



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**“Ecología Trófica del Tiburón Ballena (*Rhincodon typus*)
en zonas de agregación de la Isla Holbox,” Quintana Roo.**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos
Naturales
(Orientación en Biología Marina)

p r e s e n t a

María José Alderete Macal

La Paz, B.C.S. Julio de 2010

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

**Ecología Trófica del Tiburón Ballena (*Rhincodon typus*)
en zonas de agregación de la Isla Holbox, Quintana Roo.**

T E S I S

Para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Uso, Manejo, y Preservación de los Recursos Naturales

Presenta

María José Alderete Macal

La Paz, B.C.S. Julio 2010.

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las ___ horas del día ___ del Mes de Julio del 2010 se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

" Ecología Trófica del Tiburón Ballena (*Rhincodon typus*) en zonas de agregación de la Isla Holbox, Quintana Roo "

Presentada por el alumno:

Maria Jose Alderete Macal

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN **Biología Marina**

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

LA COMISION REVISORA

Dr. Javier Caraveo Patiño Dr. Ricardo Vázquez Juárez

INSERTAR NOMBRE
DIRECTOR DE TESIS

INSERTAR NOMBRE
CO-TUTOR


 Dr. Juan Gabriel Díaz Uribe

INSERTAR NOMBRE
CO-TUTOR


 DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA,
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

RESUMEN

El tiburón ballena, *Rhincodon typus*, es el pez más grande del océano alcanzando longitudes de hasta 18 metros. Desde hace años se sabe que estos tiburones se agregan en la punta norte de la península de Yucatán durante los meses de mayo hasta octubre para alimentarse; lo cuál ha sido aprovechado por los prestadores turísticos de la zona, incrementado el número de visitantes año con año. Sin embargo, esta actividad se desarrolla y regula con poca información biológica de la especie. Debido a que se trata de una especie protegida, los estudios de ecología alimenticia de la especie se encuentra limitada. Recientemente se comenzó a realizar investigaciones para conocer la ecología trófica del tiburón ballena utilizando técnicas no invasivas como el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno. Técnica que aporta información de la dieta asimilada por el depredador. La composición isotópica de los tejidos del consumidor refleja los hábitos alimenticios y representa lo que ha consumido un organismo a largo plazo, permitiendo incluso suponer patrones probables de migración al alimentarse en diferentes áreas. Durante los años 2005 y 2006 se realizaron muestreos en Isla Holbox, al norte de Cabo Catoche con el fin de determinar la ecología trófica del tiburón ballena en la zona de Isla Holbox, Quintana Roo utilizando isotopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Los resultados de este estudio muestran que el área funciona como un área de alimentación importante para la especie. Los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ mostraron que los tiburones ballena mantienen una alimentación costera mientras que los valores $\delta^{15}\text{N}$ indicaron que efectivamente se alimentan de plancton. A pesar de algunas diferencias en los análisis estadísticos de los valores isotópicos, los análisis gráficos mostraron que los tiburones ballena se encuentran alimentándose en la misma zona y de lo mismo los dos años, independientemente del grupo de edad o sexo. Las inferencias en referencia al posible efecto de los lípidos sobre los valores isotópicos fueron ciertas para el caso de pocas muestras, sin embargo en el caso de piel de tiburón ballena se encontró que los lípidos no son causa de diferencias significativas en los resultados totales por lo que futuros análisis isotópicos en piel de la especie pueden ser realizados sin la necesidad de la extracción de lípidos. Finalmente los resultados mostraron una no correspondencia entre los valores isotópicos de la piel de los tiburones ballena y las presas potenciales de la zona. Esto debido a la lenta tasa de recambio de la piel del animal. En base a eso se encontró que tiburones ballena se encuentran reflejando aún valores de otra zona de alimentación, identificada como Gladen Spit (Belice) donde se alimentan de Febrero a Junio. Este estudio, evidencia la necesidad de una cooperación con los investigadores de tiburón ballena en el arrecife mesoamericano, poniendo especial importancia a la zona de Gladen Spit con el fin de lograr la identificación de aquellas zonas, que junto con Isla Holbox, pueden funcionar como hábitats críticos en términos de alimentación para la especie.

Palabras clave: Tiburón ballena, isótopos estables, ecología alimenticia, Holbox, lípidos, tasa de recambio, Gladen Spit.

ABSTRACT

Whale shark (*Rhincodon typus*), is the ocean's biggest fish reaching lengths of 18 meters. It is known these sharks to aggregate at the north edge of Yucatan peninsula through May until October with feeding purposes. Tourist companies have had benefits from those aggregations by taking tourists to swim with the sharks. However, this activity is developed with small biologic information of the specie. Due to its protected status, feeding habit studies for the specie are limited. Recently, researchers have been using non-invasive techniques to have a better understanding of whale shark feeding ecology. One of them is the use of Carbon and Nitrogen stable-isotopes which gives information about the diet assimilated by a predator. Animal's tissue isotopic composition is a reflection of its feeding habits and represent what has been consumed by an organism on long term. This allows inferring migration patterns when feeding on several areas. During the years 2005-2006 samples were taken in Holbox Island north of Cabo Catoche with the objective of knowing the trophic ecology of whale sharks in the area. The results showed that Holbox Island works as an important feeding ground. C isotopic values demonstrated that the sharks feed close to the shore, while N values indicate they do feed on plankton. Although the existence of some differences on the statistic analysis; graphic analysis showed that whale sharks are feeding in the same zone and of the same preys independent of its sex or ontogenetic group. On the other hand, inferences made on lipid effects were true only for the case of having few samples; however, on whale shark skin it was found that lipids do not cause significant differences on the results. Because of it, future studies can be done without the need of extracting lipids out of whale shark skin. Finally, the results showed a no-correspondence between whale shark skin isotopic values and target preys of Holbox Island. This no-correspondence is explained with the slow animal skin exchange rate. It was found that whale sharks sampled in Holbox area still reflect values of a different feeding ground, identified as Gladen Spit (Belize) where they feed through February to June. Results of this study make evident the need of Mesoamerican reef whale shark researchers cooperation, giving special attention to Gladen Spit with the objective of identify the different feeding grounds across the Mesoamerican reef, which along with Holbox Island can be considered as critical habitats for the specie.

Key words: Whale shark, stable-isotopes, feeding habits, Holbox Island, lipids, skin exchange rate, Gladen Spit.

El mar es así: borra las cosas de la tierra porque él es lo más importante del mundo.

Le Clézio

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis asesores: Dr. Javier Caraveo Patiño, Dr. Ricardo Vazquez Juarez y Juan Gabriel Diaz Uribe por toda su comprensión, paciencia y apoyo.

A mi familia, porque en las buenas y en las malas, se mantiene unida, y hasta en los tiempos más difíciles siempre tienen una sonrisa. En ustedes está mi fuerza, y se que juntos no hay nada que pueda con nosotros.

A Roge. Todos los días me haces reir, me enseñas, me apoyas. Mi confidente y mejor amigo, pero sobretodo eres quién me ha acercado al mar de formas que ni siquiera sabía que podían existir. Me da mucho orgullo y felicidad tenerte a mi lado my love.

A Mau. Eres mi hermano, mentor, amigo....que te digo. Tú siempre estas y yo no sería la misma sin ti.

A Gina. Poco tiempo para conocernos y estar juntas, pero suficiente para empezar una amistad de por vida. Estuviste todo el tiempo, fuiste quien estuvo conmigo en lo negro de lo negro, y en lo blanco...jajaja. Amiga....gracias por abrirme las puertas de tu casa. Tu siempre tendrás abiertas las mias.

A Oswald. Por tu gran amistad, por las risas, por aguantarme! Por prestarme tu compu durante meses. Por ser una de las personas más nobles que he conocido.

A Deni. Por haberme invitado a hacer este trabajo. Por las salidas de campo, las buenas pláticas. Por Bahía de Los Angeles y Gorda...por tu apoyo.

A todos mis compass CIB. Fabulosísimo haberlos tenido como compas. Por desvelarse conmigo, comer porquerías y tomar mucho café y coca. Obet, Rafa, Maso, Pati, Marce, Quina, Trip (vamos a la tiendita), Fausto y sus huevos a la Mexicana, cremas, Tania....bueno....uds. saben.

A mis amigos de hoy y siempre.....TATA (gracias por escucharme), Nez, Empa (te adoro amiga), Ondrejo, Felipe, Agnese, Julio, Natalia....

Finalmente agradezco al CONACYT por la beca brindada para la realización de este trabajo. A los proyectos FOSEMARNAT 2004-01-457, al proyecto fiscal CIBNOR PC1.4 y al proyecto fiscal CIBNOR PC1.0

INDICE

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
INTRODUCCIÓN.....	11
ESTRATEGIAS DE ALIMENTACIÓN.....	12
ISOTOPOS ESTABLES.....	15
ANTECEDENTES.....	18
JUSTIFICACIÓN.....	20
AREA DE ESTUDIO.....	22
HIPÓTESIS.....	25
OBJETIVOS.....	26
METODOLOGÍA.....	27
TRABAJO DE CAMPO.....	27
TRABAJO DE LABORATORIO.....	29
RESULTADOS.....	32
COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS CON Y SIN EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS.....	34
COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS POR SEXO.....	36
COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS POR TALLAS.....	39
COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS ENTRE TEMPORADAS.....	41
COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS DEL TIBURÓN BALLENA CON LAS PRESAS POTENCIALES DE ISLA HOLBOX.....	42
DISCUSIÓN.....	44
HOLBOX COMO ZONA DE ALIMENTACIÓN.....	45
HABITOS ALIMENTICIOS DE TIBURÓN BALLENA EN ISLA HOLBOX.....	47
EFECTO DE LOS LÍPIDOS Y DE LA DIFERENCIA ESTRUCTURAL DE LA PIEL EN LA DETERMINACIÓN DE VALORES ISOTOPICOS EN PIEL DE TIBURÓN BALLENA.....	52
CONCLUSIONES.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	58

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: TIBURÓN BALLENA.....	11
FIGURA 2: DIFERENCIAS DE LOS VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ ENTRE ZONA COSTERA Y OCEÁNICA.....	17
FIGURA 3: ISLA HOLBOX.....	24
FIGURA 4: LOCALIZACIÓN DE LOS TIBURONES BALLENA AL NORTE DE CABO CATOCHE DURANTE LOS AÑOS DE MUESTREO.....	32
FIGURA 5: DIFERENCIAS DE LOS VALORES ISOTÓPICOS EN LAS MUESTRAS PRELIMINARES.....	35
FIGURA 6: COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS PROMEDIO DE TIBURÓN BALLENA POR SEXO.....	38
FIGURA 7: COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS PROMEDIO DE TIBURÓN BALLENA POR GRUPO DE EDAD.....	40
FIGURA 8: COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS PROMEDIO DE TIBURÓN BALLENA POR TEMPORADA.....	42
FIGURA 9: COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS DE TIBURÓN BALLENA Y SUS PRESAS POTENCIALES.....	43
FIGURA 10: DISTRIBUCIÓN DE LA BIOMASA ZOOPLANCTÓNICA Y AVISTAMIENTOS DE TIBURÓN BALLENA 2005.....	46
FIGURA 11: DISTRIBUCIÓN DE LA BIOMASA ZOOPLANCTÓNICA Y AVISTAMIENTOS DE TIBURÓN BALLENA 2006.....	46

LISTA DE TABLAS

TABLA I: DISTRIBUCIONES DE LOS TIBURONES BALLENA POR ETAPA DE DESARROLLO Y POR SEXO.....	33
TABLA II: NUMERO DE MUESTRAS CON Y SIN LÍPIDOS.....	33
TABLA III: VALORES ISOTÓPICOS POR SEXO 2005.....	36
TABLA IV: VALORES ISOTÓPICOS POR SEXO 2006.....	37
TABLA V: VALORES ISOTÓPICOS POR GRUPO DE EDAD 2005.....	39
TABLA VI: VALORES ISOTÓPICOS POR GRUPO DE EDAD 2006.....	40
TABLA VII: VALORES ISOTÓPICOS DE TIBURÓN BALLENA POR TEMPORADA....	41

INTRODUCCIÓN

El tiburón ballena, *Rhincodon typus*, es el pez más grande del océano alcanzando longitudes de hasta 18 metros (Fig. 1). Es una especie epipelágica oceánico-costera que habita en la capa superficial de los mares tropicales y subtropicales del mundo (Compagno, 2001). Al igual que la mayoría de los elasmobranquios, posee una estrategia de vida del tipo K (crecimiento lento, maduración tardía y gran longevidad), la cual la hace una especie vulnerable a la sobreexplotación (Ramírez *et al.*, 2007). De hecho, fue debido a la disminución de sus poblaciones, que en el año 2000 fue incluida en la Lista Roja de la Unión Mundial para la Conservación como especie vulnerable (Norman, 2000). En México se encuentra en la lista roja de especies amenazadas (DOF, 2002) y en la NOM 059-ECOL-02.



