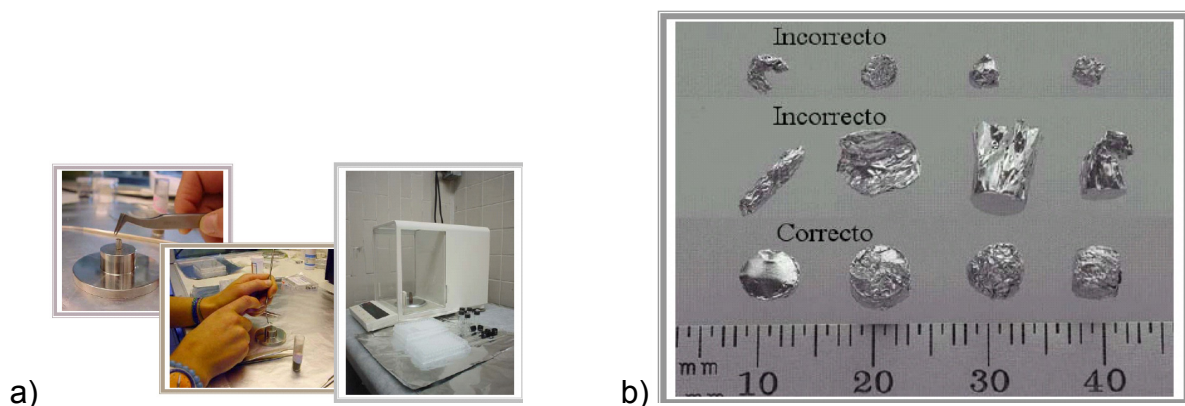


Figura 8. a) Pesado y encapsulado de las muestras b) Correcto empaquetamiento de las muestras en cápsulas de estaño (Roman- Reyes, 2003).

6.2.5. Espectrómetro de masas de razones isotópicas

El espectrómetro de masas utilizado para este análisis permite conocer no sólo la composición isotópica si no también la de carbono y nitrógeno. El primer paso es convertir la muestra a un gas mediante un proceso que se conoce como combustión, esto se lleva a cabo en el analizador elemental. El siguiente dispositivo es una columna de cromatografía de gases la cual separa los gases que generó el proceso de combustión de la muestra. Finalmente el espectrómetro de masas tiene la función de contar e identificar la masa molecular. Por consiguiente éste último cuantifica la composición molecular de los gases de interés (Roman-Reyes, 2003).

7. Análisis de datos

7.1 Efectos de la extracción de lípidos

Para observar la posible variación en cuanto a los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en las muestras debido a la extracción de lípidos (Murry et al. 2006; Sweeting et al. 2006; Smyntek et al. 2007; Logan et al. 2008), se analizó mediante una prueba de t de student pareada $n=10$. Se compararon los valores de las muestras a las que se les realizó la extracción de lípidos y a las que no del músculo de manta.

7.2 Variación isotópica de zooplancton y *M.birostris*

La composición isotópica de un tejido se mide a través de la proporción de los isótopos estables de Carbono y Nitrógeno presentes en la muestra. Se determinó la diferencia isotópica entre la muestra y un estándar. El estándar con el que se compara el carbono es una calcita fósil llamada Pee Dee Belemnita de Viena (VPDB), y el nitrógeno se compara con el aire atmosférico. Las muestras que contienen mayor cantidad del isótopo pesado están “enriquecidas”, y son más “pesadas” que las otras muestras (Lajtha y Michener, 1994).

Las proporciones de isótopos se dan en partes por mil (‰), utilizando la siguiente ecuación:

$$\delta X = (R_{\text{muestra}}/R_{\text{estándar}} - 1) \times 1000$$

Donde X es la proporción en unidades delta relativa a un estándar, y R_{muestra} y $R_{\text{estándar}}$ son las proporciones isotópicas absolutas de la muestra y el estándar. (Ehleringer y Rundel, 1989).

Para calcular la posición trófica de *M. birostris* y las del zooplancton se utilizó la siguiente fórmula propuesta por Vander Zanden y Rasmussen, 2001.

$$\text{Posición trófica del consumidor} = [(\delta^{15}\text{N consumidor} - \delta^{15}\text{N base}) / 3.4] + 2$$

Una vez obtenido el resultado se comparó con los valores reportados por Fish Base considerando que la posición trófica de los herbívoros adquiere valores de 2 a 2.49, los omnívoros de 2.5-2.99, carnívoros primarios de 3-3.49, los carnívoros secundarios de 3.5–3.99, los depredadores primarios de 4-4.49 y los depredadores tope de 4.5–4.99 (www.fisbase.org).

Para el análisis de los isótopos se gráfico la variación de la proporción isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ entre el músculo de manta y cada uno de los valores de los componentes del zooplancton. Con la finalidad de observar, para el caso del carbono, el valor isotópico de los componentes del zooplancton que sea igual o cercano, es decir con un enriquecimiento menor al 2 ‰ al valor isotópico del músculo de la manta. Para saber cual de las presas aporta la mayor fuente de carbono de la dieta de la manta. En el caso del nitrógeno se observará el enriquecimiento entre los grupos funcionales y la manta para obtener la posición trófica de cada componente de la cadena (Smith *et al.*, 2006, Hacoheh-Domené, 2007).

Además se utilizó el programa Iso Source Microsoft Virtual Basic™; el cual analiza todas las posibles combinaciones de la fuentes de carbono (presas) de (0-100%) en pequeños incrementos (1%). La combinación que sumada tenga un mayor incremento será la que contribuye en mayor proporción a la dieta del depredador (Phillips y Greg, 2003).

7.3. Parámetros ambientales

Se analizó con una serie de tiempo de 8 años (1994 a 2002), de datos de la anomalía del nivel del mar obtenidos por sensores remotos (altimetría). Los datos interpolados están disponibles para cualquier usuario, los datos crudos, que son los datos que envían directamente los satélites no. Se cuenta también con los datos de relieve de fondo marino y continental. Estos datos también son medidos por sensores remotos, esta base de datos está disponible para todos, se llama ETOPO-5. Los datos de altimetría fueron proporcionados por: National Oceanography Centre, Southampton (SOC). SOC administra y analiza los datos, estos proyectos son financiados casi en su totalidad por la Agencia Espacial Europea (ESA) (Jerónimo, en proceso). Estos datos además de las mediciones hechas en el lugar de estudio se sometieron a un proceso de interpolación lo cual permitió generar un diagrama TS (temperatura-salinidad) y un mapa tridimensional cuyos datos permiten establecer el origen de las masas de agua en donde las mantas se están alimentando. En la zona de muestreo se presentan surgencias las cuales dan como resultado un aporte importante de plancton debido a la corriente de Yucatán que coincide con los tiempos de arribo de la especie al área de muestreo (Álvarez-Cadena et al. 2007)

8. Resultados

8.1. Efectos de la extracción de lípidos

Al realizarse la prueba estadística de t de student para muestras pareadas se obtuvo que los valores de isotopos de carbono y de nitrógeno a los que se les extrajo lípidos son significativamente diferentes ($t= 4.83, p<0.05$) a las muestras no extraídas.

8.2. Parámetros ambientales

La temperatura del agua más baja que se registro durante la temporada de muestreo fue de 22.5° C en julio del 2008, mientras que la más alta fue de 30° C en septiembre del 2007 y la promedio de 24.8° C. La mayor salinidad fue de 37 en mayo del 2008 y la menor de 35 en septiembre del 2007, siendo la promedio de 35.3. (Figura 9)

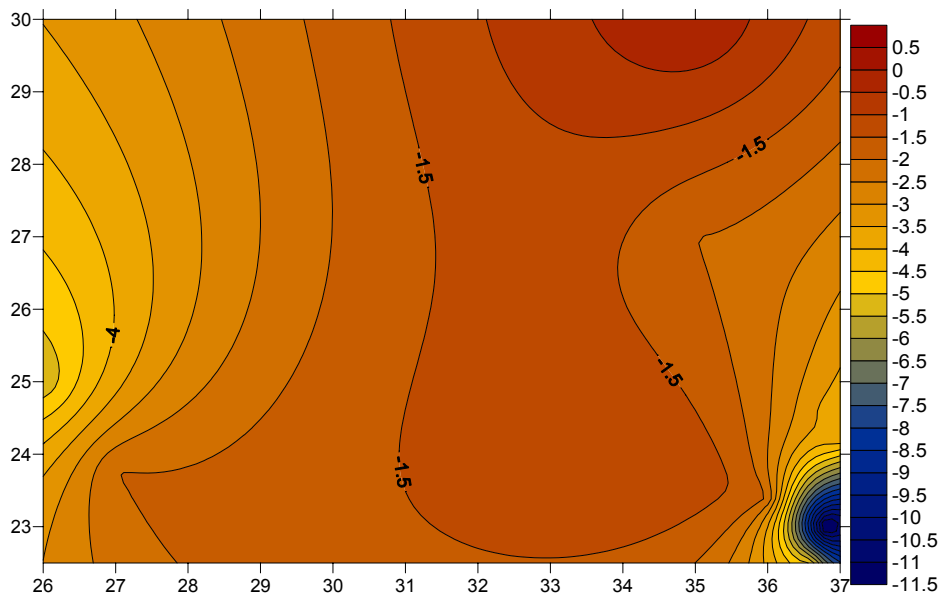


Figura 9. Mapa de contorno de la variación de la temperatura en ° C (y) y la salinidad (x) con respecto a la profundidad (z).

En cuanto al oxígeno disuelto el valor máximo obtenido fue de 10.96 mg/L durante el mes de julio. El valor mínimo fue de 6.76 mg/L en el mismo mes en otro punto de muestreo. Mientras que en los demás meses los valores fueron de 8.01 a 8.92 mg/L. El p H fue básico siendo el valor máximo de 8.33 en julio del 2008 y el mínimo de 8 en septiembre del 2007.

En el mapa de distribución tridimensional (Fig.10) se observa la presencia de aguas de características subsuperficiales (150 m) que emergieron hasta la superficie (50 m).

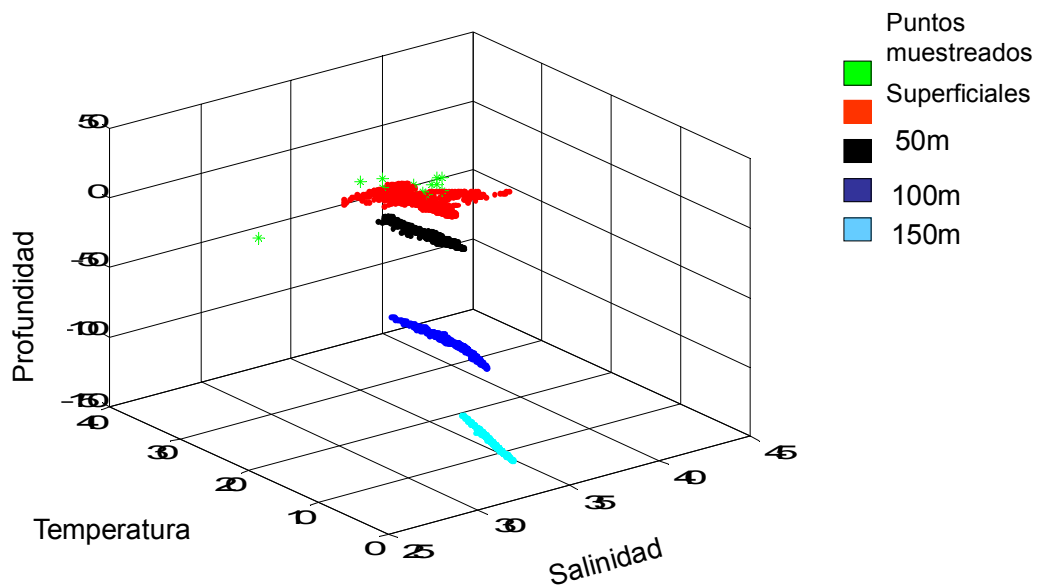


Figura 10 .Mapa tres dimensional (Jerónimo, 2008 en proceso). Valores muestreados en verde (zooplancton y mantas) y los valores obtenidos con los sensores remotos: superficiales rojo, 50m negro, 100 m azul oscuro y 150m azul claro.

El diagrama de temperatura y salinidad obtenido con los datos de campo y los de sensores remotos para el área de estudio es el de la figura 11. En este diagrama podemos observar que la mayoría de nuestros datos (puntos verdes) tienen la misma temperatura y salinidad que masas de agua que vienen de mayores profundidades (puntos negros, rojos y azules).

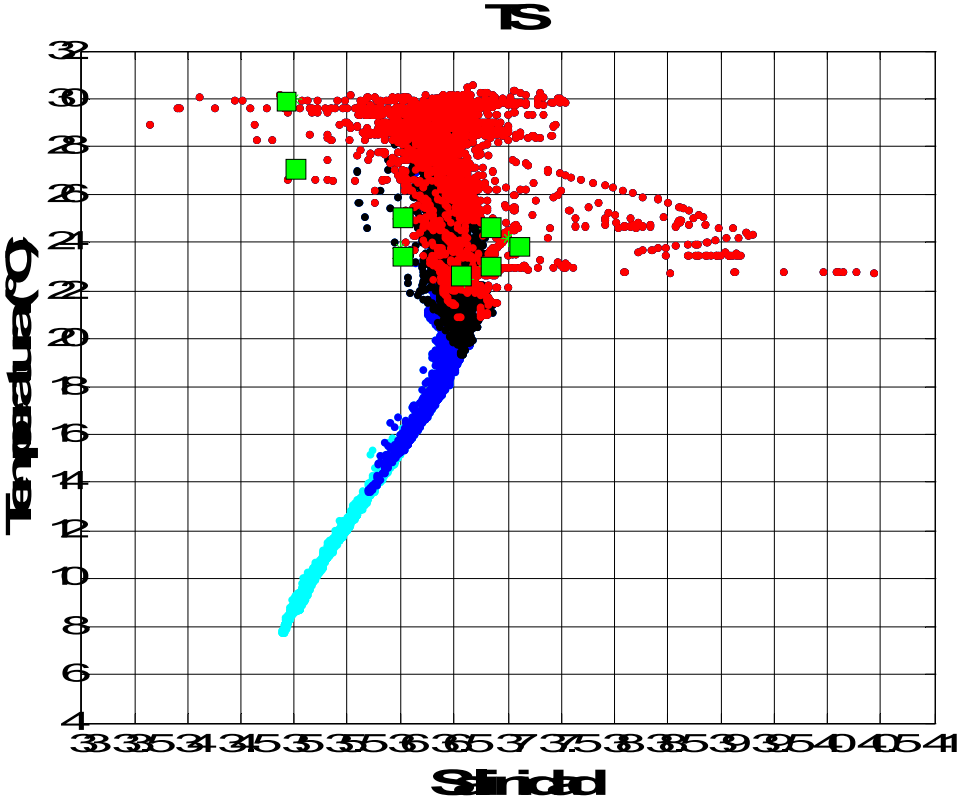


Figura 11. Diagrama TS de la zona de muestreo

8.3. Variación isotópica del zooplancton y *M.birostris*

8.3.1 Presencia de zooplancton durante el muestreo

De los muestreos que se realizaron de septiembre del 2007 a agosto del 2008 se encontró que los grupos más frecuentes en los arrastres fueron los copépodos los sergéstidos y zoeas de crustáceos .De los cuales los primeros solo no estuvieron presentes en mayo , los segundos en julio y los últimos en enero. Los misidáceos estuvieron presentes durante septiembre a noviembre del 2007, enero, julio y agosto de 2008. Las larvas y huevos de peces se presentaron en septiembre del 2007 y en enero y julio del 2008. Para el mes de enero del 2008 solo se presentaron huevos de peces no se encontraron larvas. Los apendicularios se registraron septiembre del 2007 y enero del 2008. Los anfípodos y poliquetos se registraron durante septiembre 2007 (Tabla 6).

Tabla 6. Organismos de zooplancton colectados frente y al norte de Cabo Catoche, Isla Holbox Qroo

Mes	Grupo	Localidad
Septiembre	copépodos	Frente Cabo Catoche
2007	zoeas crustáceos	
	misidáceos	
	sergéstidos	
	anfípodos	
	ostrácodos	
	quetognatos	
	larvas de pez	
	huevos de pez	
	poliquetos	
	apendicularios	

Mes	Grupo	Localidad
Noviembre 2007	misidáceos copépodos sergéstidos zoeas crustáceos	Norte Cabo Catoche
Enero 2008	pterópodos larvas de pez sergéstidos misidáceos copépodos apendicularios huevos pez	Norte Cabo Catoche
Mayo 2008	sergéstidos zoeas crustáceos	Este Isla Contoy / N Cabo Catoche
Julio 2008	copépodos zoeas crustáceos misidáceos larvas de pez quetognatos	Este Isla Contoy
Agosto 2008	sergéstidos zoeas crustáceos quetognatos copépodos	Este Isla Contoy

Los copépodos que se identificaron fueron *Acaria spinata* y *Calanopia americana* de quetognátos se identifico a *Ferrosagiatta hispida* y de sergéstidos a *Lucifer faxoni* . Mientras que de anfípodos se identificaron a las familias Hyperidae y Gammaridae. De larvas de pez se encontraron organismos de las familias Clupeidae, Gobidae, Haemulidae, Monacanthidae, Gerridae, Tetraodontidae y Sparidae. (Tabla 7)

Tabla 7. Familias, género ó especies identificadas de los grupos encontrados.