Figura 1. Tiburón ballena *Rhincodon typus*

En la actualidad, se han detectado agregaciones de tiburones ballena en áreas geográficas definidas como: Arrecife de Ningaloo, Islas Revillagigedo, Islas Galápagos, Belice, Sudáfrica y Tailandia entre otros. Estas han sido aprovechadas por las empresas eco-turísticas, quienes en años recientes han reconocido el gran valor económico que aporta esta especie al turismo (Cliff *et al.*, 2007). A diferencia de otro tipo de buceos con

tiburones, el avistamiento de tiburón ballena no incluye comportamientos agresivos por parte del animal, por lo que los turistas son capaces de experimentar un acercamiento mayor con los organismos, haciendo de esta actividad una opción muy atractiva y dejando a su vez beneficios a las comunidades pesqueras y a las empresas de ecoturismo que operan localmente (Graham, 2004).

En el Caribe mexicano se agregan estacionalmente de mayo a agosto cerca de las islas Contoy y Holbox, siendo esta zona considerada como sede de una de las mayores agregaciones a nivel internacional (Hueter *et al.*, 2005; Reyes, 2004). Dichas agregaciones representan una oportunidad para realizar trabajos científicos de distintos tipos, ya que permiten localizar a varios organismos dentro de un área geográfica limitada a lo largo de un periodo de tiempo facilitando la obtención de muestras.

ESTRATEGIAS DE ALIMENTACIÓN

Junto con el tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*) y el tiburón boca ancha (*Megachasma pelagios*), el tiburón ballena es una de las tres especies de tiburón filtradoras que existen. Posee alrededor de 6,000 dientes, que miden apenas 2 mm de longitud y parecen ser vestigiales (Taylor, 2007). No utiliza sus dientes para capturar sus presas, sino que filtra grandes cantidades de agua por medio de branquias especializadas para atrapar organismos planctónicos y nectónicos que incluyen pequeños crustáceos (copépodos y eufáusidos), huevos de diferentes organismos marinos (por ejemplo, huevos de peces y corales), y peces pequeños como sardina y anchoveta (Hsu, 2007; Hacoheh *et al.*, 2006). Las tres especies utilizan una técnica de alimentación denominada filtración pasiva o RAM, la cual consiste en filtrar mientras el animal nada hacia delante

con la boca abierta (Taylor, 2007). Nelson (2004) sugiere que el tiburón ballena es más dependiente de la presencia de grandes concentraciones o parches de alimento en un área determinada, debido a que su sistema de filtrado no se encuentra totalmente adaptado para concentrar alimento planctónico disperso. Ello debido a que en comparación con las otras especies de tiburones filtradores, probablemente filtra un volumen menor de agua por unidad de tiempo, haciendolo menos eficiente para concentrar el plancton (Clark y Nelson, 1997). Por lo tanto, el tiburón ballena utiliza una técnica adicional que consiste en succionar el agua dentro de la boca y forzarla a salir a través de las branquias sin necesidad de nadar hacia delante. Además, existen observaciones en campo en las que se han detectado ejemplares utilizando una técnica que parece combinar la filtración pasiva y por succión (Nelson y Eckert, 2007) donde el empleo de las distintas estrategias por parte de los organismos varía en función del tipo y concentración de presas (Nelson y Eckert, 2007; Taylor, 2007).

Las agregaciones predecibles de tiburón ballena ocurren sólo en unas cuantas locaciones alrededor del mundo (Rodríguez *et al.*, 2007), y comúnmente están asociadas a la presencia de alimento (Cárdenas *et al.*, 2007; Cliff *et al.*, 2007; Norman y Stevens, 2007; Rodríguez *et al.*, 2007). No se sabe cómo es que estos localizan las concentraciones de presas, las cuales pueden encontrarse a miles de kilómetros de distancia. Sin embargo, ha sido sugerido que algún tipo de indicador químico disuelto en el agua puede ser detectado por las cápsulas olfatorias moderadamente largas y esféricas que posee la especie. Además se sabe que cuando el zooplancton se alimenta de fitoplancton, éste último libera un compuesto llamado dimetil sulfuro de fuerte aroma. El cual sirve como indicador de presencia de alimento para ciertas especies de aves e incluso de tiburones como el tiburón peregrino. Por lo que esta sustancia podría jugar un papel importante para

la detección de alimento por parte del tiburón ballena (Martín, 2007). Otra posible explicación a la forma en la que el tiburón ballena localiza su alimento, es mediante la localización del movimiento y ruido emitido por bancos de peces pequeños. Se ha observado que cuando se encuentran cerca de un banco de peces pequeños, los tiburones suelen seguir al banco, alimentarse detrás o entre el banco pero nunca de peces. Ya que los peces pequeños suelen alimentarse de manera muy agresiva, es posible que el movimiento y ruido que hacen atraiga a los tiburones (Nelson y Eckert, 2007). Sin embargo, estas estrategias siguen siendo suposiciones que deben ser probadas de manera experimental.

No obstante que aún no se sabe con certeza cómo es que los tiburones ballena detectan su alimento, las zonas geográficas donde ocurren anualmente agregaciones predecibles facilitan el estudio de la ecología alimenticia de la especie. Actualmente la técnica de isótopos estables es una metodología que es usada con mayor frecuencia dentro de la ecología alimenticia. Puede aportar información sobre la dieta que realmente es asimilada por el depredador, por lo que ayuda a precisar de manera considerable las observaciones en campo. La composición isotópica de los tejidos de un animal permite elucidar su hábito alimentario, lo que ha consumido en el corto o largo plazo dependiendo de si el tejido es activo (por ejemplo hígado, o músculo) o inactivo (estructuras duras como la epidermis o los dientes), e incluso ayuda a esclarecer patrones probables de migración (Hacohen, 2007).

ISÓTOPOS ESTABLES

Los isótopos son átomos de un mismo elemento que en lugar de tener el mismo número de protones y neutrones en el núcleo, tiene un número distinto de neutrones. El número de neutrones puede ser menor o mayor que el número de protones, dando lugar a la existencia de isótopos ligeros y pesados (Fry, 2006). Cuando un organismo consume recursos del ambiente, los isótopos estables son asimilados en sus tejidos de acuerdo a la proporción en que se hallan en el mismo, aunque con cierta diferencia debida a distintos procesos metabólicos. Esta diferencia se conoce como fraccionamiento isotópico y puede variar entre especies, tejidos y en distintas condiciones ambientales (Hobson *et al.*, 1993).

Mientras que los isótopos ligeros adquiridos vía alimentación son eliminados rápidamente de los tejidos vía respiración y excreción, los isótopos pesados son retenidos en los tejidos del consumidor, lo que causa una acumulación de éstos en los tejidos de los consumidores. De esta forma, todos los individuos de una especie que comparten un ambiente con características isotópicas comunes, presentarán en sus tejidos una composición isotópica similar, llamada "firma isotópica del ambiente" (Dowdall *et al.*, 2006). Al proceso de acumulación de isótopos pesados a través de los distintos niveles tróficos se le denomina enriquecimiento. Este fenómeno le confiere a ciertos isótopos la propiedad de servir como marcadores naturales que pueden ser usados para conocer el origen y destino de ciertos elementos conforme circulan en los ciclos biogeoquímicos. Como marcadores, también se pueden utilizar para elucidar las relaciones entre los organismos de una red trófica determinada. Este enriquecimiento se da en cantidades muy pequeñas y es expresado por el símbolo Δ y en unidades ‰ (Fry, 2006).

La notación de los valores isotópicos de C y N se expresa como $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Estos valores isotópicos denotan una diferencia en las proporciones de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ existente entre la muestra dada y un estándar establecido como una referencia internacional y expresado con el símbolo δ . Para el caso del N, el valor del nitrógeno atmosférico es utilizado como estándar. Para el carbono, en cambio, se utiliza como referencia un fósil marino del cretáceo llamado Pee Dee Belemnite proveniente de la formación Pee Dee en Carolina del Sur. Este material tiene una proporción $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ anormalmente alta y está establecida como el valor 0 para ^{13}C . El empleo de este estándar le confiere a la mayoría de los materiales naturales valores de $\delta^{13}\text{C}$ isotópicos negativos lo que indica que la muestra posee menos isótopos pesados que el estándar (Fry, 2006).

Debido a que el enriquecimiento de ^{13}C y ^{15}N es diferente, la información que provee cada uno en función a su enriquecimiento también es distinta:

Nitrógeno: Los valores isotópicos de nitrógeno tienden a incrementarse entre 3-5 ‰ conforme nos alejamos de la línea base (productividad primaria) de una red trófica. Por lo que es útil para definir los niveles tróficos de los organismos.

Carbono: Los valores de isótopos estables de carbono tienden a permanecer constantes entre 0-1 ‰ a través de las transferencias tróficas. Se utiliza para identificar la dieta de un organismo dado o la posible contribución relativa de diferentes fuentes potenciales en la dieta (Logan y Lutcavage, 2008). Sirve para identificar redes tróficas utilizadas por un organismo en su dinámica reproductiva y/o alimenticia. Ello por que en el planeta se pueden encontrar distribuciones de $\delta^{13}\text{C}$ que serán características de los distintos

ambientes dando lugar a patrones de valores isotópicos en la biósfera. Estos patrones son el resultado de varios factores, que incluye grandes reservorios de los distintos elementos, algunas enzimas involucradas en la adquisición de nutrientes y estequiometrias ecológicas que mantienen unidos a los ciclos de materiales orgánicos en la biósfera (Fry, 2006). Los valores de dichos ambientes, y/o de las presas son reflejados en los tejidos de los consumidores permitiendo determinar la relación entre el consumidor y la red trófica que utiliza. Por ejemplo, en ambientes marinos; debido a que las zonas costeras contienen un mayor enriquecimiento de $\delta^{13}\text{C}$ por la cantidad de C inorgánico característico que en ellos circula se encuentran ahí valores más cercanos al estándar (de valor 0) que las zonas oceánicas. Por lo tanto, los gradientes de $\delta^{13}\text{C}$ pueden relacionarse a redes tróficas costeras o a redes oceánicas y pelágicas donde valores cercanos a los $-15 \delta^{13}\text{C}$ en los tejidos del consumidor, indican que se encuentra alimentándose en la zona costera, mientras que valores cercanos a $-22 \delta^{13}\text{C}$ refieren a una alimentación en la zona oceánica. Para estas determinaciones es importante tener en consideración, que los valores isotópicos de distintos ambientes ya han sido determinados con anterioridad y que son estables en el tiempo (Fig. 2) (Hobson, 1999).



Figura 2. Diferencias entre los valores $\delta^{13}\text{C}$ entre la zona costera y oceánica.

Este trabajo busca describir la ecología trófica del tiburón ballena basándose en el análisis de isótopos de carbono y nitrógeno en la zona de Isla Holbox, Quintana Roo.

ANTECEDENTES

La literatura publicada sobre el tiburón ballena es extensa y en su mayoría abarca estudios de alimentación, marcaje para determinar patrones de movimiento, comportamiento, cuestiones de manejo y más recientemente estudios de genética.

Uno de los pioneros en realizar estudios sobre los hábitos alimenticios de la especie fue Gudger (1941), quien describió los hábitos alimenticios del tiburón ballena, así como las presas que consume esta especie. Encontró que se alimenta de calamares, peces cirujano, sardinas, atunes pequeños y menciona que las algas podrían ser parte de su dieta, aunque la presencia de estas en contenidos estomacales podría ser accidental (Hacohen, 2004).

Compagno (1984) describió al tiburón ballena como un organismo filtrador por medio de succión y sugirió que podía alcanzar mayores velocidades de consumo que el tiburón peregrino (*C. maximus*).

Heyman y colaboradores reportan en Belice las agregaciones más densas de tiburón ballena (Heyman *et al.*, 2001). De acuerdo con este estudio esta área geográfica es usada por la especie para alimentarse de los desoves de *Lutjanus cyanopterus* y *Lutjanus jocu*.

En Australia se han realizado diversos estudios de tiburón ballena, entre los que podemos mencionar el realizado por Taylor (2007) quien describe la filtración pasiva y nocturna de los tiburones ballena en el arrecife de Ningaloo y concluye que los tiburones ballena utilizan diferentes estrategias de alimentación para diferentes presas.

En México, Clark y Nelson (1997) identifican como una importante zona de agregación para la especie a las aguas de Baja California Sur desde Cabo San Lucas hasta Bahía de La Paz. Realizan una descripción de las estrategias alimenticias utilizadas en la zona de La Paz. Describen la estrategia de succión de estos animales, relacionándolo al aprovechamiento de densos parches de copépodos en la zona, siendo el primer reporte de estos animales alimentándose directamente de especies de copépodos.