Grupo	Familia, género ó especie
Copépodos	<i>Acaria spinata</i>
	<i>Calanopia americana</i>
Anfípodos	Hyperidae
	Gammaridae
Larvas de pez	Clupeidae
	Gobidae
	Haemulidae
	Monacanthidae
	Gerreidae
	Tetraodontidae
	Sparidae
Quetogantos	<i>Ferrosagiatta hispida</i>
Sergéstidos	<i>Lucifer faxoni</i>
Zoeas	<i>Squilla sp</i>

8.3.2 Señal Isotópica del zooplancton

Al hacer un análisis mensual de los valores isotópicos del carbono en los grupos de zooplancton (Fig. 12), se encuentra que los misidáceos presentaron valores que indican su mayor presencia en la zona oceánica (-16‰ a -17.5‰), con excepción del mes de julio, donde los valores indican su presencia en zonas más costeras con un valor de -15.5‰. Un comportamiento similar fue observado en los copépodos, solo que los valores cambian (-16‰ a -19‰) de septiembre a enero, y cambiando en julio (-14.5‰), para regresar de nuevo a la zona oceánica en agosto (-19.5‰).

Las zoeas de crustáceos solo se presentaron de mayo a agosto con valores representantes de una zona oceánica en mayo 2008, para cambiar a -14.5‰ en julio y volver a la zona oceánica (-19‰) durante agosto del 2008. Los sergéstidos y larvas de pez mantuvieron valores que los ubicarían en la zona oceánica.

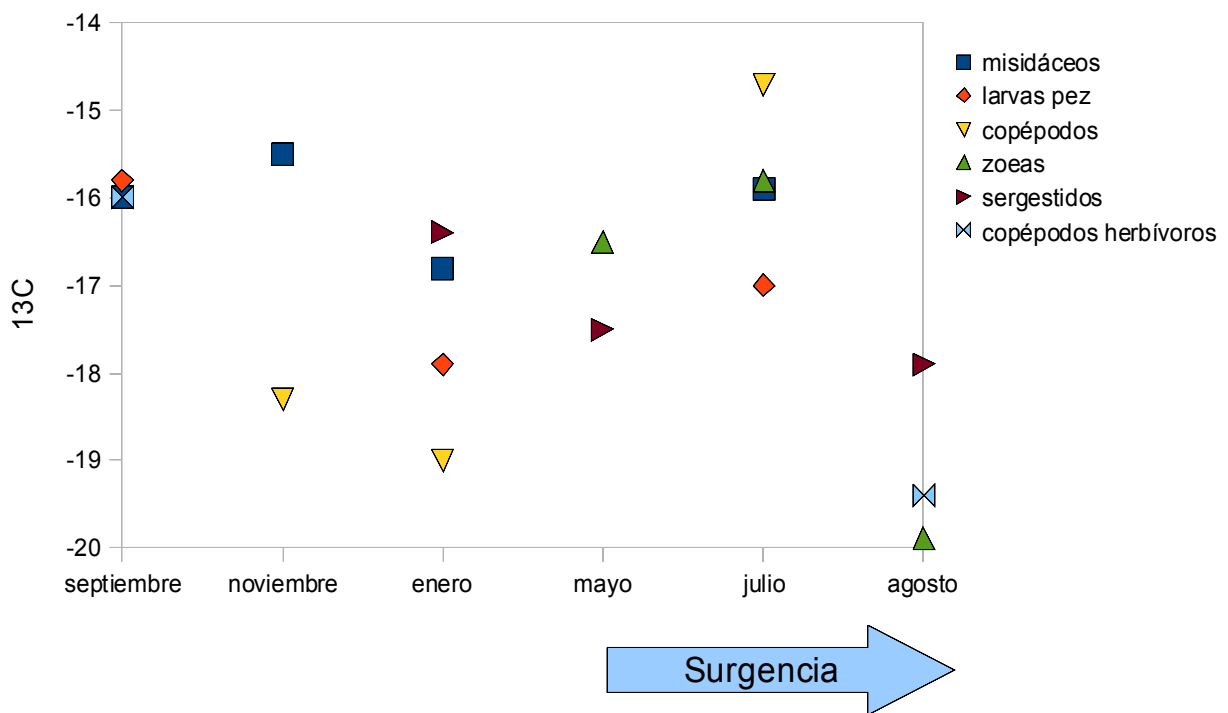


Figura 12. Señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ en zooplancton

Con respecto a la señal isotópica mensual de ^{15}N , se observa que los grupos se mantuvieron en valores entre 8.5‰ y 10.5‰ durante los meses de septiembre 2007 a mayo 2008, excepto en los grupos larvas de peces y copépodos, los cuales se alimentan mas en la superficie durante septiembre. En mayo se presento el mayor valor de isótopos de nitrógeno en las zoeas de crustáceos (14.2‰), indicando una alimentación a mayor profundidad. Durante julio y agosto 2008 se observa que el zooplancton se esta alimentando en aguas más superficiales ya que los valores que presenta son de 8.5‰ a 5.5‰ (Figura 13)

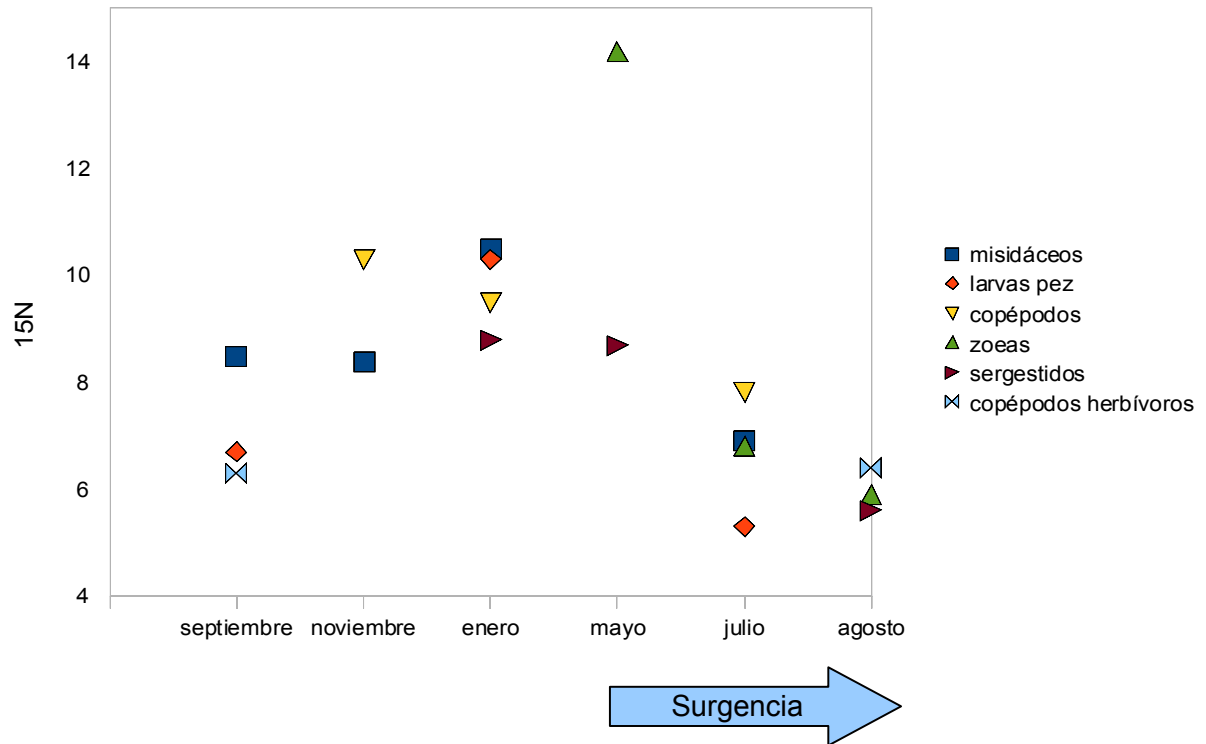


Figura 13. Señal isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ en zooplancton.

8.3.3 Presencia de *M.birostris*

Se colectaron muestras de manta solo en los meses de mayo, julio y agosto a causa de factores climáticos que no permitía la realización de la navegación en la zona de estudio, aunque si se tuvieron avistamientos durante toda la temporada. Se colecto la mayor cantidad de organismos durante agosto (Tabla 8) mes en el que la n= 12. La menor cantidad de organismos colectados fue durante julio ya que las condiciones de navegación eran poco favorables para el avistamiento.

Tabla 8. Número de mantas muestreadas por temporada de muestreo y localidades de colecta.