Nelson y Eckert (2007) describen la ecología alimenticia de los tiburones ballena en la zona de Bahía de los Ángeles, describiendo tres técnicas principales utilizadas para alimentación en respuesta a la composición y densidades de zooplancton, las cuales constituyen filtración pasiva, succión y una técnica que combina la filtración pasiva y la succión.

Hacohen (2007) realizó un estudio de isótopos estables de C y N en el Golfo de California. De acuerdo con este estudio los tiburones ballena de Bahía de los Ángeles y Bahía de la Paz se alimentan en áreas cercanas a la costa y cerca de la superficie. Además, Hacohen no encuentra diferencias significativas en la dieta entre sexos o tallas.

JUSTIFICACIÓN

Desde hace años se sabe que los tiburones ballena se agregan en la punta norte de la península de Yucatán durante los meses de mayo a octubre para alimentarse.

Con el auge ecoturístico, se han incrementado número de visitantes en la región de Isla Holbox para nadar con tiburones ballena, por lo que el área de protección de flora y fauna Yum Balam (Comisión Nacional de Áreas Naturales) ha implementado un ordenamiento con los prestadores de servicios turísticos de la región (Ramírez, 2005). Actualmente los habitantes de las comunidades de Holbox y Chiquilá ofrecen el servicio de viajes de observación y buceo libre con el tiburón ballena, actividad con gran potencial económico y que muestra una tendencia de crecimiento acelerado. Sin embargo, a la fecha esta actividad se desarrolla y regula con poca información biológica de la especie. Tal evidencia sustenta la necesidad de contar con información técnica y científica sólida que permita implementar medidas de manejo y aprovechamiento sustentable de la presencia de la especie (Reyes, 2004).

Asimismo, es importante obtener Información que permita delimitar los hábitats críticos de la especie (aquellos en los que la sobrevivencia y potencial alimenticio se ven favorecidos). Holbox podría ser incluido en esa categoría, en primera instancia, por ser un área de alimentación, y segundo debido a que esta zona puede ser un área de crianza dado que se han observado hembras grávidas y organismos juveniles alimentándose (*Ramírez com pers.).

*Dení Ramírez: Maestra en Ciencias del CIBNOR. La Paz, Baja California Sur.

Debido a que el tiburón ballena es una especie protegida, la mayoría de los estudios a nivel mundial que se refieren a la composición de su dieta, está limitada a observaciones anecdóticas, estudios en restos fecales, análisis de arrastres de plancton y de contenido estomacal de organismos capturados (Clark y Nelson, 1997; Ketchum, 2003; Hacoheh, 2007; Nelson y Eckert, 2007). La misma situación hace sumamente difícil obtener las muestras que permitan estudios de contenido estomacal para determinar sus hábitos alimenticios. Afortunadamente, recientemente se han comenzado a realizar investigaciones para conocer la ecología trófica del tiburón ballena utilizando técnicas no invasivas como el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno (Hacoheh, 2007). Esta técnica aporta información de la dieta asimilada por el depredador. La composición isotópica de los tejidos del consumidor refleja los hábitos alimenticios y representa lo que ha consumido un organismo a largo plazo, permitiendo incluso suponer patrones probables de migración al alimentarse en diferentes áreas (Hacoheh, 2007).

Debido a la estrecha relación que existe entre las agregaciones de tiburón ballena y su alimentación, la importancia económica de dichas agregaciones para la industria turística, la vulnerabilidad de la especie y el hecho de que la zona de la Isla Holbox pueda ser considerada como hábitat crítico, es importante conocer la ecología trófica de la especie en esta importante zona de avistamientos.

AREA DE ESTUDIO

La Isla Holbox se encuentra en la punta norte de la Península de Yucatán, en el Estado de Quintana Roo, dentro de los límites de la reserva ecológica de flora y fauna silvestre denominada "Yum Balam". Al este colinda con Cabo Catoche y la Laguna Yalahau que la separa de tierra firme. Esta isla está ubicada en una zona de transición entre el Golfo de México y el mar Caribe, está influenciada por la corriente de Lazo o de Yucatán con aguas provenientes del fondo y la corriente del Mar Caribe, caracterizada por tener una baja saturación de oxígeno (Fig 3).

La corriente de Lazo y sus anillos ciclónicos y anticiclónicos asociados constituyen los mecanismos primarios que movilizan, distribuyen y dispersan las masas de agua en el Golfo de México. Estos flujos juegan un papel decisivo en la circulación, renovación y los balances térmicos y salinos de sus masas de agua superficiales. Esta corriente transporta del Caribe hacia el oriente del Golfo de México entre 29-33 millones de metros cúbicos de agua por segundo) presentando en sus fronteras elevadas concentraciones de nutrientes (Ocampo, 1996).

Pueden distinguirse en la región cuatro rasgos oceanográficos característicos: el afloramiento o surgencia de aguas profundas, el giro ciclónico al noreste de Cabo Catoche, la zona frontal asociada a la surgencia y la corriente de Yucatán. La surgencia es una característica única en la región, la cual permanece durante todo el año, propiciando la formación de producción primaria, que conlleva a un flujo de energía y nutrientes interactuando entre sí, lo que atrae a una comunidad nectónica secundaria, conformándose una compleja red trófica en la zona. Mediante mediciones oceanográficas

e hidrológicas se ha identificado la existencia de una zona frontal al noreste de la Península de Yucatán, asociado a la surgencia presente en la zona. En esta zona frontal convergen dos masas de agua con características diferentes: las que provienen de la corriente de Yucatán y las del banco de Campeche. Las zonas frontales se caracterizan por la concentración mecánica del plancton y una elevada productividad. La temperatura superficial del mar en la zona varía entre 22 y 30°C. La salinidad varía entre 32‰ durante la época de lluvias y 37‰ en época seca (Reyes, 2004).

En la zona se han registrado 141 especies de fitoplancton, que durante las épocas secas presentan la riqueza más alta debido a eventos de surgencias. En cuanto al zooplancton, se registran 28 grupos, con una menor biomasa en el mes de mayo y mayor durante el mes de septiembre. Los grupos representativos de zooplancton durante la temporada de tiburón ballena en la zona son copépodos, huevos de peces, sergéstidos, apendicularias y quetognátos (Reyes, 2004).



Figura 3. Isla Holbox: Noreste de la Península de Yucatán México. Localizada en latitud norte 21°54' y 87° 25' longitud este

HIPÓTESIS

- **La Isla Holbox es utilizada por el tiburón ballena como un área de alimentación.** Dado que los tiburones se observan alimentándose en el área, entonces se espera que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ reflejen una relación isotópica de las presas que se encuentran en la zona de isla Holbox.

OBJETIVO

Objetivo General

Con una aproximación de la composición isotópica de carbono y nitrógeno en biopsias de *Rhincodon typus*, fitoplancton y zooplancton se estudiará la ecología trófica de los tiburones ballena en la zona de Holbox, Quintana Roo.

Objetivos Específicos:

- Determinar si los tiburones ballena se están alimentando en Isla Holbox mediante la comparación de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del fitoplancton y zooplancton de la zona, con los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ encontrados en los tejidos del tiburón ballena.
- Identificar si existen diferencias entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de tiburón ballena entre sexos con el fin de explorar alguna preferencia en alimentación entre machos y hembras.
- Explorar la posible variación entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de tiburón ballena entre diferentes clases de talla (adultos y juveniles) con el fin de determinar si existe algún cambio ontogénico en la alimentación.
- Determinar la posible variabilidad anual en los valores $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en biopsias del tiburón ballena.

METODOLOGÍA

Trabajo de campo

Búsqueda y avistamiento

Se realizaron salidas al campo en la zona de Cabo Catoche en Isla Holbox en julio y agosto del 2005 y 2006. Las observaciones en campo se llevaron a cabo por medio de una embarcación de fibra de vidrio, de 25 pies de longitud, con un motores Yamaha de 50 Hp. Dicha embarcación fue proporcionada por el Proyecto DOMINO – proyecto del tiburón ballena en el Atlántico de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Las muestras tomadas para este estudio fueron obtenidas al norte de Cabo Catoche.

Para ubicar a los tiburones, se escudriña en la superficie del mar para determinar la presencia de dos aletas que sobresalen de la superficie (aleta dorsal y caudal) o en caso de estar sumergido, por la presencia de una sombra en el agua. El avistamiento se realiza a simple vista y una vez identificada la presencia del animal, se utilizan binoculares (Nikon-Oceanpro 10X50). Los censos iniciaron desde las siete de la mañana hasta el atardecer. En caso de avistar un tiburón, se reducía la velocidad de la embarcación (2-3 nudos) para acercarse lentamente y no lastimarlo o ahuyentarlo. Posteriormente se procedió a marcar su posición de avistamiento por medio de un geoposicionador satelital (GPS-Garmin) e inmediatamente después, una ó dos personas con equipo básico de buceo se aproximaban al tiburón ballena. Cada tiburón fue identificado por medio de fotografías digitales con base en características conspicuas como: marcas en el cuerpo (cicatrices, patrones de coloración). Para todos los casos posibles se registro el sexo

(hembra o macho), longitud total (LT), altura de la primera aleta dorsal (D1H) y comportamiento.

Para el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno, se obtuvieron biopsias de piel de distintos individuos juveniles y adultos mediante una hawaiana deportiva de 1.9 m con una punta hueca de acero inoxidable modificada de 6 mm de diámetro (Ramírez-Macías, et al. 2007). Con la finalidad de evitar la transmisión de alguna enfermedad o de infectar al animal durante la obtención de la biopsia, la punta fue esterilizada previamente, calentándola con un soplete portátil y enfriándola en alcohol etílico antes de ser utilizada. Una vez extraídas las biopsias se colocaron en tubos de plástico tipo vial y se mantuvieron en hielo por no más de 8 horas, hasta llegar al laboratorio, donde se preservaron a una temperatura de -80°C .

Recolecta de plancton.

Para comparar los valores de isótopos estables de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ entre el tiburón ballena (consumidor) y sus presas potenciales (plancton), se realizaron colectas de zooplancton y fitoplancton con una red convencional de plancton de 60 cm de diámetro de boca y 1-1.5 m de largo. En el caso del zooplancton, la luz de malla fue de $333\ \mu\text{m}$ y para el fitoplancton de $60\ \mu\text{m}$. Cada arrastre tuvo una duración de 5 minutos a 1.5-2 nudos de velocidad. Simultáneamente se tomaron registros de la temperatura superficial del agua. Los arrastres fueron realizados en las zonas de Cabo Catoche donde se observó un comportamiento alimenticio por parte de los tiburones, Durante los arrastres se procuró

mantener a la lancha a una distancia adecuada del tiburón ballena para evitar afectar en lo posible su comportamiento natural.

Las muestras se colaron con un filtro con luz de malla de 0.05 mm con el fin de eliminar la mayor cantidad de agua posible y posteriormente se depositó una parte de la muestra del zooplancton en viales. Una vez colectadas se colocaron en hielo por no más de 8 horas hasta llegar al laboratorio donde se congelaron a una temperatura de -80°C .

Trabajo de Laboratorio.

Bajo la consideración de que 1) existe una variación en las señales isotópicas entre los distintos tejidos de un mismo organismo; 2) que el contenido de lípidos puede repercutir en la señal isotópica de una muestra (Dowdall, 2006) y 3) que las biopsias de piel de Tiburón ballena están constituidas de dos componentes, epidermis (estructura oscura constituida por los dentículos) y dermis (estructura fibrosa blanca), se decidió analizar primeramente un número reducido de muestras de piel de tiburón (19 muestras totales) abarcando un análisis de muestras con y sin lípidos y otro análisis para determinar si existían diferencias entre los valores isotópicos de dermis, epidermis, una mezcla conformada por 50% dermis y 50% epidermis y una última mezcla entre dermis y epidermis en cantidades al azar. Con el fin de determinar alguna variación de la señal isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) entre ambas estructuras con y sin extraer los lípidos. En base a los resultados obtenidos en las pruebas de muestra, se envió para el resto de las muestras únicamente la parte de dermis para un análisis con y sin lípidos. Finalmente, todas las muestras de plancton fueron analizadas con lípidos.

Para extraer los lípidos de las muestras se siguió el método descrito por Folch et al.

(1957), el cual es comúnmente utilizado para muestras de origen animal. En esta técnica, los lípidos se extraen con una solución de cloroformo:metanol 2:1.

Liofilización

Para el análisis isotópico, todas las muestras (independientemente de si iban a ser analizadas con o sin lípidos) se liofilizaron a -50°C a una presión entre 50 y 70 mbar durante 24 horas.