Mes	n	Localidad
Mayo	4	Isla Contoy
Julio	3	N Cabo Catoche / E Isla Contoy
Agosto	12	N Cabo Catoche
Total	19	

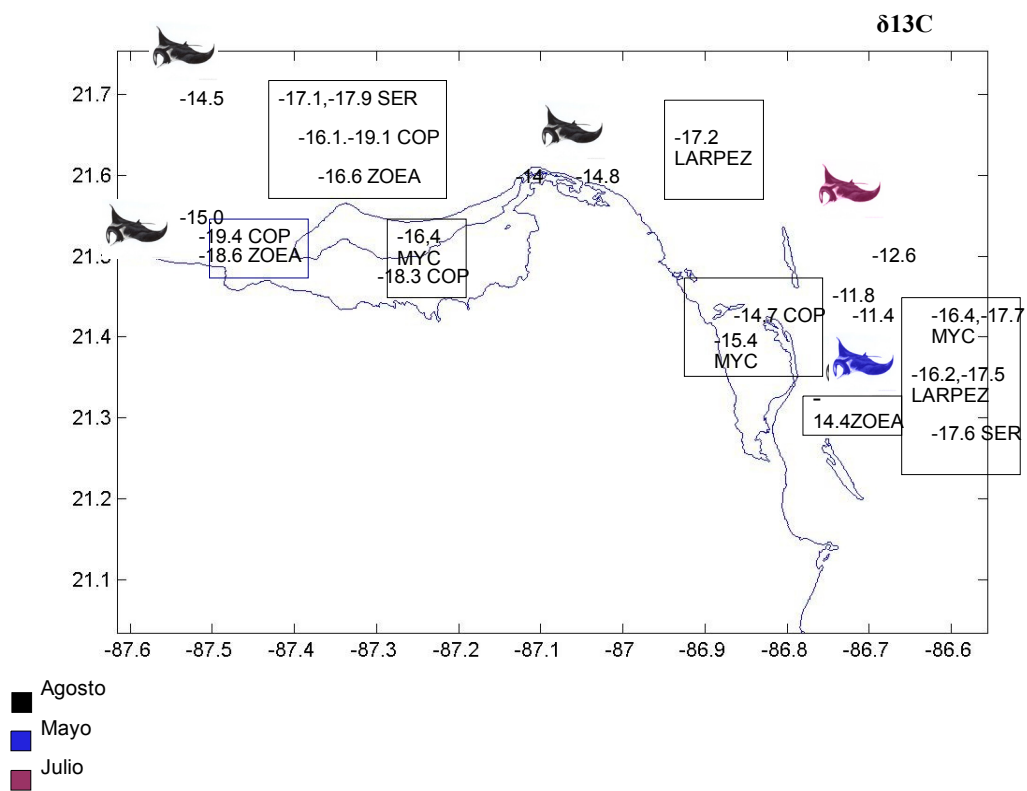


Figura 14. Mapa de distribución de $\delta^{13}C$ en el área de muestreo para *M. birotris* y sus presas.

8.3.4 Señal isotópica de *Manta birostris* y sus presas

Manta birostris presentó un promedio de $\delta^{13}\text{C}$ de $-13.9\text{‰} \pm .72$ DS y de $8.9\text{‰} \pm 5.58$ DS para $\delta^{15}\text{N}$. Los misidáceos tuvieron $-16.6\text{‰} \pm 1.48$ DS de $\delta^{13}\text{C}$ y para el $\delta^{15}\text{N}$ fue de $8.5\text{‰} \pm 9.8$. En los copépodos el promedio fue de $-17.5\text{‰} \pm 1.8$ DS de $\delta^{13}\text{C}$ en el $\delta^{15}\text{N}$ fue de $8\text{‰} \pm 2.04$ DS. En las zoeas para el $\delta^{13}\text{C}$ fue de $-16.5\text{‰} \pm 4.54$ DS y el $\delta^{15}\text{N}$ fue de $8.9\text{‰} \pm 2.09$ DS. Las larvas de pez tuvieron un promedio de $16.9\text{‰} \pm 2.5$ DS en $\delta^{13}\text{C}$ y de $7.43\text{‰} \pm .68$ DS. Por último los sergéstidos presentaron un promedio de $-17.5\text{‰} \pm 1.89$ DS en $\delta^{13}\text{C}$ y de $7.7\text{‰} \pm .42$ DS de $\delta^{15}\text{N}$. Los valores entre 8 a 10 de $\delta^{15}\text{N}$ registrada en las muestras de las zonas de análisis, indican que las mantas se alimentan en la columna de agua principalmente en aguas superficiales asociadas a su alimento, el cual esta en el mismo intervalo de $\delta^{15}\text{N}$ (Figura 15)

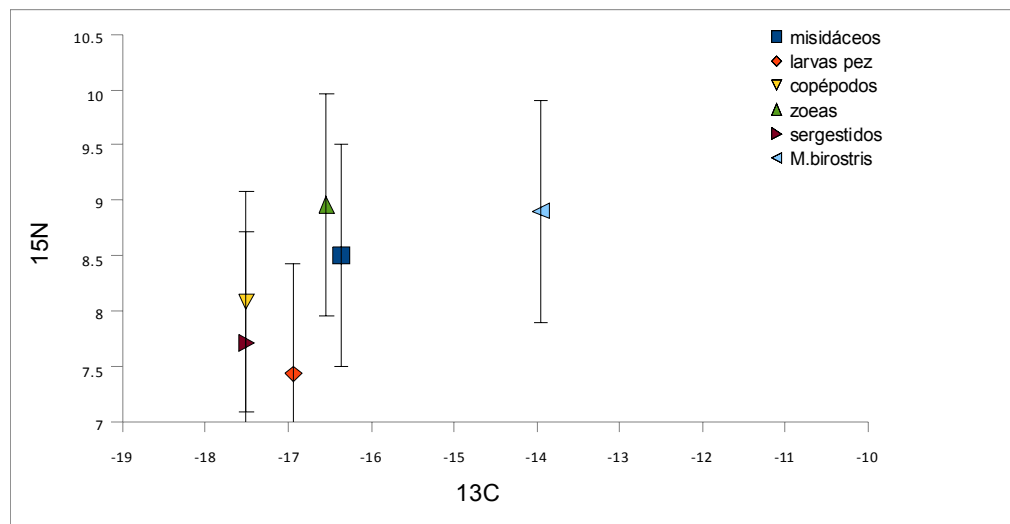


Figura 15. Promedio y desviación estándar de la señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de *M. birostris* y sus presas.

En el mes de mayo cuando arriban las mantas a la zona de estudio los valores de $\delta^{13}\text{C}$ que presentan son de -10.9‰, -11.8‰ y de -14.5‰, que representan una alimentación costera. Mientras que las presas en su mayoría presentan valores oceánicos. Para julio los las zoeas de crustáceos y los copépodos tienen una señal isotópica más costera (-15‰). Solo una de las presas los misidáceos presenta el mismo valor de -15.5‰ a una de las mantas muestreadas. En agosto los valores de manta cambian siendo el máximo de -12.8‰ y el mínimo de -15.4‰ y sucede lo mismo con las presas que presentan un máximo de -18.5‰ y el mínimo de -19.5‰ (Figura 16).

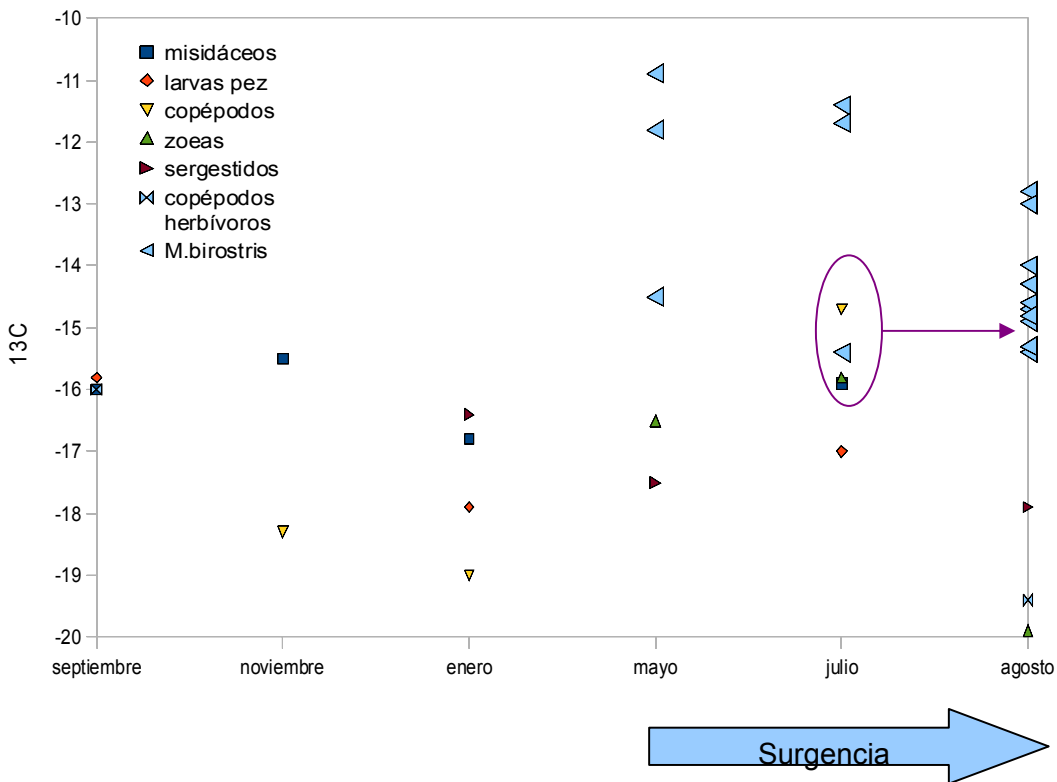


Figura 16. Señal isotópica mensual de $\delta^{13}\text{C}$ en *M. birostris* y sus presas, el círculo morado encierra los valores que tenían las presas para el mes de julio que se vieron reflejadas en agosto.