Homogenización y encapsulado

Las muestras se pulverizaron en un mortero de ágata. Debido a la textura fibrosa de la piel del tiburón ballena, no fue posible pulverizarlo macerándolo. Para lograrlo se utilizó un bisturí con el que se raspó la dermis formando un polvo lo más fino posible. Entre muestra y muestra, el mortero fue lavado con agua destilada para evitar la contaminación de las muestras posteriores.

De cada una de las biopsias de dermis disponibles se obtuvo una submuestra de 0.001g mediante el uso de una balanza analítica. Cada una de ellas fue colocada en una microcápsula de plata (8x5 mm) amoldándolas de modo que la muestra se mantuviera herméticamente en el interior sin posibilidad de pérdida de material. Una vez obtenidas las submuestras, las biopsias donde quedó suficiente material de dermis fueron tratadas siguiendo el método de Folch y secadas con nitrógeno para la posterior extracción de la submuestras sin lípidos. La determinación de los valores isotópicos se realizaron en un espectrómetro de masas de razones isotópicas en el Laboratorio de Agronomía de la

Universidad UC DAVIS en California Estados Unidos. El contenido de ^{13}C y ^{15}N de las muestras fue comparado con el contenido de estándares internacionales (nitrógeno atmosférico para $\delta^{15}\text{N}$ y calcita fósil llamada Pee Dee Belemnita PDB para el $\delta^{13}\text{C}$), se expresaron en partes por mil ($^{\circ}/_{00}$) bajo la notación δ (delta), de acuerdo a la ecuación siguiente (Park y Epstein, 1961):

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

donde R muestra la razón isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ para $\delta^{15}\text{N}$ y la proporción $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ para $\delta^{13}\text{C}$. Los estándares empleados fueron nitrógeno atmosférico para el caso del N y Pee Dee Belemnita para el C.

Se compararon gráficamente los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ entre juveniles y adultos, sexos, años, y entre depredador y presas. De manera separada a las muestras con y sin lípidos se les realizaron pruebas de análisis de varianza para evaluar probables diferencias entre sexos, tallas y años.

RESULTADOS

Los muestreos se realizaron en la parte norte del Cabo Catoche debido a la accesibilidad del sitio y a que es considerada como una de las dos áreas de mayor abundancia de los tiburones ballena en el Caribe Mexicano. La localización de los tiburones muestreados fue cartografiada en un mapa utilizando el programa Arc View 3.2. (Fig. 4).

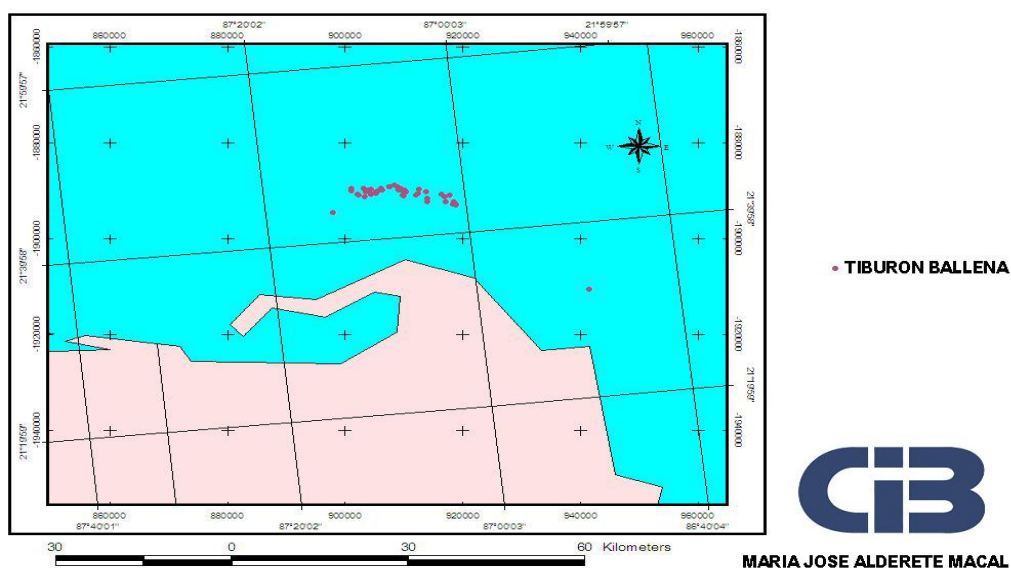


Figura 4. Localización de los tiburones muestreados al norte de Cabo Catoche durante los años 2005 y 2006.

Durante los dos años de colecta en el campo se lograron reunir un total de 66 biopsias de piel de tiburón ballena y 21 muestras de plancton. Las distribuciones de talla y sexo se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Distribuciones por etapa de desarrollo y por sexo de los tiburones ballena muestreados durante los años 2005 y 2006.

AÑO	MACHOS JUVENILES	HEMBRAS JUVENILES	MACHOS ADULTOS	HEMBRAS ADULTAS
2005	12	6	1	0
2006	23	5	8	3
TOTAL	35	11	9	3

Ocho tiburones no pudieron ser clasificados en ninguna de las categorías de la tabla debido a que su talla o su sexo no pudo ser determinada en. El 76.3% de los tiburones observados en campo eran organismos juveniles mientras que únicamente un 20.7% correspondieron a organismos adultos. Por otro lado, se encontró que la proporción de machos (75.9%) presentes en la zona fué mayor a la de las hembras (24.1%).

De las 103 muestras de dermis analizadas para isótopos estables, 55 fueron determinadas con lípidos y 48 sin lípidos. Únicamente fueron enviadas 48 muestras sin lípidos debido a que 2 muestras no tenían la suficiente cantidad de dermis para enviarle a hacer una muestra con lípidos y una sin lípidos (Tabla II).

Tabla II. Número de muestras analizadas con lípidos y sin lípidos.

AÑO	CON LÍPIDOS	SIN LÍPIDOS
2005	18	10
2006	37	38
TOTAL	55	48
PLANCTON	21	0

COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS CON O SIN EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS

Con las 19 muestras de prueba de piel de tiburón ballena para probar el efecto de los lípidos en las lecturas de isótopos estables de C y N, se encontró que los lípidos efectivamente modificaban la señal. Cuando se realiza la extracción de lípidos en las muestras de dermis y epidermis se da una reducción en la variabilidad de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre muestras, observándose a su vez un aumento en la variabilidad de $\delta^{15}\text{N}$ (Fig. 5). Cuando no se realiza una extracción de lípidos, se observó un aumento en la variabilidad de $\delta^{13}\text{C}$ y una reducción en la variabilidad de $\delta^{15}\text{N}$ (Fig. 5). Por lo anterior en este estudio se decidió determinar los $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para todas las muestras del estudio con y sin lípidos.

Al analizar con el grueso de las muestras del estudio (103 muestras correspondientes de 66 tiburones), el efecto de la extracción de los lípidos en las muestras de dermis de tiburón ballena antes de determinar su valor isotópico, se hizo evidente que las diferencias encontradas en las muestras de prueba no eran importantes. Al promediar los valores isotópicos obtenidos en función al sexo de los tiburones, se observó que los valores promedio eran muy similares independientemente de las muestras hubieran sido procesadas con o sin lípidos. Lo mismo ocurrió en el caso de las tallas (Fig. 6 y 7).

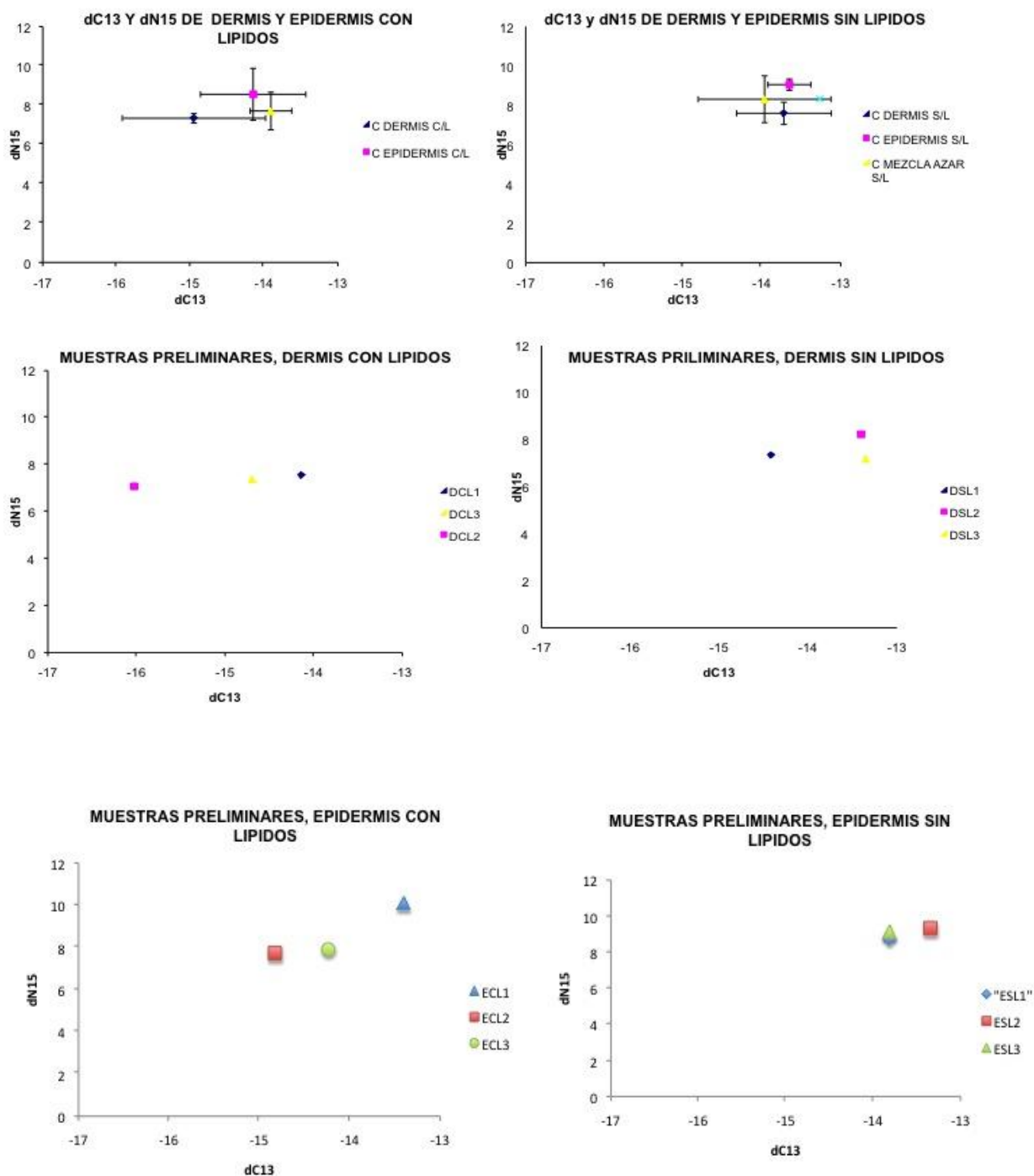


Figura 5. Las dos primeras gráficas muestran las diferencias existentes entre muestras de dermis, epidermis, muestras 50% epidermis y 50% dermis, y muestras con cantidades de dermis y epidermis azarasas con y sin lipidos, las muestras de cada gráfica pertenecen al mismo tiburón. Los valores isotópicos son distintos al utilizar distintas partes de una misma muestra. Las siguientes cuatro gráficas muestran las diferencias entre los valores las muestras de dermis y epidermis cuando se analizan con lípidos y sin lípidos; cada una de las tres muestras presentadas en cada una de las gráficas corresponden a un tiburón diferente.

COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS POR SEXOS

El análisis en función al sexo de tiburones se realizó manteniendo separados los años de colecta. Los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ promedio para el año 2005 se muestran en la tabla III.

Tabla III. Valores isotópicos promedio de dermis de tiburón ballena en función de su sexo en el año 2005.

	<u>CON LÍPIDOS</u>		<u>SIN LÍPIDOS</u>	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
<u>MACHOS</u>	-14.61	7.11	-14.29	7.00
<u>HEMBRAS</u>	-14.28	7.11	-13.99	8.04

En el año 2005 se observó que no existe una diferencia isotópica entre los valores promedio de hembras y machos tanto para las muestras a las que se les extrajeron lípidos, como para las que no. Los análisis de varianza realizados mostraron para el caso de las muestras con lípidos valores de $P=0.93$ para el carbono y $P=0.09$ para nitrógeno ($N_{\text{hembras}}=6$; $N_{\text{machos}}=12$). En el caso de las muestras sin lípidos tampoco existió una diferencia significativa entre los valores isotópicos de hembras y machos. Los análisis de varianza mostraron valores de $P=0.55$ para carbono y $P=0.065$ para nitrógeno ($N_{\text{hembras}}=4$; $N_{\text{machos}}=6$) (Fig.6).

Los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para el año 2006 se muestran en la tabla IV. De igual manera los resultados muestran que no existe una diferencia isotópica entre sexos, tampoco entre muestras con y sin la extracción de lípidos. Los resultados del análisis de

varianza mostró para el caso de las muestras con lípidos valores de $P=0.55$ para el carbono y $P=0.60$ para nitrógeno ($N_{\text{hembras}}=8$; $N_{\text{machos}}=29$). En el caso de las muestras sin lípidos tampoco existió una diferencia significativa entre los valores isotópicos de hembras y machos. Los análisis de varianza mostraron valores de $P=0.98$ para carbono y $P=0.073$ para nitrógeno ($N_{\text{hembras}}=8$; $N_{\text{machos}}=30$) (Fig.6).

Tabla IV. Valores isotópicos promedio de dermis de tiburón ballena en función de su sexo en el año 2006

	<u>CON LÍPIDOS</u>		<u>SIN LÍPIDOS</u>	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
<u>MACHOS</u>	-14.68	7.08	-13.95	7.55
<u>HEMBRAS</u>	-13.96	6.97	-13.96	7.47

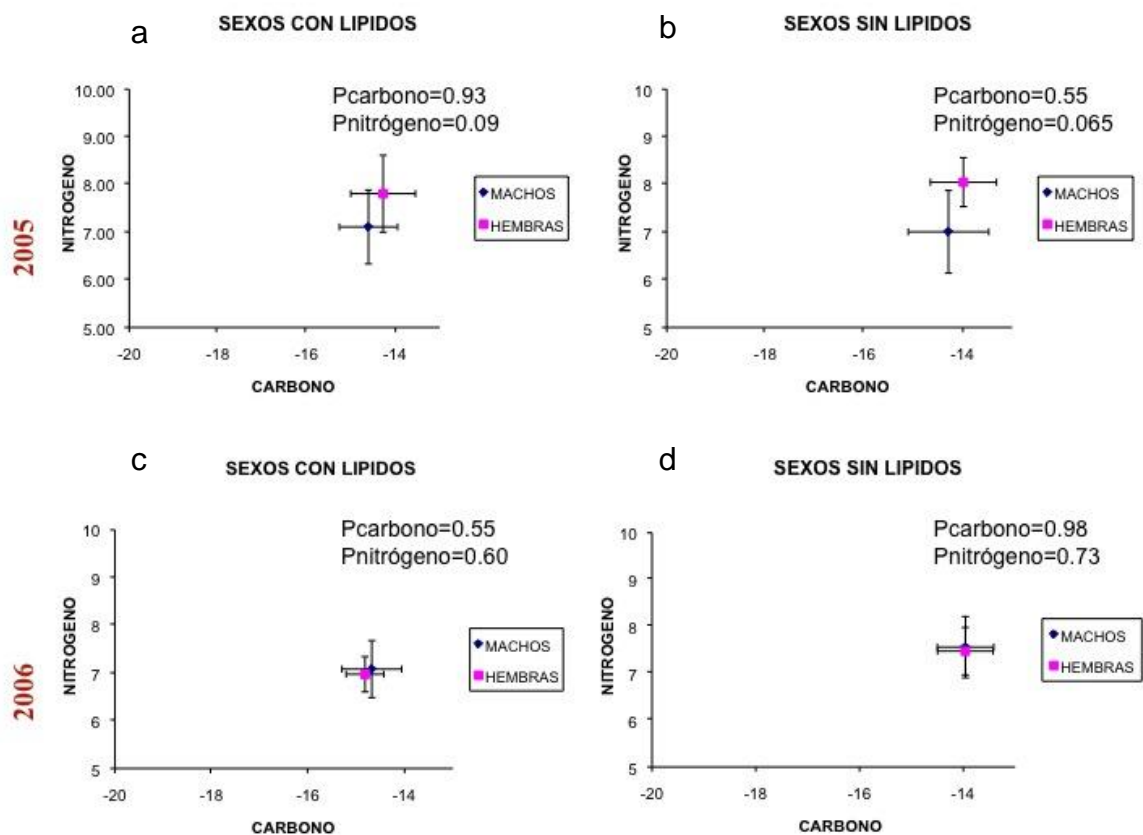


Figura 6. Valores isotópicos de piel de tiburón ballena con y sin lípidos por sexo para 2005 (a y b) y 2006 (c y d)

COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS POR TALLAS

Se realizaron comparaciones entre tiburones juveniles y adultos con el fin de encontrar alguna diferencia en su dieta.

De igual forma se hizo un análisis en función a la talla de los tiburones (juveniles-organismos menores de 7 m.- y adultos –tiburones mayores de 7 m.-) y al igual que en el análisis de sexos, este se realizó separando los años de colecta. Los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para el año 2005 se muestran en la tabla V. No fue posible realizar pruebas de naturaleza estadística para el año 2005 debido a que únicamente se contó con una muestra perteneciente a un tiburón adulto (Fig. 7).

Tabla V. Valores isotópicos promedio de piel de tiburón ballena en función de su grupo de edad del año 2005. El valor isotópico de los adultos está representado por una sola muestra.

	CON LÍPIDOS		SIN LÍPIDOS	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
<u>JUVENILES</u>	-14.65	7.19	-14.46	7.13
<u>ADULTOS</u>	-13.75	7.49	-13.62	7.46

Por otro lado, los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para el año 2006 se muestran en la tabla VI. En este año si se encontraron diferencias significativas entre adultos y juveniles, pero únicamente para los valores de carbono, tanto para muestras con lípidos como sin lípidos. El análisis de varianza tuvo un resultado $P=0.047$ para C con lípidos ($N_{\text{juveniles}}=26$; $N_{\text{adultos}}=11$) y $P=0.009$ para C sin lípidos ($N_{\text{juveniles}}=27$; $N_{\text{adultos}}=11$). Para los valores de $\delta^{15}\text{N}$ no se observó diferencia significativa entre tallas. Los valores de P fueron tanto para

muestras con lípidos y sin lípidos, mayores a 0.05 ($P=0.67$ y $P=0.79$ para muestras con lípidos y sin lípidos respectivamente) (Fig.7).

Tabla VI. Valores isotópicos promedio de los tiburones ballena en función de su grupo de edad en el año 2006.

	<u>CON LÍPIDOS</u>		<u>SIN LÍPIDOS</u>	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
<u>JUVENILES</u>	-14.83	7.08	-14.09	7.55
<u>ADULTOS</u>	-14.42	6.99	-13.61	7.49

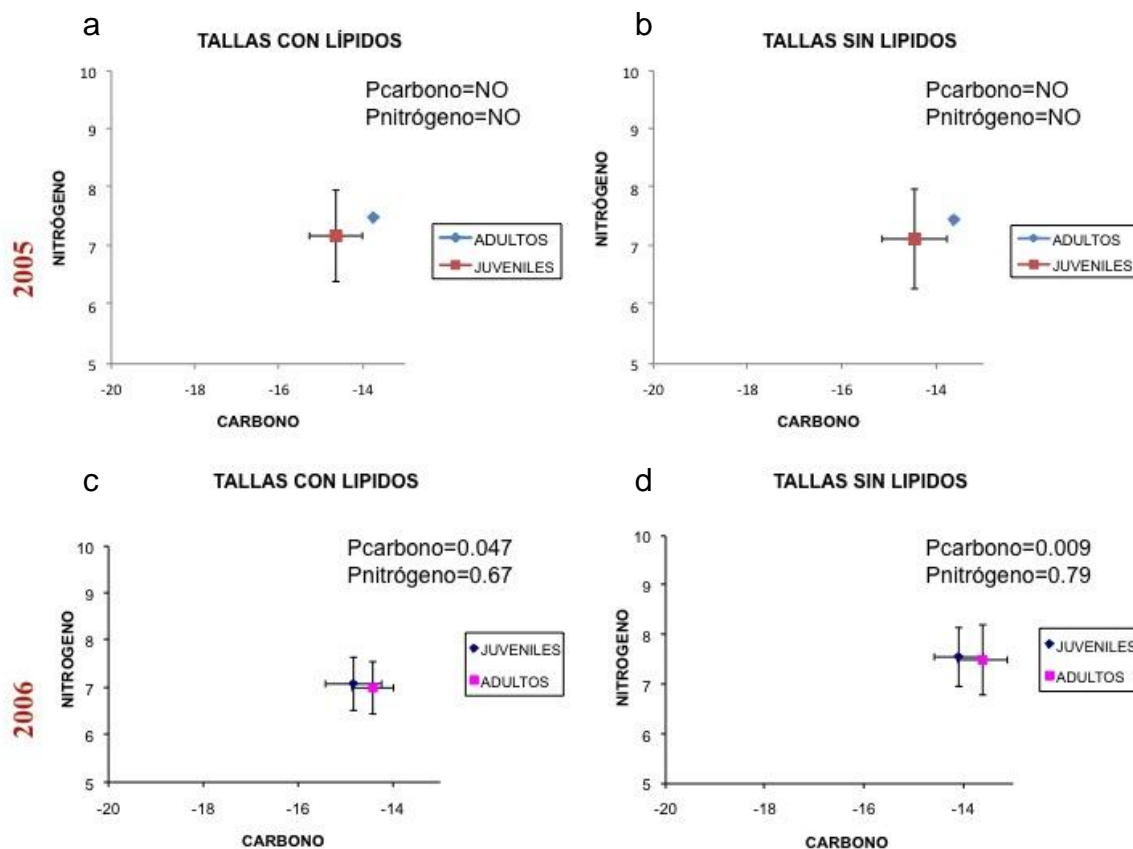


Figura 7. Valores isotópicos de piel de tiburón ballena con y sin lípidos por grupo de edad para 2005 (a y b) y 2006 (c y d).

F

COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS ENTRE TEMPORADAS

Con el fin de tener una visión general del comportamiento de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ entre años se promediaron todos los valores del 2005 y 2006. La tabla VII muestra que entre temporadas los valores isotópicos promedio fueron similares. Sin embargo para el caso de las muestras con lípidos el análisis de varianza mostró diferencia significativa entre años en los valores de nitrógeno ($P=0.006$). El análisis de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos tanto de muestras con lípidos y sin lípidos arrojó que no hay diferencia significativa entre años ($P=0.10$ y $P=0.30$ para las muestras con lípidos ($N_{2005}=18$; $N_{2006}=37$) y sin lípidos ($N_{2005}=10$; $N_{2006}=38$) respectivamente) (Fig. 8).

Tabla VII. Valores isotópicos promedio en la piel de tiburón ballena para los dos años de muestreo.

	<u>CON LÍPIDOS</u>		<u>SIN LÍPIDOS</u>	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
<u>2005</u>	-14.50	7.34	-14.17	7.42
<u>2006</u>	-14.70	7.05	-13.95	7.54

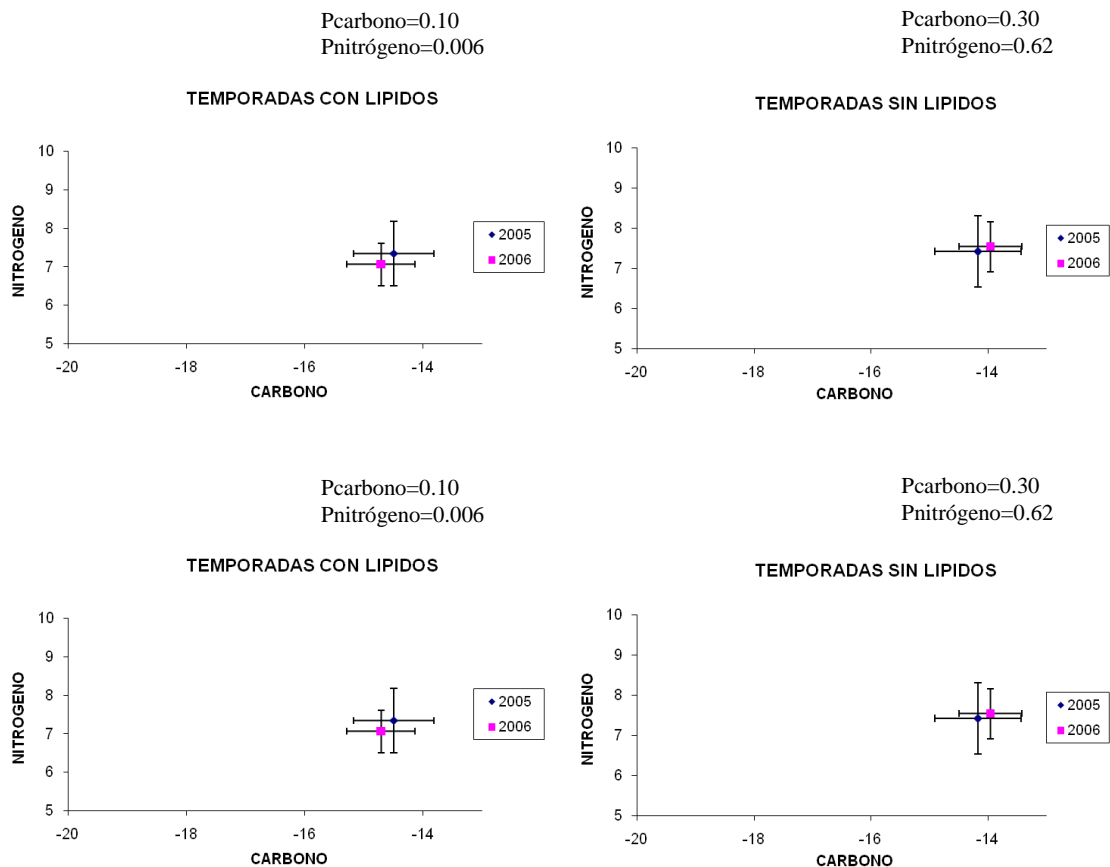


Figura 8. Comparación de los valores isotópicos de tiburón ballena para los dos años muestrados con y sin lípidos.