Con respecto al $\delta^{15}\text{N}$ mensual del zooplancton y las mantas el mes de mayo presenta valores máximos de 9.5‰ y mínimos de 9.3‰, en junio el máximo fue de 10.1‰ y el mínimo de 7.6 ‰. El mes de agosto tuvo valores máximos de 9.5 ‰ y mínimos de 7.5‰. En el mes de julio se observa un traslape entre la manta y los copépodos. Además que es en este mes y en agosto que las presas presentan los valores más bajos se observa que su alimentación sucede en la columna de agua, principalmente en aguas superficiales. Se observa un enriquecimiento isotópico del zooplancton hacia las mantas durante julio y agosto, principalmente de los cópepodos, sergéstidos y las zoeas de crustáceos. (Figura 17)

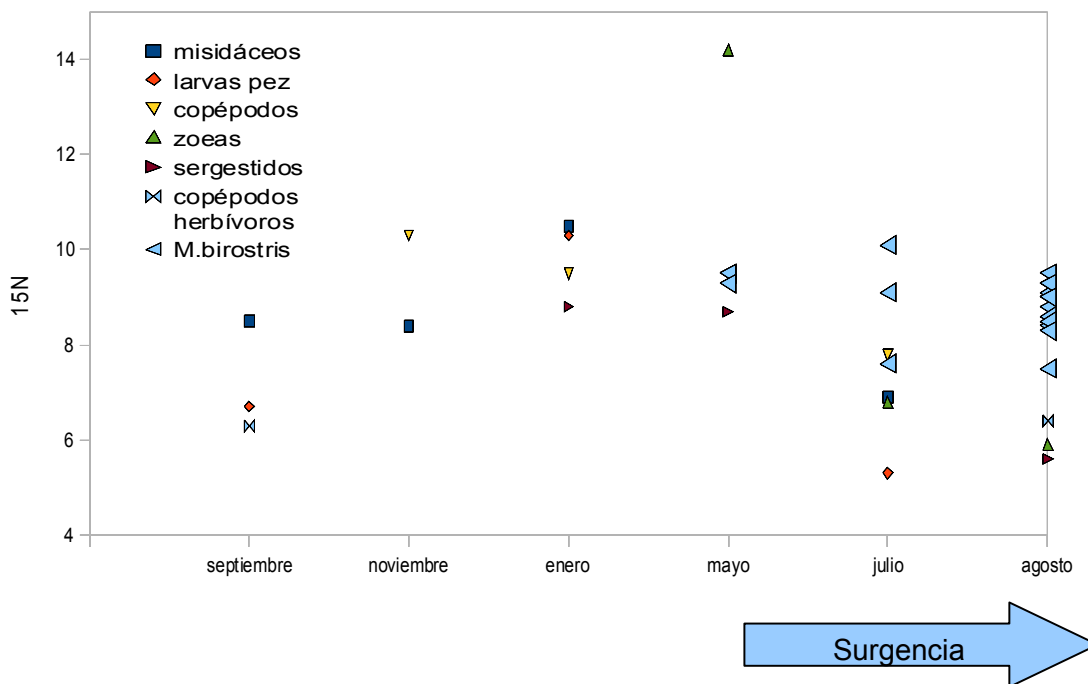


Figura 17. Señal isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ en *M. birostris* y sus presas.

En la tabla 9 se observa en análisis arrojado por el programa IsoSource Microsoft Virtual Basic™. En el cual es grupo con mayor contribución a la dieta son las zoeas de crustáceos con un valor de 0.91%.

Incremento	1.00%					
Tolerancia	0.07					
Isótopos	C	N				
Manta	-14.6	6.6				
Fuentes:						
Copépodos	-14.7	7.8				
Misidáceos	-15.4	8.5				
Larvas	-17.2	5.3				
Sergéstidos	-17.9	5.6				
Zoeas	-14.4	6.8				
Proporción de contribución						
Copépodos	Misidáceos	Larvas	Sergéstidos	Zoeas		
0	0	0.08	0.01	0.91		
0	0	0.09	0	0.91		

Tabla 9. Proporción de contribución a la dieta de *M.birostris* por el zooplancton.

En la tabla 10 se observa que las zoeas, misidáceos y la *M.birostris* ocupan un lugar de carnívoros secundarios según los valores obtenidos de 3.63, 3.5 y 3.61 respectivamente. Los copépodos carnívoros estarían ocupando un lugar de carnívoros primarios con un valor de 3.37, al igual que las larvas de pez con un valor de 3.18. Los copépodos herbívoros tuvieron un valor que los estaría posicionando como omnívoros (2.86). Los quetognatos están clasificados como herbívoros con un valor de 2.44. Por último los huevos de pez estarían ocupando un lugar de omnívoros. De acuerdo con la tabla proporcionada anteriormente tomada de Fish Base.

	Posición trófica
<i>M. birostris</i>	3.61
Misidáceos	3.5
Cópepos	3.37
Larvas de pez	3.18
Zoeas	3.63
Sergéstidos	3.26
Copépodos herb	2.86
Quetognatos	2.44
huevos pez	2.76

Tabla 10. Posición trófica calculada en base a Vander Zanden y Rasmussen, 2001.

9. Discusión

9.1 Efectos de la extracción de lípidos

El debate sobre si extraer lípidos como parte de la metodología para el análisis de isotopos de carbono y nitrógeno es reciente (Sweeting et al. 2006). Nuestras muestras a las que se extrajo lípidos contra las que no se extrajeron lípidos presentaron diferencias significativas; observándose que para el caso de los valores de ^{13}C estos se vuelven más negativos cuando se extraen lípidos en un 85% de las muestras. Aunque nuestro estudio es el primero de esta índole con esta especie, si hemos encontrado que en peces óseos y cartilagosos estas diferencias se repiten. Logan et al. 2008 encontró que el ^{13}C disminuye significativamente para casi todos los tejidos de peces óseos y cartilagosos y sus presas de después de una extracción de lípidos y para el nitrógeno solo variaba en algunas especies marinas y de agua dulce.

Hasta ahora los laboratorios en los que se analizan isotopos estables piden que se realice una extracción de lípidos para que se puedan analizar las muestras. Sin embargo, trabajos previos a este han reportado que existen diferencias significativas una vez extraídos los lípidos (Logan et al. 2008, Smyntel et al. 2007, Hacoen - Domené 2007) usando la técnica de extracción por cloroformo- metanol. Nosotros usamos otro solvente polar n -Hexano mediante el método de Goldfisch con la para ver si el solvente usado en los otros estudios podría ser la causa de las variaciones en los valores isotópicos sin embargo, no fue así. Una explicación al por que esto

sucede es que ambos compuestos son polares y es probable que actúen de la misma manera ya que los solventes polares pueden estar llevándose no solo los lípidos si no también amino ácidos y proteínas, de tal forma que los valores isotópicos se alteren (Sotiropoulos et al. 2004). Esto nos llevo a buscar alternativas para la correcta interpretación de los datos. Hasta la fecha el método que permite hacer interpretaciones que estén mas cerca de la realidad es el de aplicar modelos matemáticos. Sin embargo, hacer correcciones matemáticas sobre nuestros datos dificulta la posible comparación con otros estudios más antiguos que no hicieron las correcciones después de una extracción de lípidos.