COMPARACIÓN DE VALORES ISOTÓPICOS DEL TIBURÓN BALLENA CON LAS PRESAS POTENCIALES DE LA ZONA DE ISLA HOLBOX.

Debido a que no existieron diferencias importantes entre los valores isotópicos de los dos años de colecta, para realizar el análisis trófico entre el tiburón ballena y sus posibles presas colectadas en Isla Holbox, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de ambos años se promediaron. Los valores isotópicos promedio para la dermis del tiburón ballena fue de 7.15 ‰ para los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y -14.64 ‰ para los de $\delta^{13}\text{C}$ (n=55). Los valores isotópicos promedio para las presas colectadas durante esos mismos años en la zona de Holbox como fitoplancton fueron 5.98 ‰ para los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y -18.63 ‰ para los

valores de $\delta^{13}\text{C}$ (n=10). Para las muestras de zooplancton sus valores fueron 5.56 ‰ para los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y -19.69 ‰ para los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (n=10) (Fig.9).

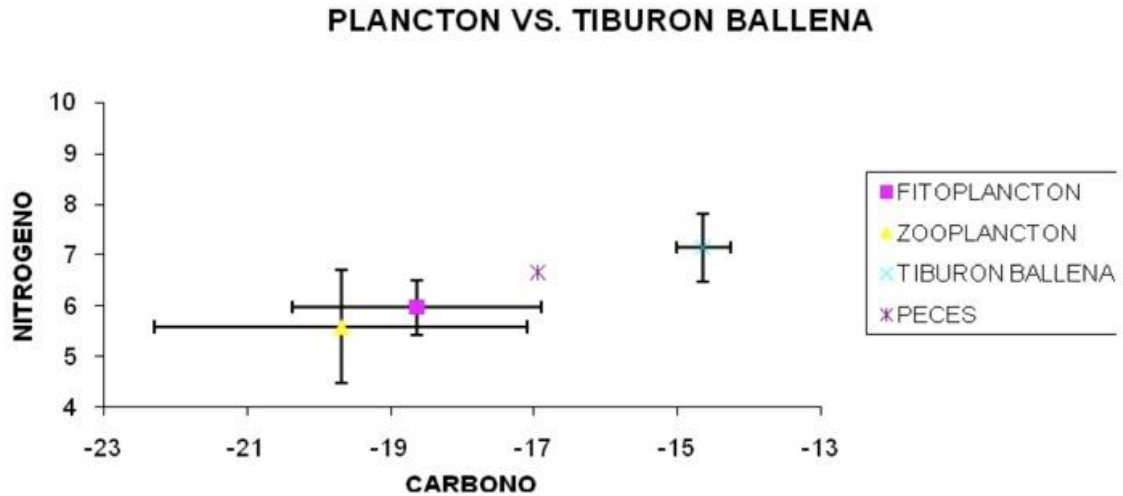


Figura 9. Comparación de los valores isotópicos promedio de los tiburones ballena muestreados durante los dos años contra los valores isotópicos promedio de las presas potenciales de Isla Holbox.

DISCUSIÓN

El tiburón ballena es un animal que por presentar migraciones largas representa un gran desafío para el campo de la investigación. Son aún muchas interrogantes las que circundan a este organismo, entre las que se encuentran su reproducción y los hábitats que le son críticos para subsistir.

Desde hace ya varios años se ha hecho evidente que isla Holbox es un área de importancia específica para la especie pues cada año durante los meses de mayo a agosto se pueden apreciar un gran número de animales agregados en la zona. Además las anécdotas de prestadores de servicios e investigadores indicaban que dicha importancia residía en la alta productividad de la zona pues los sitios en los cuales es común observar al tiburón ballena, están caracterizados por presentar condiciones que favorecen las concentraciones localizadas de su alimento (Taylor, 1996). Por lo tanto, la presencia de estos animales en la zona tendría fines alimenticios otorgándole importancia como hábitat crítico para la especie. Este es el primer trabajo que intenta corroborar dichas anécdotas mediante datos científicos para la zona de Isla Holbox.

Cabe señalar que este trabajo tiene el fin de enriquecer el proyecto iniciado durante el 2003 por la CONANP denominado "DOMINO", el cuál tiene como objetivo principal establecer los elementos que permitan regular la actividad turística en los periodos de agregación del tiburón ballena al norte de Isla Holbox y determinar las posibles causas por las cuales estos tiburones tienden a agregarse en grandes números en este sitio.

Holbox como zona de alimentación

El programa DOMINO realizado por la CONANP identifica dos zonas principales de agregación de tiburón ballena, donde se registran mayores números de avistamientos y los grupos más grandes de organismos. Una está ubicada al norte de Cabo Catoche y otra al norte de Isla Contoy. Se observó que en mayo se comienza la temporada de avistamientos de tiburón ballena a pesar de que en la misma época la biomasa zooplanctónica sea menor que en otras temporadas del año. Esto se explica debido a que la biomasa de zooplancton sólo aumenta en áreas localizadas de la zona, las cuales concuerdan con la presencia de tiburones (Reyes, 2007). Además de la observación de un comportamiento alimenticio, las zonas estuvieron caracterizadas durante los años 2005 y 2006 por condiciones que favorecen la productividad primaria y secundaria; con altas concentraciones de clorofila-a y una biomasa zooplanctónica mayor a $60\text{g}/1000\text{ m}^3$ (Reyes, 2007). Evidencia que apoya la hipótesis de que el tiburón ballena se encuentra en con fines de alimentación (Fig. 10 y 11).

Los grupos de zooplancton de los que se alimenta el tiburón ballena en la zona fueron registrados en un estudio realizado por Cárdenas (2007 sin publicar). El autor identifica 22 grupos diferentes de zooplancton. Donde el grupo dominante es el de los copépodos correspondiendo al 73% del total de organismos de zooplancton. Este grupo se encuentra presente durante los 5 meses de la temporada. El 27% restante de organismos de zooplancton se encuentra principalmente entre larvas de gasterópodos, appendicularia, huevos de pez, sergéstidos, quetognatos y decápodos.

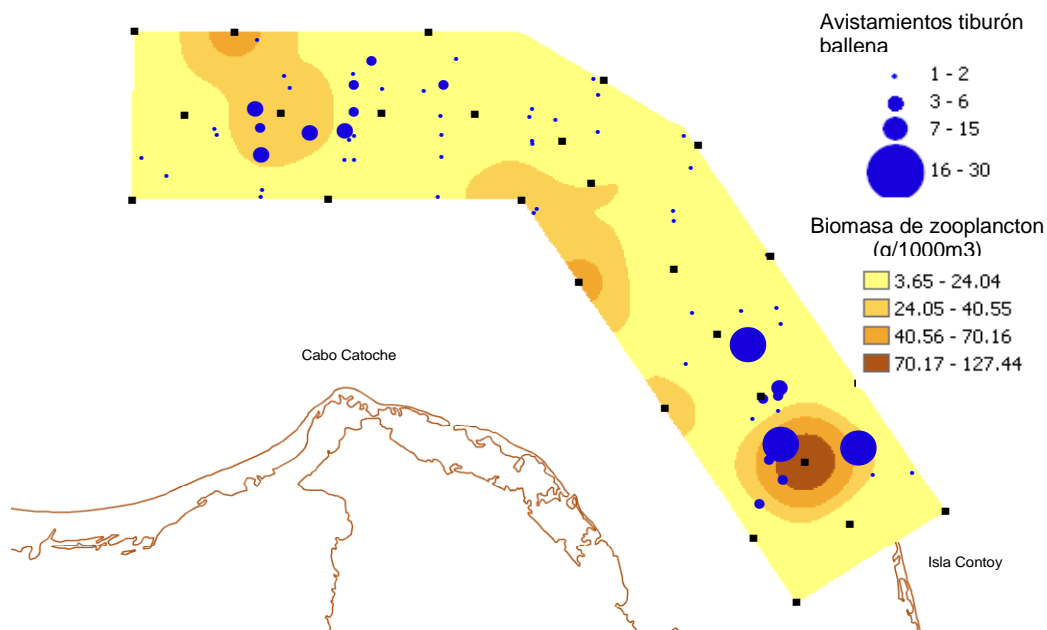


Figura 10. Distribución de la biomasa zooplanctónica promedio y avistamientos de tiburón ballena registrados durante la temporada 2005.

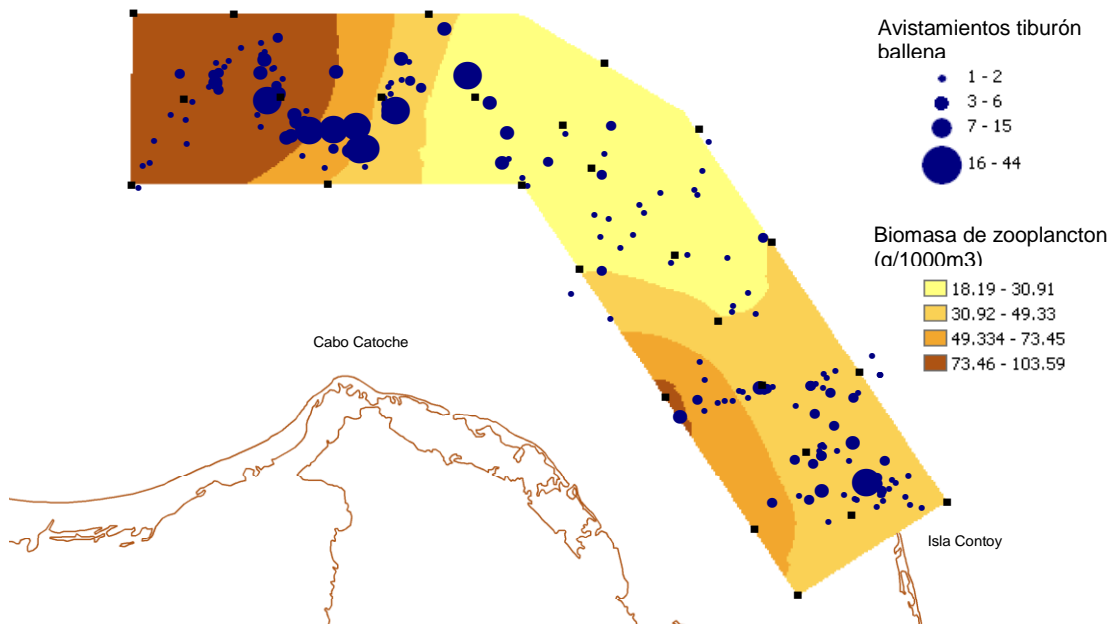


Figura 11. Distribución de la biomasa zooplanctónica promedio y avistamientos de tiburón ballena registrados durante la temporada 2006. Los signos de número refieren al número de avistamientos de tiburón ballena en las distintas zonas. El tamaño del signo de número aumenta de tamaño proporcionalmente a la cantidad de animales avistados en los puntos.

Hábitos alimenticios de tiburón ballena en Isla Holbox.

La literatura indica que las variaciones en los valores de carbono son un reflejo de las fuentes de productividad primaria, lo cual a su vez es reflejo de la zona de alimentación (Kurle y Graham, 2002). En este caso, la comparación de los valores isotópicos de los tiburones ballena mostró una alimentación costera por parte de los organismos de isla Holbox. Esto debido a que el valor promedio de $\delta^{13}\text{C}$ en el tejido de piel es de -14.64, donde valores cercanos a -15 representan a una zona de alta productividad característico de una zona costera. Por otro lado, los valores de nitrógeno de 7.15 muestran una proporcionalidad que va de acuerdo a la teoría de enriquecimiento de N que indica un enriquecimiento de 3 a 5 ‰ por cada nivel trófico que se avanza, señalando que los animales efectivamente se alimentan del plancton, cuyo valor isotópico en el área es de 5.98 $\delta^{15}\text{N}$ colocando a los tiburones ballena como un consumidor secundario.