9.2 Parámetros ambientales

No se encontraron cambios de temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto en los diferentes puntos de muestreo durante el mismo periodo de tiempo; pero si se encontraron diferencias en cada mes de muestreo. Se encontró que nuestros puntos de muestreo tienen valores de temperatura y salinidad muy similares a aquellos valores reportados por los sensores remotos en zonas más profundas. Esto quiere decir que aguas frías emergen a la superficie lo que representaría una surgencia (Figuras 9, 10 y 11) y por lo tanto se puede decir que las mantas se están alimentando en zonas donde existe una mayor producción de zooplancton como consecuencia de estas surgencias.

Ahora bien se las mantas en efecto siguen los florecimientos de zooplancton a causa de las surgencias; esto concuerda con que solo están en la zona de muestreo durante una cierta temporada cada año que a la vez concuerda con la estacionalidad de la surgencia producto de la corriente de Yucatán que esta reportada de abril a agosto (Merino, 1986). Esta corriente después se convierte en la Corriente del Golfo y que se dirige al estrecho de Florida y continua (Butterworth-Heinman, 2001). Esta corriente pasa por las Bermudas y es aquí donde se ha tenido registro de *M. birostris* en diciembre a las cuales se les ha observado alimentándose (The Manta Network www.mantas.org). En tal caso nos hace pensar que las mantas pudieran estar siguiendo estas corrientes ricas en nutrientes para su alimentación y que esto motivara la migración de nuestra zona de estudio a otras a unas no determinadas.

9.3. Variación isotópica de zooplancton y *M.birostris*

9.3.1 Zooplancton

Existen pocos estudios para la Península de Yucatán y el Golfo de México por lo que las comparaciones de los valores isotópicos tuvieron que hacerse con los datos de otras zonas del país y del mundo. En el 2008 López- Ibarra encontró que los copépodos de la Península de Baja California presentaban valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -19 y -21‰ en lugares cercanos a la costa , mientras que en el presente estudio los valores para copépodos fueron de -19.4 a -16.1‰ (Figura 8 y 10).

Con respecto a los mysidáceos Lehtiniemi et al. 2009 encontró para los misidáceos del Mar Báltico valores de $\delta^{13}\text{C}$ están en -21 y -22‰; mientras que Sampson (2007) encontró para el Golfo de California un valor de -17.4‰ para misidáceos y en nuestro estudio fueron de -15.4 a -17.7‰. Todos los valores anteriores están representando que este grupo esta en ó proviene de aguas oceánicas. En relación a los decápodos (sergéstidos), principalmente *L.faxoni* los valores registrados para la zona de estudio fueron de -17 a -17.7‰ ; mientras que Sampson (2007) en aguas del Golfo de California encontró un valor de -17‰ lo cual indica también un origen de aguas oceánicas para este grupo (Koppelman et al. 2008). La diferencia en el valor isotópico se pueden deber a que el Mar Báltico al ser más frío que el mar Caribe y el Golfo de California y tiene una mayor productividad que se ve reflejada en los valores de carbono (Mintenbeck et al. 2007 y Loick et al. 2007). Estas diferencias entre los valores isotópicos que encontramos en nuestra área de estudio también están relacionadas con las variaciones producidas por la temperatura en los valores isotópicos de carbono. Se ha observado que en el Océano Atlántico existe una relación lineal entre la temperatura del agua y el $\delta^{13}\text{C}$. Durante el verano cuando la temperatura del agua es cercana a los 25°C se han registrado valores más negativos y este fenómeno aumenta conforme la temperatura disminuye (Fogel y Cifuentes, 1993 y Criss, 1995). Si vemos los valores de carbono (Fig. 12) para los meses de mayo a agosto las larvas de pez , zoeas, sergéstidos y copépodos herbívoros presentan valores más negativos que en los meses de septiembre a enero. Esto además coincide con la temporada en la que inicia la surgencia y en la cual las temperaturas tienden a ser menores de 25°C.

Por otro lado también se sabe que el carbono inorgánico disuelto se enriquece en $\delta^{13}\text{C}$ durante primavera y verano debido a que la fotosíntesis presenta altos picos de productividad; mientras que en otoño la fase que predomina es la respiración y los valores tienden a ser más negativos (Fogel y Cifuentes, 1993). Esto se puede observar en dos grupos de el zooplancton los misidáceos y los copépodos carnívoros que en enero presentan valores más negativos que en julio.

En lo que respecta a los valores de $\delta^{15}\text{N}$ presenta un comportamiento similar que los de $\delta^{13}\text{C}$; López- Ibarra, 2008 encontró que los copépodos tenían un valor de 9.4 a 11.4‰; a comparación de los de el área de estudio que fueron de 6.3 a 10.3‰. Para misidáceos Lehtiniemi et al. 2009 encontró un valor de 10 a 11‰ y Sampson (2007) encontró un valor de 14.37‰ y en nuestro estudio los valores fueron de 6.9‰ a 10.5‰. Para decápodos Sampson (2007) reportó un valor de 13.57‰; en el área de estudio los valores fueron de 5.6‰ a 8.8‰.

En relación a la posición trófica de los grupos las zoeas y mysidáceos ocupan el lugar de carnívoros primarios. Para el primer grupo esto se esperaba ya que se sabe que estas se alimentan de la mayoría de grupos del zooplancton (Le Vay et al. 2001). Los misidáceos aunque están clasificados como omnívoros es probable que para el momento del muestreo su dieta haya sido carnívora y se haya reflejado en los cálculos de su posición trófica (tabla 10).

Los copépodos carnívoros ocuparon la posición de carnívoros primarios al igual que las larvas de pez y los sergéstidos. Los huevos de pez obtuvieron un valor que los estaría clasificando como omnívoros, esto probablemente debido a la gran cantidad de lípidos que contiene el vitelo. Los quetognatos ocupan la posición de herbívoros sin embargo, solo se tiene una muestra de ellos y esta pudiera ser la razón de ocupar esta posición. Aunque valdría la pena hacer estudios más finos para determinar su posición.

9.3.2 *Manta birostris*

La tasa de recambio es el tiempo en que la señal isotópica se ve reflejada en un tejido y varía según el tipo de tejido del cual se obtenga la muestra. Se ha encontrado que en el hígado de elasmobranquios la señal isotópica del $\delta^{15}\text{N}$ se ve reflejada a los 39 días después de ser ingerida y se elimina a los 15 días. Mientras que para el músculo el periodo de asimilación es de 98 días (Mc Neil et al. 2005a). Sampson (2007) encontró que para las especies de móbulas en el Golfo de California la tasa de recambio de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ era de 1- 2 meses para *M. japanica* y de 3 meses para *M. thurstoni* en los cuales ya se veía reflejada la señal isotópica de su presa principal el eúfausido *Nectiphanes simplex*. Las mantas llegan en mayo con valores isotópicos que no pertenecen a la nuestra zona de estudio. Es hasta el mes de agosto que observamos valores similares a los de las presas (zooplancton).

Sin embargo, la tasa de recambio del músculo de manta aún no se puede estimar ya que haría falta continuar los muestreos la siguiente temporada y poder seguir a las mantas después de que se vayan del lugar de estudio. Otro punto importante es que la *M. birostris* a comparación de las móbulas del estudio de Sampson son animales con una mayor masa corporal lo cual, pudiera estar afectando el tiempo en que tardan en asimilarse los isótopos en el músculo.

A diferencia de otros estudios con elasmobranchios en específico, tiburones los cambios más importantes no se vieron en $\delta^{15}\text{N}$ (Mc Neil et al. 2005, Torres-Rojas, 2006), esto era de esperarse ya que a diferencia de los tiburones que cambian de dieta según su talla y estación del año, las mantas siempre se alimentaron de zooplancton (figura 17) . Además ya que el nitrógeno es un medio para calcular la posición trófica (tabla 10) de haber existido un cambio en este nos hubiera sugerido que la manta no solo se esta alimentando de zooplancton.

Las presas que presentaron un valor similar al de $\delta^{13}\text{C}$ de la *Manta birostris*, cuya media durante el mes de agosto fue de -14.6‰, fueron las zoeas de crustáceos con un valor de -14.7‰. Lo cual indica que este grupo podría ser la presa que aporta mayor cantidad de carbono a la dieta del organismo y que además fue corroborado por el programa Iso Source Microsoft virtual Basic™ (tabla 9).

En cuanto a la posición trófica que ocupa *Manta birostris* como ya se menciono, ocupa el lugar de carnívoro secundario.

Sin embargo, otros miembros de la familia Mobulidae, los cuales también se alimentan de zooplancton, como *M. japonica* y *M. thurstoni* del Golfo de California ocupan un lugar de carnívoros primarios según Sampson (2007). Aunque las tres especies se alimentan de zooplancton las móbulas del Golfo de California se alimentan de un eúfausido el cual es herbívoro, mientras que en el área de estudio la manta se esta alimentando de carnívoros y esta puede ser la razón por la cual ocupan posiciones diferentes en la redes tróficas, aunado también a que en los dos lugares la composición de zooplancton es muy diferente.