Al realizar el análisis gráfico de los valores isotópicos en las categorías de sexo y talla, se observó que para ambas categorías, los valores eran muy similares. Es decir, en el caso de los sexos, se observó que los valores tanto de hembras como de machos se encuentran muy cercanos a -14, por lo que se puede inferir que ambos sexos se encuentran alimentándose de lo mismo. En el caso de las tallas, se puede observar el mismo comportamiento de valores (con valores aproximados al -14), indicando que tanto juveniles, como adultos también se encuentran alimentándose de lo mismo. Lo mismo sucedió para el año 2005 y 2006 en cada una de las categorías.

La comparación gráfica de los valores isotópicos del tiburón ballena con los valores de sus presas muestran que no se encontró la relación indicada por enriquecimiento determinada por DeNiro y Epstein (1977) de 0-1 ‰ para carbono. Esto nos indica que a pesar de que en Holbox se observa un comportamiento alimenticio por parte los tiburones

éstos no se encuentran reflejando los valores isotópicos de las presas que se encuentran en la zona.

A su vez, los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas en algunos de los valores isotópicos (En el valor de $\delta^{15}\text{N}$ entre los años 2005 y 2006; y entre juveniles y adultos en el valor de $\delta^{13}\text{C}$ del año 2006 con lípidos y sin lípidos). Sin embargo, dichas diferencias biológicamente deben ser interpretadas tomando en cuenta el enriquecimiento isotópico del tejido en cuestión pues al ser comparados con el análisis gráfico se evidencia que los organismos tienen valores promedio muy similares independientemente de la talla, sexo o temporada. Esto quiere decir, que los tiburones ballena se encuentran alimentándose en la misma zona y de lo mismo durante los años muestreados; a diferencia de lo que ocurre en ciertas especies de tiburones donde es común encontrar una segregación sexual y por tallas, con el fin de evitar competencia, preferencias alimenticias o segregación reproductiva (Ketchum, 2003). En la Bahía de la Paz, por ejemplo, ha sido identificada una clara segregación en tiburón ballena por edad y sexo. En esta área los tiburones ballena juveniles se encuentran en la porción sur de la bahía caracterizada por condiciones hidrográficas cálidas y homogéneas mientras que los tiburones adultos muestran preferencia por aguas profundas y de influencia oceánica. Ahí, el tiburón ballena se alimenta de una estructura zooplanctónica en función de su edad. Por lo que su segregación esta directamente relacionada con las preferencias en la estructura zooplanctónica y estrategias de alimentación para distintas clases de edad. Los adultos muestran una preferencia por enjambres de estadios larvarios de *N. simplex* y los juveniles por enjambres de copépodos y larvas de copépodos (Ketchum, 2003). En Holbox, sin embargo, no se

observa dicha segregación, con observaciones por parte de los prestadores de servicios durante el periodo del 2006 al 2008 que identifican una mezcla de los adultos y juveniles en la zona de alimentación (Reyes; com pers) y que concuerda con los resultados obtenidos durante este estudio. Estos resultados nos hablan de una plasticidad alimenticia por parte de la especie y refuerzan la propuesta realizada por Ketchum (2003) quién señala que la segregación encontrada en La Bahía de La Paz tiene además de un fin alimenticio, un fin reproductivo. El autor propone a las zonas profundas de la Bahía de la Paz (con una frecuencia de Hembras, aparentemente grávidas) como un área para procreación de las crías o zona de crianza primaria; y a la porción sur de la bahía con condiciones hidrográficas cálidas y homogéneas, además de contar con una densidad y tipo óptimo de presa como zona de crianza secundaria. Los resultados de este estudio concuerdan con los obtenidos por Hacoheh (2007), quien no encontró diferencias significativas en los valores isotópicos de distintos grupos de edad o sexo en la bahía de la Paz a pesar de la segregación alimenticia en la zona.

Por otro lado, durante la realización de este trabajo se esperaba que los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en el tejido de piel de tiburón ballena tuvieran una correspondencia con los valores isotópicos de las presas de zooplancton colectadas en la zona probando que estos animales se alimentan en la zona. Sin embargo, los resultados expuestos en este trabajo mostraron que no existe correspondencia entre los valores isotópicos de los tiburones ballena y las presas potenciales de la zona de Isla Holbox. Estos resultados indicarían que los organismos no están alimentándose en la zona y por lo tanto le restaría a Isla Holbox la importancia que se le ha adjudicado como zona de alimentación. A pesar de esto, en la zona se ha observado un comportamiento alimenticio por parte de los prestadores de servicio y después de una revisión bibliográfica se sugiere

que las discrepancias encontradas pueden adjudicarse a la tasa de recambio del tejido utilizado. Se ha demostrado que las discrepancias con respecto a los valores teóricos de enriquecimiento isotópico y los encontrados en este estudio pueden deberse a una incapacidad de los organismos para alcanzar un equilibrio isotópico respecto a su dieta en el momento del muestreo (McNeil et al., 2006). Para este caso específico, la limitación se encuentra en la tasa de recambio isotópico de la piel de tiburón ballena.

Helsein et al. (1993) propuso que las tasas de crecimiento, más allá que el metabolismo, determina los valores isotópicos de S, $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ en el músculo de los peces. La asimilación de un cambio en la dieta sería detectable en el tejido del hígado en tan solo un mes y en tejido muscular aproximadamente en seis meses. Por lo tanto el hígado y la sangre pueden reflejar un cambio en la dieta dentro de un lapso de dos a tres meses, mientras que el tejido muscular puede tomarse como una representación anual. El autor sugiere que conforme los peces crecen y comienzan a explotar presas de niveles tróficos más altos, puede incluso a tomar varios años para que el tejido muscular refleje adecuadamente un cambio en la dieta permanente. Por lo tanto, el tejido muscular no puede ser utilizado para determinar una posición trófica hasta que el animal ha alcanzado un equilibrio en su dieta. Si los animales cambian su dieta en intervalos de tiempo corto, el animal nunca podrá alcanzar un equilibrio y los estimados de su posición trófica estarán influenciados por la dieta previa. Por lo tanto, la adición de muestras de tejido sanguíneo o de hígado es de gran ayuda para observar los cambios en la dieta. Hacothen (2007) estableció la tasa de recambio para piel de tiburón ballena en un lapso de tiempo de 3 semanas. Sin embargo, esta tasa es muy corta, pues incluso en especies de metabolismo y crecimiento más rápido que el tiburón ballena (como el tiburón blanco) la tasa de recambio que se ha propuesto para la piel no es menor a un par de meses por lo que no puede ser tomada como una tasa de recambio válida para el tiburón (Aurióles, com.

Pers.*). En función de estos resultados, la explicación de los valores isotópicos encontrados en la piel del tiburón ballena en Holbox y su no correspondencia con las presas se basan en el hecho de que el tiempo necesario para que el tiburón ballena refleje los valores del alimento de la zona sería muy larga, mucho mayor a 3 semanas; probablemente de al menos 6 meses (Aurioles, com. pers.*). Por lo tanto, y ya que estos organismos realizan migraciones muy grandes, es de esperarse que estén reflejando los valores de otra zona de alimentación. Esta explicación encuentra sustento en datos provenientes de Gladden Spit (Belice), donde Graham se encuentra realizando un estudio isotópico de los tiburones ballena de la zona. Graham encontró valores de $\delta^{15}\text{N}$ en zooplancton que van de $\delta^{15}\text{N}$ 1.4 a 3.7 y $\delta^{13}\text{C}$ de -14 a -15.5 (Graham, 2008 sin publicar). Estos valores, concuerdan con los valores de enriquecimiento propuestos por DeNiro y Epstein (1977) con los valores obtenidos en Holbox para tiburón ballena ($\delta^{15}\text{N}$ 3-5‰ y $\delta^{13}\text{C}$ 0-1‰). Por lo tanto, los tiburones ballena probablemente se encuentran reflejando los valores isotópicos de esta zona de alimentación donde se alimentan de Febrero a Junio (Graham y Roberts, 2007). De hecho, en la región oeste del Caribe, entre las Islas de la Bahía, Honduras, Cayos de Belice y la Península de Yucatán, se han identificado poblaciones compartidas de tiburones ballena. En un estudio, reavistamientos de tiburones marcados en otros lugares de la Barrera Mesoamericana fuera de Gladden Spit mostraron que la población no es residente del arrecife Beliciano, y que migran a otros sitios donde se presentan agregaciones estacionales como Isla Contoy, México y Utila, Honduras (Graham y Roberts, 2007; Gifford et al., 2007). Por lo tanto, es muy probable que los tiburones se alimenten intermitentemente a lo largo del arrecife mesoamericano antes de llegar a Holbox. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, se evidencia la necesidad de una cooperación con los investigadores de

tiburón ballena en el arrecife mesoamericano, poniendo especial importancia a la zona de Gladen Spit con el fin de lograr la identificación de aquellas zonas, que junto con Isla Holbox, pueden funcionar como hábitats críticos en términos de alimentación para la especie.

Efecto de los lípidos y de la diferencia estructural de la piel en la determinación de valores isotópicos en piel de tiburón ballena

La piel de los tiburones, como cualquier piel de vertebrado, está construida con una capa externa epidérmica seguido por dermis y carne. La dermis, por su parte, puede ser dividida en una estrato laxo superior y uno compacto inferior. Propiedades histológicas que pueden contribuir a la existencia de diferencias en sus propiedades mecánicas y funcionales. Por ello al comienzo de este estudio, fue inferida la posibilidad de que la variabilidad isotópica en las muestras de piel determinadas con anterioridad en biopsias de piel de tiburón ballena pudiese estar influenciada por la composición estructural de la muestra de piel, es decir el contenido proporcional de epidermis y dermis (Naresh *et al.*, 1997). Hacoheh (2007) realizó determinaciones de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en biopsias de piel de tiburón ballena en el Golfo de California sin hacer diferenciación entre la proporción de dermis y epidermis contenida en la muestra. Los valores isotópicos promedio que se reportan en ese estudio son de 12.97 ‰ para los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y -15.11 ‰ para los de $\delta^{13}\text{C}$ en Bahía de La Paz, con un rango de variación de aproximado de 3.58 ‰, para $\delta^{13}\text{C}$ y, de 7.06 ‰, para los valores de $\delta^{15}\text{N}$. Para Bajo Gorda B.C.S. se reportan valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ de -14.90‰ y de 12.03‰ para $\delta^{15}\text{N}$, con un rango de variación de 0.64‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y de 1.88‰ para $\delta^{15}\text{N}$. Finalmente, para Bahía de los Ángeles, B.C. se reportan valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ de -14.59‰ y de 13.98‰ para $\delta^{15}\text{N}$, con un rango de

variación de 1.9‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y de 4.44‰ para $\delta^{15}\text{N}$. Por lo que se pensó que las variabilidad de los valores isotópicos en el estudio de Hacoheh (2007) fueron efecto de la diferencia en el fraccionamiento isotópico entre ambos tejidos (dermis y epidermis). Las muestras preliminares de este estudio, mostraron que efectivamente, la diferencia estructural de la piel de tiburón ballena tiene un efecto en los valores isotópicos de sus distintas partes que la conforman. En este estudio la variabilidad fue reducida utilizando únicamente dermis. Por lo tanto, se recomienda hacer lo mismo en futuros estudios isotópicos de piel de tiburones.

Paralelamente a la diferencia estructural de la dermis y epidermis de la piel del tiburón ballena se contempló la posibilidad que la falta de lípidos, pudiese estar afectando la señal isotópica, principalmente del C. La metodología original para determinación de firmas isotópicas plantea como requerimiento la extracción de lípidos de cada una de las muestras. Sin embargo, un estudio realizado por Ana Hacoheh con biopsias de Tiburón Ballena en la que se realizó la extracción de lípidos no encontró ninguna diferencia entre las señales isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en sexos, ni tallas. Considerando que los lípidos son una fuente importante de carbono, se infirió la posibilidad de que en el estudio realizado por Hacoheh (2007) las diferencias significativas entre las señales isotópicas de distintos estadios ontogenéticos y sexuales pudiese estar perdiéndose al momento de extraer los lípidos. En función de esto, se decidió analizar el papel que juegan los lípidos en la variación de las señales isotópicas de los tejidos. Por lo tanto, dentro de las 19 muestras enviadas en Mayo, se incluyeron muestras con lípidos, y sin lípidos. Los resultados obtenidos a partir de esta prueba mostraron que los lípidos efectivamente modificaban la señal isotópica. Por lo tanto, se decidió enviar el total de las muestras para analizar con y

sin lípidos con el fin de identificar el papel que pueden jugar los lípidos para este tipo de tejido.