10. Conclusiones

- Es necesario estandarizar una metodología para el tratamiento de las muestras para análisis de isótopos estables que permita hacer una mejor comparación entre estudios.
- *Manta birostris* esta alimentándose en las Áreas Naturales Protegidas de Yum Balam e Isla Contoy, dentro del zooplancton del que se alimenta las presas de las cuales lo hace en mayor proporción son las zoeas de crustáceo. Esto se puede observar en el enriquecimiento de mantas y zoeas durante julio.
- Con base en los análisis isotópicos del $\delta^{13}\text{C}$ del zooplancton, se encontró una mayor presencia de zooplancton de origen oceánico excepto en el mes de julio para las zoeas de crustáceo; mientras que la señal isotópica de la manta fue en su mayoría de origen costero.
- *Manta birostris* a diferencia de otros elasmobranquios cuya dieta es más variada, no presenta valores isotópicos de nitrógeno, en el músculo, que sugieran un cambio de dieta a una diferente basada en zooplancton.
- *Manta birostris* y su posible presa potencial las zoeas de crustáceo ocupan el lugar de carnívoros secundarios para la red trófica de el área de muestreo.

- Los parámetros ambientales y los valores isotópicos no indicaron que hubiera diferencias entre las los áreas naturales protegidas por lo que deben de ser consideradas como una sola área de alimentación para la manta.
- En base a los parámetros ambientales obtenidos y los gráficos que se obtuvieron como resultado, las mantas están alimentándose de florecimientos de zooplancton consecuencia de las surgencias resultado de la corriente de Yucatán.

11. Recomendaciones

- Para trabajos posteriores sería interesante poder tener un seguimiento más fino de las mantas que se encuentran en la zona de estudio y sus rutas de migración. Pudiera ser que estas mantas estén migrando influenciadas de alguna forma por movimientos de masas de agua que traen consigo alta productividad y las mantas sigan estas corrientes con la finalidad de obtener alimento. Se ha reportado mantas en otras zonas influenciadas por estas mismas corrientes, si se puede marcar a estos animales y seguirlos por un largo periodo de tiempo, sería posible saber si regresan las mismas mantas a la zona de estudio y si estas mantas además se encuentran en otra época del año en otros lugares.
- Seguir a las mantas después de que parten de la zona de estudio y tomar muestras de músculo para su análisis de isotopos permitiría poder estimar la tasa de recambio de la especie. Además sería de mucha utilidad que se sacara muestra de otro tipo de tejido como la sangre que tiene una tasa de recambio menor para poder determinar cual de estos tejidos sería el apropiado para seguir con este tipo de estudios en esta especie.
- En medida de lo posible valdría la pena separar a los individuos por sexo, talla aproximada y llevar acabo un registro de foto identificación.

12. Bibliografía

Allain,V., Graham,B., Olson, R., Popp, B, Galván-Magaña,F. y Fry, B. 2004. Stable isotopes as tracers of trophic structure and tuna movement in the equatorial Pacific pelagic ecosystem. The 4th International conference on applications of stable isotope techniques to ecological studies. Wellington, New Zealand. Abril 19-23, 2004. P 102.

Álvarez-Cadena, José N; Ordoñez-López , U; Valdés-Lozano, D; Almaral-Mendivil A.R y Uicab-Sabido A.2007. Estudio anual del zooplancton: composición, abundancia,biomasa e hidrología del norte de Quintana Roo, mar Caribe México. Revista Mexicana de Biodiversidad 78: 421-430.

Aguilar Castro Nallely A. 2004. Ecología trófica de juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) en el Golfo de California. Tesis de Maestría CICIMAR-IPN.

Anderson, R.C. 2002. Elasmobranchs as a recreational resource. Elasmobranch biodiversity, conservation management: proceedings of international seminar workshop Sabah, Malaysia, Julio, 1997. Occasional paper of the IUCN species survival commission No. 25:46-51.

Butterworth-Heinmann Open University. 2001. Ocean Circulation. Segunda Edición. The Open University. Impreso en Singapur.

Cabrera Chávez-Costa Alejandra. 2003. Hábitos alimenticios del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN.

Cerutti, F. y Galván-Magaña, F. 2005. Stable isotopes ratios (^{13}C and ^{15}N) in manta rays (Batoidea: Mobulidae) as trophic indicators. 9th Meeting of the European Elasmobranch Association. Oceanographic Museum of Monaco. Montecarlo, Monaco. Noviembre 23-26, 2005.

Coleman N. 1992. Australia's sharks and rays. Sydney, Wheldon Publishig.

Commission on Atomic Weights and Isotopic Abundances report for the International Union of Pure and Applied Chemistry in *Isotopic Compositions of the Elements 1989*, Pure and Applied Chemistry, 1998, **70**, 217.

Compagno, L.J.V.; Last P.R. 1999. Mobulidae: devil rays En: Carpenter, K.E; Niem, V.H. ed FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific. Volume 3. Batoid fishes, chimaeras and bony fishes part 1 Rome, FAO 1397-2068.

Compagno, L.V.J. 2002. FAO species catalogue for Fisheries Purposes No 1, Vol 2. Sharks of the World: An Annotated and Illustrated Catalogue of Sharks Species Known to Date. FAO, Rome 269 pp.

- Croll, D.A. 2003. The foraging ecology and conservation of manta rays in the Gulf of California. Progress report. 10p
- Dewar, H, Mous, P, Domeier, M , Muljadi, A, Pet, J y Whitty, J. 2008. Movements and site fidelity of the giant manta ray, *Manta birostris* , in the Komodo Marine Park, Indonesia. Marine Biology 155: 121- 133.
- Díaz-Gamboa R E. 2003. Diferencia entre turbiones (*Tursiops truncatus*) costeros y oceánicos en el Golfo de California por medio de isótopos estables de carbono y nitrógeno. Tesis de Maestría. CICIMAR. 62 pp
- Duffy, C.A.J y D. Abbot. 2003. Sightings of mobulid rays from northern New Zealand, with confirmation of the occurrence of *Manta birostris* in New Zealand waters. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. Vol.37:715-721
- Eggers, T y Helfin Jones, T. 2000. You are what you eat... are you? Tree vol 15 no. 17 pags. 265-266.
- Ehleringer, J.R. & P.W. Rundel. 1989. Stable isotopes: History, Units, and Instrumentation, 1-15. En: P.W. Rundel, J.R. Ehleringer y K.A. Nagy (Eds). 1989. Stable isotopes in ecological research. Springer-Verlag. 525p.

Escobar-Sanchez, O., Galván-Magaña, F. y Abitia-Cardenas, L.A. 2005. Stable isotope análisis (^{13}C and ^{15}N), of Pacific Angel Shark, *Squatina californica*, in the Southern Gulf of California, México. 9th Meeting of the European Elasmobranch Association. Oceanographic Museum of Monaco. Montecarlo, Monaco. Noviembre 23-26, 2005.

Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter & V.H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca, Pacífico Centro-Oriental. Vol. II. Vertebrados, parte 1, Roma. 1200p.

Fogel, M. L., and L. A. Cifuentes. 1993. Isotope fractionation during primary production, in *Organic Geochemistry*, M. H. Engel and S. A. Macko, eds., pp. 73-98, Plenum, New York

France, R.L. 1995. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 124: 307-312

Freund, E.V., H. Dewar & D.A. Croll. 2000. Locomotor tracking of the spine-tailed devil ray, *Mobula japanica*. *American Zoologist.* 40 (6): 1020.

Galván, M.F, Aguilar, C.N.A., Cabrera,Ch.C.A., Escobar,S.O. y Bocanegra, C.N. 2004. Trophic variability in sharks off Baja California Sur, Mexico using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ stable isotopes. The 4th International conference on applications of stable isotope techniques to ecological studies. Wellington, New Zealand. Abril 19-23, 2004. P 126.

Graham, B., Popp, B., Fry, B., Allain,V., Olson,R. y Galván, F. 2005. Biogeography and Trophic dynamics of Billfish collected in the Equatorial Pacific Ocean as determined by stable isotope analyses. 4th. International Billfish Symposium. Avalon, Santa Catalina Island, California. Octubre 31 a 3 de Noviembre 2005. P 24-25.

Gilbert,H: Paul, L.J. 1969. First record of manta rays off New Zealand. New Zealand Journal of Marine Science and Freshwater research. 3:339-342

Hacohen-Domené, A, F Galván-Magaña y J. Ketchum-Mejía. 2007 Abundance an preferential preys of whale shark in the southern part of the Gulf of California . Cybium en prensa.

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

Hobro, F. E. 2002. The feeding ecology, foraging behaviour and conservation of manta rays (Mobulidae) in Baja California, Mexico. Master of Science Thesis. University of Wales, Bangor. United Kingdom

Ketchum-Mejía, 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. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz. 91 P

Koppelman, R; Böttger-Schnack, R; Möbius, J y Horst, W. 2008. Trophic relationships of zooplankton in the eastern Mediterranean based on stable isotopes measurements. Journal of Plankton Research . Volumen 0, número 0 . Págs 1-18.

Lajtha, K. & R. Michener. 1994. Introduction, xi-xix. En: K. Lajtha & R. Michener (Eds.) Stable isotopes in ecology and environmental science. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 336p

Lehtiniemi, M; Kiljuene, M y Jones R.I. 2009. Winter food utilization by sympatric mysids in the Baltic Sea studied by combined gut and stable isotopes. Marine Biology, 156:619 -628.

Le Vay, L; Jones, D.A; Puello-Curz, A.C; Sangha R.S y Ngamphongsai, C. 2001.

Digestion in relation to feeding strategies exhibited by crustacean larvae.

Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology, Volume 128, Issue 3. Páginas 621-628.

Logan J.M; Jardine T,D; Miller,T.J; Stuart E.B; Richard A.C y Lutcavage, M.E. 2008.

Lipid corrections in carbon and nitrogen stable isotope analysis: comparison of chemical and modelling methods. Journal of Animal Ecology. 77 : 838-846.

Loick, N; Dippner, J; Hai Nhu, D; Liskow, I y Voss, M. 2007. Pelagic nitrogen dynamics in the Vietnamese upwelling area according to stable nitrogen and carbon isotope data. Deep Sea Research Part I. 54: 596-607.

López-Ibarra, G.A.2008. Estructura trófica de copépodos pelágicos en el Océano Pacífico Oriental Tropical. Tesis de Doctorado .CICIMAR, La Paz. 90 Pags.

MacNeil, M. A.; G.B.Skomal & A.T. Fisk. 2005. Stable isotopes from multiple tissues reveal diet switching in sharks. Mar. Ecol. Prog. Ser. 302: 199-206.

MacNeil, M. A.; K.G. Drouillard & A.T. Fisk. 2005a. Variable uptake and elimination of stable nitrogen isotopes between tissues in fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 63: 345-353.

- Mathews,B y Mazumder,A. 2005. Temporal variation in body composition (C:N) helps explain seasonal patterns of zooplankton $\delta^{13}\text{C}$. *Freshwater biology*. 50: 502-515.
- McCutchan, J.H.Jr., W.M.Lewis Jr., C.Kendall & C.C. McGrath. 2003.Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen and sulfur. *OIKOS* 102: 378-390.
- Merino, M. 1986. Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe mexicano con base a observaciones utilizando tarjetas de deriva. *Anales del Instituto el Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*. 13:31-46
- Michael,S.W.1993. *Ref.sharks and rays of the world a guide for identificartion, behaviour and ecology*. Monterrey, Sea Challengers.
- Mills, T. Cvitas, K. Homann, N. Kallay, y K. Kuchitsu.1988. *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Mintenbeck, K; Jacob, U; Knust, R; Arntz, W.E y Brey , T. 2007. Depht- dependence in stable isotope ratio ^{15}N of benthic POM consumers: The role of particle dynamics and organism trophic guild. *Deep Sea Research Part I* 54: 1015-1023.

- Murray, J. 2001. Stable and Radioactive Isotopes. Capítulo 16. Washington University. Pags 1-26.
- Murry, B.A; Farrell, J.M; Teece, M.A y Smyntek,P.M. 2006. Effect of lipid extraction on the interpretation of fish community trophic relationships determined by stable carbon and nitrogen isotopes. Canadian Journal
- 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.
- Nortarbartolo di Sciara, G. 1987b. Myliobatiform rays fished in the Southern Gulf of California (Baja California Sur, Mexico) (Chondrichthyes: Myliobatiformes). Mem. V. Simp. Biol. Mar. Univ. Auton. Baja California Sur: 109-115.
- Nortarbartolo di Sciara, G. 1988. Natural History of the rays of the genus *Mobula* in the Gulf of California. *Fishery Bulletin*. 86 (1): 45-66.
- Olson, R., Rau,G., y Galván-Magaña,,F. y Fry, B. 2004. Nitrogen and Carbon isotopic determinates of upper-leelevel trophic structure in the pelagic eastern tropical Pacific Ocean. The 4th International conference on applications of stable isotope techniques to ecological studies. Wellington, New Zealand. Abril 19-23, 2004. P 129.

- Olson R., Graham, B., Galván-Magaña, F., Popp, B. Allain, V. y Fry, B.. 2005. Trophic structure in the pelagic eastern tropical Pacific Ocean: progress based on stable isotopes and diets. 54 Tuna Conference. Lake Arrowhead, California. 23-25 mayo 2005.
- O'Reilly, C.M., R.E. Hecky, A.S. Cohen & P.-D. Plisnier. 2002. Interpreting stable isotopes in food webs: Recognizing the role of time averaging at different trophic levels. *Limnology and Oceanography* 47(1): 306-309.
- Paulin, C.D.; Habib, G ; Carey C.L.; Swanson, P.M; Voss, G.J. 1982. New records of *Mobula japonica* and *Masturus lanceolatus*, and further records of *Luvaris imperialis* (Pisces: Mobulidae, Molidae, Louvaridae) from New Zealand. *New Zealand Journal of Marine Science and Freshwater Research*. 16:11-17.
- Persson, A. & L.A. Hansson. 1999. Diet shift in fish following competitive release. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56:70-78.
- Pinnegar, J. K. & N.V.C. Polunin. 2000. Contributions of stable-isotope data to elucidating food webs of Mediterranean rocky littoral fishes. *Oecologia*. 122:399-409.
- Post, D.M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology* 83(3): 703-718.

- Power, M.E, 1992. Top down and Bottom up forces in food webs: do plants have primacy? Ecology. 73 (3) : 733-746.
- Ramírez-Macías, D. 2005. Caracterización de marcadores moleculares del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) del Golfo de California. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz. 108p.
- Román, R.J.C., Galván, M.F. y Olson,R.J. 2004. Stable isotope analysis of yellowfin tuna and two dolphin species associated in the eastern tropical Pacific. The 4th International conference on applications of stable isotope techniques to ecological studies. Wellington, New Zealand. Abril 19-23, 2004. P.127.
- Sampson-Tenorio, L. y Galván-Magaña, F. 2007. Variación estacional de isótopos de nitrógeno y carbono en mantas (Familia Mobulidae) del Golfo de California. I Reunión bianual. Retos de las ciencias acuáticas y pesqueras de México. La Paz, B.C.S. 2 - 4 de mayo 2007.
- Smyntek, P.M y Teece, M.A. 2007. A standard protocol for stable isotope analysis of zooplankton in the aquatic food web research using mass balance correction models. Limnol. Oceanogr. 52(5) : 2135-2146
- Sotiropoulos, M.A; Tonn W.M y Wassenarr L.I.Effects of lipid extraction on stable carbon and nitrogen isotope analysis of fish tissues: potential consequences for food web studies. Ecology of Freshwater Fish. 13: 155-160.

Torres-Rojas, Y.E., Hernández, H. A., Galván, M.F. y Aguiñiga, G.S. 2007. Razón de isótopos estables de Carbono y Nitrógeno del tiburón *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith 1834) capturado en el área de Mazatlán, Sinaloa, México. I Reunión bianual. Retos de las ciencias acuáticas y pesqueras de México. La Paz, B.C.S. 2 - 4 de mayo 2007.

Valdivia Ponce Rodrigo. 2006. Determinación de isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en el pez guitarra *Rhinobatos productus* (Girard, 1854) en la costa occidental de Baja California Sur, Mexico. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de B.C.S.

Vander-Zanden, M y Rasmussen, 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 (8): 2061-2066.

Velasco-Tarelo, P. y Galván-Magaña, F. 2005. Feeding habits and stable isotope ratios (^{13}C and ^{15}N) in the mako shark, *Isurus oxyrinchus*, from Mexico. 9th Meeting of the European Elasmobranch Association. Oceanographic Museum of Monaco. Montecarlo, Monaco. Noviembre 23-26, 2005.

Sitios Internet:

CONANP 2006. www.domino.conanp.gob.mx/

www.flmnh.ufl.edu/fish/Gallery/Descript/MantaRay/MantaRay.html

Martin, R. Aidan. 2003. Copyright and Usage Policy. World Wide Web Publication,
www.elasmo-research.org/copyright.htm

Milessi, A C. y Oddone, M C 2003. Primer Registro de *Manta birostris* (DONNDORFF 1798) (BATOIDEA: MOBULIDAE) en el río de la Plata Uruguay. *Gayana (Concepc.)*. [online]. vol.67 p.126-129. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382003000100017&lng=es&nrm=iso. ISSN 0717-6538.