No obstante que las pruebas preliminares de dermis y epidermis, sugirieron un posible efecto en la señal isotópica causado por la extracción de lípidos, el análisis gráfico mostró que tal efecto desaparece cuando el número de muestras es mayor. Es importante tener en cuenta este resultado debido a que en ocasiones no es posible contar con un número grande de muestras. La disponibilidad de las mismas dependerá de la especie que se está estudiando, es decir, del número de animales que puedan ser muestreados para un estudio, donde el número de organismos estará limitando el número de muestras. Los resultados con el total de las muestras mostraron que en el caso de piel de tiburón ballena, los lípidos no son causa de diferencias significativas en los resultados totales. Las diferencias son perceptibles solo en el caso de un número limitado de muestras (en este caso, las muestras de prueba únicamente fueron 19), lo que provocó una variabilidad proveniente de un tamaño de muestra insuficiente. Una posible explicación a estos resultados, es que mientras la extracción de lípidos puede ocasionar incrementos estadísticos importantes en algunos tipos de tejidos, estas no siempre son significativas biológicamente. Esto sucede en el caso del músculo blanco de los peces, el cual contiene una mínima cantidad de lípidos y puede no beneficiarse de una corrección o extracción de lípidos. Muestras de músculo blanco de peces con bajo contenido lipídico sufren de una variación mínima en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ mientras que los tejidos con mayor contenido lipídico como el hígado sufren de diferencias importantes en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ cuando no se extraen los lípidos. Por lo tanto, la extracción de lípidos puede no ser necesaria para tejidos bajos en lípidos tal como el músculo blanco de los peces (Logan et

al., 2008). Por lo tanto, los resultados obtenidos muestran que los lípidos no tienen efectos biológicamente significativos en los valores isotópicos de la piel de tiburón ballena por lo que para esta especie en particular, la extracción de lípidos puede ser omitida cuando se realicen estudios isotópicos con la piel.

* David Auriolos. Investigador CICIMAR. La Paz, B.C.S.

CONCLUSIONES

Las evidencias isotópicas mostradas este trabajo en conjunto a las observaciones de un comportamiento alimenticio por parte de los tiburones sugieren sostener la hipótesis de que Cabo Catoche funciona como un área de alimentación importante para la especie. Sin embargo, la importancia del área no se debe limitar a Cabo Catoche, sino que es un área muy extensa que involucra países como Honduras, Belice y México.

Los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ muestran que los tiburones ballena mantienen una alimentación costera con un valor promedio de $\delta^{13}\text{C}$ de -14.64‰ . Por su parte, el valor de $\delta^{15}\text{N}$ indica que los tiburones ballena efectivamente se alimentan de plancton, mostrando una correspondencia con el valor de enriquecimiento propuesto en la literatura de $3\text{-}5\text{‰}$ donde el valor isotópico del plancton en el área es de $5.98 \delta^{15}\text{N}$.

En el caso de piel de tiburón ballena con tamaño de muestra grandes, los lípidos no son causa de diferencias significativas en la mayoría de los resultados. Por lo tanto futuros análisis isotópicos en piel de la especie pueden ser realizados sin la necesidad de la extracción de lípidos.

Los resultados isotópicos mostraron que los tiburones ballena se encuentran alimentándose en la misma zona y de lo mismo los dos años independientemente del grupo de edad o sexo.

La tasa de recambio en la piel de tiburón ballena propuesta por Hacoheh (2007) de un mes está equivocada puesto que las características biológicas de la especie; con una tasa de crecimiento lento darían como resultado una tasa de recambio muy lenta, que puede ir de más de 5 meses hasta incluso 1 año.

Debido a que la tasa de recambio en la piel de los los tiburones ballena es muy lenta para reflejar los valores de la zona y ya que estos organismos realizan migraciones muy grandes, es de esperarse que estén reflejando los valores de otra zona de alimentación. Específicamente, los tiburones ballena posiblemente se encuentran reflejando aún valores de la zona de alimentación Gladen Spit (Belice) donde se alimentan de Febrero a Junio.

PERSPECTIVAS

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, se evidencia la necesidad de una cooperación con los investigadores de tiburón ballena en el arrecife mesoamericano, poniendo especial importancia a la zona de Gladen Spit con el fin de lograr la identificación de aquellas zonas, que junto con Isla Holbox, pueden funcionar como hábitats críticos en términos de alimentación para la especie.

BIBLIOGRAFÍA

- Clark, E. y D. Nelson. 1997. Young whale shark, *Rhincodon typus*, feeding on a copepod bloom near La Paz, México. *Env. Biol. Fishes* 50: 63-73.
- Cliff, G., Anderson-Read, D.M., Aitken, A.P., Charter, G.E. y M.V. Peddemors. 2007. Aerial census of whale sharks (*Rhincodon typus*) on the northern KwaZulu-Natal coast, South Africa. *Fisheries Research*. 84: 41-46.
- Colman, J.G. 1997a. A review of the biology and ecology of the whale shark. *Journal of fish biology*. 51: 1219-1234.
- Compagno, L.J. 1984. *FAO Species Catalogue*, vol. 4. *Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 1. Hexanchiformes to lamniformes.* *FAO Fish. Synopsis* 125. 209-211 pp.
- Compagno, L.J., 2001. *Sharks of the world: an annotated and illustrated catalogue of shark species know to date. FAO Species Catalogue for Fishery Purposis, No. 1, vol. 2. Bullhead, Mackerel and Carpet Sharks (Heterodontiformes, Laminiformes and Orectolobiformes).* *U.N. Dev. Prog, Rome*. 269 pp.
- Cárdenas, T.N., Enriquez, A.R., y D.N. Rodriguez. 2007. Community-based management through ecotourism in Bahía de los Angeles, Mexico. *Fisheries Research*. 84: 114-118 pp.

- DeNiro, M.J. y S. Epstein. 1977. Mechanisms of carbon isotopoe fractionation associated with lipid synthesis. *Science*. 197: 261-263 pp.
- DOF. 2002. Diario Oficial de la Federación, 6 de marzo de 2002. T (582:4). México, D.F., 1-80 pp.
- Dowdall, J.T., Farmer, A. y E.H. Bucher. 2006. Uso de isótopos estables para determinar conectividad migratoria en aves: alcances y limitaciones. *Hornero*. 21 (2): 73-84 pp.
- Fry, B. 2006. *Stable Isotope Ecology*. Estados Unidos. Springer. 308 pp.
- Gifford, A., Compagno, J.V., Levine, M. y A. Antoniou. 2007. Satellite tracking of whale sharks using tethered tags. *Fisheries Research*. 84:17-24.
- Graham, R.T. y M.C. Roberts. 2007. Assessing the size, growth rate and structure of a seasonal population of whale sharks (*Rhincodon typus* Smith 1828) using conventional tagging and photo identification. *Fisheries Research*. 84: 71-80 pp.
- Graham, R.T. 2004. Global whale shark tourism: a “golden goose” of sustainable and lucrative income. *Shark News* 16: 8-9 pp.
- Gudger, E.W. 1941. The feeding organs of the whale shark, *Rhineodon typus*. *American Museum of Natural History*, New York. 81-99 pp.

- Hacohen, D.A. 2004. Abundancia y riqueza específica de presas preferenciales del tiburón ballena (*Rhincodon typus*, Smith 1828) en la bahía de la paz. México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 50 pp.
- Hacohen, D.A., Galván, M.F. y J.M. Ketchum. 2006. Abundance of whale shark (*Rhincodon typus*) preferred prey species in the southern Gulf of California, México. *Cybium*. 30(4): 99-102pp.
- Hacohen, D.A. 2007. Ecología alimentaria del tiburón ballena (*Rhincodon typus*, Smith 1828) en la costa occidental del Golfo de California, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México. 57 pp.
- Heyman, W.D., Graham, R.T., Bjorn, K. y R.E. Johannes. 2001. Whale sharks *Rhincodon typus* aggregate to feed on fish spawn in Belize. *Marine Ecology Progress Series*. 215: 275-282 pp.
- Hobson, K.A. 1993. Trophic relationships among high Arctic seabirds: insights from tissue-dependent stable-isotope models. *Marine Ecology Progress Series*. 95: 7-18 pp.
- Hobson, K.A. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecología*. 120: 314-326 pp.
- Hsu, H.H. 2007. Satellite tracking of juvenile whale sharks, *Rhincodon typus*, in the Northwestern Pacific. *Fisheries Research*. 84: 25-31 pp.

- Ketchum, M.J. 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 Maestría. CICIMAR. La Paz, México. 91 pp.
- Kurle, C.M., y A.J. Graham. 2002. Stable nitrogen and carbón isotope ratios in multiple tissues of the northern fur seal *Callorhinus ursinus*: implications for dietary and migratory reconstructions. *Marine Ecology Progress Series*. 236: 289-300 pp.
- Logan, J.M.; y M.E. Lutcavage. 2008. A comparison of carbon and nitrogen stable isotope ratios of fish tissues following lipid extractions with non-polar and traditional chloroform/metanol solvent systems. *Rapid communications in mass spectrometry*. 22: 1081-1086 pp.
- Logan, J.M., Jardine, T.D., Miller, T.J., Bunn, S.E., Cunjak, R.A. y M.E. Lutcavage. 2008. Lipid corrections in carbon and nitrogen stable isotope analyses: comparison of chemical extraction and modeling methods. *Journal of Animal Ecology*. 1-9 pp.
- McNeil, M.A., Drouillard, K.G. y A.T. Fisk. 2006. Variable uptake and elimination of stable nitrogen isotopes between tissues in fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63: 345-353 pp.
- Martin, R.A. 2007. A review of behavioural ecology of whale sharks (*Rhincodon typus*). *Fisheries Research*. 84: 10-16 pp.

- Naresh, M.D., Arumugan, V., y R. Sanjeevi. 1997. Mechanichar Behaviour of Shark Skin. J. Biosci. Vol. 22. No. 4: 431-437 pp.
- Nelson, J.D. 2004. Distribution and foraging ecology by whale sharks (*Rhincodon typus*) within Bahía de los Ángeles, Baja California Norte, México. Tesis de Maestría. Universidad de San Diego. 118 pp.
- Nelson, J.D., y A.S. Eckert. 2007. Foraging ecology of whale sharks (*Rhincodon typus*) within Bahía de los Ángeles, Baja California Norte, México. Fisheries Research. 84: 47-64 pp.
- Norman, B.M. 2000. 2000 IUCN Red List of Threatened Species. IUCN. Suiza, Cambridge, UK. 61 pp.
- Norman, B.M., y J.D. Stevens. 2007. Size and maturity status of the whale shark (*Rhincodon typus*) at Ningaloo Reef in Western Australia. Fisheries Research. 84: 81-86 pp.
- Ocampo, A.T. 1996. Caracterización ambiental del Golfo de México. México. EPOMEX Serie Científica. 666 pp.
- Ramírez, M.D., Vázquez, J.R., Galván, M.F., y A.V. Munguía. 2007. Variations of the mitochondrial control region sequence in whale sharks (*Rhincodon typus*) from the Gulf of California, Mexico. Fisheries Research. 84: 87-95 pp.

Reyes, O. 2004. Manejo sustentable del recurso tiburón ballena (*Rhincodon typus*), en la zona aledaña al Área Natural Protegida Yum Balam: generación de información técnica básica y su transferencia a las comunidades. Reporte Técnico Proyecto Mex 04/27. PRONATURA. 116 pp.

Rodríguez, D.N., Enríquez, A.R. y T.N. Cárdenas. 2007. Property rights-based management: Whale shark ecotourism in Bahía de los Angeles, Mexico. Fisheries Research. 84: 119-127 pp.

Taylor, L.R., Compagno, L.J.V. y P.J. Struhsaker. 1983. Megamouth a new species, genus and family of lamnid shark (*Megachasma pelagios*, family Megachasmidae) from the Hawaiian Islands. Proc. Calif. Acad. Sci. 43:87-110 pp.

Taylor, J.G. 1996. Seasonal occurrence, distribution and movements of whale shark, *Rhincodon typus*, at Ningaloo Reef, Western Australia. Marine Freshwater Research. 47: 637-642 pp.

Taylor, J.G.. 2007. Ram filter-feeding and nocturnal feeding of whale sharks (*Rhincodon typus*) at Ningaloo Reef, Western Australia. Fisheries Research. 84: 65-70 pp.

Páginas de Internet consultadas.

Sedetur.2007.http://sedetur.groo.gob.mx/Fideicomiso%20Holbox/Archivos_INDEX/Index1.htm